

JUAN JOSÉ FONSECA PALACIN

**DETERMINAÇÕES DAS CURVAS DE SECAGEM E DAS ISOTERMAS DE
EQUILÍBRIO HIGROSCÓPICO PARA UMA MISTURA DE MILHO NAS
ESPIGAS (*Zea mays L.*) DOS CULTIVARES AG 1051 E AG 122.**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2003

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

F676d
2003

Fonseca Palacin, Juan José, 1962 -

Determinações das curvas de secagem e das isotermas de equilíbrio higroscópico para uma mistura de milho nas espigas (*Zea mays L.*) dos cultivares AG 1051 e AG 122 / Juan José Fonseca Palacin.- Viçosa: UFV, 2003.
104p.: il.

Orientador: Adílio Flauzino de Lacerda Filho
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.

1. Milho – Semente – Umidade de equilíbrio higroscópico. 2. Milho – Semente – Curvas de secagem. 3. Milho – Semente – Temperatura atmosférica. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 19.ed. 631.568

CDD 20.ed. 631.568

JUAN JOSÉ FONSECA PALACIN

DETERMINAÇÕES DAS CURVAS DE SECAGEM E DAS ISOTERMAS DE EQUILÍBRIO HIGROSCÓPICO PARA UMA MISTURA DE MILHO NAS ESPIGAS (*Zea mays L.*) DOS CULTIVARES AG 1051 E AG 122.

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 11 de março de 2003

Prof. Evandro de Castro Melo
(Conselheiro)

Prof. Paulo Roberto Cecon
(Conselheiro)

Prof. Juarez de Souza e Silva

Dr. Sérgio Maurício Lopes Donzeles

Prof. Adílio Flauzino de Lacerda Filho
(Orientador)

Ao meu pai, Juan Antonio, “in memoriam”, e à minha mãe, Alicia.

Aos meus irmãos, Margarita, Diego e Martha.

À minha sogra, Flor Ângela.

Ao meu país, Colômbia,

OFEREÇO.

À minha esposa, Dina Maria, e à minha filha, Maria José,
pelo carinho, apoio e compreensão,

DEDICO.

AGRADECIMENTO

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do curso.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos nos últimos três meses do curso.

Ao professor Adílio Flauzino de Lacerda Filho, pela orientação, amizade e participação irrestrita na execução deste trabalho e, ainda, pelos valiosos ensinamentos e apoio constante.

Aos professores conselheiros Evandro de Castro Melo, Paulo Roberto Cecon, Daniel Marçal de Queiroz, pelas valiosas críticas e sugestões.

À professora Lêda Rita D'Antonino Faroni e aos professores Juarez de Sousa e Silva, Eduardo Fontes Araújo, Erly Cardoso Teixeira, pelo apoio, contribuições e sugestões.

Ao professor Ernani Luiz Agnes, do Departamento de Fitotecnia, pelo apoio para a consecução do material vegetal para efetuar o experimento.

Aos professores do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, pela amizade e colaboração para a realização deste trabalho.

Aos colegas da pós-graduação, Roberto, Reginaldo, Adriana, Stela, Ana Elisa, Esther, Roberta, Fernanda, Ivanildo, Fabrício, Lauri e Fabrizio, pelo companheirismo, amizade, idéias e incentivo.

Aos meus colegas e amigos, Alisson Bach Ferreira e Everaldo Joaquin Montes, que sempre se prontificaram a ajudar na realização das diversas análises envolvidas neste trabalho e pelo ombro amigo em todos os momentos.

Aos funcionários do Setor de Armazenamento e do DEA, Silas, Edson, Inhame, Sebastião, Catitú, José Raimundo, José Eustáquio, Álvaro, Galinari, Marcos, Edna, José Mauro e Maria José, pela amizade e contínua colaboração para a realização deste trabalho.

Àqueles que, porventura, não tenham sido citados, mas que, direta ou indiretamente, contribuíram para realização deste trabalho.

À FUNARBE, pela ajuda no empréstimo da câmara fria e a contínua colaboração de seus funcionários.

BIOGRAFIA

JUAN JOSÉ FONSECA PALACIN, filho de Juan Antonio Fonseca Gamarra e Alicia Palacin Alvarez, nasceu em Barranquilla, Estado do Atlântico, em Colômbia, em 11 de dezembro de 1962.

Em 1983, iniciou o Curso de Engenharia de Alimentos na Universidade de Bogotá “Jorge Tadeo Lozano”, em Bogotá D. C - Colômbia, graduando-se em setembro de 1989.

Entre 1989 e 1992, trabalhou como pesquisador do Instituto Colombiano Agropecuário ICA, em Sevilla – Magdalena (Colômbia), na área de Pós-colheita de Frutas do Programa de Frutais.

Entre 1992 e 1995, trabalhou no porto de Buenaventura – Colômbia, como chefe do Departamento de Controle de Qualidade da Companhia Pesqueira Colombiana – COPESCOL S. A, ocupando posteriormente o cargo de chefe de produção.

De 1996 a janeiro de 2001, trabalhou como gerente de operações da Empresa GRANELES S. A, companhia dedicada ao descarregamento, armazenamento e manejo de grãos cereais e fertilizantes no porto de Buenaventura –Colômbia.

Em abril de 2001, iniciou o curso de mestrado em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa, na área de Pré-Processamento e Armazenagem de Produtos Agrícolas, submetendo-se à defesa de tese, requisito indispensável para obtenção do título de *Magister Scientiae*, em março de 2003.

Em janeiro de 2003, ingressou como professor auxiliar no Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Viçosa – UFV.

CONTEÚDO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	vi
LISTA DE FIGURAS	ix
RESUMO..	xii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
3. MATERIAL E MÉTODOS	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5. RESUMO E CONCLUSÕES	61
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
APÊNDICES	69
APÊNDICE A	70
APÊNDICE B	72
APÊNDICE C	76
APÊNDICE D	89
APÊNDICE E	98
APÊNDICE F	102

LISTA DE TABELAS

Tabelas		Páginas
01	Características das espigas e grãos de milho dos cultivares AG 105 e AG 122.....	28
02	Umidade de equilíbrio higroscópico (média de três repetições) de milho nas espigas, à temperatura média de $44,93 \pm 0,94$ °C, em função das umidades relativas (%) médias do ar de secagem.....	29
03	Umidade de equilíbrio higroscópico (média de três repetições) de milho nas espigas, à temperatura média de $50,45 \pm 1,27$ °C, em função das umidades relativas (%) médias do ar de secagem.....	29
04	Umidade de equilíbrio higroscópico (média de três repetições) de milho nas espigas, à temperatura média de $54,44 \pm 1,45$ °C, em função das umidades relativas (%) médias do ar de secagem.....	29
05	Umidade de equilíbrio higroscópico (média de três repetições) de milho nas espigas, para as temperaturas médias do ar de secagem estudadas, em função das umidades relativas médias (%) do ar de secagem.....	30
06	Tempo médio, em horas, de três repetições decorridas desde o início do teste até que o milho nas espigas atingisse o equilíbrio higroscópico, para a temperatura média do ar de secagem de $44,93 \pm 0,94$ °C, e as diferentes umidades relativas médias estudadas.....	30
07	Tempo médio, em horas, de três repetições decorridas desde o início do teste até que o milho nas espigas atingisse o equilíbrio higroscópico, para a temperatura média de $50,45 \pm 1,27$ °C, e as diferentes umidades relativas médias estudadas.....	31

08	Tempo médio em horas de três repetições decorridas desde o início do teste até que o milho nas espigas atingisse o equilíbrio higroscópico, para a temperatura média de $54,44 \pm 1,45$ °C, e as diferentes umidades relativas médias estudadas.....	31
09	Constantes da equação proposta por SHARAF-ELDEEN para a determinação da umidade de equilíbrio de milho nas espigas, para valores médios de temperaturas, com os respectivos coeficientes de determinação.....	32
10	Resumo da análise de variância e da regressão não-linear da variável umidade de equilíbrio higroscópico de milho nas espigas, para as temperaturas do ar de secagem estudadas.....	37
11	Parâmetros da equação ajustada para o cálculo do teor de umidade de equilíbrio higroscópico (U_e em % b.s) de milho nas espigas, em função da temperatura (°C) e da umidade relativa (decimal)....	37
12	Constantes da equação proposta por SHARAF-ELDEEN para a determinação das curvas de secagem de milho nas espigas, para a temperatura média do ar de secagem de $44,93 \pm 0,94$ °C, e as diferentes umidades relativas médias, com os respectivos coeficientes de determinação.....	39
13	Constantes da equação proposta por SHARAF-ELDEEN para a determinação das curvas de secagem de milho nas espigas, para a temperatura média do ar de secagem de $50,45 \pm 1,27$ °C, e as diferentes umidades relativas médias, com os respectivos coeficientes de determinação.....	39
14	Constantes da equação proposta por SHARAF-ELDEEN para a determinação das curvas de secagem de milho nas espigas, para a temperatura média do ar de secagem de $54,44 \pm 1,45$ °C, e as diferentes umidades relativas médias, com os respectivos coeficientes de determinação.....	40
15	Constantes da equação proposta por SHARAF-ELDEEN para a determinação do fator K_d para a elaboração das curvas de secagem de milho nas espigas, para as temperaturas médias do ar de secagem estudadas, e as umidades relativas médias, com os respectivos coeficientes de determinação.....	40

16	Constantes da equação proposta por SHARAF-ELDEEN para a determinação do fator Kd para a elaboração das curvas de secagem de milho nas espigas, para as temperaturas médias do ar de secagem estudadas, e as umidades relativas médias, com os respectivos coeficientes de determinação.....	53
17	Resumo da análise de variância e da regressão não-linear da variável razão de umidade de milho nas espigas, para a temperatura média do ar de $50,45 \pm 1,27$ °C, e as respectivas umidades relativas do ar estudadas.....	53
18	Resumo da análise de variância e da regressão não-linear da variável razão de umidade de milho nas espigas para temperatura média do ar de $54,44 \pm 1,45$ °C, e as respectivas umidades relativas do ar estudadas.....	53
19	Parâmetros da equação ajustada para o cálculo da razão de umidade de milho nas espigas, à temperatura média de $44,93 \pm 0,94$ °C, e das respectivas umidades relativas médias estudadas.....	54
20	Parâmetros da equação ajustada para o cálculo da razão de umidade de milho nas espigas, à temperatura média de $50,45 \pm 1,27$ °C, e das respectivas umidades relativas médias estudadas.....	54
21	Parâmetros da equação ajustada para o cálculo da razão de umidade de milho nas espigas, à temperatura média de $54,44 \pm 1,45$ °C, e das respectivas umidades relativas médias estudadas.....	55
22	Constantes da equação proposta por SHARAF-ELDEEN para a determinação das curvas de secagem de milho nas espigas, para as temperaturas médias estudadas e das respectivas umidades relativas médias, com os respectivos coeficientes de determinação.....	56
23	Constantes da equação proposta por SHARAF-ELDEEN para a determinação do fator Kd para a elaboração das curvas de secagem de milho nas espigas, para as temperaturas médias estudadas, com os respectivos coeficientes de determinação (Secador).....	57
24	Resumo da análise de variância e da regressão não-linear da variável razão de umidade de milho nas espigas para as temperaturas médias do ar de secagem estudadas e suas respectivas umidades relativas do ar de secagem.....	59
25	Parâmetros da equação ajustada para o cálculo da razão de umidade de milho nas espigas às respectivas temperaturas médias do ar de secagem e às umidades relativas médias do ar de secagem estudadas...	59

LISTA DE FIGURAS

Figuras		Página
01	Curva de adsorção e de dessorção de umidade em um produto qualquer.....	4
02	Cultivares de milho AG 122 e AG 1051.....	16
03	Desenho esquemático do equipamento experimental.....	17
04	(a) Câmara de ar condicionado (b) Equipamento AMINCO-AIR.....	18
05	(a) Câmara para acondicionamento das espigas (b) Bandejas de fundo telado com as espigas.....	20
06	Secador de camada delgada utilizado nos testes.....	21
07	Detalhe do processo para a medir a perda de massa.....	24
08	Ilustração do monitoramento da temperatura e umidade relativa do ar na câmara.....	26
09	(a) Detalhe do termômetro digital para o monitoramento da temperatura (b) Pontos de monitoramento de temperatura.....	27
10	(a) Isoterma de umidade de equilíbrio higroscópico de milho nas espigas a temperatura média do ar de secagem de $44,93 \pm 0,94$ °C, ajustada pelo modelo matemático de SHARAF-ELDEEN, (b) Distribuição dos resíduos em função dos valores estimados.....	33
11	(a) Isoterma de umidade de equilíbrio higroscópico de milho nas espigas a temperatura média do ar de secagem de $50,45 \pm 1,27$ °C, ajustada pelo modelo matemático de SHARAF-ELDEEN, (b) Distribuição dos resíduos, em função dos valores estimados.....	34
12	(a) Isoterma de umidade de equilíbrio higroscópico de milho nas espigas, à temperatura média do ar de secagem de $54,44 \pm 1,45$ °C, ajustada pelo modelo matemático de SHARAF-ELDEEN, (b) Distribuição dos resíduos, em função dos valores estimados.....	35

13	Isotermas de umidade de equilíbrio higroscópico de milho nas espigas, a diferentes temperaturas médias do ar de secagem, ajustadas pelo modelo matemático de SHARAF-ELDEEN.....	36
14	(a) Curva de secagem de milho nas espigas, à temperatura média de $44,93 \pm 0,94$ °C e umidade relativa média de $21,70 \pm 2,42$ %, ajustada pelo modelo matemático de SHARAF-ELDEEN para fluxo de ar de $10 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ e altura de camada de 0,15 m., (b) Distribuição dos resíduos, em função dos valores estimados	41
15	(a) Curva de secagem de milho nas espigas, à temperatura média de $44,93 \pm 0,94$ °C e umidade relativa média de $28,89 \pm 4,26$ %, ajustada pelo modelo matemático de SHARAF-ELDEEN para fluxo de ar de $10 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ e altura de camada de 0,15 m., (b) Distribuição dos resíduos, em função dos valores estimados.....	42
16	(a) Curva de secagem de milho nas espigas, à temperatura média de $44,93 \pm 0,94$ °C e umidade relativa média de $39,63 \pm 5,53$ %, ajustada pelo modelo matemático de SHARAF-ELDEEN para fluxo de ar de $10 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ e altura de camada de 0,15 m., (b) Distribuição dos resíduos, em função dos valores estimados.....	43
17	(a) Curva de secagem de milho nas espigas, à temperatura média de $44,93 \pm 0,94$ °C e umidade relativa média de $49,85 \pm 4,65$ %, ajustada pelo modelo matemático de SHARAF-ELDEEN para fluxo de ar de $10 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ e altura de camada de 0,15 m., (b) Distribuição dos resíduos, em função dos valores estimados.....	44
18	(a) Curva de secagem de milho nas espigas, à temperatura média de $50,45 \pm 1,27$ °C e umidade relativa média de $21,70 \pm 2,42$ %, ajustada pelo modelo matemático de SHARAF-ELDEEN para fluxo de ar de $10 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ e altura de camada de 0,15 m., (b) Distribuição dos resíduos, em função dos valores estimados.....	45
19	(a) Curva de secagem de milho nas espigas, à temperatura média de $50,45 \pm 1,27$ °C e umidade relativa média de $28,89 \pm 4,26$ %, ajustada pelo modelo matemático de SHARAF-ELDEEN para fluxo de ar de $10 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ e altura de camada de 0,15 m., (b) Distribuição dos resíduos, em função dos valores estimados.....	46
20	(a) Curva de secagem de milho nas espigas, à temperatura média de $50,45 \pm 1,27$ °C e umidade relativa média de $39,63 \pm 5,53$ %, ajustada pelo modelo matemático de SHARAF-ELDEEN para fluxo de ar de $10 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ e altura de camada de 0,15 m., (b) Distribuição dos resíduos, em função dos valores estimados.....	47

21	(a) Curva de secagem de milho nas espigas, à temperatura média de $50,45 \pm 1,27$ °C e umidade relativa média de $49,85 \pm 4,65$ %, ajustada pelo modelo matemático de SHARAF-ELDEEN para fluxo de ar de $10 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ e altura de camada de 0,15 m., (b) Distribuição dos resíduos, em função dos valores estimados.....	48
22	(a) Curva de secagem de milho nas espigas, à temperatura média de $(54,44 \pm 1,45^\circ\text{C})$ e umidade relativa média de $(21,70 \pm 2,42\%)$, ajustada pelo modelo matemático de SHARAF-ELDEEN para fluxo de ar de $10 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ e altura de camada de 0,15 m., (b) Distribuição dos resíduos, em função dos valores estimados.....	49
23	(a) Curva de secagem de milho nas espigas, à temperatura média $54,44 \pm 1,45$ °C e umidade relativa média de $28,89 \pm 4,26$ %, ajustada pelo modelo matemático de SHARAF-ELDEEN para fluxo de ar de $10 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ e altura de camada de 0,15 m., (b) Distribuição dos resíduos, em função dos valores estimados.....	50
24	(a) Curva de secagem de milho nas espigas, à temperatura média de $54,44 \pm 1,45$ °C e umidade relativa média de $39,63 \pm 5,53$ %, ajustada pelo modelo matemático de SHARAF-ELDEEN para fluxo de ar de $10 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ e altura de camada de 0,15 m., (b) Distribuição dos resíduos, em função dos valores estimados.....	51
25	(a) Curva de secagem de milho nas espigas, à temperatura média de $54,44 \pm 1,45$ °C e umidade relativa média de $49,85 \pm 4,65$ %, ajustada pelo modelo matemático de SHARAF-ELDEEN para fluxo de ar de $10 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ e altura de camada de 0,15 m., (b) Distribuição dos resíduos, em função dos valores estimados.....	52
26	(a) Curva de secagem de milho nas espigas, à temperatura média do ar de secagem de $36,70 \pm 1,26$ °C, e umidade relativa média do ar de secagem de $46,20 \pm 7,71$ % ajustada pelo modelo matemático de SHARAF- ELDEEN para fluxo de ar de $22 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ e altura de camada de 0,07 m, (b) Distribuição dos resíduos, em função dos valores estimados.....	57
27	(a) Curva de secagem de milho nas espigas, à temperatura média do ar de secagem de $55,18 \pm 9,17$ °C, e umidade relativa média do ar de secagem de $18,56 \pm 5,80$ % ajustada pelo modelo matemático de SHARAF - ELDEEN para fluxo de ar de $22 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ e altura de camada de 0,07 m, (b) Distribuição dos resíduos, em função dos valores estimados.....	58

RESUMO

FONSECA PALACIN, Juan José, M.S., Universidade Federal de Viçosa, março de 2003. **Determinações das curvas de secagem e das isothermas de equilíbrio higroscópico para uma mistura de milho nas espigas (*Zea mays L.*) dos cultivares AG 1051 e AG 122.** Orientador: Adílio Flauzino de Lacerda Filho. Conselheiros: Evandro de Castro Melo e Paulo Roberto Cecon.

O estabelecimento das isothermas de equilíbrio higroscópico é importante para definir limites de desidratação do produto, estimar as mudanças de umidade sob determinada condição de temperatura e umidade relativa do ar ambiente e para definir os valores de umidade propícios ao início da atividade dos agentes patógenos que poderão provocar a deterioração do produto. Assim, desenvolveu-se este trabalho objetivando o estabelecimento das isothermas de equilíbrio higroscópico de milho nas espiga, das variedades AG 1051 e AG 112, e das curvas de secagem em camada fina, das mesmas variedades, na faixa de temperatura entre 37 a 55 °C. Além disso, ajustou-se um modelo matemático que possibilitou estimar a umidade de equilíbrio de sementes de milho nas espigas, estudou-se as curvas de secagem de sementes de milho nas espigas obtidas em camadas delgadas, analisando as isothermas de dessorção, oferecendo, assim, informações sobre o seu comportamento, em ambiente controlado, fornecendo subsídios a pesquisadores, industriais, produtores e extensionistas que pesquisam sobre os problemas de secagem e armazenamento do milho nesta condição. Para se alcançar esses objetivos foram determinadas as isothermas de dessorção e as curvas de secagem.

Os tratamentos foram realizados utilizando-se uma unidade condicionadora de ar (AMINCO-AIR), dotada de dispositivos para o controle da temperatura e umidade relativa e de um sistema de acondicionamento de espigas, composto por três bandejas removíveis com fundo telado, para permitir a passagem do ar por entre a massa de produto. As espigas foram acondicionadas em bandejas com fundo de telas perfuradas, e sua massa individual foi medida em balança digital com capacidade de 10.000 g, com precisão de 0,1 g. O

monitoramento da massa foi feito com intervalos regulares de 4 horas, até atingir a umidade de equilíbrio.

O fluxo de ar do sistema foi calculado a partir da medida da velocidade do ar feita com anemômetro de lâminas rotativas. O fluxo foi mantido constante para todos os tratamentos em, aproximadamente, $10 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$.

As temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido do ar de secagem foram medidas e monitoradas utilizando-se um psicrômetro, instalado no interior da câmara próximo às bandejas contendo as amostras do produto. A umidade relativa do ar foi calculada por meio de um programa computacional (GRAPSI) desenvolvido a partir de equações psicrométricas.

Para obter-se as curvas de secagem, utilizou-se grãos de milho nas espigas, com umidade inicial de $25 \pm 1,0 \%$ b.u. Para os testes experimentais, utilizou-se um secador de camada delgada, que possui uma câmara de secagem com seção circular de 0,53 m de diâmetro e 0,63 m de altura, com o fundo telado. As espigas foram acondicionadas em uma bandeja com seção retangular. O sistema de aquecimento do ar era composto por três resistências elétricas e um regulador de voltagem para ajuste da temperatura. Usou-se um ventilador tubo-axial, dotado de diafragma, para regular a vazão de ar, acionado por um motor elétrico de 186,5 W (0,25 HP).

O secador foi instrumentado para coleta de dados de temperatura e pressão estática. A massa inicial das amostras variou entre 400 e 500 g. Durante os testes, as amostras foram pesadas com intervalos de tempo pré-estabelecidos, definidos em testes preliminares. As umidades inicial e final do produto foram medidas pelo método de estufa com circulação natural de ar, à temperatura de $105 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$, durante 24, 48 e 72 horas.

Realizaram-se testes com ar aquecido às temperaturas de 37°C e $55 \text{ }^\circ\text{C}$ e fluxo de ar de $25 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ para espessura de camada de 0,1 m.

De acordo com os resultados observados, pôde-se concluir que: a) O modelo matemático de SHARAF ELDEEN, ajustado pela utilização das equações de regressão não-linear, pode ser utilizado para prever os valores de umidade de equilíbrio higroscópico e para a elaboração das curvas de secagem de grãos de milho nas espigas; b) a umidade de equilíbrio higroscópico de milho nas espigas aumenta com o aumento da umidade relativa e a diminuição da temperatura; c) a taxa de secagem foi influenciada pela temperatura e umidade relativa do ar de secagem, independentemente da variedade do produto.

ABSTRACT

FONSECA PALACIN, Juan José, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March of 2003. **Determination of drying curves and curves of equilibrium moisture for mix of Corn (*Zea Mays L.*) in spike, cultivates AG 1051 and AG 122.** Adviser: Adílio Flauzino de Lacerda Filho. Committee members: Evandro de Castro Melo and Paulo Roberto Cecon.

The establishment of curves of equilibrium moisture is important to define limits of dehydration of the product, to estimate the humidity changes under certain temperature of air and relative humidity conditions of the atmosphere and to define the favorable humidity values to the beginning of the activity of the pathogens agents that would provoke deterioration of the product. Thus, this work was developed with the purpose of the establishment of curves of equilibrium moisture for ear of corn, varieties AG 1051 and AG 112; and curves of drying in fine layers, for the same varieties in the temperature interval between 37 to 55 °C. Additionally, it was adjusted a mathematical model that facilitates the estimation of the balance humidity of corn seeds in the spikes; it was studied the drying curves of corn seeds in the spikes obtained in fine layers, and it was analyzed the desorption isotherms; offering information about the corn behavior in spike, in certain atmospheres conditions. Moreover, this works could it be used as a small tool of collaboration to other researchers, industry and farmers that intend to overcome the drying and storage problems of corn under these conditions. To be fulfilled those objectives the curves of equilibrium moisture and drying curves were determined.

The treatments were accomplished by using an air conditioning unit (AMINCO-AIR), endowed with devices for the control of the temperature and relative humidity of the supplied air and a system disposal of the spikes with three removable trays with screen bottom, to allow the passage of the air through the product mass. The mass of spikes was set in trays with screen bottom and its individual mass was measured in digital

scale with capacity of 10.000 g and precision of 0,1 g. The mass monitoring was made in regular intervals of 4 hours until a humidity balance was reached.

The flow of air was determined from the speed of the air supplied by the equipment with the aid of a constant rotative anemometer of sheets and maintained for all the treatments in, approximately, $10 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$. The temperature and the relative humidity of the mass of air were measured and monitored being used a psycrometer, installed inside the camera close to the trays contends the samples of the product. The relative humidity of the air was calculated by means of a software (GRAPSI) developed by using psychometrics equations.

For the elaboration of the drying curves, the used product had initial humidity around $25 \pm 1,0 \%$. For the experimental tests a layer fine dryer was used. It possesses a drying camera with circular section of 0,53 m in diameter and 0,63 m of height, with a screen bottom. The spikes were conditioned in a rectangular section tray. Three electric resistances and a voltage regulator to adjustment temperature compose the air heating system. An axial pipe fan was used, endowed with diaphragm, to regulate the flow of air, supplied by an electric motor of 186,5 W (0,25 HP).

The dryer was set properly to collect temperature data and static pressure. The initial mass of the samples varied between 400 and 500 g. During the tests the samples were weighing at pre-established intervals of time, defined in preliminary tests. The initial and final humidity of the product were measured by the gravimetric method at $105 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$, during 24, 48 and 72 hours.

Tests took place with air heated up to temperatures of $37 \text{ }^\circ\text{C}$ and $55 \text{ }^\circ\text{C}$ and flow of air of $25 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ for layer height of 0,1 m.

In agreement with the obtained results it could be ended that: a) SHARAF ELDEEN'S mathematical model, adjusted by the use of the non lineal regression equations, can be used to predict the values of hygroscopic humidity balance and for the elaboration of the drying curves of corn in spike; b) hygroscopic humidity balance of corn in spike increases with increase of relative humidity and decrease of temperature; c) the drying rate was influenced by the temperature and relative humidity of the drying air, independently of the variety of the product.

1. INTRODUÇÃO

O milho é considerado o principal suporte alimentar mundial para a avicultura, suinocultura e bovinocultura. Além disso, tem grande importância como complemento da alimentação humana. Esse produto permanece, na maioria das vezes, com índices crescentes de produção (LACERDA FILHO, 1998).

A produção de grãos e cereais geralmente é afetada pelas deteriorações quantitativa e qualitativa ocasionadas pelos fenômenos climáticos e naturais, causando aumento no custo do produto e diminuição da disponibilidade do alimento e do bem-estar da população.

As operações de pós-colheita e pré-processamento de sementes constituem etapas indispensáveis ao sistema de produção por disporem de tratamentos que proporcionam ao produto a preservação das suas características naturais e o seu preparo para armazenagem segura, garantindo a longevidade de tais características (LACERDA FILHO, 1998).

Entende-se por equilíbrio higroscópico o teor de água no qual a pressão de vapor d'água no produto é igual a do ar que o envolve (SOKHANSANJ e YANG, 1996).

O estudo de adsorção de água por substâncias sólidas, como grãos agrícolas, é feito através de isotermas.

A isoterma é uma curva que descreve a quantidade de água adsorvida ou desorvida por uma substância, em temperatura constante, estabelecendo-se uma função de equilíbrio entre a pressão de vapor e a atividade de água ou umidade relativa de equilíbrio.

Dados de equilíbrios higroscópicos de vários materiais têm sido obtidos por vários pesquisadores, devido às importantes aplicações a que se destinam. A maioria dos trabalhos existentes trata das isotermas de equilíbrio higroscópico para o processo de dessecção. Estas isotermas podem ser utilizadas para: a) Definir os limites de desidratação de frutas, vegetais e grãos; b) estimar as trocas de umidade sob

determinadas condições de temperatura e umidade relativa; c) avaliar as variáveis de processamento; d) distinguir diferenças entre classificação ou variedades de produtos agrícolas; e e) definir umidade ou condições de umidade, sob a qual há deterioração do produto (ROCKLLAND, L.B., 1957).

A utilização de modelos matemáticos de simulação de secagem tem auxiliado muito o projeto, o desenvolvimento, a avaliação e a otimização de secadores. Os modelos desenvolvidos por THOMPSON et al. (1968), de natureza semiteórica, foram usados com sucesso na simulação de secagem de milho, apesar das simplificações admitidas no seu desenvolvimento. Modelos mais fundamentados teoricamente, leis de transferência simultânea de energia e de massa foram apresentados por BAKKER-ARKEMA et al. (1978), e têm, por isso, a aplicação mais geral na simulação de secagem de produtos biológicos. O modelo de equilíbrio higroscópico e de secagem de milho na espiga proposto por SHARAF – ELDEEN et al. (1980), constitui uma ferramenta interessante para o conhecimento do comportamento deste produto. Mesmo assim, há necessidade de dados experimentais para a validação desses modelos.

Com o estabelecimento das isotermas de dessorção de equilíbrio higroscópico de milho na espiga, pretende-se, neste trabalho, oferecer informações sobre o seu comportamento, em determinados ambientes, bem como contribuir com outros pesquisadores, industriais e produtores na redução de problemas de secagem e armazenamento do milho. Entretanto, seria impossível tentar, para cada variedade ou híbrido de milho, obter os diversos valores de umidade de equilíbrio sob diversas combinações de temperatura e umidade relativa. Isto demandaria tempo e trabalho, o que mostra a necessidade de se obter uma equação ou a validação que permita a previsão dos valores de umidade de equilíbrio com maior precisão.

Em função destas informações, este trabalho teve como objetivos:

- a. Obter as isotermas de umidade de equilíbrio de milho nas espigas, das misturas das variedades AG 1051 e AG 112, e as curvas de secagem em camada fina, das mesmas variedades, na faixa de temperatura entre 30 a 55 °C;
- b. ajustar um modelo matemático que possibilite estimar a umidade de equilíbrio e a razão de umidade de sementes de milho nas espigas; e
- c. estudar as curvas de secagem de sementes de milho nas espigas, obtidas em camadas delgadas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Equilíbrio higroscópico

A secagem é o processo que envolve a remoção de água do produto, por meio do transporte de energia e massa. A condição necessária para que ocorra a secagem é que o teor de água do produto esteja acima do valor correspondente ao da umidade de equilíbrio, para as condições preestabelecidas de temperatura e de umidade relativa do ar de secagem (FORTES e OKOS, 1981).

O milho é um material higroscópico e pode perder ou ganhar umidade para o ambiente. Este fenômeno pode ocorrer com outros grãos, além de outros produtos agrícolas que, quando armazenados, podem apresentar variações na umidade de equilíbrio, até atingirem o equilíbrio higroscópico.

BROOKER et al. (1974) afirmaram que o equilíbrio higroscópico depende da variedade do grão, da maturidade, da história, das técnicas de medida da umidade relativa e do método de determinação da umidade de equilíbrio. Afirmaram, também, que os grãos com alto teor de óleo adsorvem menos umidade do que aqueles ricos em amido.

A atividade de água, ou umidade relativa de equilíbrio, é definida como a relação entre a pressão de vapor da água contida no produto e a pressão da água livre, à mesma temperatura (equação 1).

$$A_a = \frac{p_p}{p_0} = \frac{UR}{100} \quad (1)$$

em que:

A_a = atividade de água;

p_p = pressão exercida pela água ligada ao produto à determinada temperatura, kPa;

p_0 = pressão da água livre, à mesma temperatura, kPa; e

UR = umidade relativa de equilíbrio do ar, %.

O teor de água de um produto em equilíbrio com a umidade relativa pode ter dois valores, um quando o produto está adsorvendo umidade e outro quando estiver secando. A isoterma pode ser descrita por uma sigmóide, conforme a apresentada na Figura 1.

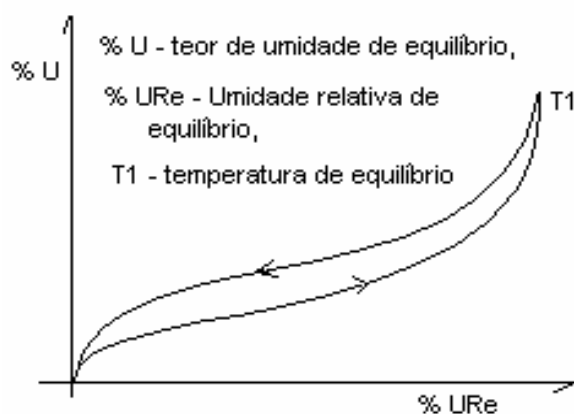


Figura 1 - Curva de adsorção e de dessorção de umidade em um produto qualquer.

De acordo com HALL (1980), o estabelecimento de isotermas de equilíbrio higroscópico é importante para definir limites de desidratação do produto, estimar as mudanças de umidade sob determinada condição de temperatura e umidade relativa do ambiente e definir os valores de umidade propícios ao início da atividade dos agentes patogênicos que poderão provocar a deterioração do produto.

A relação entre a umidade de um produto e a umidade relativa de equilíbrio, em determinada temperatura, pode ser expressa por equações matemáticas. As curvas geradas por essas equações são conhecidas como isotermas de equilíbrio higroscópico. HUNT e PIXTON (1974) relataram que, para muitos produtos, inclusive grãos e cereais, a umidade de equilíbrio em determinada temperatura corresponde a dois valores de umidade relativa, dependendo se o produto está adsorvendo ou dessorvendo umidade. De acordo com SINHA e MUIR (1973), isotermas de adsorção apresentam

valores de umidade de equilíbrio inferiores aos das isotermas de dessorção. A defasagem entre essas duas curvas de isotermas é conhecida como histerese.

Pesquisadores têm demonstrado o efeito da histerese na adsorção e dessorção de umidade em diferentes produtos (YOUNG e NELSON, 1967; HENDERSON, 1970; WHITE et al., 1972; FRIESEN, 1974; NGODDY e BAKKER-ARKEMA et al, 1975; ROMAN et al., 1982; CAVALCANTI MATA et al., 1985; CHEN, 2000). CAVALCANTI MATA (1997), estudando o fenômeno de higroscopicidade em sementes de feijão, verificou que a histerese tende a decrescer com o aumento da temperatura e, considerando-se a umidade relativa do ar da atmosfera circundante, que o valor da histerese cresce quando a umidade relativa aumenta de 10 até 60%, sendo decrescente a partir deste valor para umidades relativas mais elevadas.

Várias teorias têm sido propostas para explicar a histerese em produtos biológicos, no entanto, o fenômeno continua à espera de teorias que descrevam de fato este efeito. Kraemer e Taylor, citados por BROOKER et al. (1992), propuseram a seguinte teoria para explicar a histerese em produtos agrícolas: os grãos são materiais porosos formados por capilares estreitos de pequenos diâmetros e tubos de diâmetros maiores, e durante o processo de dessorção, os poros de pequenos diâmetros controlam o esvaziamento dos capilares, resultando na redução da umidade relativa do espaço poroso do grão. Quando o grão ganha umidade no processo de adsorção, os capilares não são preenchidos completamente, fazendo com que a umidade relativa anterior não seja alcançada. A teoria, entretanto, não explica por que não ocorre o preenchimento dos tubos de diâmetros maiores. Já Seehof e colaboradores, citados por CHUNG e PFOST (1967), explicaram que uma molécula de água pode estar ligada a dois grupos polares. Na dessorção, o adsorvente perde água, fazendo com que os grupos polares se aproximem, tornando pequena a distância entre si, o que dificulta a penetração da molécula de água no processo de adsorção, diminuindo, assim, a umidade do produto.

CHUNG e PFOST (1967) observaram, para o trigo, que o efeito da histerese tende a desaparecer depois de sucessivos ciclos de adsorção e dessorção, e explicaram este fenômeno pelos conceitos de quebra molecular e formação de trincas e rachaduras no produto, causadas pela alternância dos movimentos de expansão e encolhimento, devido aos ciclos de adsorção e dessorção. Depois desses ciclos de sorção, as estruturas química e física do produto torna-se-iam mais estáveis, o que implicaria na redução da histerese exibida inicialmente pelos grãos. Os pesquisadores relataram, ainda, que o calor de dessorção é maior que o de adsorção, e sugerem que isto poderia ser devido ao fato de os sítios polares do adsorvente serem mais eficientes na dessorção que na

adsorção. Justificaram a hipótese com o conceito de que, com a contração molecular, ocorre redução na capacidade de ligação da água aos constituintes polares na superfície do grão.

Pela teoria da adsorção de multicamadas, proposta por Brunauer-Emmett-Teller, citados por CHRISTENSEN (1974), a primeira parte da isoterma, onde a curva apresenta concavidade para o eixo correspondente aos valores de umidade relativa, representa a adsorção da primeira camada de vapor d'água sobre a superfície absorvedora do produto; a região de inflexão representa a deposição da segunda camada de moléculas de água, e o final da curva representa a adsorção continuada destas moléculas.

Para muitas proteínas, o número de moléculas d'água adsorvida é próximo ao de posições polares na cadeia do polímero.

Em cada um dos três seguimentos da isoterma existe uma relação diferente entre a pressão de vapor e o conteúdo de água. Na porção inicial da isoterma, a pressão de vapor/teor de água é governada pela energia de ligação entre a molécula e a superfície absorvedora. A energia de ligação depende desta superfície, da constituição química e das propriedades físicas e químicas da água. A magnitude da energia de ligação será função destes vários fatores. A intensidade de deslocamento da isoterma na direção do eixo correspondente ao teor de água é uma indicação da energia de ligação entre a água e a superfície absorvedora (CHRISTENSEN, 1974).

No intermédio, quase linear, moléculas de água são depositadas sobre outras moléculas de água já depositadas na camada anterior e, para uma pequena extensão em posições polares, ocorrerá pouca influência da superfície adsorvedora sobre as propriedades da água. A energia envolvida neste processo é, predominantemente, aquela da condensação de água. Nesta faixa, a quantidade de adsorção é extremamente dependente da pressão de vapor.

Mostrou-se, em estudos de cinética de adsorção de água em milho amarelo, que os fatores influentes neste processo, em ordem de importância, são: pressão de vapor, umidade inicial do produto e temperatura.

Na faixa de elevado teor de água, a pressão de vapor é primariamente determinada pela segunda camada que cobre toda a superfície. A adição de uma terceira e quarta camadas sucessivas pode resultar em condensação capilar. A água depositada em cada camada possui, aproximadamente, as mesmas propriedades da água existente nas camadas precedentes. Assim, a quantidade de água é sorvida muito rapidamente

nesta faixa, enquanto a pressão de vapor só é influenciada moderadamente (CHRISTENSEN, 1974).

Chung e Pfof, citados por CHRISTENSEN (1974), observaram que a energia livre e a energia de adsorção e dessorção de isotermas de milho e seus produtos variam entre 67 e 44 $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, na faixa de umidade entre 4 e 21 % b.u., à temperatura de 31 °C.

ROA e ROSSI (1977) definiram a diferença entre a umidade inicial do produto a ser secado e a umidade de equilíbrio higroscópico, quando submetido a condições controladas de temperatura e umidade relativa do ar, como potencial de secagem do produto, ou seja, o material só poderá ser secado até a umidade de equilíbrio para as condições pré-estabelecidas de temperatura e umidade relativa.

A composição do produto influencia diretamente o processo de sorção de água. Segundo BROOKER et al. (1992), grãos com elevado teor de óleo adsorvem menor quantidade de água do ambiente do que os grãos com alto teor de amido. Além disso, a variedade, a maturação, a umidade e as condições físicas e sanitárias, além da maneira pela qual o equilíbrio foi obtido (adsorção ou dessorção), são determinantes para o estabelecimento da umidade de equilíbrio de produtos higroscópicos (CHEN, 2000; FAN et al., 2000).

CAL-VIDAL (1982) reportou que a adsorção de água em produtos agrícolas tem natureza diversa. Diferentes porções de água podem ser mantidas nos espaços intergranulares e no interior da massa porosa do material. O grau de associação das moléculas de água com a substância adsorvente irá depender da natureza química dos diversos compostos orgânicos do grão e da existência de forças intermoleculares do tipo de Van der Waals, responsáveis pela adsorção física e, ainda, das possíveis ligações químicas e atrações entre moléculas de água e grupamentos eletronegativos devido à formação de pontes de hidrogênio.

Sabe-se que para remover a umidade associada a um material higroscópico, a energia necessária é maior do que a utilizada para vaporizar igual quantidade de água livre, nas mesmas condições de pressão e temperatura. Esse adicional de energia, em virtude das forças de ligação entre a água e a superfície da substância adsorvente, é denominado calor de dessorção nos processos de secagem. Para os casos de adição de umidade, essa energia é denominada calor de adsorção (CAL-VIDAL, 1982; ROMAN et al., 1982; WANG e BRENNAN, 1991; BERISTAIN et al., 1994; ARAUJO, 1999).

Dois métodos são comumente empregados para determinar experimentalmente as curvas de umidade de equilíbrio: o dinâmico e o estático. No método dinâmico, o grão ou o ar é movimentado até que o grão atinja o equilíbrio. No método estático, o

equilíbrio higroscópico entre o produto e o ambiente é atingido sem movimentação do ar (WANG e BRENNAN, 1991; JAYAS e MAZZA, 1993; CHEN, 2000). SILVA et al. (1995) observaram que com o método dinâmico pode-se atingir o equilíbrio em menor intervalo de tempo do que o exigido para o método estático, sob as mesmas condições. GUSTAFSON e HALL (1974) estudaram o efeito da agitação do ar na câmara empregada no método estático, utilizando soluções saturadas de sais, e concluíram que o tempo necessário para alcançar a umidade de equilíbrio de grãos de milho foi reduzido com a movimentação da massa de ar. CHITTENDEN (1961) afirmou que a passagem de ar através da massa de grãos diminui a resistência externa à transferência de umidade. No entanto, o tempo para que o equilíbrio seja atingido depende da resistência interna à difusão de umidade no interior do produto.

Dentre os vários modelos propostos para prever a umidade de equilíbrio em produtos de origem agrícola, o mais empregado é o estabelecido por HENDERSON (1952). Utilizando a equação de adsorção de Gibbs, o autor derivou a equação 2 para explicar as curvas de umidade de equilíbrio de produtos biológicos, incluindo os grãos agrícolas.

$$1 - UR = \exp(-a' Ue^b) \quad (2)$$

em que:

UR = umidade relativa do ar, decimal;

Ue = umidade de equilíbrio, decimal base seca.; e

a' e b = parâmetro que dependem do produto.

Na equação 2, o efeito da temperatura foi introduzido a partir da equação termodinâmica de Gibbs para adsorção. Assim, o parâmetro a' foi estabelecido como função da temperatura, tendo a equação 2, em sua forma final, a equação 3.

$$1 - UR = \exp(-a.T_{abs}.Ue^b) \quad (3)$$

em que:

UR = umidade relativa, decimal;

U_e = umidade de equilíbrio, decimal base seca;

T_{abs} = temperatura absoluta, K; e

a e b = constantes do produto, adm.

O modelo proposto por HENDERSON (1952) tem sido modificado por alguns autores. THOMPSON e SHEDD (1954) ajustaram dados experimentais de umidade de equilíbrio de milho e propuseram o modelo matemático, apresentado conforme a equação 4:

$$1 - UR = \exp[-a.(T + b).Ue^c] \quad (4)$$

em que:

UR = umidade relativa, decimal;

T = temperatura do ar, °C;

a , b e c = constantes experimentais, adm; e

Ue = umidade de equilíbrio, decimal base seca.

Diversos pesquisadores afirmam que a equação 4 permitiu a estimativa adequada de valores de umidade de equilíbrio de vários produtos, contemplando uma larga faixa de temperatura e umidade relativa do ar (CHRIST, 1996; PENA et al., 1997; CORRÊA e MOURE, 2000).

Roa, citado por ROSSI e ROA (1980), desenvolveu, empiricamente, um modelo matemático para descrever as curvas de umidade de equilíbrio de vários produtos biológicos. O modelo, apresentado na equação 5, tem a forma:

$$Ue = (p_1.UR + p_2.UR^2 + p_3.UR^3). \exp[(q_0 + q_1.UR + q_2.UR^2 + q_3.UR^3 + q_4.UR^4).(T + q_5)] \quad (5)$$

em que:

Ue = umidade de equilíbrio, dec. b.s.;

UR = umidade relativa, %;

T = temperatura do ar, °C; e

$p_1, \dots, p_3, q_0, \dots, q_5$ = constantes que dependem do produto

2.2. Secagem de produtos agrícolas

Ohja, citado por LACERDA FILHO (1998), definiu secagem como sendo o método universal para o condicionamento de grãos, pela remoção de umidade, a um nível tal que eles fiquem em equilíbrio com o ar ambiente, de maneira a preservar a aparência e a qualidade nutritiva dos grãos, como alimento, e a sua viabilidade, como semente.

A secagem é o processo comercial mais utilizado para a preservação da qualidade dos produtos agrícolas. Consiste na remoção de grande parte de água inicialmente contida no produto, logo após seu amadurecimento fisiológico, a um nível máximo de umidade no qual possa ser armazenado em condições ambientais durante longos períodos. Tal efeito é conseguido pela criação de condições desfavoráveis ao desenvolvimento de microrganismos no produto e pela quase total eliminação de suas atividades metabólicas.

A utilização da secagem em produtos agrícolas é também importante sob outros pontos de vista:

- a) Permite que a colheita seja feita mais cedo do que aquela em que o produto permanece secando na própria planta, com a conseqüente diminuição das perdas ocasionadas por insetos, pássaros, roedores e condições climáticas adversas, permitindo ainda a maior flexibilidade na utilização do solo para o próximo plantio;
- b) permite o planejamento da colheita, proporcionando melhor uso de máquinas e de mão-de-obra;
- c) permite ao produtor tomar as vantagens de preço mais alto durante a entressafra, quando este associa o armazenamento ao processo da secagem, bem como às instituições governamentais a manter estoques reguladores de mercado;
- d) permite a manutenção da viabilidade de sementes pela redução do seu teor de água, com a conseqüente diminuição da taxa respiratória e outras reações, limitando o desenvolvimento de microrganismos e mantendo a germinação durante longo período;
- e) permite ao produtor vender um produto de melhor qualidade, auferindo-lhe melhores resultados; e
- f) permite economia no custo de transporte e de manuseio, pela redução do peso devido à secagem, diminuindo o custo energético e de mão-de-obra na etapa de distribuição.

A principal vantagem da secagem comparada com outros métodos de preservação, tais como refrigeração, irradiação, enlatamento e tratamentos químicos, é baseada no baixo custo e na simplicidade da operação (ROSSI e ROA, 1980).

A secagem é praticada a fim de prevenir a germinação das sementes, reter a máxima qualidade do grão e atingir um nível seguro de umidade no qual o crescimento de fungos e bactérias seja inibido, e o desenvolvimento de insetos e ácaros, retardado (HALL, 1980). Essencialmente, podem ser considerados dois métodos de secagem: natural e artificial (HALL, 1980; LASSERAN, 1979). A secagem natural é realizada na própria planta pela ação do sol e do vento e depende totalmente das condições atmosféricas (BOLDUC, 1978).

A capacidade de secagem e a qualidade final do produto seco dependem completamente das condições climáticas.

A secagem artificial permite a rápida redução da umidade dos grãos, evitando, deste modo, alterações características dos produtos úmidos (oxidação dos glucídios, fermentações intracelulares e desenvolvimento de bactérias e fungos, geralmente acompanhados de aquecimento do grão). A secagem artificial baseia-se principalmente na passagem forçada de ar, à temperatura ambiente ou aquecido, através do produto, para conseguir condições favoráveis e incrementar a taxa e a capacidade de secagem (BOLDUC, 1978; HALL, 1970).

ROSSI e ROA (1980) afirmaram que entre os diversos métodos de preservação da qualidade de produtos agrícolas, a secagem apresenta a vantagem de ser uma operação simples e, entretanto, sabe-se que esse processo, se mal conduzido, pode trazer sérios problemas ao produto.

Vários parâmetros têm influência no tempo necessário para reduzir a umidade ao nível seguro para armazenamento, para os diferentes tipos de grão. Os principais fatores a considerar são: temperatura, umidade relativa e vazão do ar, umidade inicial e final e tipo de grão. Em termos gerais, segundo BROOKER et al. (1974), pode-se afirmar que quanto maior a temperatura e vazão, e menor a umidade relativa do ar de secagem, menor será o tempo necessário para secar o produto. Para cada tipo de grão, o tempo de secagem será maior quanto mais alta for a umidade inicial e mais baixa a umidade final do produto.

A secagem é um processo simultâneo de transferência de energia e de massa (QUEIROZ, 1984). Produtos biológicos com elevados teores de água, quando submetidos à secagem sob condições externas constantes, apresentam taxa de perda de

umidade constante durante o período inicial de secagem, seguido por um período de taxa decrescente (BROOKER e BAKKER-ARKEMA, 1974).

A secagem de grãos de cereais é geralmente realizada no período de taxa decrescente. Neste caso, a resistência interna do material ao transporte de umidade é maior do que a resistência externa. Para a estimativa da taxa de secagem desses produtos deve-se considerar, além dos mecanismos de transferência externa (transferência convectiva de energia e massa), os mecanismos de transferência interna da partícula (difusão de massa e energia) (FORTES et al, 1982; MARTINS et al, 1982).

De acordo com BROOKER et al. (1975), a secagem de produtos agrícolas em camadas finas apresenta duas fases distintas: a) taxa constante de secagem; e b) taxa decrescente de secagem. A fase de taxa constante pode ser observada na secagem de produtos biológicos com alta umidade inicial (acima de 70 % b.u.). Normalmente, acima dessa faixa de umidade, a resistência interna ao transporte de umidade é muito menor que a resistência externa à remoção de umidade da superfície. Já a fase de taxa decrescente caracteriza-se pela descontinuidade da camada de água na superfície de evaporação. A resistência interna ao transporte de umidade torna-se maior que a resistência externa.

O milho, quando tradicionalmente colhido nas espigas, apresenta teor de água inferior a 18 % b.u.. Desta forma, a secagem é realizada naturalmente na planta, podendo ocorrer perdas durante e após a sua realização, visto que o produto fica exposto às condições adversas de clima durante um tempo prolongado, principalmente no caso de pequenos produtores (MANTOVANI , 1976).

No processo de secagem de milho nas espigas, a parte embrionária da semente fica mais protegida com relação à temperatura do ar de secagem (SILVA 1985).

No processo de secagem é necessário levar em consideração a temperatura do ar, principalmente quando se trata de sementes. Temperatura alta reduz a germinação e o vigor das sementes, podendo alterar suas características químicas e físicas (TOLEDO e MARCOS FILHO, 1977).

Herter e Burris, citados por CAVARIANI (1996), afirmaram que a pré-secagem de sementes de milho, nas espigas, à temperatura de 35°C, resultou em tolerância à secagem posterior, realizada à temperatura de 50°C. O tempo de residência e a redução do teor de água, durante a pré-secagem, foram considerados como fatores de indutância à tolerância.

A secagem precisa ser conduzida cuidadosamente, em função dos teores de água que a espécie permite, para as condições em que se pretende armazenar (CARVALHO e NAKAGAWA, 1988).

SHARAF – ELDEEN et al. (1980), realizaram testes de secagem de milho na espiga, para a faixa de temperatura do ar de secagem entre 35 e 74 °C, obtendo a equação 6, empírica:

$$RU = A \cdot e^{-k_d \cdot t} + (1 - A) \cdot e^{-B \cdot k_d \cdot t} \quad (6)$$

em que:

RU = razão de umidade, adm;

t = tempo de secagem, h;

e = base de logaritmo neperiano;

$A = 0,8459$;

$B = 0,1278$; e

$$k_d = e^{\left[6,8 + (0,0195 \cdot T_{abs} - 9,75) U_0 - \frac{2619}{T_{abs}} \right]}$$

T_{abs} = temperatura absoluta do ar, °K; e

U_0 = umidade inicial do produto, % base seca.

Hukill, citado por PINTO et al. (1991), desenvolveu um modelo matemático para representar o processo de secagem em camadas profundas. No modelo, a razão de umidade dos grãos em determinada posição da camada, após um tempo qualquer e depois de iniciada a secagem, é obtido por meio da equação 7.

$$RU = \frac{2^D}{2^D + 2^Y - 1} \quad (7)$$

em que:

D = adimensional de profundidade, adm; e

Y = adimensional de tempo, adm.

Pela definição, observa-se que a razão de umidade varia de 0, quando o produto atingiu a umidade de equilíbrio, até 1, cujo teor de água é o inicial.

O adimensional de tempo pode ser estimado pela equação 8.

$$Y = \frac{t}{H} \quad (8)$$

em que:

Y = adimensional de tempo, adm;
 H = tempo de meia resposta, h; e
 t = tempo após o início da secagem, h.

O tempo de meia resposta é definido como o tempo necessário para que a razão de umidade seja reduzida de 1 para 0,5, de 0,5 para 0,25,...etc, considerando-se as condições estabelecidas para a secagem.

Para o milho, o tempo de meia resposta pode ser estimado pela equação 9.

$$H = e^{(2,413-0,016 \cdot U_0+0,003 \cdot T-0,001 \cdot U_0 \cdot T)} \quad (9)$$

em que:

U_0 = umidade inicial das sementes, dec. b.s;
 T = temperatura do ar de secagem, °C.

A equação do tempo de meia resposta pode ser obtida por meio das equações empíricas de secagem em camada delgada. Essas equações geralmente são definidas em função da temperatura, da umidade relativa e do tempo, conforme a equação 10.

$$RU = f(T, UR, t) \quad (10)$$

em que:

RU = razão de umidade, adm;
 UR = umidade relativa, %;
 T = temperatura do ar de secagem, °C; e
 t = tempo após o início da secagem, h.

Por último, tem-se que o fator de profundidade (D) que contém uma quantidade de matéria seca (MS) é calculado pela equação 11, de balanço de energia, fazendo o tempo t igual ao tempo de meia resposta H , ou seja:

$$MS = \left[\frac{60 \cdot Q \cdot c_a \cdot (T - T_e) \cdot H}{v \cdot h_v (U_0 - U_e)} \right] \quad (11)$$

$$D = \frac{MS}{A_s \cdot W} \quad (12)$$

$$W = \frac{P}{1 + U_0} \quad (13)$$

em que:

MS = massa de matéria seca, kg;

h_v = calor latente de vaporização, (kcal/kg de ar seco);

Q = vazão do ar de secagem, $m^3 \cdot \text{min}^{-1}$;

c_a = calor específico do ar de secagem, $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$;

U_e = umidade de equilíbrio, dec. b.s;

T_e = temperatura de equilíbrio, $^\circ\text{C}$;

A_s = área de secagem, m^2 ;

W = massa específica de material seca, $\text{kg} \cdot m^{-3}$;

v = volume específico do ar, $m^3 \cdot \text{kg}^{-1}$;

P = massa específica aparente do produto, $\text{kg} \cdot m^{-3}$

Normalmente, a colheita de sementes de milho nas espigas é realizada com teor de água entre 27 e 35% b.u, tornando a operação de secagem imprescindível para reduzir esta umidade, em geral, entre 12 e 13 % b.u. Realizada artificialmente, a secagem das sementes nas espigas necessita de um tempo até três vezes superior ao necessário para a secagem de sementes debulhadas (Bakker-Arkema, citado por AHRENS et al., 1998).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado na Área de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Vegetais – DEA, nas dependências da Universidade Federal de Viçosa.

Foram utilizadas espigas de milho (*Zea mays L.*) dos cultivares AG 1051 e AG 112, produzidas no município de Coimbra-MG, fornecidas pelo Departamento de Fitotecnia, em um campo experimental da UFV, ano agrícola 2001/2002, com teor de água de $25 \pm 1,0$ % b.u. As variedades foram misturadas facilitando as medições de umidade de equilíbrio e as curvas de secagem correspondentes, com a finalidade de obter resultados que serão utilizados nas operações de secagem.

A Figura 2 ilustra os cultivares de milho utilizados no experimento.



Figura 2 – Cultivares de milho AG 122 e AG 1051

A seleção das espigas foi feita manualmente, atendendo às condições de higiene e fitossanitárias necessárias para a obtenção de sementes com boa qualidade. Para a observação dos defeitos das espigas, foram considerados os danos visuais aparentes causados por roedores, pássaros, insetos, microrganismos, agentes mecânicos e intempéries.

As espigas foram colhidas manualmente, com o propósito de garantir a qualidade das sementes, evitando possíveis danos mecânicos. Foram acondicionadas em invólucros de polipropileno e armazenadas em câmara fria, à temperatura de 4 ± 2 °C, até o momento das avaliações experimentais.

Antes de serem submetidas aos tratamentos experimentais, as espigas, foram despalhadas manualmente e permaneceram em ambiente natural durante aproximadamente 24 horas, com a finalidade de atingir o equilíbrio térmico.

3.1 Isotermas de equilíbrio higroscópico

Os tratamentos de sorção de umidade, para o milho nas espigas, foram realizados com três níveis de temperatura média de $44.9 \pm 0,94$ °C; $50.4 \pm 1,27$ °C e $54.4 \pm 1,45$ °C e quatro níveis de umidades relativas médias de $21.7 \pm 2,42$ %; $28.8 \pm 4,26$ %; $39.6 \pm 5,53$ % e $49.8 \pm 4,65$ %.

Foram realizados três testes de secagem para cada tratamento.

Os tratamentos foram realizados utilizando-se uma unidade condicionadora de ar, modelo AMINCO-AR 150/300 CFM, equipada com dispositivos para o controle da temperatura, umidade relativa do ar e um sistema de acondicionamento das espigas, composto por três bandejas removíveis, com fundo telado, para permitir a passagem do ar por entre a massa do produto (Figura 3).

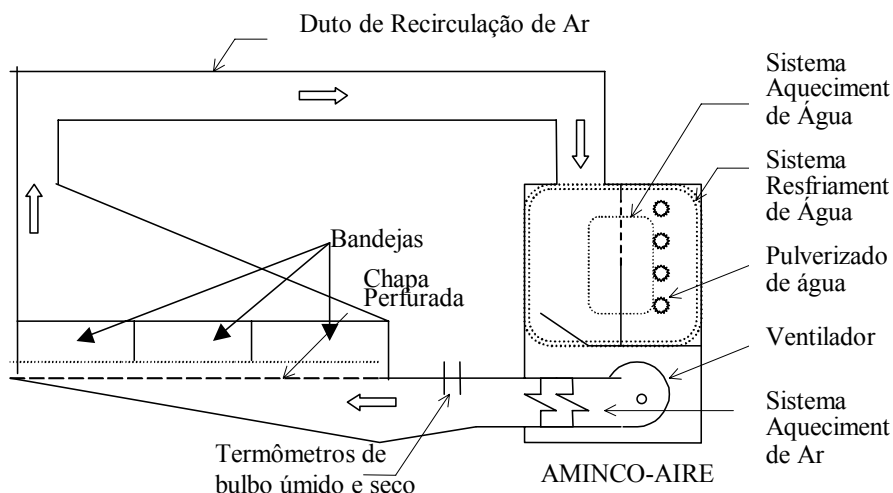


Figura 3- Desenho esquemático do equipamento experimental.

As espigas foram acondicionadas em bandejas com fundo de tela, e sua massa individual foi medida em balança digital com capacidade de 10.000 g e precisão de 0,1 g. O monitoramento da massa foi feito a intervalos regulares de 1 hora, durante as primeiras 8 horas e, a partir daí, em intervalos regulares de 4 horas até atingir a umidade de equilíbrio.

Considerou-se que o equilíbrio higroscópico foi alcançado quando a variação da massa das espigas de milho, entre três pesagens, fosse igual ou inferior a 0,1 g.

A vazão específica do ar foi obtida a partir da medida da velocidade média do ar fornecida pelo equipamento com um anemômetro de lâminas rotativas (hélice). O fluxo foi mantido constante para todos os tratamentos com $10,0 \pm 0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$.

A temperatura do ambiente e do bulbo úmido da massa de ar de secagem foram medidas e monitoradas utilizando-se um psicrômetro, instalado no interior da câmara, próximo às bandejas, contendo as amostras do produto. A umidade relativa do ar foi calculada por meio do programa computacional (GRAPSI), desenvolvido a partir de equações psicrométricas.

A figura 4 ilustra o equipamento condicionador de ar (AMINCO-AR), acoplado a uma câmara, utilizada nos teste de determinação das isotermas de umidade de equilíbrio e curvas de secagem de milho em espiga.



(a)



(b)

Figura 4 – (a) Câmara de ar condicionado (b) Equipamento AMINCO-AR

3.2 Planejamento experimental

Os tratamentos de dessecção de umidade, para o milho nas espigas, foram dispostos em um esquema fatorial 3 x 4, com três níveis de temperatura média de $44.9 \pm 0,94$ °C; $50.4 \pm 1,27$ °C e $54.4 \pm 1,45$ °C e quatro níveis de umidades relativas médias de $21.7 \pm 2,42$ %; $28.8 \pm 4,26$ %; $39.6 \pm 5,53$ % e $49.8 \pm 4,65$ %, no delineamento inteiramente casualizado.

Foram realizados três testes de secagem para cada tratamento.

Para realizar o ajuste dos modelos matemáticos de umidade de equilíbrio, para o milho na espiga, foram realizadas análises de regressões não-lineares, método de Gauss-Newton, empregando o Programa SAS, versão 6.12.

Para o cálculo das constantes do modelo de umidade de equilíbrio proposto por SHARAF-ELDEEN, realizou-se o seguinte procedimento:

$$Ue = a \left[\frac{-\ln(1 - UR)}{T_{abs}} \right]^b \quad (14)$$

$$Ue = a(X)^b \quad (15)$$

em que:

Ue = umidade de equilíbrio nas condições de secagem, bs;

T_{abs} = temperatura absoluta (°K);

UR = umidade relativa (decimal);

a e b = constantes experimentais.

3.3 Sistema de secagem

3.3.1 Sistema condicionador de ar

Foram utilizados os resultados observados na determinação das isotermas de equilíbrio higroscópico onde buscou-se o mínimo desvio para o controle das condições do ar, o que garante uma descrição detalhada das curvas de secagem para as três temperaturas médias estudadas e as diferentes umidades relativas médias observadas.

Foram realizados 12 tratamentos com três repetições cada.

A figura 5 mostra a câmara onde foram acondicionadas as espigas que contêm as bandejas de fundo telado.



(a)

(b)

FIGURA 5 – (a) – Câmara para acondicionamento das espigas.(b) - Bandejas de fundo telado com as espigas

3.3.2 Secador de milho nas espigas

Para a elaboração das curvas de secagem, secou-se milho nas espigas com teor de água inicial igual a $25 \pm 2,0$ % b.u. Para os testes experimentais, utilizou-se um secador de camada delgada, que possuía uma câmara de secagem com seção circular de 0,53 m de diâmetro e 0,63 m de altura, com o fundo telado. As espigas foram acondicionadas em uma bandeja com seção retangular. O sistema de aquecimento do ar era composto por três resistências elétricas e um regulador de voltagem para ajuste da temperatura. Utilizou-se, para insuflar o ar de secagem, um ventilador tubo-axial, equipado com diafragma, para regular sua vazão, acionado por um motor elétrico de 186,5 W (0,25 HP).

O secador foi instrumentado para as coletas de dados de temperatura e pressão estática. A massa inicial das amostras variou entre 400 e 500 g. Durante os testes, as amostras foram pesadas em intervalos regulares em 1 hora, durante as primeiras 8 horas e, a partir daí, em intervalos regulares de 4 horas, para se obter um número de pontos suficientes para realizar uma boa descrição da curva de secagem.

Os testes de secagem foram realizados com temperaturas médias do ar de $36,7 \pm 1,26^{\circ}\text{C}$ e $55,2 \pm 9,17^{\circ}\text{C}$ e fluxo de ar de $25 \pm 1,5 \text{ m}^3\text{min}^{-1}\text{m}^{-2}$, para uma altura de camada de 0,1 m.

A Figura 6 contém a unidade de secagem utilizada, composta por uma fonte de calor, sistema de ventilação e secador de lotes, em camada fina para secagem de milho nas espigas. O secador foi construído em metal, e possui uma câmara composta com uma bandeja onde foram colocadas às espigas e realizado o monitoramento das temperaturas do grão e do sabugo. (Figura 6)



Figura 6 – Secador de camada delgada utilizado nos testes.

3.4 Planejamento experimental

3.4.1 Sistema condicionador de ar (AMINCO-AIR)

Os tratamentos de secagem, para o milho nas espigas, foram dispostos em um esquema fatorial 3 x 4, com três níveis de temperatura média de $44.9 \pm 0,94$ °C; $50.4 \pm 1,27$ °C e $54.4 \pm 1,45$ °C e quatro níveis de umidades relativas médias de $21.7 \pm 2,42$ %; $28.8 \pm 4,26$ %, $39.6 \pm 5,53$ % e $49.8 \pm 4,65$ %, no delineamento inteiramente casualizado.

Foram realizados três testes de secagem para cada tratamento.

3.4.2 Secador de milho nas espigas

Os tratamentos de secagem para o milho nas espigas foram dispostos em um esquema fatorial 2 x 2, com dois níveis de temperatura média de $36.7 \pm 1,26$ °C e 55.18

$\pm 9,17$ °C e suas respectivos níveis de umidades relativas médias de $46,2 \pm 7,71$ % e $18.56 \pm 5,80$ %, no delineamento inteiramente casualizado.

Foram realizados três testes de secagem para cada tratamento.

Para realizar o ajuste dos modelos matemáticos de razão de umidade para o milho na espiga, foram realizadas análises de regressões não-lineares, pelo método de Gauss-Newton, empregando o Programa SAS, versão 6.12.

Para o cálculo dos parâmetros do modelo de razão de umidade de milho nas espigas proposto por SHARAF-ELDEEN, realizou-se o seguinte procedimento:

$$RU = A_0 \cdot e^{-k_d \cdot t} + A_1 \cdot e^{-B \cdot k_d \cdot t} \quad (16)$$

em que:

RU = razão de umidade, adm;

A_0 , A_1 e B : constantes adimensionais da espiga de milho;

Kd : parâmetro dependente da temperatura do ar e da umidade inicial do produto;

t = tempo de secagem, h; e

e = base de logaritmo neperiano;

$$Kd = \alpha \cdot EXP(\beta \cdot U_o) \quad (17)$$

$$LnKd = Ln\alpha + (\beta \cdot U_o)$$

$$\alpha = \alpha_o \cdot EXP(\alpha_1 / T) \quad (18)$$

$$\beta = \beta_o + \beta_1 \cdot T \quad (19)$$

$$LnKd = Ln[\alpha_o \cdot EXP(\alpha_1 / T)] + [\beta_o + \beta_1 \cdot T] U_o$$

$$LnKd = Ln\alpha_o + \beta_o \cdot U_o + \alpha_1 / T + [\beta_1 \cdot T] U_o$$

$$Kd = EXP[Ln\alpha_o + \beta_o \cdot U_o + \alpha_1 / T + \beta_1 \cdot T \cdot U_o]$$

$$Kd = EXP[Ln\alpha_o + (\beta_1.T + \beta_o).U_o + \alpha_1 / T]$$

$$Kd = EXP[a + (b.T + c).U_o + (d / T)] \quad (20)$$

Para testar o ajuste das equações propostas por SHARAF-ELDEEN para umidade de equilíbrio e razão de umidade, foi determinada a significância dos regressores dos modelos, em nível de 5% de probabilidade. Além destes, foram estimados os coeficientes de determinação (R^2), os resíduos da regressão, o erro médio estimado e o erro médio relativo.

Para o cálculo do erro médio relativo e do erro estimado utilizaram-se as equações 21 e 22:

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \quad (21)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (22)$$

em que:

P = erro médio relativo;

Y = valor observado experimentalmente;

\hat{Y} = valor calculado pelo modelo;

n = número de observações experimentais;

SE= erro estimado;

GLR = graus de liberdade do modelo.

Os dados foram estudados por meio de análise de regressão não-linear. Os modelos foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão e nos coeficientes de determinação em estudo.

3.5 Tempo

Foi monitorado o tempo de duração de cada fase operacional para avaliar os processos estudados, utilizando-se o relógio digital que contém um cronômetro. Os dados foram imediatamente registrados em planilhas de controle, onde foram marcados os valores de perda de massa de espigas, tanto no equipamento acondicionador de ar quanto no secador de camada fina.

3.6 Massa

Foi monitorada a perda de massa das espigas de cada fase operacional para determinar as isotermas de equilíbrio e as curvas de secagem, utilizando-se uma balança digital com capacidade de 10.000 g e precisão de 0,1 g.

Os dados foram imediatamente registrados em planilhas de controle e, posteriormente, gravados em um computador.

O monitoramento da massa foi feito em intervalos regulares de 1 hora, durante as primeiras 8 horas e, a partir daí, em intervalos regulares de 4 horas, até atingir a umidade de equilíbrio ou até fazer uma descrição do processo de secado para a determinação da razão de umidade (Figura 7).

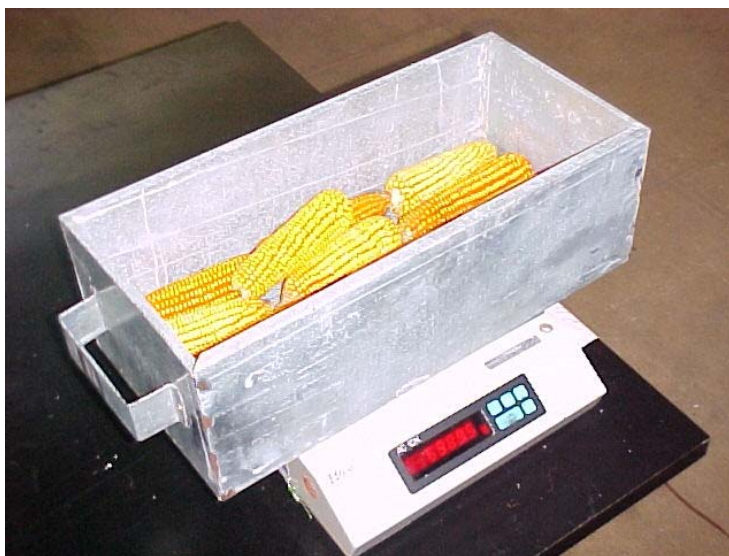


Figura 7 – Detalhe do processo para medir a perda de massa.

3.7 Amostragem

A técnica de amostragem atendeu às recomendações contidas em BRASIL (1992). As amostragens para a determinação das isotermas de equilíbrio foram realizadas durante a carga do equipamento condicionador de ar AMINCO-AR, e foram

encerradas quando foi atingido o equilíbrio higroscópico das sementes, nas espigas, em cada uma das bandejas.

As amostragens para a determinação das curvas de secagem foram realizadas durante a carga do equipamento condicionador de ar AMINCO-AR e no secador, e depois da descarga dos mesmos. A massa de cada amostra foi aproximadamente igual a 3,0 kg de espigas, as quais foram debulhadas manualmente. As sementes debulhadas foram peneiradas, homogeneizadas e condicionadas em sacos de plásticos impermeáveis para imediata medição da umidade pelo método de estufa. Foram feitas medições do teor de água das sementes, das espigas e dos pedaços de sabugo.

3.8 Teor de água

O teor de água foi medido para sementes, sabugo e espigas, pelo método oficial de estufa, com circulação forçada de ar, a 105 ± 3 °C, durante 24 h (BRASIL,1992). Além disso, foram realizadas medições durante 48 e 72 horas, devido ao fato de que as sementes e as espigas continuam perdendo água depois de 24 h e deixando de registrar perda de massa às 72 h. Foram obtidas três repetições por amostra com massa de aproximadamente 40 g.

3.9 Ar ambiente

Para as medições da temperatura e da umidade relativa ambiente foram instalados em uma área próximo da unidade experimental, um higrotermógrafo e um psicrômetro, não aspirado, com precisão de 1 °C, conforme as normas estabelecidas pelo serviço de meteorologia do Ministério da Agricultura e do Abastecimento.

3.10 Temperatura do ar de secagem

A temperatura do bulbo seco e do bulbo molhado do ar de secagem foram medidas e monitoradas utilizando-se um psicrômetro, instalado no interior da câmara próximo às bandejas contendo as amostras do produto (Figura 8).

A umidade relativa do ar foi calculada por meio de um programa computacional (GRAPSI) desenvolvido a partir de equações psicrométricas.



Figura 8 – Ilustra o monitoramento da temperatura e a umidade relativa do ar na câmara.

A temperatura para a determinação das curvas de secagem de milho, nas espigas, no secador, foi monitorada por meio de um sistema de termometria, utilizando-se termômetros digitais, com precisão igual a 0,1 °C. Os sensores eram de cobre constantan e de cromel alumel.

O monitoramento da temperatura (termometria) foi feito na entrada do secador (temperatura do ar de entrada), nas seções anterior e posterior às resistências de aquecimento do ar de secagem, no ducto anterior ao plenum onde foi instalado o psicrômetro, no plenum, na câmara de secagem e no ar ambiente, com ajuda de um higrôtermógrafo e na seção interior da espiga (sabugo) e nos grãos, com o propósito de garantir um bom controle das condições do processo de secagem.

A Figura 9 ilustra os locais onde foram monitoradas as temperaturas no sistema de secagem.



Figura 9 – (a) Detalhe do termômetro digital para o monitoramento da temperatura;
- (b) Pontos de monitoramento da temperatura.

3.11 Vazão de ar

Foram determinadas as curvas características do ventilador, contemplando, principalmente, a relação entre a vazão de ar e a pressão estática.

Desta forma, com base na pressão estática observada experimentalmente, obteve-se a vazão de ar em cada instante desejado.

3.12 Pressão estática

A pressão estática foi medida na entrada do ducto de transição entre o ventilador e o secador, e nas paredes laterais da câmara plenum, cujos pontos foram definidos pela interseção de diagonais imaginárias, junto à parede do plenum, traçadas em um plano vertical. Desta forma, foi monitorada a pressão em cada um dos lados da respectiva câmara. Foram fixados tubos de cobre com 6,4 mm de diâmetro e 150 mm de comprimento, de modo que a sua face interna ficasse adjacente à parede da câmara. Estes tubos foram ligados a um manômetro diferencial inclinado, por meio de mangueiras de plástico, possibilitando a seqüência de uma leitura por ponto. As leituras foram feitas em intervalos regulares iguais a 4 horas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização dos cultivares híbridos de milho testados

A Tabela 1 mostra as características de cada cultivar utilizado nos testes de determinação das isothermas de equilíbrio higroscópico e curvas de secado de milho nas espigas.

Tabela 01- Características das espigas e dos grãos de milho dos cultivares AG 1051 e AG 122.

Propriedade	AG 1051		AG 122	
	Grão	Sabugo	Grão	Sabugo
Relação de massa grão / sabugo - %	87	13	83	17
	Dentado - Amarelo		Semidentado – amarelo/alaranjado	
	Quantidade média	Desvio	Quantidade média	Desvio
Teor médio de água - %b.u				
grãos	25,2	0,35	23,6	0,41
espiga	35,7	0,12	33,2	0,15
Comprimento das espigas - mm	177,3	6,4	171,2	6,9
Diâmetro - mm				
Ponta	49,2	0,9	41,7	1,3
Meio	51,3	1,6	48,8	1,8
Base	52,3	2,2	50,1	1,9
Massa - g				
Grãos	425,2	11,3	364,5	12,2
Sabugo	63,5	6,4	74,7	5,7
Total	488,7	33,4	439,2	21,7
Nº médio de grãos – unid.	583,2	44,2	409,2	33,7
Nº de carreiras – unid.	18	1,1	16,1	0,6
Ciclo do milho	Semiprecoces (125 a 140 dias)		Precoces (120 a 135 dias)	
Tipo de híbrido	Simples modificado PG –SI -MV		Simples modificado PG - SI	

4.2 Isothermas de equilíbrio higroscópico

Verifica-se, através das Tabelas 2, 3, 4 e 5, as umidades médias de equilíbrio do milho nas espigas, para as diferentes temperaturas e umidades relativas (%) médias do ar de secagem estudadas.

Tabela 02 – Umidade de equilíbrio higroscópico (média de três repetições) de milho nas

espigas, à temperatura média de $44,93 \pm 0,94$ °C, em função das umidades relativas (%) médias do ar de secagem.

UR (%) média	Ue	
	(% b.u)	(% b.s)
$21,70 \pm 2,42$	5,09	5,37
$28,89 \pm 4,26$	5,89	6,26
$39,63 \pm 5,53$	8,77	9,61
$49,85 \pm 4,65$	10,37	11,57

Tabela 03 – Umidade de equilíbrio higroscópico (média de três repetições) de milho nas espigas, à temperatura média de $50,45 \pm 1,27$ °C, em função das umidades relativas (%) médias do ar de secagem.

UR (%) média	Ue	
	(% b.u)	(% b.s)
$21,70 \pm 2,42$	4,61	4,83
$28,89 \pm 4,26$	5,26	5,55
$39,63 \pm 5,53$	7,17	7,73
$49,85 \pm 4,65$	9,64	10,67

Tabela 04 – Umidade de equilíbrio higroscópico (média de três repetições) de milho nas espigas, à temperatura média de $54,44 \pm 1,45$ °C, em função das umidades relativas (%) médias do ar de secagem.

UR (%) média	Ue	
	(% b.u)	(% b.s)
$21,70 \pm 2,42$	4,38	4,58
$28,89 \pm 4,26$	5,10	5,38
$39,63 \pm 5,53$	6,70	7,18
$49,85 \pm 4,65$	7,04	7,57

Tabela 05 – Umidade de equilíbrio higroscópico (média de três repetições) de milho nas espigas, para as temperaturas médias do ar de secagem estudadas, em função das umidades relativas médias (%) do ar de secagem.

Temperatura média (°C)	Umidade de equilíbrio (% b.s)			
	UR %			
	21,70 ± 2,42	28,89 ± 4,26	39,63 ± 5,53	49,85 ± 4,65
44,93 ± 0,94	5,37	6,26	9,61	11,57
50,45 ± 1,27	4,83	5,55	7,73	10,67
54,44 ± 1,45	4,58	5,38	7,18	7,57

Os resultados das Tabelas 2, 3, 4 e 5 mostram que a umidade de equilíbrio de milho nas espigas, para os cultivares e condições estudadas, aumenta com o aumento da umidade relativa do ar de secagem e com a redução da temperatura do ar de secagem.

Além disso, o acréscimo da umidade de equilíbrio é maior, quanto maior for o decréscimo da temperatura do ar de secagem para a mesma umidade relativa.

As Tabelas 6, 7 e 8 apresentam os tempos médios, em horas, para que cada uma das três repetições atingisse o equilíbrio higroscópico, considerando as características do equipamento, às diferentes temperaturas médias do ar de secagem e às diferentes umidades relativas do ar de secagem.

Tabela 06 – Tempo médio, em horas, para que as três repetições decorridas ate que atingissem o equilíbrio higroscópico, para a temperatura média do ar de secagem de 44,93 ± 0,94 °C e as diferentes umidades relativas médias estudadas.

REPETIÇÃO	UR %			
	21,70 ± 2,42	28,89 ± 4,26	39,63 ± 5,53	49,85 ± 4,65
I	116	136	136	144
II	112	120	136	148
III	120	136	144	152
Tempo médio (horas)	116	131	138	148

Tabela 07 – Tempo médio, em horas, de três repetições decorridas ate que atingissem o

equilíbrio higroscópico, para a temperatura média de $50,45 \pm 1,27$ °C e as diferentes umidades relativas médias estudadas.

REPETIÇÃO	UR %			
	$21,70 \pm 2,42$	$28,89 \pm 4,26$	$39,63 \pm 5,53$	$49,85 \pm 4,65$
I	88	116	124	140
II	92	116	128	148
III	88	120	124	120
Tempo médio (horas)	89	117	125	136

Tabela 08 – Tempo médio, em horas, de três repetições decorridas ate que atingissem o equilíbrio higroscópico, para a temperatura média de $54,44 \pm 1,45$ °C e as diferentes umidades relativas médias estudadas

REPETIÇÃO	UR %			
	$21,70 \pm 2,42$	$28,89 \pm 4,26$	$39,63 \pm 5,53$	$49,85 \pm 4,65$
I	68	76	88	68
II	72	76	76	104
III	72	72	84	100
Tempo médio (horas)	71	75	83	91

Os resultados das Tabelas 6, 7 e 8 mostram que o tempo necessário para que o milho nas espigas dos cultivares AG 1051 e AG 122 atinja o equilíbrio higroscópico, decresce com o acréscimo da temperatura de equilíbrio.

Na temperatura média do ar de secagem de $44,93 \pm 0,94$ °C com umidades relativas do ar de secagem, no intervalo de $21,70 \pm 2,42$ % a $49,85 \pm 4,65$ %, o tempo médio varia entre 116 e 148 horas para que o produto atinja o equilíbrio higroscópico. Com uma temperatura média de $50,45 \pm 1,27$ °C, esse tempo médio varia entre 89 e 136 horas, e na temperatura média de $54,44 \pm 1,45$ °C, fica na faixa de 71 a 91 horas. Nesta última temperatura do ar de secagem com umidade relativa média de $49,85 \pm 4,65$ %, o equipamento apresentou problemas para conseguir as condições do ar de secagem pré-estabelecidas, razão pela qual foi necessário monitorar o tempo a cada 1 hora, durante as primeiras 8 horas, e a partir daí, a intervalos regulares de 2 horas, até atingir a umidade de equilíbrio.

Alem disso, os resultados de equilíbrio higroscópico contidos na Tabela 04, nesta umidade relativa do ar de secagem, apresentam valores baixos, quando

comparados com as outras temperaturas estudadas (Tabelas 2 e 3). Isso pode ter ocorrido devido ao longo tempo de armazenagem do produto na câmara fria (mais de quatro meses), provavelmente ocasionando alterações na sua composição química.

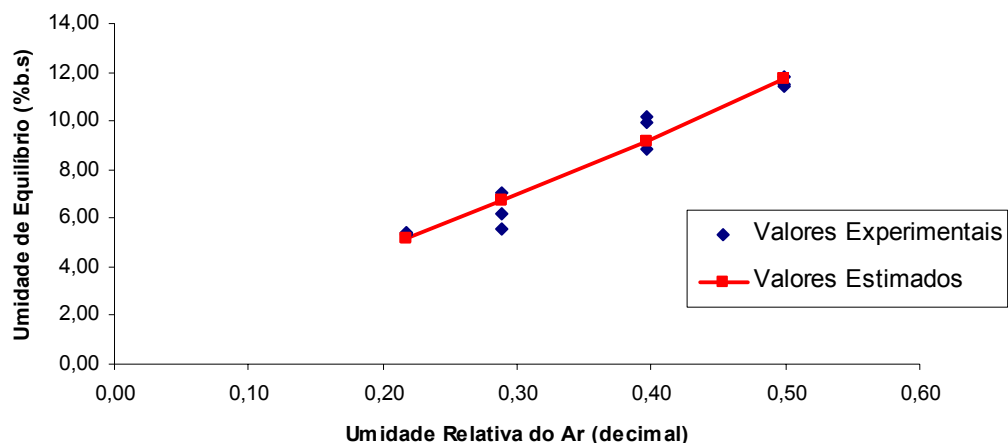
A Tabela 09 apresenta as constantes da equação de umidade de equilíbrio proposta por SHARAF-ELDEEN, ajustadas para cada uma das temperaturas médias do ar de secagem e umidades relativas médias do ar de secagem estudadas. Verifica-se que as constantes variam com a temperatura, o que concorda com as afirmações de SHARAF-ELDEEN et al. (1980).

Tabela 09 – Constantes da equação proposta por SHARAF-ELDEEN para a determinação da umidade de equilíbrio de milho nas espigas, para valores médios de temperaturas, com os respectivos coeficientes de determinação.

Equação de SHARAF – ELDEEN $Ue = a \left[\frac{-\ln(1 - UR)}{T_{abs}} \right]^b$			
Temperatura média (°C)	a	b	R ²
44,93 ± 0,94	1461,5798	0,7868	0,9959
50,45 ± 1,27	1724,0774	0,8303	0,9933
54,44 ± 1,45	166,2929	0,4960	0,9974

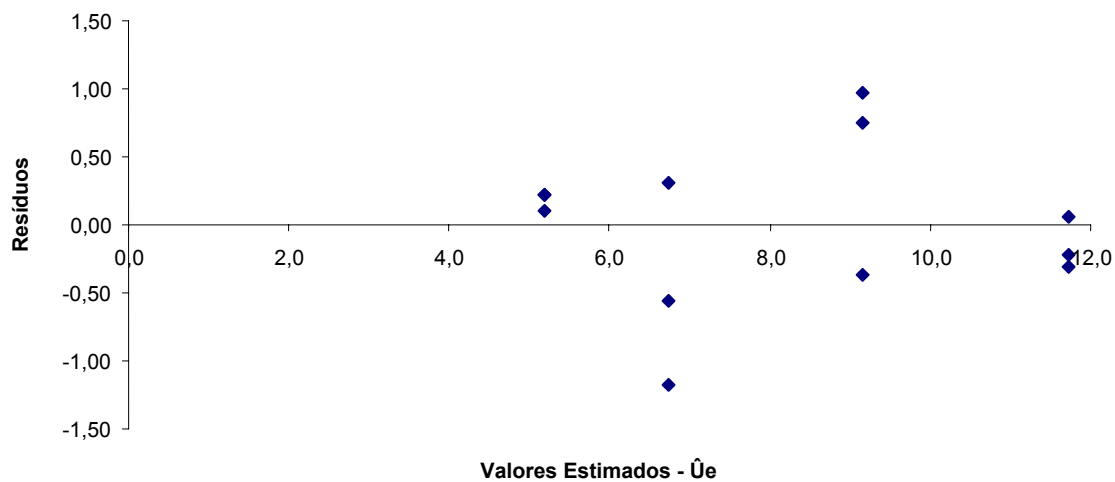
As isotermas de umidade de equilíbrio higroscópico das variedades de milho nas espigas testadas, para as temperaturas médias de 44.9 ± 0,94, 50.4 ± 1,27 e 54.4 ± 1,45 °C, em função da umidade relativa do ar, ajustadas com a utilização do modelo matemático proposto por SHARAF-ELDEEN et al.(1980), a respectiva distribuição dos resíduos e o diagrama da regressão entre os valores experimentais e os valores estimados pelo modelo são apresentados nas Figuras 10 a 12.

ISOTERMA DE UMIDADE DE EQUILÍBRIO DE MILHO EM ESPIGA (T 44,9°C)



(a)

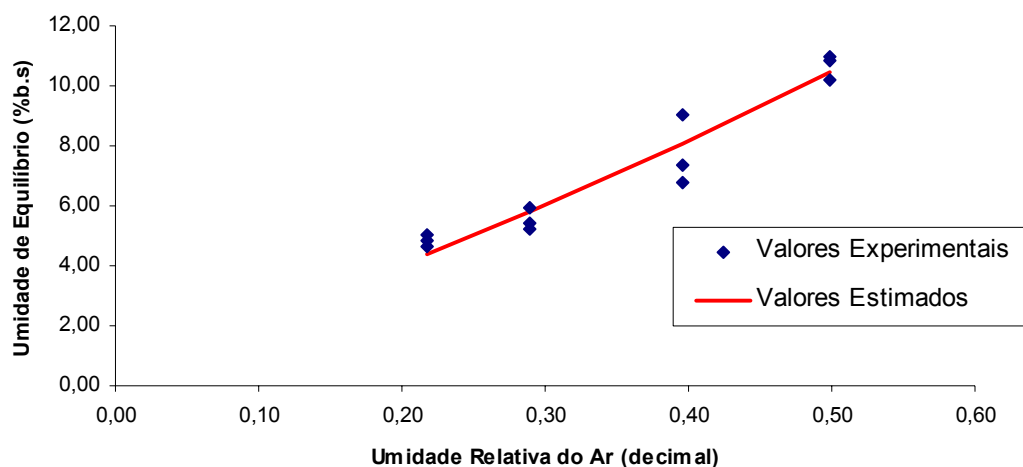
DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS EM FUNÇÃO DOS VALORES ESTIMADOS



(b)

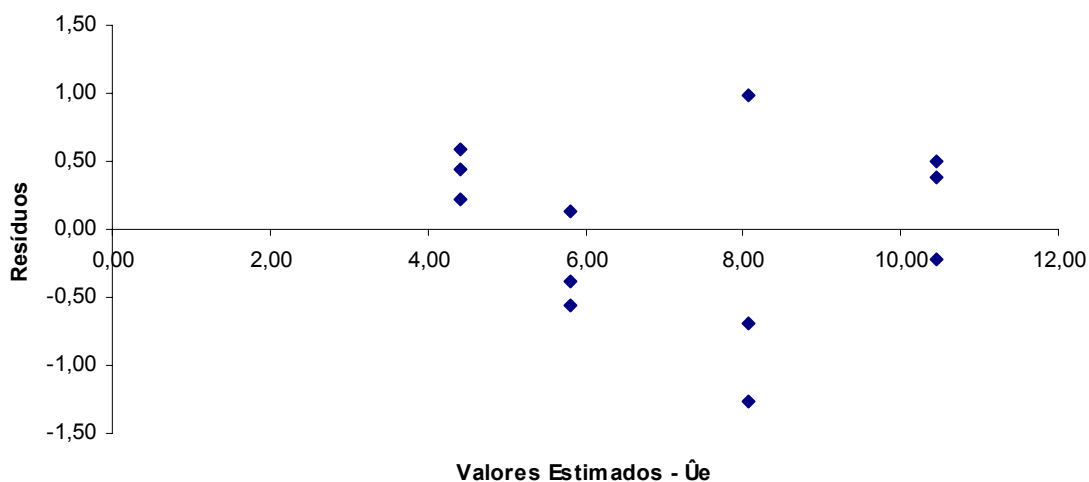
Figura 10 – (a) Isoterma de umidade de equilíbrio higroscópico de milho nas espigas, à temperatura média do ar de secagem de $44,93 \pm 0,94$ °C, ajustada pelo modelo matemático de SHARAF-ELDEEN, (b) Distribuição dos resíduos em função dos valores estimados

ISOTERMA DE UMIDADE DE EQUILÍBRIO DE MILHO EM ESPIGA (T 50,5°C)



(a)

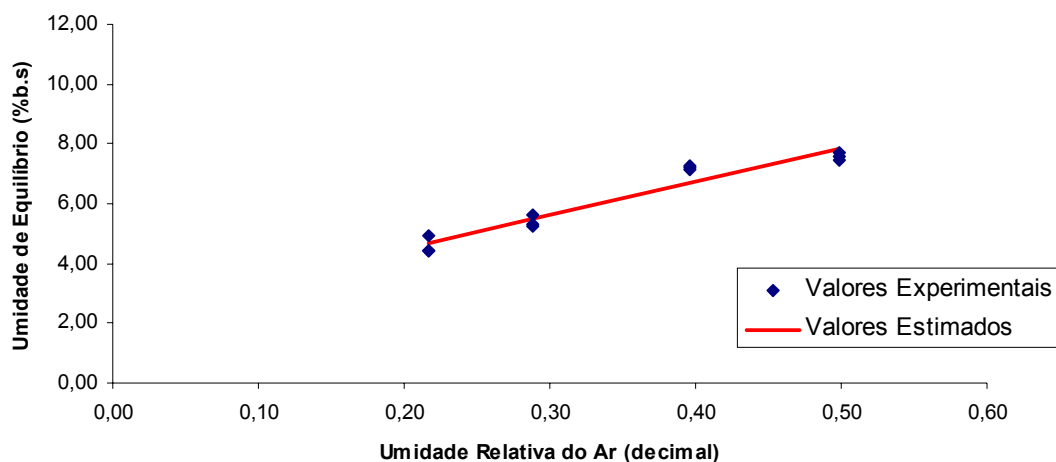
DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS EM FUNÇÃO DOS VALORES ESTIMADOS



(b)

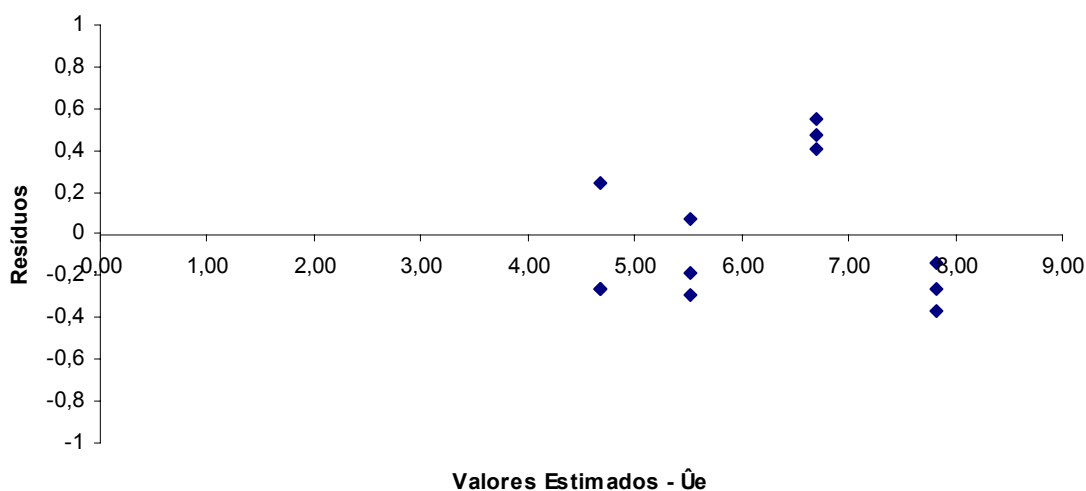
Figura 11 – (a) Isoterma de umidade de equilíbrio higroscópico de milho nas espigas, à temperatura média do ar de secagem de $50,45 \pm 1,27$ °C, ajustada pelo modelo matemático de SHARAF-ELDEEN, (b) Distribuição dos resíduos, em função dos valores estimados

ISOTERMA DE UMIDADE DE EQUILÍBRIO DE MILHO EM ESPIGA (T 54,4°C)



(a)

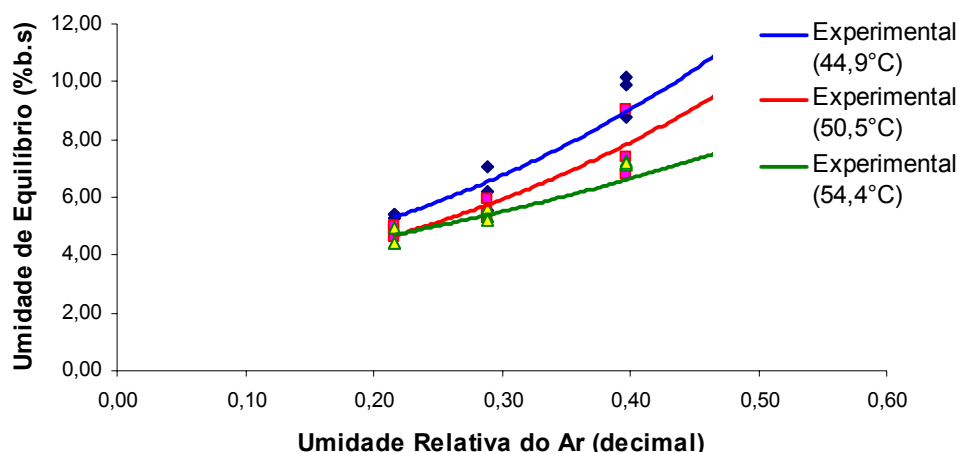
DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS EM FUNÇÃO DOS VALORES ESTIMADOS



(b)

Figura 12 – (a) Isoterma de umidade de equilíbrio higroscópico de milho nas espigas, à temperatura média do ar de secagem de $54,44 \pm 1,45$ °C, ajustada pelo modelo matemático de SHARAF-ELDEEN, (b) Distribuição dos resíduos, em função dos valores estimados.

ISOTERMAS DE UMIDADE DE EQUILÍBRIO HIGROSCÓPICO DE MILHO EM ESPIGA



Figuras 13 – Isotermas de umidade de equilíbrio higroscópico de milho nas espigas, à diferentes temperaturas médias do ar de secagem, ajustadas pelo modelo matemático de SHARAF-ELDEEN.

A Figura 13 mostra que a umidade de equilíbrio de milho nas espigas dos cultivares estudados aumenta com o aumento da umidade relativa e a diminuição da temperatura. Além disso, o acréscimo na umidade de equilíbrio é maior, quanto maior for o decréscimo da temperatura.

Os resultados da análise de variância e da regressão não-linear da variável umidade de equilíbrio para as respectivas temperaturas encontram-se na Tabela 10.

Na Tabela 11 são apresentados os parâmetros ajustados para o modelo matemático de SHARAF-ELDEEN, para a determinação do teor da umidade de equilíbrio de milho nas espigas, com os respectivos quadrados dos coeficientes de correlação (R^2), erros médios relativos e estimados.

Tabela 10 – Resumo da análise de variância e da regressão não-linear da variável umidade de equilíbrio higroscópico de milho nas espigas, para as temperaturas do ar de secagem estudadas.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS		
		Ue		
Regressão	2	(44,93 ± 0,94°C)	(50,45 ± 1,27°C)	(54,44 ± 1,45°C)
Resíduo de regressão	9	440,6167 *	340,9631 *	237,6148 *
TOTAL	11	0,4065	0,4952	0,1381

* - Significativo ao nível de 5% (p = 0,05)

Tabela 11 – Parâmetros da equação ajustada para o cálculo do teor de umidade de equilíbrio higroscópico (Ue em % b.s) de milho nas espigas, em função da temperatura (°C) e da umidade relativa (decimal).

Parâmetros	Ue		
	(44,93 ± 0,94°C)	(50,45 ± 1,27°C)	(54,44 ± 1,45°C)
a	1461,5798	1724,0774	166,2929
b	0,7868	0,8303	0,4960
R ²	0,9529	0,9303	0,9335
P(%)	5,9233	7,9025	4,8000
SE	1,3525	1,5111	0,7884
Distribuição do resíduo	aleatório	aleatório	aleatório

Como se observa na Tabela 10 e nos Apêndices B, C, e D, o modelo proposto por SHARAF-ELDEEN para a determinação da umidade de equilíbrio higroscópico para milho nas espigas é adequado para descrever o fenômeno, e o QM (Quadrado médio) do resíduo pode ser utilizado como estimativa da variância residual.

A análise estatística mostrada nos Apêndices B, C, e D indica que os regressores do modelo são significativos ao nível de 5 % de probabilidade, o que garante que o modelo proposto por SHARAF – ELDEEN é adequado.

A análise dos resultados apresentados na Tabela 11 indica que, para as variedades estudadas de milho nas espigas, do grupo semiduro, e sob as condições nas quais o experimento foi desenvolvido, a equação de SHARAF-ELDEEN, para a determinação da umidade de equilíbrio higroscópico, apresentou altos valores para o coeficiente de correlação (R^2), baixos valores do erro médio relativo e erro médio estimado, indicando que o modelo é adequado.

4.3 Curvas de secagem

As Tabelas 12, 13 e 14 apresentam as constantes da equação de secagem de milho nas espigas, proposta por SHARAF-ELDEEN, ajustada para cada uma das temperaturas médias do ar de secagem e suas respectivas umidades relativas médias do ar de secagem estudadas, obtidas utilizando-se o equipamento condicionador de ar (AMINCO – AIR). Verifica-se que as constantes variam com a temperatura e umidade relativa do ar de secagem e com o tempo de secagem, o que concorda com as afirmações de SHARAF-ELDEEN et al. (1980).

A Tabela 15 apresenta as constantes do fator K_d da equação de secagem de milho nas espigas proposta SHARAF-ELDEEN, ajustada para cada uma das temperaturas médias do ar de secagem e suas respectivas umidades iniciais do produto (% b.s), obtidas utilizando-se o equipamento condicionador de ar (AMINCO – AIR).

Tabela 12 – Constantes da equação proposta por SHARAF-ELDEEN para a determinação das curvas de secagem de milho nas espigas, para a temperatura média do ar de secagem de $44,93 \pm 0,94$ °C, e as diferentes umidades relativas médias, com os respectivos coeficientes de determinação.

Equação de SHARAF – ELDEEN $RU = A_0 \cdot e^{-k_d \cdot t} + A_1 \cdot e^{-B \cdot k_d \cdot t}$						
Temperatura média (°C)	UR(%) média	A_0	A_1	B	Kd	R^2
44,93 ± 0,94	21,70 ± 2,42	0,0126	1,0125	25,9387	0,0016	0,9959
44,93 ± 0,94	28,89 ± 4,26	-2,9234	3,9246	0,8539	0,0996	0,9985
44,93 ± 0,94	39,63 ± 5,53	0,1801	0,8627	0,2014	0,0804	0,9957
44,93 ± 0,94	49,85 ± 4,65	0,1925	0,8553	0,3334	0,0635	0,9945

Tabela 13 –Constantes da equação proposta por SHARAF-ELDEEN para a determinação das curvas de secagem de milho nas espigas, para a temperatura média do ar de secagem de $50,45 \pm 1,27$ °C, e as diferentes umidades relativas médias, com os respectivos coeficientes de determinação.

Equação de SHARAF – ELDEEN $RU = A_0 \cdot e^{-k_d \cdot t} + A_1 \cdot e^{-B \cdot k_d \cdot t}$						
Temperatura média (°C)	UR(%) média	A_0	A_1	B	Kd	R^2
50,45 ± 1,27	21,70 ± 2,42	1,5960	-0,5587	0,7775	0,0505	0,9950
50,45 ± 1,27	28,89 ± 4,26	0,9700	0,0454	0,1469	0,0506	0,9951
50,45 ± 1,27	39,63 ± 5,53	1,0048	0,0392	0,4628	0,0554	0,9948
50,45 ± 1,27	49,85 ± 4,65	0,7522	0,3387	0,1967	0,0798	0,9895

Tabela 14 - Constantes da equação proposta por SHARAF-ELDEEN para a determinação das curvas de secagem de milho nas espigas, para a temperatura média do ar de secagem de $54,44 \pm 1,45$ °C, e as diferentes umidades relativas médias, com os respectivos coeficientes de determinação.

Equação de SHARAF – ELDEEN						
$RU = A_0 \cdot e^{-k_d \cdot t} + A_1 \cdot e^{-B \cdot k_d \cdot t}$						
Temperatura média (°C)	UR(%) média	A_0	A_1	B	Kd	R^2
$54,44 \pm 1,45$	$21,70 \pm 2,42$	0,7606	0,2550	1,0001	0,0577	0,9966
$54,44 \pm 1,45$	$28,89 \pm 4,26$	0,6172	0,4160	15,0899	0,0114	0,9836
$54,44 \pm 1,45$	$39,63 \pm 5,53$	1,5344	-0,5309	2,4705	0,0555	0,9948
$54,44 \pm 1,45$	$49,85 \pm 4,65$	-5,0117	6,0752	1,0000	0,0484	0,9894

Tabela 15 – Constantes da equação proposta por SHARAF-ELDEEN para a determinação do fator Kd para a elaboração das curvas de secagem de milho nas espigas, para as temperaturas médias do ar de secagem estudadas, e as umidades relativas médias, com os respectivos coeficientes de determinação.

Equação de SHARAF – ELDEEN – Fator Kd				
$Kd = \left[a + (b \cdot T_{abs} + c) U_0 + \left(\frac{d}{T_{abs}} \right) \right]$				
a	b	c	d	R²
-22,6055	-0,2651	188,2115	-2100,0000	0,8597

As curvas de secagem das variedades de milho secado nas espigas, às temperaturas médias do ar de secagem de $44.9 \pm 0,94$ °C, $50.4 \pm 1,27$ °C e $54.4 \pm$

1,45 °C, e as diferentes umidades relativas do ar de secagem, ajustadas com a utilização do modelo matemático proposto por SHARAF-ELDEEN et al.(1980), a respectiva distribuição dos resíduos e o diagrama da regressão entre os valores experimentais e os valores estimados pelo modelo são apresentados nas Figuras 14 a 25.

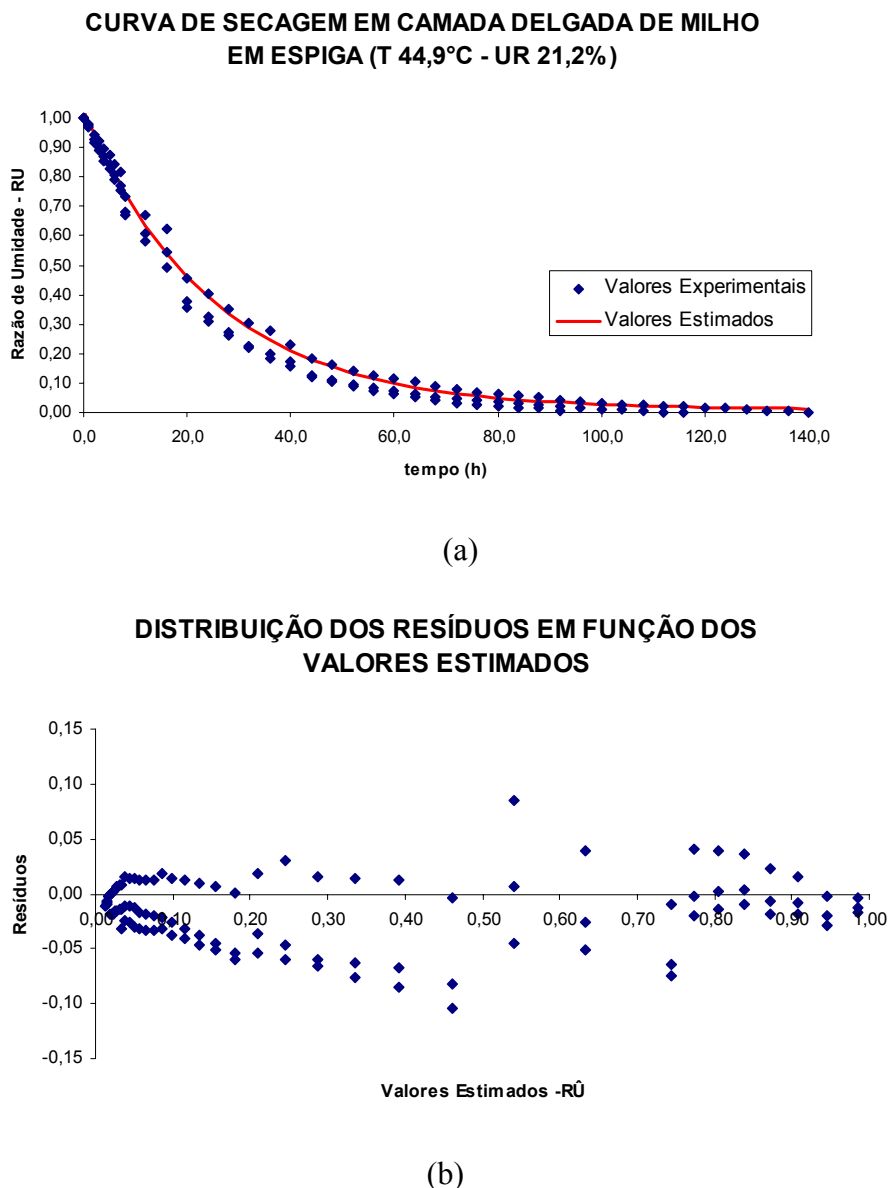
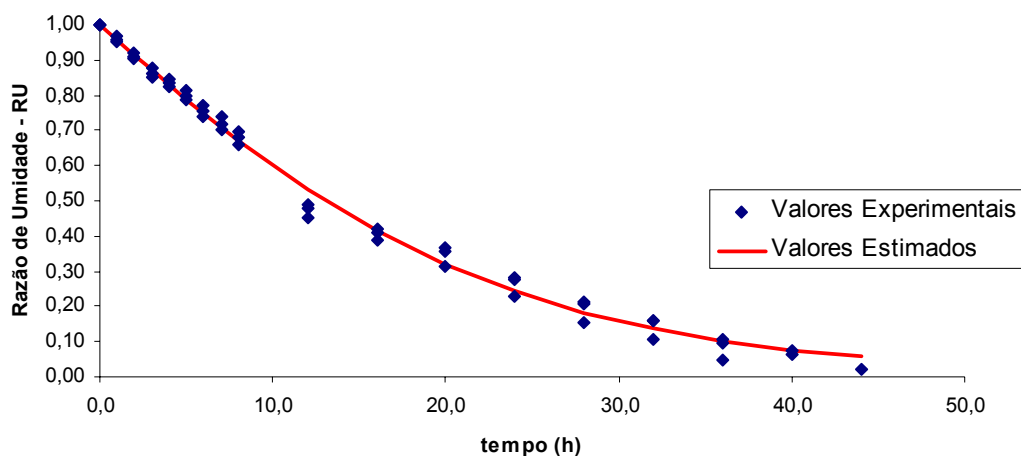


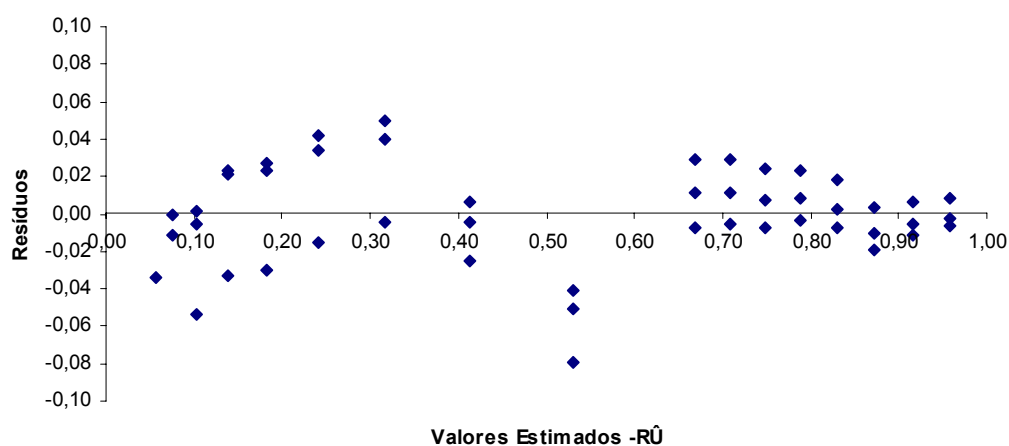
Figura 14 - (a) Curva de secagem de milho nas espigas, à temperatura média de $44,93 \pm 0,94$ °C e umidade relativa média de $21,70 \pm 2,42$ %, ajustada pelo modelo matemático de SHARAF-ELDEEN para fluxo de ar de $10 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ e altura de camada de 0,15 m., (b) Distribuição dos resíduos, em função dos valores estimados

CURVA DE SECAGEM EM CAMADA DELGADA DE MILHO EM ESPIGA (T 44,9°C - UR 28,9%)



(a)

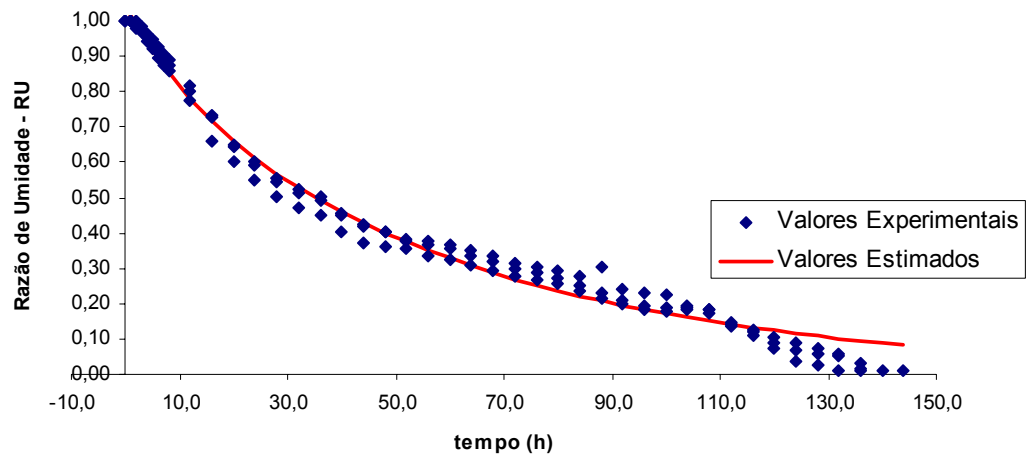
DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS EM FUNÇÃO DOS VALORES ESTIMADOS



(b)

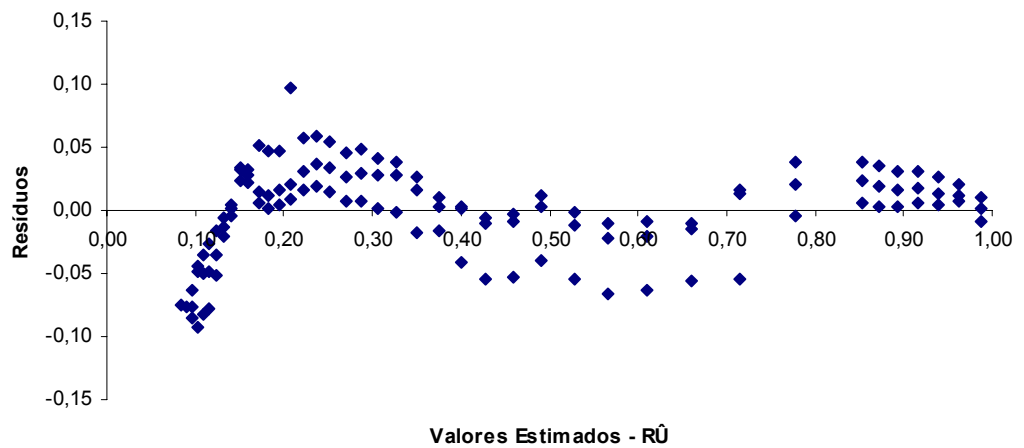
Figura 15 - (a) Curva de secagem de milho nas espigas, à temperatura média de $44,93 \pm 0,94$ °C e umidade relativa média de $28,89 \pm 4,26$ %, ajustada pelo modelo matemático de SHARAF-ELDEEN para fluxo de ar de $10 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ e altura de camada de 0,15 m., (b) Distribuição dos resíduos, em função dos valores estimados.

CURVA DE SECAGEM EM CAMADA DELGADA DE MILHO EM ESPIGA (T 44,9°C - UR 39,6%)



(a)

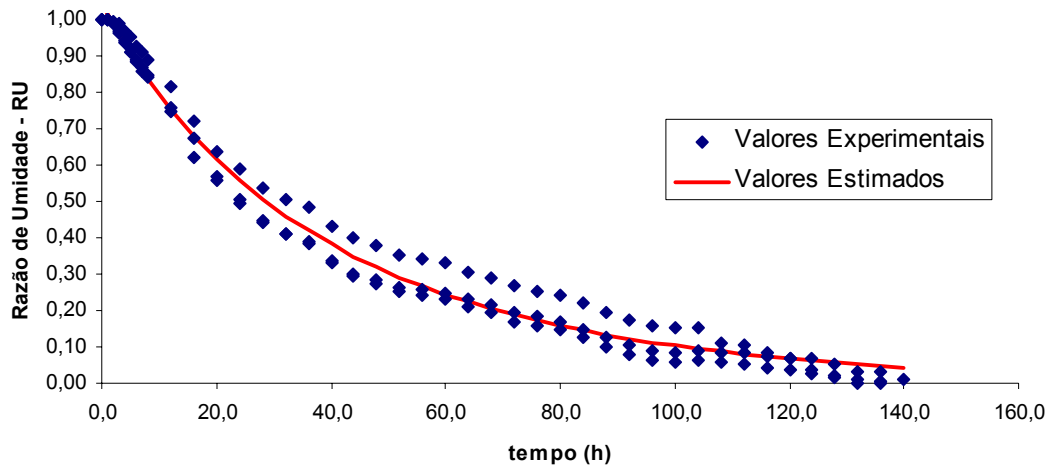
DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS EM FUNÇÃO DOS VALORES ESTIMADOS



(b)

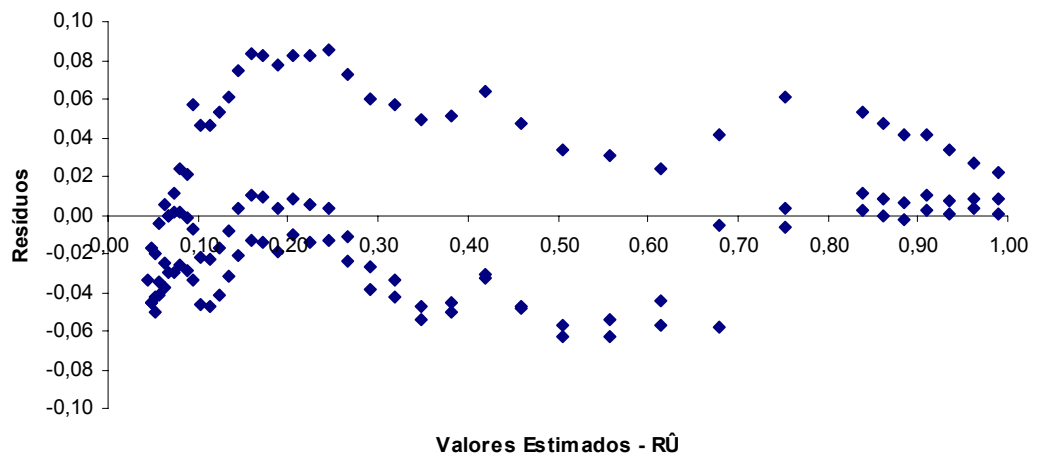
Figura 16 - (a) Curva de secagem de milho nas espigas, à temperatura média de $44,93 \pm 0,94$ °C e umidade relativa média de $39,63 \pm 5,53$ %, ajustada pelo modelo matemático de SHARAF-ELDEEN para fluxo de ar de $10 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ e altura de camada de 0,15 m., (b) Distribuição dos resíduos, em função dos valores estimados.

CURVA DE SECAGEM EM CAMADA DELGADA DE MILHO EM ESPIGA (T 44,9°C - UR 49,9%)



(a)

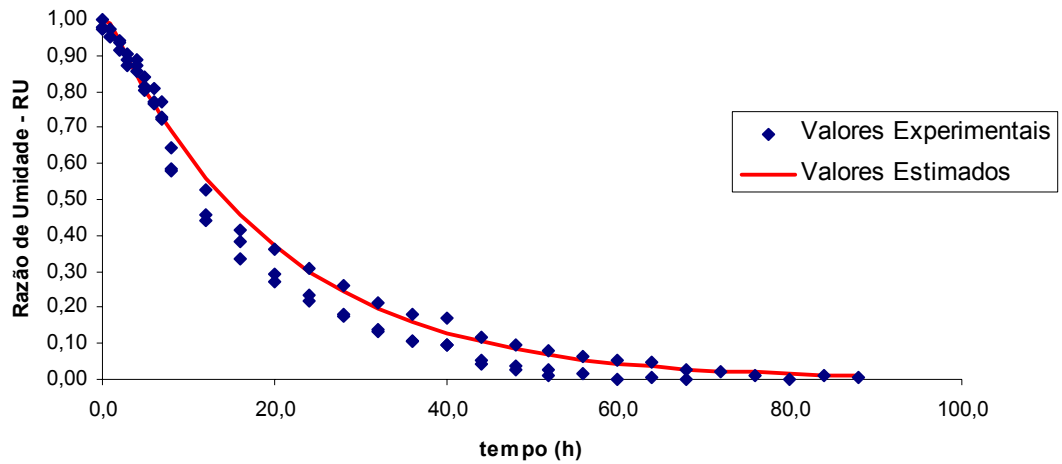
DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS EM FUNÇÃO DOS VALORES ESTIMADOS



(b)

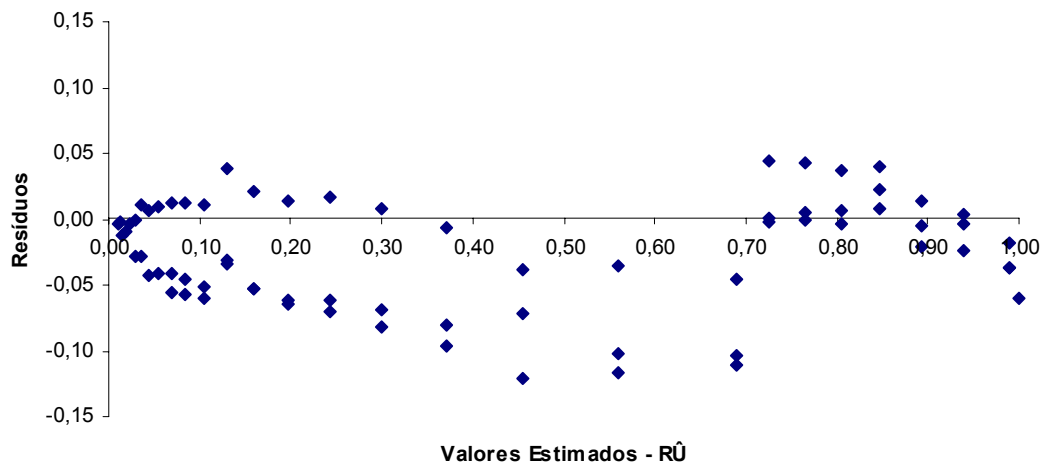
Figura 17 - (a) Curva de secagem de milho nas espigas, à temperatura média de $44,93 \pm 0,94$ °C e umidade relativa média de $49,85 \pm 4,65$ %, ajustada pelo modelo matemático de SHARAF-ELDEEN para fluxo de ar de $10 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ e altura de camada de 0,15 m., (b) Distribuição dos resíduos, em função dos valores estimados.

CURVA DE SECAGEM EM CAMADA DELGADA DE MILHO EM ESPIGA (T 50,5°C - UR 21,7%)



(a)

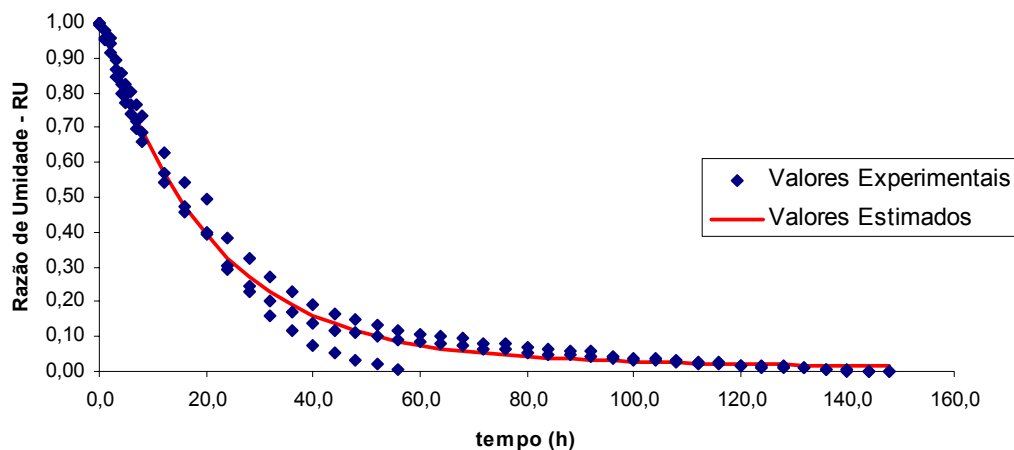
DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS EM FUNÇÃO DOS VALORES ESTIMADOS



(b)

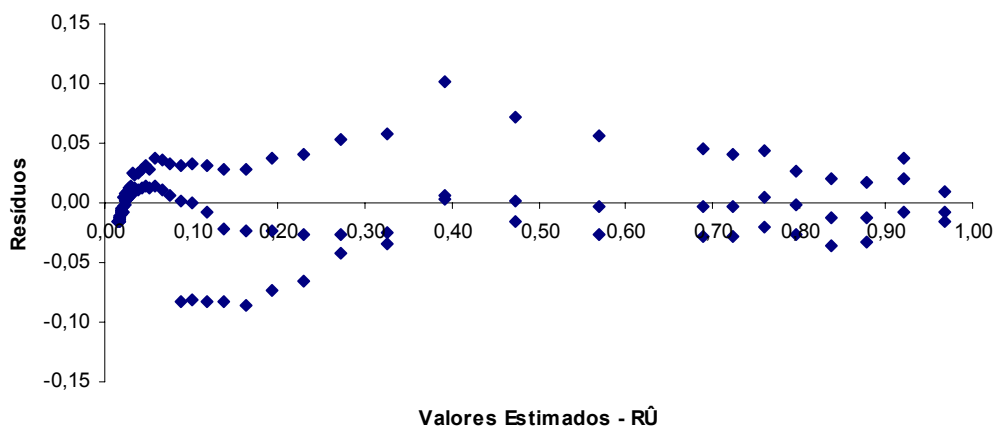
Figura 18 - (a) Curva de secagem de milho nas espigas, à temperatura média de $50,45 \pm 1,27$ °C e umidade relativa média de $21,70 \pm 2,42$ %, ajustada pelo modelo matemático de SHARAF-ELDEEN para fluxo de ar de $10 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ e altura de camada de 0,15 m., (b) Distribuição dos resíduos, em função dos valores estimados.

CURVA DE SECAGEM EM CAMADA DELGADA DE MILHO EM ESPIGA (T 50,0°C - UR 28,9%)



(a)

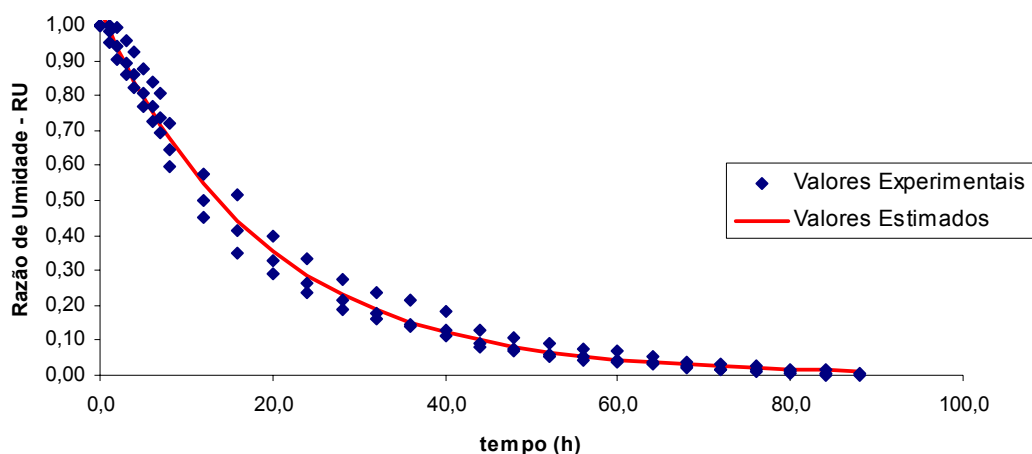
DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS EM FUNÇÃO DOS VALORES ESTIMADOS



(b)

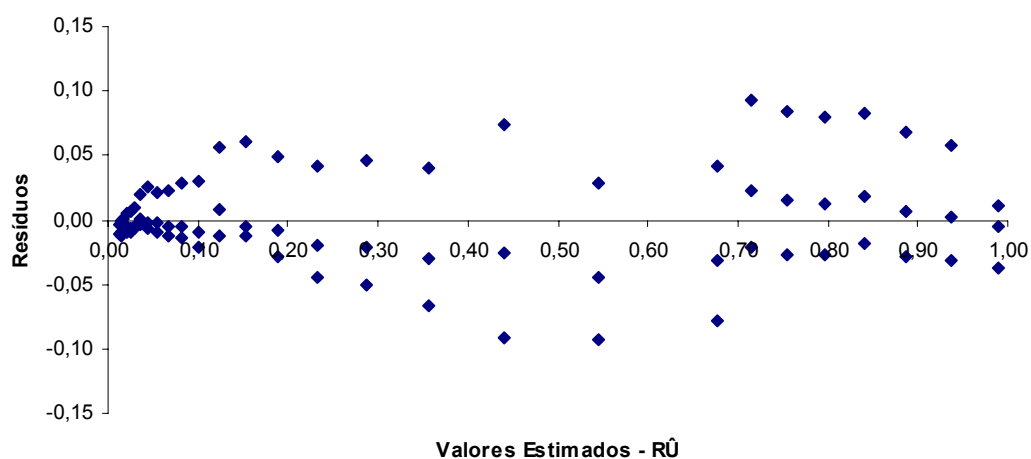
Figura 19 - (a) Curva de secagem de milho nas espigas, à temperatura média de $50,45 \pm 1,27$ °C e umidade relativa média de $28,89 \pm 4,26$ %, ajustada pelo modelo matemático de SHARAF-ELDEEN para fluxo de ar de $10 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ e altura de camada de 0,15 m., (b) Distribuição dos resíduos, em função dos valores estimados.

CURVA DE SECAGEM EM CAMADA DELGADA DE MILHO EM ESPIGA (T 50,5°C - UR 39,6%)



(a)

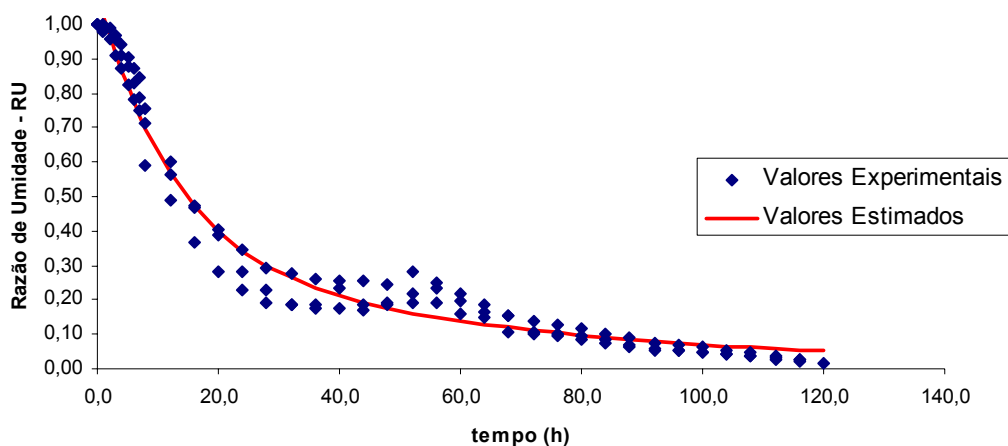
DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS EM FUNÇÃO DOS VALORES ESTIMADOS



(b)

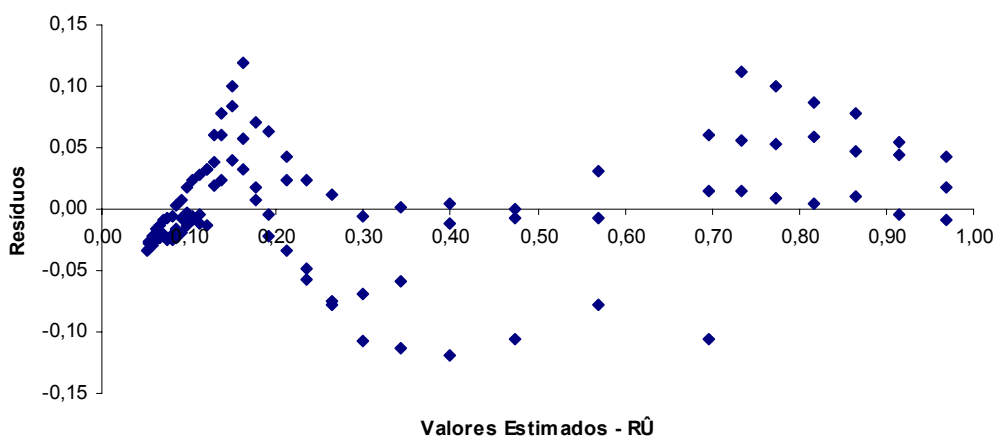
Figura 20 - (a) Curva de secagem de milho nas espigas, à temperatura média de $50,45 \pm 1,27$ °C e umidade relativa média de $39,63 \pm 5,53$ %, ajustada pelo modelo matemático de SHARAF-ELDEEN para fluxo de ar de $10 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ e altura de camada de 0,15 m., (b) Distribuição dos resíduos, em função dos valores estimados.

**CURVA DE SECAGEM EM CAMADA DELGADA DE MILHO
EM ESPIGA (T 50,5°C - UR 49,9%)**



(a)

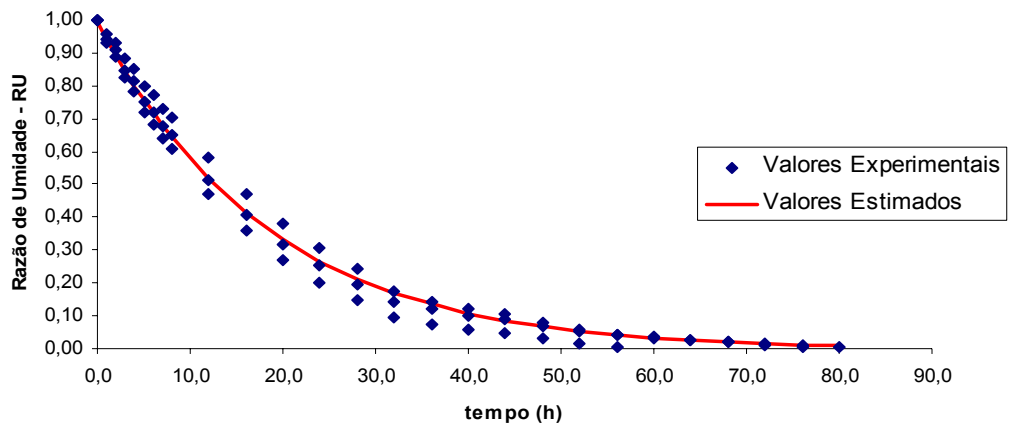
**DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS EM FUNÇÃO DOS
VALORES ESTIMADOS**



(b)

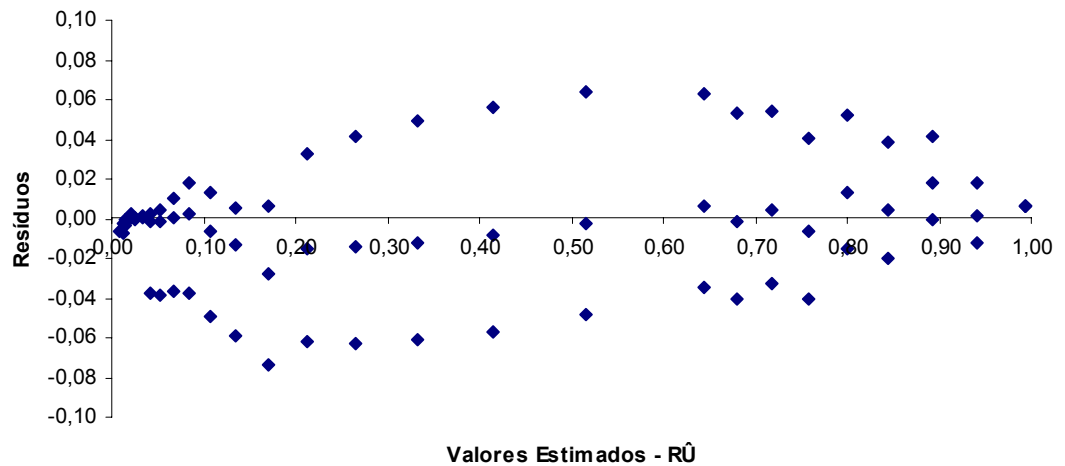
Figura 21 - (a) Curva de secagem de milho nas espigas, à temperatura média de $50,45 \pm 1,27$ °C e umidade relativa média de $49,85 \pm 4,65$ %, ajustada pelo modelo matemático de SHARAF-ELDEEN para fluxo de ar de $10 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ e altura de camada de 0,15 m., (b) Distribuição dos resíduos, em função dos valores estimados.

CURVA DE SECAGEM EM CAMADA DELGADA DE MILHO EM ESPIGA (T 54,4°C - UR 21,7%)



(a)

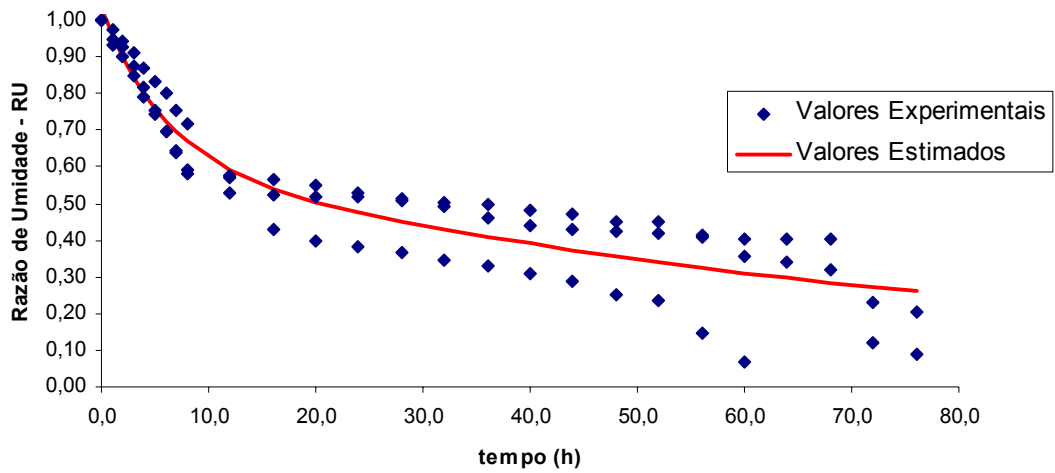
DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS EM FUNÇÃO DOS VALORES ESTIMADOS



(b)

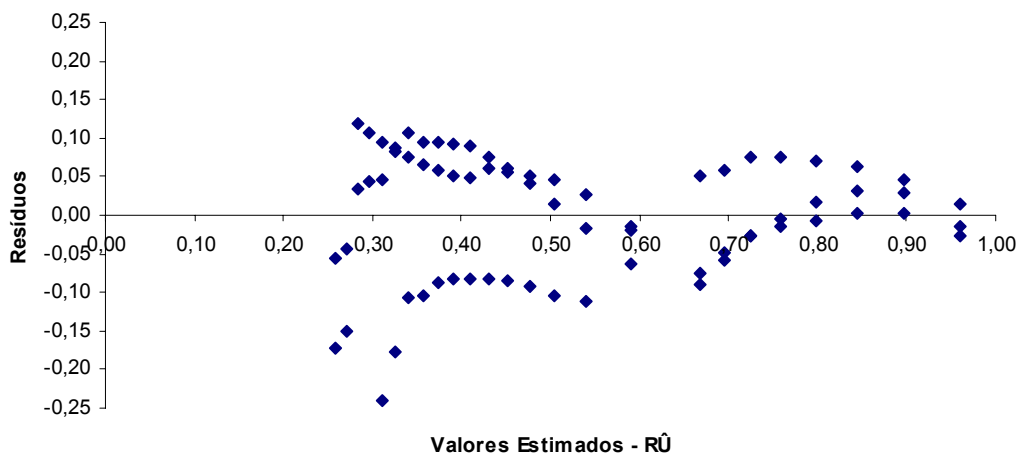
Figura 22 - (a) Curva de secagem de milho nas espigas, à temperatura média de $54,44 \pm 1,45$ °C e umidade relativa média de $21,70 \pm 2,42$ %, ajustada pelo modelo matemático de SHARAF-ELDEEN para fluxo de ar de $10 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ e altura de camada de 0,15 m., (b) Distribuição dos resíduos, em função dos valores estimados.

CURVA DE SECAGEM EM CAMADA DELGADA DE MILHO EM ESPIGA (T 54,4°C - UR 28,9%)



(a)

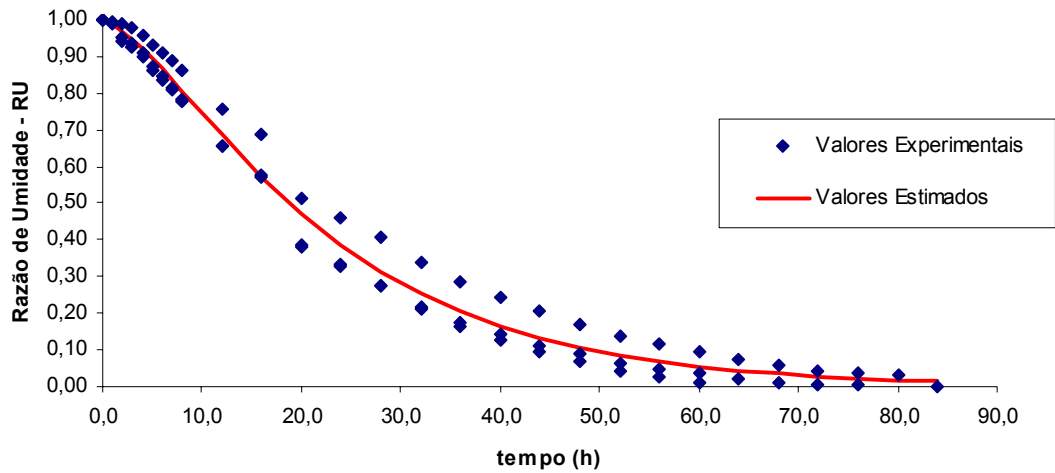
DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS EM FUNÇÃO DOS VALORES ESTIMADOS



(b)

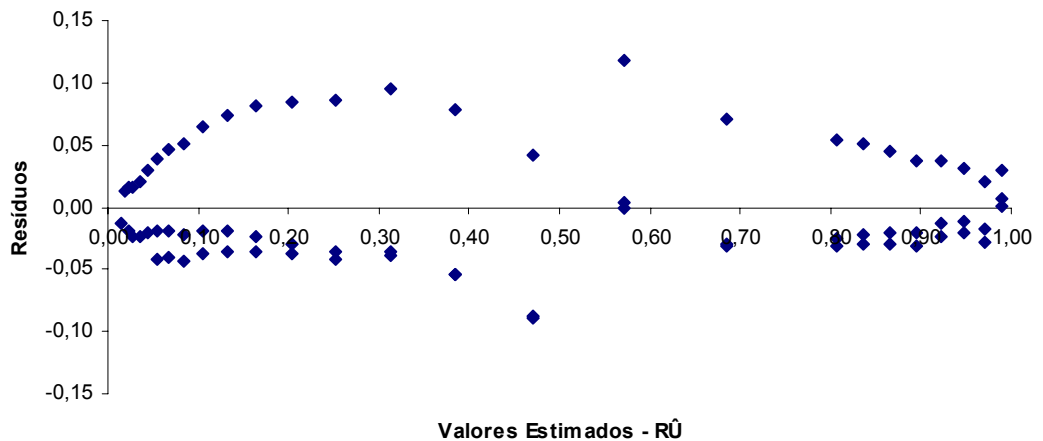
Figura 23 - (a) Curva de secagem de milho nas espigas, à temperatura média de $54,44 \pm 1,45$ °C e umidade relativa média de $28,89 \pm 4,26$ %, ajustada pelo modelo matemático de SHARAF-ELDEEN para fluxo de ar de $10 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ e altura de camada de 0,15 m., (b) Distribuição dos resíduos, em função dos valores estimados.

CURVA DE SECAGEM EM CAMADA DELGADA DE MILHO EM ESPIGA (T 54,4°C - UR 39,6%)



(a)

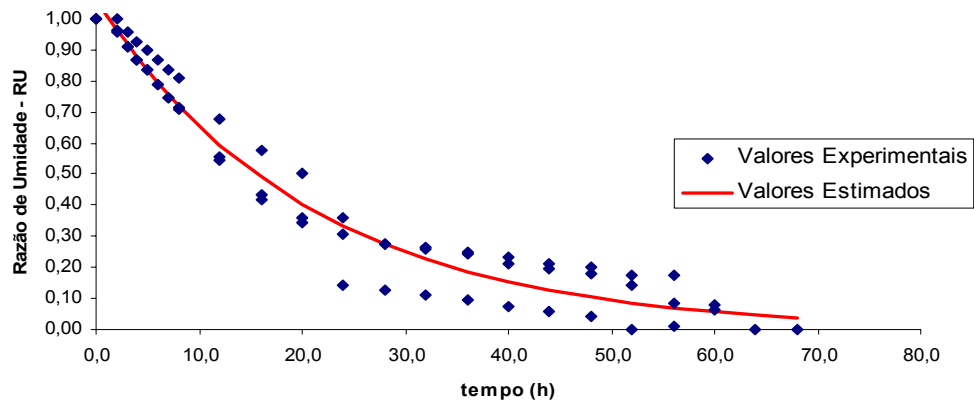
DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS EM FUNÇÃO DOS VALORES ESTIMADOS



(b)

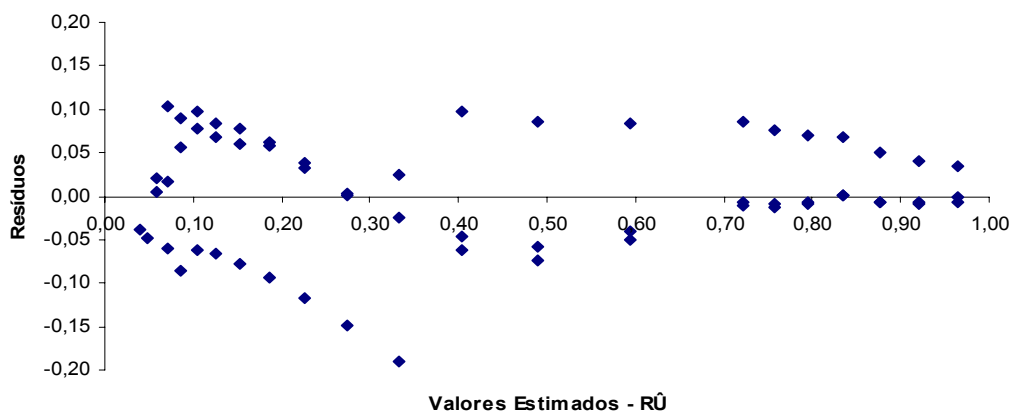
Figura 24 - (a) Curva de secagem de milho nas espigas, à temperatura média de $54,44 \pm 1,45$ °C e umidade relativa média de $39,63 \pm 5,53$ %, ajustada pelo modelo matemático de SHARAF-ELDEEN para fluxo de ar de $10 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ e altura de camada de 0,15 m., (b) Distribuição dos resíduos, em função dos valores estimados.

**CURVA DE SECAGEM EM CAMADA DELGADA DE MILHO
EM ESPIGA (T 54,4°C - UR 49,9%)**



(a)

**DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS EM FUNÇÃO DOS
VALORES ESTIMADOS**



(b)

Figura 25 - (a) Curva de secagem de milho nas espigas, à temperatura média de $54,44 \pm 1,45$ °C e umidade relativa média de $49,85 \pm 4,65$ %, ajustada pelo modelo matemático de SHARAF-ELDEEN para fluxo de ar de $10 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ e altura de camada de 0,15 m., (b) Distribuição dos resíduos, em função dos valores estimados.

Os resultados da análise de variância e da regressão não-linear da variável razão de umidade para as respectivas temperaturas e umidades relativas estudadas encontram-se nas Tabelas 16, 17 e 18.

Tabela 16 – Resumo da análise de variância e da regressão não-linear da variável razão de umidade de milho nas espigas para temperatura média do ar de $44,93 \pm 0,94$ °C, e das respectivas umidades relativas do ar estudadas.

QUADRADOS MÉDIOS								
FV	GL	UR(%)média (21,70±2,42)	GL	UR(%)média a (28,89±4,26)	GL	UR(%)média a (39,63±5,3)	GL	UR(%)média (49,85±4,65)
Regressão	4	6,1039*	3	7,0180*	4	9,3245*	4	8,4124*
Resíduo de regressão	103	0,0010	47	0,0007	120	0,0013	119	0,0016
TOTAL	107		50		85		123	

* - Significativo ao nível de 5% ($p = 0,05$)

Tabela 17 – Resumo da análise de variância e da regressão não-linear da variável razão de umidade de milho nas espigas para temperatura média do ar de $50,45 \pm 1,27$ °C, e das respectivas umidades relativas do ar estudadas.

QUADRADOS MÉDIOS								
FV	GL	UR(%)média (21,70±2,42)	GL	UR(%)média (28,89±4,26)	GL	UR(%)média (39,63±5,3)	GL	UR(%)média (49,85±4,65)
Regressão	4	5,3369*	4	5,6750*	4	5,6031*	4	6,2957*
Resíduo de regressão	68	0,0016	104	0,0011	81	0,0014	104	0,0026
TOTAL	72		108		85		108	

* - Significativo ao nível de 5% ($p = 0,05$)

Tabela 18 – Resumo da análise de variância e da regressão não-linear da variável razão de umidade de milho nas espigas para temperatura média do ar de $54,44 \pm 1,45$ °C, e das respectivas umidades relativas do ar estudadas.

QUADRADOS MÉDIOS								
FV	GL	UR(%)média (21,70±2,42)	GL	UR(%)média (28,89±4,26)	GL	UR(%)média (39,63±5,3)	GL	UR(%)média (49,85±4,65)
Regressão	2	10,2141*	4	6,6011*	4	6,7642*	2	12,3349**
Resíduo de regressão	71	0,0010	69	0,0064	71	0,0020	64	0,0041
TOTAL	73		73		75		66	

* - Significativo ao nível de 5% ($p = 0,05$)

Tabela 19 – Parâmetros da equação ajustada para o cálculo da razão de umidade de milho nas espigas, à temperatura média de $44,93 \pm 0,94$ °C, e das respectivas umidades relativas médias estudadas.

Equação de SHARAF – ELDEEN				
$RU = A_0 \cdot e^{-k_d \cdot t} + A_1 \cdot e^{-B \cdot k_d \cdot t}$				
UR (%) média				
Parâmetros	(21,70 ± 2,42)	(28,89 ± 4,26)	(39,63 ± 5,53)	(49,85 ± 4,65)
A ₀	0,0126	-2,9234	0,1802	0,1924
A ₁	1,0125	3,9246	0,8624	0,8553
B	25,9387	0,8539	0,2014	0,3334
Kd	0,0016	0,0996	0,0804	0,0635
R ²	0,9925	0,9940	0,9873	0,9868
P (%)	18,0516	10,5006	9,8484	14,2824
SE	0,1778	0,1033	0,2001	0,2166
Distribuição do resíduo	aleatório	aleatório	aleatório	aleatório

Tabela 20 – Parâmetros da equação ajustada para o cálculo da razão de umidade de milho nas espigas, à temperatura média de $50,45 \pm 1,27$ °C, e das respectivas umidades relativas médias estudadas.

Equação de SHARAF – ELDEEN				
$RU = A_0 \cdot e^{-k_d \cdot t} + A_1 \cdot e^{-B \cdot k_d \cdot t}$				
UR (%) média				
Parâmetros	(21,70 ± 2,42)	(28,89 ± 4,26)	(39,63 ± 5,53)	(49,85 ± 4,65)
A ₀	1,5960	0,9700	1,0048	0,7522
A ₁	-0,5587	0,0454	0,0392	0,3388
B	0,7775	0,1470	0,4628	0,1967
Kd	0,0505	0,0506	0,0554	0,0798
R ²	0,9876	0,9911	0,9894	0,9780
P (%)	13,8845	14,6817	14,7215	19,4228
SE	0,2045	0,1673	0,1710	0,2582
Distribuição do resíduo	aleatório	aleatório	aleatório	aleatório

Tabela 21 – Parâmetros da equação ajustada para o cálculo da razão de umidade de milho nas espigas, à temperatura média de $54,44 \pm 1,45$ °C, e das respectivas umidades relativas médias estudadas.

Equação de SHARAF – ELDEEN				
$RU = A_0 \cdot e^{-k_d \cdot t} + A_1 \cdot e^{-B \cdot k_d \cdot t}$				
UR (%) média				
Parâmetros	(21,70 ± 2,42)	(28,89 ± 4,26)	(39,63 ± 5,53)	(49,85 ± 4,65)
A ₀	0,7606	0,6172	1,5344	-5,0117
A ₁	0,2550	0,4160	-0,5309	0,0752
B	1,0001	15,0899	2,4705	1,0000
K _d	0,0577	0,0114	0,0555	0,0484
R ²	0,9925	0,8975	0,9868	0,9686
P (%)	10,6247	12,2470	15,9595	17,7696
SE	0,1910	0,3315	0,1871	0,3639
Distribuição do resíduo	aleatório	aleatório	aleatório	aleatório

Como se observa nas tabelas 16, 17 e 18, e no Apêndice F, o modelo proposto por SHARAF-ELDEEN, para a determinação da razão de umidade para milho nas espigas, é adequado para descrever os dados. O QM (quadrado médio) do resíduo pode ser utilizado como estimativa da variância residual.

Assim mesmo, a análise estatística mostrada no Apêndice F, indica que os regressores do modelo são significativos ao nível de 5 % de probabilidade, o que garante que o modelo proposto por SHARAF – ELDEEN é adequado.

A análise dos resultados apresentados nas tabelas 19, 20 e 21 indica que, para as variedades estudadas de milho em espiga do grupo semiduro e nas condições em que o experimento foi desenvolvido, a equação de SHARAF-ELDEEN, para a determinação da razão de umidade, apresentou altos valores da magnitude do quadrado do coeficiente de correlação (R²); baixos valores do erro médio relativo e erro médio estimado; e a verificação do comportamento aleatório da distribuição dos resíduos, indicando que o modelo é adequado.

A Tabela 22 apresenta as constantes da equação de secagem de milho na espiga, proposta SHARAF-ELDEEN, ajustada para cada uma das temperaturas médias e suas respectivas umidades relativas médias estudadas, obtidas utilizando-se o secador experimental de camada delgada. Verifica-se que as constantes variam com a temperatura do ar de secagem, com a umidade relativa do ar e com o tempo de secagem do produto, o que concorda com as afirmações de SHARAF-ELDEEN et al. (1980).

A Tabela 23 apresenta as constantes da equação do fator Kd para a determinação da razão de umidade de milho em espiga, do modelo proposto por SHARAF-ELDEEN, ajustada para as temperaturas estudadas, obtidas utilizando-se o secador experimental de camada delgada.

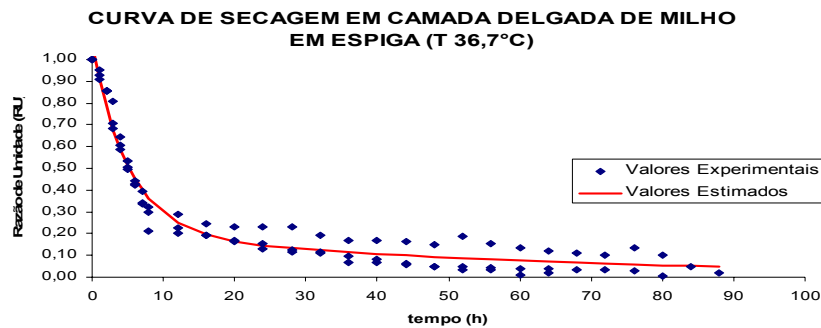
Tabela 22 – Constantes da equação proposta por SHARAF-ELDEEN para a determinação das curvas de secagem de milho nas espigas, para as temperaturas médias estudadas e as respectivas umidades relativas médias, com os respectivos coeficientes de determinação.

Equação de SHARAF – ELDEEN						
$RU = A_0 \cdot e^{-k_d \cdot t} + A_1 \cdot e^{-B \cdot k_d \cdot t}$						
Temperatura média (°C)	UR(% média	A_0	A_1	B	Kd	R^2
36,70 ± 1,26)	46,20 ± 7,71	0,8637	0,2056	0,0845	0,1956	0,9846
(55,18 ± 9,17)	18,56 ± 5,80	0,7904	0,2310	0,2761	0,1730	0,9909

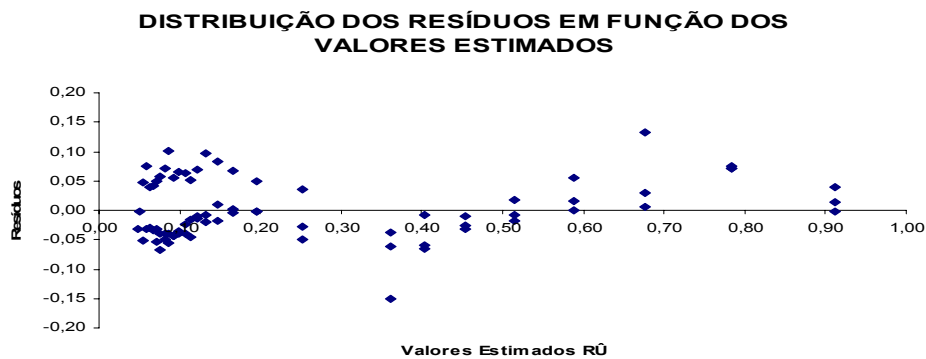
As curvas de secagem das variedades de milho nas espigas estudadas, para as temperaturas médias do ar de secagem de 36,7 e 55.2 °C, e as diferentes umidades relativas do ar de secagem, ajustadas com a utilização do modelo matemático proposto por SHARAF-ELDEEN et al.(1980), a respectiva distribuição dos resíduos e o diagrama da regressão entre os valores experimentais e os valores estimados pelo modelo são apresentados nas Figuras 26 a 27.

Tabela 23 – Constantes da equação proposta por SHARAF-ELDEEN para a determinação do fator Kd para a elaboração das curvas de secagem de milho nas espigas, para as temperaturas médias estudadas, com os respectivos coeficientes de determinação (Secador).

Equação de SHARAF – ELDEEN – Fator Kd				
$Kd = \left[a + (b.T_{abs} + c) U_0 + \left(\frac{d}{T_{abs}} \right) \right]$				
a	b	c	d	R²
-25,3127	0,2386	-74,0739	7360,5331	0,9920



(a)



(b)

Figura 26 – (a) Curva de secagem de milho nas espigas, à temperatura média do ar de secagem de $36,70 \pm 1,26$ °C, e umidade relativa média do ar de secagem de $46,20 \pm 7,71$, ajustada pelo modelo matemático de SHARAF- ELDEEN para fluxo de ar de $22 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ e altura de camada de 0,07 m, (b) Distribuição dos resíduos, em função dos valores estimados.

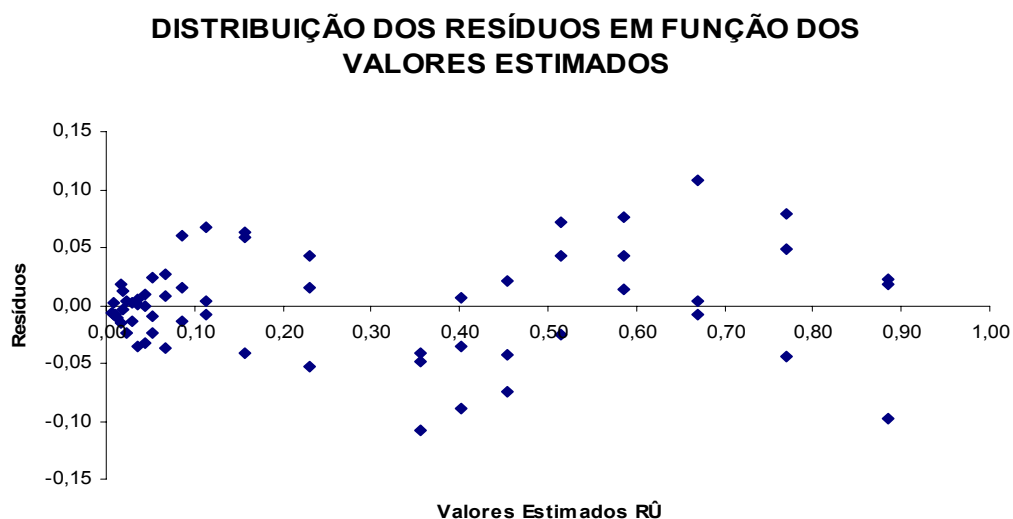
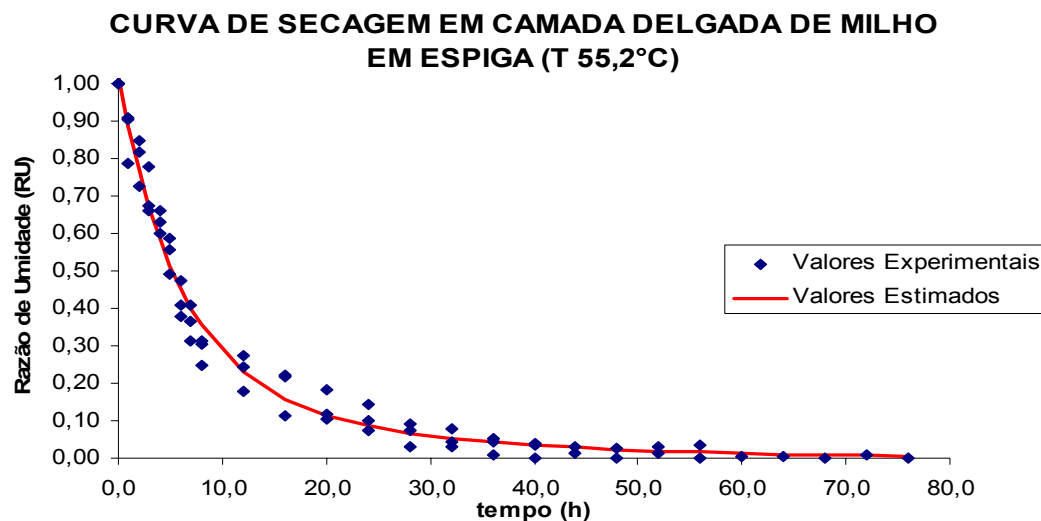


Figura 27 - (a) Curva de secagem de milho nas espigas, à temperatura média do ar de secagem de $55,18 \pm 9,17$ °C, e umidade relativa média do ar de secagem de $18,56 \pm 5,80$ %, ajustada pelo modelo matemático de SHARAF- ELDEEN para fluxo de ar de $22 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ e altura de camada de 0,07 m, (b) Distribuição dos resíduos, em função dos valores estimados.

Os resultados das análises de variância da regressão linear obtidos depois dos diferentes tratamentos encontram-se nas Tabelas 24 e 25.

Tabela 24 – Resumo da análise de variância e da regressão não-linear da variável razão de umidade de milho nas espigas para as temperaturas médias do ar de secagem estudadas e suas respectivas umidades relativas do ar de secagem.

FV	QUADRADOS MÉDIOS		QUADRADOS MÉDIOS	
	GL	T (36,70 ± 1,26°C) UR (%) média (46,20± 7,71%)	GL	T (55,18 ± 9,17°C) UR (%) média (18,56 ± 5,80%)
Regressão	4	3,3122*	4	3,0584*
Resíduo de Regressão	74	0,0028	59	0,0019
TOTAL	78		63	

* - Significativo ao nível de 5% (p = 0,05)

Tabela 25 – Parâmetros da equação ajustada para o cálculo da razão de umidade de milho nas espigas às respectivas temperaturas médias do ar de secagem e às umidades relativas médias do ar de secagem estudadas

Equação de SHARAF – ELDEEN		
$RU = A_0 \cdot e^{-k_d \cdot t} + A_1 \cdot e^{-B \cdot k_d \cdot t}$		
PARÂMETROS	T (36,70 ± 1,26°C) UR (%) média (46,20± 7,71%)	T (55,18 ± 9,17°C) UR (%) média (18,56 ± 5,80%)
	A ₀	0,8637
A ₁	0,2056	0,2310
B	0,0845	,2761
Kd	0,1956	0,1730
R ²	0,9691	0,9824
P (%)	23,6737	11,1716
SE	0,2278	0,1679
Distribuição do resíduo	aleatório	aleatório

Como se observa, a Tabela 24 indica que o modelo proposto por SHARAF-ELDEEN para a determinação da razão de umidade para milho nas espigas é adequado para descrever os dados, e o QM (quadrado médio) do resíduo pode ser utilizado como estimativa da variância residual.

A análise dos resultados apresentados na Tabela 25 indica que, para as variedades estudadas de milho nas espigas do grupo semiduro e nas condições sob as quais o experimento foi desenvolvido, a equação de SHARAF-ELDEEN para a determinação da razão de umidade apresentou altos valores da magnitude do quadrado do coeficiente de correlação (R^2); baixos valores do erro médio relativo e erro médio estimado; e a verificação do comportamento aleatório da distribuição dos resíduos indicou que o modelo é adequado.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Este trabalho foi realizado no laboratório da Área de Pré-processamento e Armazenamento de Produtos Vegetais – DEA, nas dependências da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, com o objetivo de determinar as isotermas de equilíbrio higroscópico e as curvas de secagem de dois materiais híbridos de milho nas espigas, ajustando o modelo matemático de SHARAF-ELDEEN aos dados experimentais, e verificar se o modelo mencionado seria capaz de prever, mais exatamente, a umidade de equilíbrio higroscópico e a secagem de milho nas espigas, sob diferentes condições de temperatura e umidade relativa.

A seleção das espigas foi feita manualmente, atendendo às condições de higiene e fitossanidade, necessárias à produção de sementes com boa qualidade. Para a observação dos defeitos das espigas, foram considerados os danos visuais aparentes causados por roedores, pássaros, insetos, microrganismos, agentes mecânicos e intempéries.

Foram utilizadas espigas de milho (*Zea mays L.*) das variedades AG 1051 e AG 112 da empresa Agrocere S.A (Monsanto), produzidas no município de Coimbra-MG, em um campo experimental da UFV, cedidas pelo Departamento de Fitotecnia no ano agrícola 2001/2002, com umidade inicial de $25 \pm 2,0$ % b.u. As variedades foram misturadas facilitando as determinações de umidade de equilíbrio e curvas de secagem correspondentes, com a finalidade de obter resultados práticos que foram utilizados nas operações de secagem.

As espigas foram colhidas e despalhadas manualmente com o propósito de garantir a qualidade das sementes, evitando possíveis danos mecânicos. As espigas foram acondicionadas em invólucros de polipropileno e armazenadas em câmara fria à temperatura de 4 ± 2 °C, até o momento das avaliações experimentais.

Antes de ser submetido aos tratamentos experimentais, o produto permaneceu em ambiente natural durante 24 horas, aproximadamente, com a finalidade de atingir o equilíbrio térmico com o ambiente.

Os tratamentos de sorção de umidade para o milho nas espigas foram realizados em três níveis de temperatura ($44,93 \pm 0,94$ °C, $50,45 \pm 1,27$ °C e $54,44 \pm 1,45$ °C) e quatro níveis de umidade relativa ($21,70 \pm 2,42$ %, $28,89 \pm 4,26$ %, $39,63 \pm 5,53$ % e $49,85 \pm 4,65$ %), no delineamento inteiramente casualizado. Foram realizados três testes de secagem para cada tratamento.

O fluxo de ar foi de $10,0 \pm 0,5$ m³ min⁻¹ t⁻¹. Este fluxo varia um pouco devido à quantidade de massa das espigas.

Os tratamentos foram realizados utilizando-se uma unidade condicionadora de ar dotada de dispositivos para os controles da temperatura e da umidade relativa do ar fornecidos e um sistema de acondicionamento das espigas composto por três bandejas removíveis com fundo telado, para permitir a passagem do ar por entre a massa de produto.

Para a elaboração das curvas de secagem, o produto utilizado tinha umidade inicial de $25 \pm 1,0$ % b.u. Para os testes experimentais relativos à obtenção das curvas de secagem utilizou-se um secador de camada delgada, que possui uma câmara de secagem com seção circular de 0,53 m de diâmetro e 0,63 m de altura, com o fundo telado. As espigas foram acondicionadas em uma bandeja com seção retangular. O sistema de aquecimento do ar foi composto por três resistências elétricas e um regulador de voltagem para ajuste da temperatura. Usou-se um ventilador tubo-axial, dotado de diafragma, para regular a vazão de ar, acionado por um motor elétrico de 186,5 W (0,25 HP).

O secador foi devidamente instrumentado para coleta de dados de temperatura e pressão estática. A massa inicial das amostras variou entre 400 e 500 g. Durante os testes, as amostras foram pesadas a intervalos regulares de 1 hora, durante as primeiras 8 horas e, a partir daí, em intervalos regulares de 4 horas até atingir a umidade de equilíbrio.

Realizaram-se testes com ar aquecido às temperaturas médias de $36,70 \pm 1,26$ °C e $55,18 \pm 9,17$ °C e fluxo de ar de $25 \pm 1,0$ m³min⁻¹m⁻² para altura de camada de 0,1 m.

De acordo com os resultados obtidos pôde-se concluir que:

- O teor de umidade de equilíbrio de milho nas espigas dos cultivares híbridos em estudo aumenta com o aumento da umidade relativa e diminuição da temperatura;
- o acréscimo no teor de umidade de equilíbrio é maior, quanto maior for o decréscimo de temperatura;
- as constantes do Modelo proposto por SHARAF-ELDEEN para a determinação do teor de umidade de equilíbrio variam com a temperatura;
- a equação exponencial proposta por SHARAF-ELDEEN, quando ajustada suas constantes, para a determinação do teor de umidade de equilíbrio higroscópico, para as variedades estudadas de milho em espiga do grupo semiduro, garante que o modelo proposto é adequado, nas faixas de temperatura de 44-55 °C (independentes) e umidades relativas do ar entre 20 – 50 %;
- o modelo matemático proposto por SHARAF-ELDEEN para a determinação da razão de umidade é adequado para descrever o processo de secagem de milho em espiga em camada delgada, para as faixas de condições em que se realizaram os testes;
- o presente trabalho demonstra a possibilidade, nas condições climatológicas que foram simuladas com a utilização do equipamento modificador de atmosfera AMINCO-AR, de secagem de milho em espiga em camadas delgadas, para a produção de sementes com boa qualidade.

Para futuros trabalhos, sugere-se:

- Repetir os testes realizados com milho em espiga com diferentes teor de água inicial e que, desta forma, possam ser realizadas recomendações técnicas interessantes que acrescentem a técnica de secagem a este produto; e
- estabelecer um grupo de apoio em nível de mestrado e doutorado para o desenho de um equipamento modificador de atmosfera, que permita uma faixa de temperaturas maiores e condições de umidade relativa mínimas e máximas que garantam futuras pesquisas para a determinação de teor de umidade de equilíbrio e elaboração de curvas de secagem e comportamento durante o armazenamento de produtos agrícolas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHRENS, D. C.; BARROS, A. S. R.; VILLELA, F. A.; LIMA, D., Qualidade de Sementes de Milho (*Zea Mays L.*) Sob condições de secagem intermitente. **Ciência Agrícola** v. 55 n.2 Piracicaba, 1998, 11p.;
- ARAUJO, E.F. **Efeito da temperatura e umidade relativa do ar de secagem sobre a qualidade fisiológica e determinação do equilíbrio higroscópico de sementes de milho doce (*Zea mays L.*)**. campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense, (Tese Doutorado). 1999. 128p.;
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - A.O.A.C. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 14 ed., Washington, 1984. 1141p.;
- BAKKER-ARKEMA, F.W., LEREW, L.E., BROOK, R.C., BROOKER, D.B. **Energy and capacity performance evaluation of grain dryers**. St. Joseph, Michigan, ASAE, (ASAE Paper, 78-3523), 1978. 13p.;
- BERISTAIN, C.I.; DÍAZ, R.; GARCÍA, H.S.; AZUARA, E. Thermodynamic behavior of green whole and decaffeinated coffee beans during adsorption. **Drying Technology**, New York, v.12, n.5, 1994, p.1221-1233.;
- BOLDUC, F. Development of a natural convection drier for on-farm use in developing countries. Manhattan, Kansas State University. (M.S. Thesis), 1978. 99p.;
- BRASIL. **Regras para Análise de Sementes**. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Brasília: MAA/DNDV, 1992, 365p.;
- BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. Grain quality. In: _____. ***Drying and storage of grains and oil seeds***. New York: Na Avi Book, 1992, p.87-123.;
- BROOKER, D.B., BAKKER-ARKEMA, F.W., HALL, C.W. **Drying cereal grains**. Westport: AVI Publishing, 1974. 265p.;

- CAL-VIDAL, J. Potencial higroscópico como índice de estabilidade de grãos e cereais desidratados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.17, n.1, 1982. p.61-76.;
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J., **Sementes- ciência, tecnologia e produção**. 4. Edição- Jaboticabal: FUNEP, 1988, 588p.;
- CAVALCANTI MATA, M.E.R.M. **Efeitos da secagem em altas temperaturas por curtos períodos de tempo, em camada estacionária, sobre a armazenabilidade de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), variedade “Carioca”: avaliação experimental, modelagem e simulação**. Campinas: UNICAMP, (Tese de Doutorado), 1997. 229p.;
- CAVALCANTI MATA, M.E.R.M.; MARTINS, J.H.; ALMEIDA, F.A.C. Histerese em sementes de feijão mulatinho (*Phaseolus vulgaris* L.) variedade paulista. **Revista Nordestina de Armazenagem**, Campina Grande, v.2, n.2, 1985, p.28-44.;
- CAVARIANI, C. **Secagem estacionária de sementes de milho com distribuição radial do fluxo de ar**. Piracicaba, Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. 1996. 85 p.;
- CHEN, C. Factors which effect equilibrium relative humidity of agricultural products. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.43, n.3, 2000, p. 673-683.;
- CHITTENDEN, D.H. **Drying of single kernels and deep beds of shelled corn**. Wisconsin: University of Wisconsin, (Thesis Ph. D.), 1961. 214p.;
- CHRIST, D. **Curvas de equilíbrio higroscópico e de secagem da canola (*Brassica napus* L. var. oleifera), e efeito da temperatura e da umidade relativa do ar de secagem sobre a qualidade das sementes**. Viçosa: UFV,. (Tese de Mestrado). 1996. 50p.;
- CHRISTENSEN, C. M. **Storage of Cereal grains and their products**. St. Paul: American Association of Cereal Chemists. 1974. 549 p.;
- CHUNG, D.S.; PFOST, H.B. Adsorption and desorption of water vapor by cereal grains and their products. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.10, n.4, 1967.p. 149-157.;
- CORRÊA, P.C.; MOURE, J. Higroscopicidad y propiedades térmicas de semillas de sorgo. **Alimentación Equipos y Tecnología**, Madrid, v.29, n.1, 2000. p.149-153.;
- FAN, J.; SIEBENMORGEN, T.J.; MARKS, B.P. Effects of variety and harvest moisture content on equilibrium moisture contents of rice. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v.16, n.3, 2000. p. 245-251.;

- FORTES, M.; OKOS, M.R. Heat and mass transfer in hygroscopic capillary extruded products. **AICHE Journal**, St. Joseph, v.27, n.2, 1981.p.102-113.;
- FORTES, M.; PINHEIRO FILHO, J.B.; OKOS, M.R. Estudo de secagem de duas variedades de milho em camadas finas. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v.7, n.1, 1982, p.27-32.;
- FRIESEN, J.A. Predicting equilibrium moisture content within the hysteresis loop. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.17, n.31974, p. 339-341.;
- GUSTAFSON, J.R.; HALL, G.E. Equilibrium moisture content of shelled corn from 50°F to 155°F. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.17, n.1, p.120-124, 1974;
- HALL, C.W. **Drying and storage of agricultural crops**. Westport: The AVI Publishing Company, 1980. 382 p.;
- HENDERSON, S.M. A basic concept of equilibrium moisture. **Agriculture Engineering**, St. Joseph, v.33, n.1. 1952., p. 29-32.;
- HENDERSON, S.M. Equilibrium moisture content of small grain-hysteresis. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.13, n.6, 1970, p. 762-764.;
- HUNT, W.H.; PIXTON, S.W. Moisture: its significance, behavior, and measurement. In: CHRISTENSEN, C.M. **Storage of cereal grain and their products**. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1974. p. 1-55.
- JAYAS, D.S.; MAZZA, G. Comparison of five, three-parameter equations for the description of adsorption data of oats. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.36, n.1, 1993, p. 119-124.;
- LACERDA FILHO, A. F. de. **Avaliação de uma unidade de beneficiamento de sementes de milho (Zea mays, L.)**. Botucatu,. Dissertação (Doutorado em Agrícola/Armazenamento)-faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual Paulista. 1998. 197p.;
- LASSERAN, J. C. Combustíveis e geradores de ar quente. *Revista Brasileira de Armazenamento*. Viçosa, 4 (2): 1979, p.75-88.;
- MANTOVANI, B. H. M. Análise e simulação de secagem de grãos de milho em câmaras espessas. Viçosa - MG, UFV, 1976;
- MARTINS, J. H.; PINHEIRO, J. B. F.; FORTES, M.; SEDIYAMA, G. C.; Simulação de Secagem de milho em Camada Estacionaria. *Revista brasileira de Armazenamento*. Viçosa 7 (1) 1982. p. 5-18.;
- NGODDY, P.O.; BAKKER-ARKEMA, F.W. A theory of sorption hysteresis in biological materials. **Journal Agricultural Engineering Research**, London, v.20, n.2, 1975, p.109-121.;

- PARENTE, A. C.; GARAGORRY, F. L.; PALMA, O.; MANTOVANI, B. H. M. Aplicação de modelos matemáticos no estudo de secagem e armazenamento de grãos. In: Seminário Nacional de Armazenagem, 2º. Brasília, D. F., 1976.;
- PENA, R.S.; RIBEIRO, C.C.; GRANDI, J.G. Influência da temperatura nos parâmetros de modelos bi-paramétricos que predizem isotermas de adsorção de umidade do guaraná (*Paullinia cupana*) em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.17, n.3, 1997, p.229-232.;
- PINTO, F. A. C.; SILVA, J. de S. E.; SOUZA, F.F. de. Simulação de secagem de grãos. Modelo de Hukill. **Engenharia na Agricultura**. Série Caderno Didático. Vol.1 N.1 1991, 16p. ;
- QUEIROZ, D. M. Simulação de Secagem de milho (*Zea mays* L.) em secadores de fluxos concorrentes. Viçosa, Dissertação (mestrado em agrícola/armazenamento) - faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, 1984. 69p.;
- ROA, G.; ROSSI, S.J. Determinação experimental de curvas de teor de umidade de equilíbrio mediante a medição da umidade relativa de equilíbrio. **Revista Brasileira de Armezenamento**, Viçosa, v.2, n.2, 1977. p.17-22.;
- ROCKLAND, L. B. A new tratment of higroscopic equilibria applications to walnuts (*juglans Regla*) and other foods. *Journal of Foods Science*, Davis, California, 22 (1): 1957. p.604-628.;
- ROMAN, G.N.; URBICAIN, M.J.; ROTSTEIN, E. Moisture equilibrium in apples at several temperatures: experimental data and theretical considerations. **Journal of Food Science**, Chicago, v.47, n.5, 1982. p.1484-1507.;
- ROSSI, S.J.; ROA, G. **Secagem e armazenamento de produtos agropecuários com uso de energia solar e ar natural**. São Paulo: Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 1980. 295p.;
- SHARAF-ELDEEN, Y. I.; BLAISDELL, J. L.; HAMDY, M. A. A model for ear corn drying. **Transactions of the ASAE**. St. Joseph, Michigan, 1980, 1. 1261-5, 1271. ;
- SILVA, F. A. P. **Simulação de Secagem de Milho (*Zea mays*, L.) em espiga para Sementes**. Viçosa, MG. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)- Universidade Federal de Viçosa. 1985. 53p.;
- SILVA, J.S.; AFONSO, A.D.L.; LACERDA FILHO, A.F. Secagem e armazenagem de produtos agrícolas. In: SILVA, J.S. **Pré-processamento de produtos agrícolas**. Juiz de Fora: Instituto Maria, 1995. 509p.;
- SINHA, R.N.; MUIR, W.E. **Grain storage: part of system**. Westport: AVI Publishing Company, 1973. 58p.

- SOKHANSANJ, S.; YANG, W. Prediction of kernel and bulk volume of wheat and canola during adsorption and desorption. **Journal Agricultural Engineering Research**, New York, v.63, n.2, 1996. p.129-136.;
- THOMPSON, H.J.; SHEDD, C.K. Equilibrium moisture content and heat of vaporization of shelled corn and wheat. **Agricultural Engineering**, St. Joseph, v.35, n.11, 1954. p.786-788.;
- THOMPSON, T.L; PEART, R.M.; FOSTER, G.H. Mathematical simulation of corn drying – A new model. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.11, n.4, 1968. p.582-586.;
- TOLEDO, F.F.; MARCOS FILHO, J. **Manual das sementes: tecnologia da produção**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1977. 224p.;
- WANG, N.; BRENNAN, J.G. Moisture sorption isotherms characteristics of potatoes at four temperatures. **Journal of Food Engineering**, London, v.14, n.3, 1991. p.269-287.;
- WHITE, G.M.; ROSS, I.J.; KLAIBER, J.D. Moisture equilibrium in mixing of shelled corn. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.15, n.3, 1972. p.508-509.;
- YOUNG, J.H.; NELSON, G.L. Theory of hysteresis between sorption and desorption isotherms in biological materials. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.10, n.2, 1967. p.260-263.;

APÊNDICES

APÊNDICE A

APÊNDICE A
BASE DE DADOS
TEOR DE UMIDADE DE EQUILÍBRIO HIGOSCÓPICO DE MILHO EM ESPIGA

#	<i>Temperatura</i> (°C)	<i>Temperatura</i> <i>Absoluta</i> (°K)	<i>Umidade</i> <i>Relativa</i> (%)	<i>Umidade Relativa</i> <i>DECIMAL</i>	<i>Ue (%b.s)</i> <i>EXPERIMENTAL</i>
1	54,77	327,77	21,52	0,2152	4,41
1	54,77	327,77	21,52	0,2152	4,41
1	54,77	327,77	21,52	0,2152	4,92
2	54,50	327,50	30,30	0,3030	6,34
2	54,50	327,50	30,30	0,3030	5,81
2	54,50	327,50	30,30	0,3030	4,23
3	53,81	326,81	42,15	0,4215	7,92
3	53,81	326,81	42,15	0,4215	7,25
3	53,81	326,81	42,15	0,4215	7,17
4	54,67	327,67	47,89	0,4789	7,33
4	54,67	327,67	47,89	0,4789	7,11
4	54,67	327,67	47,89	0,4789	6,66
5	50,48	323,48	21,59	0,2159	4,20
5	50,48	323,48	21,59	0,2159	4,31
5	50,48	323,48	21,59	0,2159	4,57
6	50,44	323,44	26,76	0,2676	4,31
6	50,44	323,44	26,76	0,2676	5,25
6	50,44	323,44	26,76	0,2676	5,95
7	50,82	323,82	35,90	0,3590	6,79
7	50,82	323,82	35,90	0,3590	7,37
7	50,82	323,82	35,90	0,3590	9,04
8	50,05	323,05	50,90	0,5090	12,20
8	50,05	323,05	50,90	0,5090	12,07
8	50,05	323,05	50,90	0,5090	12,70
9	44,80	317,80	22,00	0,2200	4,31
9	44,80	317,80	22,00	0,2200	4,19
9	44,80	317,80	22,00	0,2200	4,30
10	45,10	318,10	29,60	0,2960	6,17
10	45,10	318,10	29,60	0,2960	5,56
10	45,10	318,10	29,60	0,296	7,04
11	44,79	317,79	40,85	0,4085	9,91
11	44,79	317,79	40,85	0,4085	8,80
11	44,79	317,79	40,85	0,4085	10,13
12	44,99	317,99	50,76	0,5076	11,79
12	44,99	317,99	50,76	0,5076	11,50
12	44,99	317,99	50,76	0,5076	11,42

APÊNDICE B

/* APÊNDICE B */

```
/* MODELO ISOTERMA DE EQUILIBRIO 44.93C */
data NAOLINE1;
options nodate nonumber;
input Ue UR T ;
  X =(-LOG(1-UR)/T);
cards;
  5.41      0.2170  317.93
  5.29      0.2170  317.93
  5.40      0.2170  317.93
  6.17      0.2889  317.93
  5.56      0.2889  317.93
  7.04      0.2889  317.93
  9.91      0.3963  317.93
  8.80      0.3963  317.93
 10.13      0.3963  317.93
 11.79      0.4985  317.93
 11.50      0.4985  317.93
 11.42      0.4985  317.93
;
proc nlin method=gauss;
parm a=5.69
      b=0.55
;
model Ue= a*(X)**b;
output out=saida1 p=yhat r=resid;
title 'ISOTERMA DE EQUILIBRIO 44.93C';
run;
*;
proc print data=saida1;
proc corr;
var Ue;
with yhat;
proc reg;
model yhat=Ue;
output out=new p=yhat r=resid;
run;
quit;
*;
PROC GPLOT;
PLOT Ue*UR='*' YHAT*UR='M'/OVERLAY;
PLOT RESID*YHAT/VREF=0;
PLOT Ue*YHAT;
PROC PRINT;
RUN;QUIT;
```

/* APÉNDICE B */

ISOTERMA DE EQUILIBRIO 44.93C

Non-Linear Least Squares Iterative Phase		Dependent Variable UE		
Method: Gauss-Newton				
Iter	A	B	Sum of Squares	
0	5.690000	0.550000	853.638410	
1	11.805593	0.650084	850.908988	
2	29.301807	0.757995	842.873285	
3	381.858759	1.056969	805.295719	
4	159.703026	0.865221	772.320517	
5	414.722076	0.563218	46.032147	
6	622.852273	0.653772	5.594464	
7	753.272398	0.686399	4.948245	
8	878.948760	0.711656	4.770489	
9	992.783075	0.730796	4.573072	
10	1189.116990	0.759457	4.517320	
11	1441.642456	0.787703	3.979856	
12	1461.514000	0.786818	3.658436	
13	1461.580816	0.786840	3.658429	
14	1461.579783	0.786840	3.658429	

NOTE: Convergence criterion met.

Non-Linear Least Squares Summary Statistics			Dependent Variable UE
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	2	881.23337149	440.61668575
Residual	10	3.65842851	0.36584285
Uncorrected Total	12	884.89180000	
(Corrected Total)	11	77.68376667	

Parameter	Estimate	Asymptotic Std. Error	Asymptotic 95 % Confidence Interval
			Lower Upper
A	1461.579783	559.76417404	214.33963397 2708.8199313
B	0.786840	0.05951549	0.65423025 0.9194494

Asymptotic Correlation Matrix

Corr	A	B
A	1	0.9985838276
B	0.9985838276	1

APÊNDICE C

APÊNDICE C

Variação com o tempo da perda de massa, a percentagem de umidade em b.s e a razão de umidade para temperatura média do ar de secagem de $44,93 \pm 0,94$ °C e umidade relativa média do ar de secagem de $21,70 \pm 2,42$ %

TEMPO horas (h)	REPETIÇÃO 1 MASSA LIQ.(g)	UMIDADE(%b.s) PERDA DE MASSA	Razão de Umidade EXPERIMENTAL	REPETIÇÃO 2 MASSA LIQ.(g)	UMIDADE(%b.s) PERDA DE MASSA	Razão de Umidade EXPERIMENTAL	REPETIÇÃO 3 MASSA LIQ.(g)	UMIDADE(%b.s) PERDA DE MASSA	Razão de Umidade EXPERIMENTAL
0	4543,1	24,70	1,0000	4587,5	24,69	1,0000	4619,0	25,90	1,0000
1	4519,6	24,31	0,9797	4567,0	24,35	0,9826	4604,3	25,66	0,9885
2	4481,5	23,66	0,9463	4531,8	23,76	0,9523	4574,4	25,18	0,9648
3	4461,8	23,33	0,9289	4513,2	23,45	0,9361	4558,3	24,91	0,9519
4	4434,5	22,86	0,9044	4487,5	23,01	0,9135	4535,9	24,54	0,9338
5	4416,1	22,53	0,8877	4469,3	22,70	0,8973	4519,8	24,27	0,9207
6	4367,9	21,68	0,8434	4442,8	22,24	0,8736	4495,5	23,86	0,9007
7	4319,7	20,81	0,7981	4415,7	21,76	0,8490	4472,1	23,47	0,8813
8	4256,6	19,63	0,7373	4345,3	20,49	0,7836	4408,1	22,35	0,8271
12	4163,3	17,83	0,6439	4292,0	19,50	0,7327	4359,3	21,49	0,7846
16	4106,4	16,69	0,5849	4206,6	17,87	0,6485	4321,2	20,79	0,7509
20	4005,1	14,59	0,4756	4118,6	16,12	0,5581	4188,5	18,28	0,6285
24	3929	12,93	0,3899	4078,6	15,29	0,5156	4147,8	17,48	0,5893
28	3893,3	12,13	0,3485	4038,7	14,46	0,4725	4103,9	16,60	0,5463
32	3803,9	10,07	0,2414	4004,8	13,73	0,4352	4066,4	15,83	0,5088
36	3787,7	9,68	0,2215	3983,1	13,26	0,4110	4045,1	15,39	0,4871
40	3775,6	9,39	0,2065	3924,8	11,97	0,3445	4007,3	14,59	0,4482
44	3723,4	8,12	0,1406	3900,3	11,42	0,3160	3970,0	13,79	0,4091
48	3701,9	7,59	0,1130	3880,1	10,96	0,2923	3954,0	13,44	0,3920
52	3690,6	7,31	0,0983	3856,9	10,42	0,2647	3939,5	13,12	0,3765
56	3681,7	7,08	0,0867	3823,3	9,64	0,2241	3927,4	12,85	0,3634
60	3670,9	6,81	0,0725	3811,1	9,35	0,2092	3915,9	12,60	0,3510
64	3665,5	6,67	0,0654	3804,5	9,19	0,2011	3908,5	12,43	0,3429
68	3660,2	6,54	0,0584	3801,2	9,11	0,1970	3895,0	12,13	0,3281
72	3654,3	6,39	0,0506	3800,0	9,08	0,1955	3887,5	11,96	0,3198
76	3651,9	6,32	0,0474	3790,2	8,85	0,1834	3881,5	11,82	0,3132
80	3647,1	6,20	0,0410	3788,3	8,80	0,1811	3834,4	10,74	0,2603
84	3645,2	6,15	0,0385	3724,1	7,23	0,1000	3803,5	10,01	0,2249
88	3640,2	6,02	0,0318	3698,0	6,58	0,0663	3770,8	9,23	0,1869
92	3635,3	5,90	0,0252	3673,2	5,94	0,0338	3701,8	7,54	0,1043
96	3631,9	5,81	0,0207	3665,0	5,73	0,0229	3686,4	7,15	0,0855
100	3630,2	5,76	0,0184	3649,5	5,33	0,0023	3659,6	6,47	0,0523
104	3620	5,50	0,0046	3648,1	5,30	0,0004	3650,0	6,23	0,0403
108	3616,8	5,41	0,0003	3647,9	5,29	0,0001	3631,2	5,74	0,0166
112	3616,6	5,41	0,0000	3647,8	5,29	0,0000	3618,3	5,41	0,0003
116	3616,6	5,41	0,0000				3618,3	5,41	0,0003
120							3618,1	5,40	0,0000

APÊNDICE C

Variação com o tempo da perda de massa, a percentagem de umidade em b.s e a razão de umidade para temperatura média do ar de secagem de $44,93 \pm 0,94$ °C e umidade relativa média do ar de secagem de $28,89 \pm 4,26$ %

TEMPO horas (h)	REPETIÇÃO 1 MASSA LIQ.(g)	UMIDADE(%b.s) PERDA DE MASSA	Razão de Umidade EXPERIMENTAL	REPETIÇÃO 2 MASSA LIQ.(g)	UMIDADE(%b.s) PERDA DE MASSA	Razão de Umidade EXPERIMENTAL	REPETIÇÃO 3 MASSA LIQ.(g)	UMIDADE(%b.s) PERDA DE MASSA	Razão de Umidade EXPERIMENTAL
0	4540,8	25,49	1,0000	4563,0	25,50	1,0000	4593,6	25,02	1,0000
1	4507,3	24,94	0,9713	4531,3	24,98	0,9739	4571,7	24,66	0,9800
2	4473,3	24,37	0,9418	4497,8	24,42	0,9458	4542,1	24,17	0,9527
3	4438,4	23,77	0,9110	4462,7	23,83	0,9160	4511,7	23,66	0,9243
4	4416,5	23,39	0,8915	4441,6	23,46	0,8979	4493,2	23,34	0,9068
5	4390,2	22,93	0,8677	4415,5	23,01	0,8752	4469,3	22,93	0,8840
6	4359,5	22,39	0,8396	4385,3	22,48	0,8486	4442,9	22,48	0,8586
7	4333,2	21,92	0,8152	4359,9	22,03	0,8259	4420,2	22,08	0,8364
8	4304,5	21,40	0,7883	4331,5	21,52	0,8003	4394,5	21,62	0,8111
12	4156,6	18,60	0,6435	4185,0	18,77	0,6625	4256,4	19,08	0,6696
16	4112,5	17,73	0,5984	4141,7	17,92	0,6199	4202,6	18,04	0,6120
20	4060,3	16,67	0,5436	4097,3	17,03	0,5753	4176,1	17,52	0,5831
24	3999,7	15,41	0,4783	4038,4	15,82	0,5146	4120,9	16,42	0,5217
28	3948,4	14,31	0,4214	3987,7	14,75	0,4610	4072,2	15,42	0,4661
32	3914,7	13,57	0,3832	3954,4	14,03	0,4250	4038,3	14,71	0,4266
36	3875,5	12,70	0,3380	3913,5	13,14	0,3799	3997,3	13,83	0,3779
40	3838,6	11,86	0,2945	3892,7	12,67	0,3566	3976,4	13,38	0,3527
44	3839,5	11,88	0,2956	3854,0	11,79	0,3126	3933,3	12,43	0,3000
48	3839,6	11,88	0,2957	3836,6	11,39	0,2926	3933,6	12,44	0,3003
52	3841,4	11,92	0,2979	3837,5	11,42	0,2936	3932,5	12,41	0,2990
56	3838,7	11,86	0,2946	3836,8	11,40	0,2928	3932,4	12,41	0,2988
60	3833,8	11,75	0,2888	3838,0	11,43	0,2942	3933,3	12,43	0,3000
64	3823,6	11,51	0,2766	3815,5	10,90	0,2680	3921,2	12,16	0,2849
68	3814,5	11,30	0,2657	3802,9	10,61	0,2532	3916,2	12,05	0,2787
72	3802,4	11,02	0,2511	3791,5	10,34	0,2397	3903,0	11,75	0,2621
76	3796,5	10,88	0,2439	3769,9	9,83	0,2140	3891,4	11,49	0,2475
80	3793,2	10,80	0,2399	3742,3	9,16	0,1806	3879,9	11,23	0,2329
84	3786,5	10,65	0,2318	3701,1	8,15	0,1299	3864,7	10,88	0,2135
88	3774,2	10,36	0,2167	3689,7	7,87	0,1157	3847,6	10,48	0,1915
92	3749,3	9,76	0,1859	3677,4	7,56	0,1002	3829,6	10,06	0,1681
96	3733,6	9,38	0,1662	3651,3	6,90	0,0671	3811,1	9,63	0,1438
100	3707,7	8,75	0,1335	3611,0	5,86	0,0150	3789,8	9,12	0,1155
104	3688,6	8,28	0,1090	3606,9	5,75	0,0096	3776,5	8,80	0,0977
108	3662,4	7,62	0,0751	3603,1	5,65	0,0046	3746,5	8,07	0,0571
112	3649,9	7,30	0,0587	3599,9	5,57	0,0004	3731,6	7,70	0,0367
116	3637,8	6,99	0,0427	3599,6	5,56	0,0000	3727,2	7,59	0,0307
120	3623,9	6,64	0,0243	3599,6	5,56	0,0000	3707,5	7,10	0,0033
124	3614,5	6,40	0,0117				3705,5	7,05	0,0006
128	3606,1	6,18	0,0004				3705,2	7,04	0,0001
132	3605,9	6,17	0,0001				3705,2	7,04	0,0001
136	3605,8	6,17	0,0000				3705,1	7,04	0,0000

APÊNDICE C

Variação com o tempo da perda de massa, a percentagem de umidade em b.s e a razão de umidade para temperatura média do ar de secagem de $44,93 \pm 0,94$ °C e umidade relativa média do ar de secagem de $39,63 \pm 5,53$ %

TEMPO horas (h)	REPETIÇÃO 1 MASSA LIQ.(g)	UMIDADE(%b.s) PERDA DE MASSA	Razão de Umidade EXPERIMENTAL	REPETIÇÃO 2 MASSA LIQ.(g)	UMIDADE(%b.s) PERDA DE MASSA	Razão de Umidade EXPERIMENTAL	REPETIÇÃO 3 MASSA LIQ.(g)	UMIDADE(%b.s) PERDA DE MASSA	Razão de Umidade EXPERIMENTAL
0	4310,4	25,35	1,0000	4352,1	26,04	1,0000	4388,4	25,15	1,0000
1	4310,4	25,35	1,0000	4352,1	26,04	1,0000	4388,4	25,15	1,0000
2	4309,9	25,34	0,9994	4352,3	26,04	1,0002	4390,9	25,19	1,0028
3	4294,4	25,07	0,9820	4337,4	25,79	0,9855	4379,9	25,00	0,9903
4	4280,4	24,83	0,9661	4324,0	25,56	0,9721	4369,8	24,83	0,9788
5	4269,2	24,63	0,9533	4312,9	25,37	0,9610	4360,7	24,67	0,9683
6	4255,3	24,38	0,9374	4298,9	25,12	0,9469	4348,7	24,47	0,9545
7	4244,7	24,19	0,9252	4288,0	24,93	0,9359	4339,7	24,31	0,9441
8	4234,9	24,02	0,9138	4277,9	24,76	0,9256	4331,0	24,16	0,9340
12	4190,7	23,22	0,8619	4232,8	23,96	0,8791	4292,4	23,48	0,8886
16	4130,6	22,10	0,7896	4192,0	23,22	0,8362	4245,4	22,63	0,8322
20	4100,0	21,52	0,7519	4140,9	22,27	0,7812	4204,2	21,87	0,7817
24	4070,2	20,94	0,7147	4108,2	21,65	0,7453	4178,7	21,39	0,7499
28	4045,6	20,46	0,6836	4081,6	21,14	0,7157	4154,7	20,94	0,7197
32	4030,8	20,17	0,6647	4063,7	20,79	0,6955	4138,8	20,64	0,6995
36	4019,6	19,95	0,6503	4050,8	20,54	0,6809	4126,6	20,40	0,6839
40	3995,0	19,46	0,6183	4024,3	20,02	0,6506	4101,6	19,92	0,6516
44	3978,3	19,12	0,5964	4006,0	19,65	0,6294	4084,2	19,58	0,6289
48	3970,4	18,96	0,5860	3997,0	19,47	0,6189	4073,1	19,36	0,6143
52	3969,9	18,95	0,5854	3985,8	19,24	0,6057	4060,9	19,11	0,5981
56	3956,4	18,67	0,5674	3980,8	19,14	0,5999	4054,6	18,99	0,5898
60	3952,9	18,60	0,5628	3974,9	19,02	0,5929	4049,6	18,89	0,5831
64	3943,8	18,41	0,5506	3964,3	18,81	0,5803	4038,0	18,65	0,5676
68	3936,4	18,26	0,5407	3957,0	18,66	0,5716	4029,0	18,47	0,5555
72	3926,3	18,05	0,5271	3944,4	18,40	0,5566	4017,9	18,25	0,5405
76	3921,4	17,94	0,5204	3939,1	18,29	0,5502	4012,4	18,14	0,5331
80	3915,0	17,81	0,5118	3888,5	17,22	0,4885	4005,7	18,00	0,5239
84	3869,9	16,85	0,4497	3858,9	16,59	0,4517	3994,9	17,78	0,5092
88	3811,4	15,58	0,3671	3806,3	15,43	0,3848	3982,0	17,51	0,4915
92	3765,2	14,54	0,3000	3764,2	14,49	0,3300	3972,6	17,32	0,4785
96	3698,7	13,00	0,2005	3721,3	13,50	0,2728	3964,3	17,14	0,4669
100	3665,4	12,21	0,1493	3654,3	11,92	0,1808	3959,8	17,05	0,4607
104	3628,8	11,33	0,0920	3625,1	11,21	0,1397	3867,6	15,07	0,3290
108	3614,3	10,97	0,0689	3599,9	10,59	0,1036	3833,4	14,31	0,2786
112	3601,3	10,65	0,0481	3588,6	10,30	0,0873	3786,5	13,25	0,2079
116	3590,8	10,39	0,0312	3545,6	9,22	0,0242	3742,3	12,23	0,1397
120	3581,3	10,15	0,0158	3533,3	8,90	0,0058	3689,7	10,98	0,0564
124	3577,5	10,06	0,0096	3530,9	8,84	0,0022	3677,1	10,67	0,0361
128	3572,0	9,92	0,0007	3529,6	8,81	0,0003	3664,3	10,36	0,0153
132	3571,9	9,92	0,0005	3529,5	8,80	0,0001	3655,5	10,14	0,0010
136	3571,6	9,91	0,0000	3529,4	8,80	0,0000	3655,4	10,14	0,0008
140							3655,0	10,13	0,0002
144							3654,9	10,13	0,0000

APÊNDICE C

Varição com o tempo da perda de massa, a percentagem de umidade em b.s e a razão de umidade para temperatura média do ar de secagem de $44,93 \pm 0,94$ °C e umidade relativa média do ar de secagem de $49,85 \pm 4,65$ %

TEMPO horas (h)	REPETIÇÃO 1 MASSA LIQ.(g)	UMIDADE(%b.s) PERDA DE MASSA	Razão de Umidade EXPERIMENTAL	REPETIÇÃO 2 MASSA LIQ.(g)	UMIDADE(%b.s) PERDA DE MASSA	Razão de Umidade EXPERIMENTAL	REPETIÇÃO 3 MASSA LIQ.(g)	UMIDADE(%b.s) PERDA DE MASSA	Razão de Umidade EXPERIMENTAL
0	4311,3	25,68	1,0000	4352,1	25,66	1,0000	4385,6	25,79	1,0000
1	4311,3	25,68	1,0000	4352,1	25,66	1,0000	4385,6	25,79	1,0000
2	4310,0	25,66	0,9984	4352,3	25,66	1,0002	4391,1	25,88	1,0065
3	4294,5	25,39	0,9791	4337,4	25,41	0,9822	4380,1	25,70	0,9935
4	4280,5	25,15	0,9615	4324,0	25,18	0,9659	4370,0	25,53	0,9816
5	4269,3	24,95	0,9474	4312,9	24,98	0,9523	4360,9	25,37	0,9708
6	4255,4	24,70	0,9297	4298,9	24,74	0,9350	4348,9	25,16	0,9564
7	4244,8	24,52	0,9162	4288,0	24,55	0,9215	4339,9	25,01	0,9456
8	4235,0	24,34	0,9036	4277,9	24,37	0,9089	4331,2	24,86	0,9351
12	4190,8	23,54	0,8462	4232,8	23,56	0,8520	4292,6	24,18	0,8881
16	4130,7	22,43	0,7661	4192,0	22,82	0,7995	4245,6	23,34	0,8297
20	4100,1	21,85	0,7244	4140,9	21,87	0,7323	4204,4	22,59	0,7774
24	4070,3	21,28	0,6832	4108,2	21,25	0,6883	4178,9	22,12	0,7446
28	4045,7	20,80	0,6487	4081,6	20,73	0,6521	4154,9	21,67	0,7133
32	4030,9	20,51	0,6278	4063,7	20,38	0,6274	4139,0	21,37	0,6923
36	4019,7	20,29	0,6119	4050,8	20,13	0,6095	4126,8	21,14	0,6762
40	3995,1	19,80	0,5765	4024,3	19,60	0,5724	4101,8	20,66	0,6427
44	3978,4	19,46	0,5523	4006,0	19,24	0,5465	4084,4	20,32	0,6192
48	3970,5	19,30	0,5408	3997,0	19,06	0,5336	4073,3	20,10	0,6041
52	3961,0	19,11	0,5268	3985,8	18,83	0,5176	4061,1	19,86	0,5874
56	3956,5	19,02	0,5202	3980,8	18,73	0,5104	4054,8	19,74	0,5787
60	3953,0	18,94	0,5150	3974,9	18,61	0,5019	4049,8	19,64	0,5718
64	3943,9	18,76	0,5016	3964,3	18,39	0,4865	4038,2	19,41	0,5558
68	3936,5	18,60	0,4906	3957,0	18,24	0,4759	4029,2	19,23	0,5432
72	3926,4	18,39	0,4755	3944,4	17,98	0,4574	4018,1	19,00	0,5277
76	3921,5	18,29	0,4682	3939,1	17,87	0,4496	4012,6	18,89	0,5200
80	3915,1	18,16	0,4585	3932,8	17,73	0,4403	4005,9	18,76	0,5105
84	3906,0	17,97	0,4448	3922,7	17,52	0,4254	3995,1	18,54	0,4953
88	3894,4	17,72	0,4272	3911,2	17,28	0,4082	3982,2	18,27	0,4769
92	3885,3	17,53	0,4134	3901,0	17,06	0,3930	3972,8	18,08	0,4634
96	3877,4	17,36	0,4013	3893,6	16,91	0,3818	3964,5	17,91	0,4515
100	3873,8	17,29	0,3957	3889,6	16,82	0,3758	3960,0	17,81	0,4450
104	3826,4	16,26	0,3220	3891,3	16,86	0,3784	3961,0	17,84	0,4465
108	3794,2	15,55	0,2708	3841,2	15,77	0,3018	3909,3	16,75	0,3708
112	3759,8	14,78	0,2152	3797,6	14,81	0,2335	3864,9	15,79	0,3043
116	3707,2	13,57	0,1281	3754,6	13,83	0,1646	3801,7	14,39	0,2069
120	3686,3	13,08	0,0929	3702,1	12,61	0,0783	3764,9	13,56	0,1487
124	3646,3	12,13	0,0242	3680,7	12,10	0,0424	3724,6	12,62	0,0836
128	3635,7	11,87	0,0058	3660,4	11,61	0,0080	3699,9	12,04	0,0430
132	3633,0	11,80	0,0010	3658,4	11,56	0,0046	3687,6	11,74	0,0226
136	3632,4	11,79	0,0000	3656,6	11,52	0,0015	3677,5	11,50	0,0057
140	3632,5	11,79	0,0002	3656,2	11,51	0,0009	3674,8	11,44	0,0012
144	3632,4	11,79	0,0000	3655,9	11,50	0,0003	3674,4	11,43	0,0005
148				3655,7	11,50	0,0000	3674,1	11,42	0,0000
152							3674,1	11,42	0,0000

APÊNDICE C

Variação com o tempo da perda de massa, a percentagem de umidade em b.s e a razão de umidade para temperatura média do ar de secagem de $50,45 \pm 1,27$ °C e umidade relativa média do ar de secagem de $21,70 \pm 2,42$ %

TEMPO horas (h)	REPETIÇÃO 1 MASSA LIQ.(g)	UMIDADE(%b.s) PERDA DE MASSA	Razão de Umidade EXPERIMENTAL	REPETIÇÃO 2 MASSA LIQ.(g)	UMIDADE(%b.s) PERDA DE MASSA	Razão de Umidade EXPERIMENTAL	REPETIÇÃO 3 MASSA LIQ.(g)	UMIDADE(%b.s) PERDA DE MASSA	Razão de Umidade EXPERIMENTAL
0	4208,9	25,75	1,0000	4237,8	25,14	1,0000	4409,4	25,34	1,0000
1	4174,1	25,13	0,9707	4224,0	24,90	0,9879	4402,0	25,21	0,9938
2	4162,5	24,92	0,9608	4197,4	24,42	0,9645	4381,4	24,86	0,9765
3	4127,7	24,29	0,9308	4165,0	23,83	0,9355	4353,4	24,38	0,9528
4	4115,6	24,07	0,9203	4153,6	23,62	0,9252	4339,4	24,14	0,9408
5	4072,8	23,27	0,8825	4114,1	22,89	0,8891	4306,0	23,55	0,9118
6	4042,9	22,70	0,8556	4086,6	22,37	0,8635	4279,8	23,08	0,8888
7	4011,8	22,10	0,8272	4057,4	21,81	0,8360	4252,6	22,59	0,8646
8	3904,6	19,96	0,7259	3957,2	19,83	0,7384	4157,8	20,82	0,7778
12	3807,9	17,93	0,6296	3865,6	17,93	0,6448	4069,9	19,11	0,6937
16	3728,7	16,19	0,5471	3810,8	16,75	0,5866	3989,5	17,48	0,6135
20	3684,8	15,19	0,4998	3742,7	15,24	0,5120	3949,8	16,65	0,5727
24	3645,4	14,27	0,4564	3700,7	14,28	0,4645	3908,1	15,76	0,5290
28	3612,8	13,50	0,4197	3665,0	13,44	0,4234	3872,5	14,99	0,4909
32	3583,2	12,78	0,3859	3630,9	12,63	0,3833	3836,2	14,18	0,4513
36	3565,0	12,34	0,3648	3609,8	12,12	0,3582	3813,7	13,68	0,4264
40	3556,2	12,12	0,3545	3603,4	11,96	0,3505	3803,5	13,45	0,4151
44	3526,5	11,38	0,3194	3565,0	11,01	0,3037	3764,4	12,55	0,3708
48	3515,9	11,11	0,3068	3552,2	10,69	0,2879	3750,5	12,22	0,3549
52	3486,3	10,36	0,2710	3541,3	10,42	0,2744	3698,6	10,99	0,2943
56	3426,4	8,79	0,1968	3531,3	10,16	0,2619	3674,6	10,41	0,2657
60	3387,6	7,75	0,1473	3487,6	9,04	0,2064	3624,6	9,17	0,2049
64	3342,6	6,51	0,0885	3443,2	7,86	0,1486	3589,7	8,29	0,1615
68	3299,4	5,28	0,0305	3400,0	6,69	0,0909	3534,6	6,86	0,0912
72	3287,5	4,94	0,0143	3356,4	5,48	0,0312	3490,1	5,67	0,0328
76	3277,9	4,66	0,0011	3339,9	5,01	0,0081	3470,3	5,14	0,0063
80	3277,3	4,64	0,0003	3336,4	4,91	0,0032	3466,0	5,02	0,0005
84	3277,2	4,64	0,0001	3334,2	4,85	0,0001	3465,6	5,01	0,0000
88	3277,1	4,64	0,0000	3334,3	4,86	0,0003	3465,6	5,01	0,0000
92				3334,1	4,85	0,0000			
96									

APÊNDICE C

Variação com o tempo da perda de massa, a percentagem de umidade em b.s e a razão de umidade para temperatura média do ar de secagem de $50,45 \pm 1,27$ °C e umidade relativa média do ar de secagem de $28,89 \pm 4,26$ %

TEMPO horas (h)	REPETIÇÃO 1 MASSA LIQ.(g)	UMIDADE(%b.s) PERDA DE MASSA	Razão de Umidade EXPERIMENTAL	REPETIÇÃO 2 MASSA LIQ.(g)	UMIDADE(%b.s) PERDA DE MASSA	Razão de Umidade EXPERIMENTAL	REPETIÇÃO 3 MASSA LIQ.(g)	UMIDADE(%b.s) PERDA DE MASSA	Razão de Umidade EXPERIMENTAL
0	4088,0	25,75	1,0000	4172,1	25,66	1,0000	4349,9	25,75	1,0000
1	4054,7	25,14	0,9700	4147,0	25,21	0,9780	4333,7	25,47	0,9860
2	4027,6	24,64	0,9452	4135,0	24,99	0,9673	4321,8	25,27	0,9756
3	3980,4	23,74	0,9012	4083,0	24,04	0,9205	4278,0	24,50	0,9370
4	3948,5	23,13	0,8709	4054,9	23,51	0,8947	4251,8	24,04	0,9135
5	3928,1	22,73	0,8512	4035,3	23,14	0,8765	4228,8	23,62	0,8926
6	3905,9	22,29	0,8296	4014,0	22,73	0,8566	4215,1	23,38	0,8801
7	3876,1	21,69	0,8002	3984,8	22,17	0,8288	4189,1	22,90	0,8561
8	3852,1	21,20	0,7761	3961,4	21,71	0,8063	4168,3	22,52	0,8366
12	3770,5	19,50	0,6922	3880,1	20,07	0,7259	4094,2	21,11	0,7658
16	3708,8	18,16	0,6262	3816,5	18,73	0,6607	4037,5	20,00	0,7099
20	3666,6	17,22	0,5799	3765,9	17,64	0,6072	4003,4	19,32	0,6754
24	3600,7	15,70	0,5053	3693,2	16,02	0,5278	3928,4	17,78	0,5977
28	3562,7	14,80	0,4610	3651,4	15,06	0,4807	3888,0	16,93	0,5545
32	3531,2	14,04	0,4236	3604,7	13,96	0,4268	3849,7	16,10	0,5128
36	3508,3	13,48	0,3960	3574,8	13,24	0,3915	3822,0	15,49	0,4821
40	3487,9	12,98	0,3711	3546,5	12,55	0,3576	3795,4	14,90	0,4522
44	3472,1	12,58	0,3516	3531,9	12,18	0,3399	3778,5	14,52	0,4329
48	3467,5	12,46	0,3459	3517,8	11,83	0,3226	3766,8	14,26	0,4195
52	3461,0	12,30	0,3378	3507,4	11,57	0,3098	3757,0	14,03	0,4082
56	3453,1	12,10	0,3279	3496,9	11,31	0,2968	3746,2	13,78	0,3957
60	3448,7	11,99	0,3224	3494,0	11,23	0,2932	3739,7	13,63	0,3881
64	3445,4	11,90	0,3182	3495,3	11,27	0,2948	3735,5	13,54	0,3832
68	3441,3	11,80	0,3130	3494,4	11,24	0,2937	3730,9	13,43	0,3779
72	3435,6	11,65	0,3058	3439,7	9,83	0,2246	3684,6	12,34	0,3229
76	3389,6	10,45	0,2468	3398,9	8,75	0,1715	3612,5	10,59	0,2346
80	3366,4	9,83	0,2164	3388,1	8,46	0,1573	3577,7	9,72	0,1906
84	3312,4	8,36	0,1441	3376,3	8,14	0,1416	3546,2	8,92	0,1501
88	3276,5	7,36	0,0946	3342,3	7,20	0,0958	3502,3	7,78	0,0925
92	3236,9	6,23	0,0388	3299,7	6,01	0,0371	3487,9	7,40	0,0733
96	3226,3	5,92	0,0237	3286,4	5,63	0,0185	3468,9	6,89	0,0477
100	3216,4	5,63	0,0094	3275,6	5,31	0,0033	3439,5	6,10	0,0075
104	3210,9	5,47	0,0014	3274,3	5,28	0,0014	3436,2	6,01	0,0029
108	3210,3	5,45	0,0006	3273,6	5,26	0,0004	3434,9	5,97	0,0011
112	3210,0	5,44	0,0001	3273,4	5,25	0,0001	3434,3	5,95	0,0003
116	3209,9	5,44	0,0000	3273,3	5,25	0,0000	3434,2	5,95	0,0001
120							3434,1	5,95	0,0000

APÊNDICE C

Variação com o tempo da perda de massa, a percentagem de umidade em b.s e a razão de umidade para temperatura média do ar de secagem de $50,45 \pm 1,27$ °C e umidade relativa média do ar de secagem de $39,63 \pm 5,53$ %

TEMPO horas (h)	REPETIÇÃO 1 MASSA LIQ.(g)	UMIDADE(%b.s) PERDA DE MASSA	Razão de Umidade EXPERIMENTAL	REPETIÇÃO 2 MASSA LIQ.(g)	UMIDADE(%b.s) PERDA DE MASSA	Razão de Umidade EXPERIMENTAL	REPETIÇÃO 3 MASSA LIQ.(g)	UMIDADE(%b.s) PERDA DE MASSA	Razão de Umidade EXPERIMENTAL
0	4354,1	25,13	1,0000	4316,5	25,56	1,0000	4481,6	25,94	1,0000
1	4323,5	24,60	0,9711	4291,9	25,13	0,9765	4471,1	25,77	0,9897
2	4293,3	24,07	0,9422	4264,6	24,65	0,9502	4449,7	25,41	0,9686
3	4263,5	23,54	0,9133	4237,5	24,17	0,9237	4427,3	25,03	0,9463
4	4240,2	23,12	0,8904	4216,3	23,79	0,9028	4408,7	24,72	0,9275
5	4206,4	22,50	0,8567	4185,2	23,22	0,8716	4381,8	24,25	0,9002
6	4180,0	22,01	0,8300	4161,4	22,79	0,8475	4360,1	23,88	0,8779
7	4158,2	21,60	0,8077	4141,7	22,42	0,8273	4342,5	23,57	0,8596
8	4097,9	20,45	0,7448	4085,7	21,35	0,7688	4291,4	22,66	0,8058
12	4005,0	18,60	0,6442	3997,6	19,62	0,6736	4209,0	21,14	0,7162
16	3938,1	17,22	0,5688	3944,8	18,55	0,6144	4174,9	20,50	0,6781
20	3900,1	16,41	0,5248	3890,6	17,41	0,5521	4106,8	19,18	0,6001
24	3867,2	15,70	0,4861	3854,2	16,63	0,5092	4071,2	18,47	0,5583
28	3835,9	15,02	0,4486	3821,5	15,92	0,4700	4037,2	17,79	0,5176
32	3817,8	14,61	0,4266	3801,7	15,48	0,4459	4016,3	17,36	0,4923
36	3805,6	14,34	0,4117	3781,8	15,04	0,4214	4001,9	17,06	0,4747
40	3786,8	13,91	0,3885	3771,9	14,81	0,4092	3983,4	16,68	0,4519
44	3766,8	13,46	0,3636	3747,3	14,25	0,3784	3955,0	16,08	0,4165
48	3759,6	13,29	0,3545	3739,2	14,07	0,3682	3943,2	15,83	0,4017
52	3750,6	13,08	0,3432	3729,2	13,84	0,3556	3931,2	15,57	0,3865
56	3744,8	12,95	0,3359	3723,5	13,70	0,3483	3923,6	15,41	0,3768
60	3740,1	12,84	0,3299	3718,0	13,58	0,3413	3920,5	15,34	0,3728
64	3736,7	12,76	0,3256	3714,7	13,50	0,3371	3912,3	15,16	0,3623
68	3730,9	12,62	0,3182	3707,1	13,32	0,3273	3902,5	14,95	0,3497
72	3725,5	12,50	0,3113	3703,1	13,23	0,3222	3898,2	14,86	0,3442
76	3723,0	12,44	0,3081	3701,4	13,19	0,3200	3894,8	14,78	0,3398
80	3720,4	12,38	0,3047	3697,6	13,10	0,3151	3890,7	14,69	0,3345
84	3716,8	12,29	0,3001	3603,5	10,83	0,1903	3777,9	12,15	0,1838
88	3669,8	11,17	0,2389	3587,6	10,44	0,1686	3735,5	11,15	0,1248
92	3621,3	9,98	0,1740	3557,9	9,69	0,1275	3710,8	10,56	0,0898
96	3586,4	9,10	0,1263	3549,6	9,48	0,1159	3703,4	10,38	0,0792
100	3542,3	7,97	0,0646	3546,3	9,39	0,1113	3699,2	10,28	0,0732
104	3510,0	7,12	0,0184	3506,3	8,36	0,0545	3694,5	10,16	0,0664
108	3498,6	6,82	0,0019	3489,7	7,92	0,0305	3669,4	9,55	0,0301
112	3497,9	6,80	0,0009	3478,9	7,64	0,0148	3657,6	9,26	0,0128
116	3497,6	6,80	0,0004	3469,9	7,40	0,0016	3649,5	9,05	0,0009
120	3497,5	6,79	0,0003	3469,0	7,37	0,0003	3649,2	9,05	0,0004
124	3497,3	6,79	0,0000	3468,9	7,37	0,0001	3648,9	9,04	0,0000
128				3468,8	7,37	0,0000			

APÊNDICE C

Variação com o tempo da perda de massa, a percentagem de umidade em b.s e a razão de umidade para temperatura média do ar de secagem de $50,45 \pm 1,27$ °C e umidade relativa média do ar de secagem de $49,85 \pm 4,65$ %

TEMPO horas (h)	REPETIÇÃO 1 MASSA LIQ.(g)	UMIDADE(%b.s) PERDA DE MASSA	Razão de Umidade EXPERIMENTAL	REPETIÇÃO 2 MASSA LIQ.(g)	UMIDADE(%b.s) PERDA DE MASSA	Razão de Umidade EXPERIMENTAL	REPETIÇÃO 3 MASSA LIQ.(g)	UMIDADE(%b.s) PERDA DE MASSA	Razão de Umidade EXPERIMENTAL
0	4254,1	25,01	1,0000	4277,7	25,70	1,0000	4336,4	26,10	1,0000
1	4254,1	25,01	1,0000	4284,0	25,81	1,0073	4353,3	26,39	1,0181
2	4259,5	25,11	1,0068	4259,2	25,38	0,9783	4337,8	26,12	1,0015
3	4236,5	24,70	0,9778	4236,1	24,97	0,9509	4322,2	25,86	0,9847
4	4215,7	24,33	0,9514	4219,4	24,67	0,9310	4310,2	25,65	0,9717
5	4200,5	24,05	0,9319	4195,4	24,24	0,9020	4292,2	25,34	0,9521
6	4178,8	23,66	0,9039	4177,1	23,91	0,8797	4278,2	25,09	0,9367
7	4162,2	23,35	0,8822	4160,9	23,61	0,8598	4265,4	24,87	0,9225
8	4147,8	23,09	0,8633	4087,7	22,25	0,7678	4203,1	23,76	0,8524
12	4079,5	21,80	0,7717	4041,5	21,36	0,7080	4134,6	22,49	0,7729
16	4024,5	20,73	0,6957	3984,1	20,22	0,6318	4090,0	21,65	0,7197
20	3987,0	19,99	0,6427	3943,8	19,41	0,5770	4061,4	21,10	0,6849
24	3941,8	19,07	0,5775	3920,5	18,93	0,5448	4034,2	20,56	0,6514
28	3918,1	18,58	0,5426	3902,4	18,55	0,5195	4010,5	20,09	0,6219
32	3899,9	18,20	0,5156	3900,2	18,51	0,5164	4002,2	19,93	0,6115
36	3899,0	18,18	0,5143	3896,0	18,42	0,5105	3994,8	19,78	0,6021
40	3895,4	18,10	0,5089	3922,6	18,97	0,5477	3992,7	19,74	0,5995
44	3892,3	18,04	0,5043	3901,3	18,53	0,5180	3993,0	19,74	0,5998
48	3902,5	18,25	0,5195	3899,1	18,49	0,5149	3988,7	19,66	0,5944
52	3902,4	18,25	0,5193	3915,7	18,83	0,5381	4004,7	19,98	0,6146
56	3919,6	18,61	0,5449	3901,8	18,54	0,5187	3990,0	19,68	0,5960
60	3904,8	18,30	0,5229	3888,8	18,27	0,5004	3975,4	19,39	0,5775
64	3890,8	18,01	0,5020	3882,2	18,13	0,4910	3962,3	19,12	0,5607
68	3884,2	17,87	0,4921	3863,3	17,73	0,4641	3945,5	18,78	0,5390
72	3864,8	17,46	0,4628	3860,1	17,66	0,4595	3940,0	18,66	0,5319
76	3861,0	17,38	0,4570	3857,9	17,61	0,4563	3934,7	18,56	0,5250
80	3859,4	17,34	0,4546	3852,8	17,51	0,4490	3928,4	18,42	0,5167
84	3854,5	17,24	0,4471	3847,6	17,39	0,4415	3921,1	18,27	0,5072
88	3848,4	17,10	0,4378	3842,6	17,29	0,4343	3916,1	18,17	0,5006
92	3844,2	17,01	0,4313	3839,6	17,22	0,4299	3909,9	18,04	0,4924
96	3840,1	16,93	0,4250	3837,9	17,19	0,4275	3646,2	12,11	0,1192
100	3839,6	16,91	0,4242	3836,3	17,15	0,4251	3586,9	10,66	0,0277
104	3837,4	16,87	0,4209	3749,8	15,24	0,2966	3576,9	10,41	0,0120
108	3688,6	13,51	0,1823	3706,3	14,25	0,2297	3572,3	10,29	0,0047
112	3676,6	13,23	0,1623	3664,5	13,27	0,1640	3569,3	10,22	0,0000
116	3643,5	12,44	0,1062	3600,4	11,72	0,0801	3569,5	10,22	0,0003
120	3602,1	11,44	0,0346	3589,7	11,46	0,0424	3569,3	10,22	0,0000
124	3590,0	11,14	0,0134	3580,1	11,22	0,0265			
128	3582,6	10,95	0,0004	3576,2	11,13	0,0200			
132	3583,0	10,96	0,0011	3573,1	11,05	0,0148			
136	3582,6	10,95	0,0004	3566,6	10,89	0,0039			
140	3582,4	10,95	0,0000	3564,7	10,84	0,0007			
144				3564,6	10,84	0,0005			
148				3564,3	10,83	0,0000			

APÊNDICE C

Varição com o tempo da perda de massa, a percentagem de umidade em b.s e a razão de umidade para temperatura média do ar de secagem de $54,44 \pm 1,45$ °C e umidade relativa média do ar de secagem de $21,70 \pm 2,42$ %

TEMPO horas (h)	REPETIÇÃO 1 MASSA LIQ.(g)	UMIDADE(%b.s) PERDA DE MASSA	Razão de Umidade EXPERIMENTAL	REPETIÇÃO 2 MASSA LIQ.(g)	UMIDADE(%b.s) PERDA DE MASSA	Razão de Umidade EXPERIMENTAL	REPETIÇÃO 3 MASSA LIQ.(g)	UMIDADE(%b.s) PERDA DE MASSA	Razão de Umidade EXPERIMENTAL
0	4230,0	25,23	1,0000	4451,0	25,94	1,0000	4479,9	25,68	1,0000
1	4180,1	24,34	0,9571	4407,4	25,21	0,9660	4449,9	25,18	0,9759
2	4153,5	23,85	0,9339	4382,2	24,78	0,9460	4430,7	24,85	0,9602
3	4106,6	22,98	0,8921	4336,2	23,98	0,9089	4393,5	24,22	0,9296
4	4078,9	22,46	0,8670	4309,2	23,50	0,8868	4370,5	23,82	0,9104
5	4031,1	21,54	0,8228	4261,8	22,65	0,8473	4330,2	23,11	0,8762
6	4008,5	21,10	0,8016	4239,1	22,24	0,8280	4310,8	22,76	0,8596
7	3976,1	20,46	0,7707	4206,2	21,63	0,7998	4281,8	22,24	0,8344
8	3954,9	20,03	0,7502	4184,2	21,22	0,7807	4262,2	21,88	0,8172
12	3856,6	17,99	0,6523	4081,0	19,23	0,6881	4169,9	20,15	0,7339
16	3778,5	16,30	0,5709	3999,0	17,57	0,6112	4088,2	18,56	0,6570
20	3718,0	14,93	0,5055	3933,3	16,19	0,5472	4021,9	17,22	0,5924
24	3669,6	13,81	0,4516	3889,3	10,65	0,2898	3967,6	16,08	0,5378
28	3632,7	12,94	0,4096	3634,8	9,31	0,2276	3921,3	15,09	0,4901
32	3387,9	6,65	0,1075	3589,7	8,17	0,1746	3869,8	13,96	0,4356
36	3372,3	6,21	0,0867	3564,9	7,53	0,1450	3707,6	10,20	0,2543
40	3354,2	5,71	0,0624	3503,4	5,91	0,0696	3654,9	8,90	0,1920
44	3346,3	5,48	0,0517	3487,6	5,48	0,0498	3593,7	7,35	0,1172
48	3319,3	4,72	0,0148	3479,9	5,27	0,0401	3577,6	6,94	0,0972
52	3314,5	4,58	0,0082	3469,8	5,00	0,0273	3546,5	6,12	0,0579
56	3309,3	4,43	0,0010	3461,6	4,77	0,0168	3521,6	5,46	0,0259
60	3308,9	4,42	0,0004	3456,4	4,63	0,0101	3504,3	4,99	0,0034
64	3308,7	4,41	0,0001	3448,9	4,42	0,0005	3502,3	4,93	0,0008
68	3308,6	4,41	0,0000	3448,6	4,41	0,0001	3501,9	4,92	0,0003
72				3448,5	4,41	0,0000	3501,7	4,92	0,0000

APÊNDICE C

Variação com o tempo da perda de massa, a percentagem de umidade em b.s e a razão de umidade para temperatura média do ar de secagem de $54,44 \pm 1,45$ °C e umidade relativa média do ar de secagem de $28,89 \pm 4,26$ %

TEMPO horas (h)	REPETIÇÃO 1 MASSA LIQ.(g)	UMIDADE(%b.s) PERDA DE MASSA	Razão de Umidade EXPERIMENTAL	REPETIÇÃO 2 MASSA LIQ.(g)	UMIDADE(%b.s) PERDA DE MASSA	Razão de Umidade EXPERIMENTAL	REPETIÇÃO 3 MASSA LIQ.(g)	UMIDADE(%b.s) PERDA DE MASSA	Razão de Umidade EXPERIMENTAL
0	5863,2	24,99	1,0000	5982,3	25,53	1,0000	6115,2	25,88	1,0000
1	5798,5	24,15	0,9574	5931,0	24,89	0,9677	6089,0	25,56	0,9846
2	5754,4	23,57	0,9279	5889,5	24,36	0,9412	6057,3	25,17	0,9657
3	5702,3	22,87	0,8923	5838,5	23,70	0,9080	6019,2	24,70	0,9428
4	5647,5	22,13	0,8543	5787,0	23,02	0,8740	5978,6	24,19	0,9180
5	5598,4	21,44	0,8195	5741,4	22,41	0,8433	5940,7	23,70	0,8946
6	5552,9	20,80	0,7868	5697,3	21,80	0,8132	5903,2	23,22	0,8712
7	5494,5	19,96	0,7440	5640,7	21,02	0,7738	5855,4	22,59	0,8408
8	5450,7	19,31	0,7113	5599,0	20,43	0,7444	5819,3	22,11	0,8176
12	5266,3	16,49	0,5676	5421,7	17,83	0,6139	5665,2	19,99	0,7150
16	5094,4	13,67	0,4242	5257,2	15,26	0,4849	5514,3	17,80	0,6091
20	5064,4	13,16	0,3982	5234,7	14,89	0,4667	5483,3	17,34	0,5866
24	4978,9	11,67	0,3224	5042,5	11,65	0,3040	5309,6	14,63	0,4557
28	4986,0	11,79	0,3288	5043,8	11,67	0,3052	5219,6	13,16	0,3844
32	4888,2	10,03	0,2390	5042,5	11,65	0,3040	5079,5	10,77	0,2685
36	4831,5	8,97	0,1853	4946,7	9,94	0,2182	5001,3	9,37	0,2010
40	4787,5	8,14	0,1427	4901,3	9,11	0,1764	4954,2	8,51	0,1593
44	4749,6	7,40	0,1054	4864,8	8,42	0,1422	4894,6	7,40	0,1053
48	4694,5	6,32	0,0502	4786,4	6,92	0,0670	4867,9	6,89	0,0808
52	4679,7	6,02	0,0351	4739,5	6,00	0,0208	4833,3	6,22	0,0485
56	4656,9	5,56	0,0117	4720,7	5,63	0,0020	4794,0	5,45	0,0113
60	4651,3	5,45	0,0059	4721,3	5,64	0,0026	4783,9	5,25	0,0016
64	4646,9	5,36	0,0013	4720,3	5,62	0,0016	4782,4	5,22	0,0002
68	4646,1	5,34	0,0005	4719,5	5,60	0,0008	4782,6	5,23	0,0004
72	4645,8	5,33	0,0002	4718,9	5,59	0,0002	4782,2	5,22	0,0000
76	4645,6	5,33	0,0000	4718,7	5,59	0,0000			

APÊNDICE C

Varição com o tempo da perda de massa, a percentagem de umidade em b.s e a razão de umidade para temperatura média do ar de secagem de $54,44 \pm 1,45$ °C e umidade relativa média do ar de secagem de $39,63 \pm 5,53$ %

TEMPO horas (h)	REPETIÇÃO 1 MASSA LIQ.(g)	UMIDADE(%b.s) PERDA DE MASSA	Razão de Umidade EXPERIMENTAL	REPETIÇÃO 2 MASSA LIQ.(g)	UMIDADE(%b.s) PERDA DE MASSA	Razão de Umidade EXPERIMENTAL	REPETIÇÃO 3 MASSA LIQ.(g)	UMIDADE(%b.s) PERDA DE MASSA	Razão de Umidade EXPERIMENTAL
0	5076,1	25,47	1,0000	5226,2	25,76	1,0000	5503,6	25,44	1,0000
1	5068,5	25,36	0,9939	5223,2	25,72	0,9977	5518,8	25,65	1,0112
2	5034,2	24,85	0,9662	5189,3	25,23	0,9715	5496,3	25,34	0,9946
3	5022,8	24,68	0,9569	5177,1	25,06	0,9620	5486,5	25,21	0,9873
4	5002,8	24,38	0,9405	5156,6	24,76	0,9459	5470,7	24,99	0,9755
5	4978,2	24,00	0,9202	5129,6	24,36	0,9245	5449,8	24,70	0,9597
6	4958,5	23,70	0,9037	5107,7	24,04	0,9069	5432,2	24,46	0,9464
7	4937,2	23,37	0,8858	5083,5	23,68	0,8874	5413,4	24,20	0,9320
8	4914,7	23,02	0,8667	5058,6	23,30	0,8671	5392,4	23,90	0,9158
12	4827,3	21,63	0,7908	4961,7	21,80	0,7862	5308,4	22,70	0,8499
16	4767,4	20,64	0,7372	4900,2	20,82	0,7332	5254,6	21,91	0,8066
20	4632,8	18,34	0,6116	4751,1	18,34	0,5989	5113,0	19,74	0,6882
24	4594,6	17,66	0,5746	4711,9	17,66	0,5622	5073,1	19,11	0,6537
28	4553,5	16,92	0,5342	4670,2	16,92	0,5225	5028,3	18,39	0,6143
32	4508,9	16,09	0,4894	4624,2	16,10	0,4779	4974,2	17,50	0,5657
36	4476,3	15,48	0,4561	4591,2	15,49	0,4453	4826,4	14,98	0,4274
40	4448,7	14,96	0,4276	4387,6	11,57	0,2334	4749,3	13,60	0,3519
44	4425,9	14,52	0,4037	4313,5	10,05	0,1514	4687,6	12,46	0,2896
48	4405,9	14,13	0,3826	4276,3	9,27	0,1091	4639,7	11,56	0,2402
52	4386,8	13,76	0,3622	4254,7	8,81	0,0842	4576,2	10,33	0,1730
56	4377,3	13,57	0,3520	4213,4	7,91	0,0359	4523,4	9,28	0,1157
60	4256,6	11,12	0,2186	4195,6	7,52	0,0148	4479,8	8,40	0,0674
64	4194,7	9,81	0,1471	4183,5	7,26	0,0004	4438,9	7,56	0,0212
68	4154,1	8,93	0,0991	4183,9	7,27	0,0008	4423,6	7,24	0,0037
72	4102,3	7,78	0,0365	4183,5	7,26	0,0004	4421,6	7,19	0,0014
76	4079,9	7,27	0,0089	4183,2	7,25	0,0000	4420,9	7,18	0,0006
80	4073,5	7,13	0,0010				4420,6	7,17	0,0002
84	4072,9	7,11	0,0002				4420,4	7,17	0,0000
88	4072,7	7,11	0,0000						

APÊNDICE C

Variação com o tempo da perda de massa, a percentagem de umidade em b.s e a razão de umidade para temperatura média do ar de secagem de $54,44 \pm 1,45$ °C e umidade relativa média do ar de secagem de $49,85 \pm 4,65$ %

TEMPO horas (h)	REPETIÇÃO 1 MASSA LIQ.(g)	UMIDADE(%b.s) PERDA DE MASSA	Razão de Umidade EXPERIMENTAL	REPETIÇÃO 2 MASSA LIQ.(g)	UMIDADE(%b.s) PERDA DE MASSA	Razão de Umidade EXPERIMENTAL	REPETIÇÃO 3 MASSA LIQ.(g)	UMIDADE(%b.s) PERDA DE MASSA	Razão de Umidade EXPERIMENTAL
0	4326,1	25,23	1,0000	4239,3	25,55	1,0000	4427,4	25,55	1,0000
1	4334,3	25,37	1,0080	4250,5	25,75	1,0110	4452,7	25,97	1,0234
2	4300,5	24,78	0,9748	4217,3	25,16	0,9783	4426,8	25,54	0,9994
3	4270,5	24,26	0,9449	4184,8	24,58	0,9457	4400,9	25,10	0,9752
4	4245,2	23,81	0,9194	4158,1	24,10	0,9186	4378,8	24,72	0,9543
5	4225,0	23,44	0,8988	4137,1	23,71	0,8970	4362,2	24,44	0,9385
6	4195,6	22,90	0,8684	4106,9	23,15	0,8656	4337,7	24,01	0,9149
7	4170,6	22,44	0,8422	4081,0	22,66	0,8383	4316,6	23,64	0,8944
8	4150,3	22,06	0,8208	4059,7	22,26	0,8156	4299,5	23,34	0,8776
12	4050,0	20,13	0,7116	3955,4	20,21	0,7008	4213,4	21,77	0,7910
16	3974,6	18,62	0,6258	3875,9	18,57	0,6092	4145,1	20,48	0,7197
20	3919,6	17,48	0,5612	3839,8	17,80	0,5664	4094,9	19,50	0,6658
24	3815,2	15,22	0,4334	3706,0	14,84	0,4002	3999,7	17,59	0,5599
28	3756,8	13,90	0,3588	3642,6	13,35	0,3172	3945,0	16,45	0,4968
32	3707,8	12,76	0,2944	3617,1	12,74	0,2830	3895,9	15,39	0,4386
36	3646,7	11,30	0,2117	3622,9	12,88	0,2909	3855,6	14,51	0,3897
40	3606,5	10,31	0,1558	3616,9	12,74	0,2828	3819,3	13,70	0,3448
44	3567,9	9,34	0,1009	3604,5	12,44	0,2660	3802,8	13,32	0,3241
48	3564,3	9,25	0,0957	3594,2	12,19	0,2519	3751,4	12,13	0,2584
52	3513,2	7,93	0,0210	3587,6	12,03	0,2429	3753,2	12,18	0,2607
56	3499,9	7,58	0,0012	3574,1	11,69	0,2243	3761,1	12,36	0,2709
60	3499,4	7,57	0,0004	3549,9	11,09	0,1906	3703,5	11,00	0,1956
64	3499,5	7,57	0,0006	3515,5	10,22	0,1419	3687,6	10,61	0,1744
68	3499,1	7,56	0,0000	3495,3	9,70	0,1128	3668,4	10,15	0,1485
72				3468,9	9,02	0,0743	3633,9	9,29	0,1014
76				3441,4	8,29	0,0336	3600,1	8,44	0,0543
80				3437,6	8,19	0,0280	3587,8	8,13	0,0369
84				3429,8	7,98	0,0163	3579,6	7,92	0,0253
88				3423,5	7,81	0,0068	3574,6	7,79	0,0182
92				3419,5	7,70	0,0008	3562,3	7,47	0,0006
96				3419,6	7,70	0,0009	3562,3	7,47	0,0006
100				3419,2	7,69	0,0003	3561,9	7,46	0,0000
104				3419,0	7,69	0,0000			

APÊNDICE D

/* APENDICE D */

```
/* MODELO CURVA SECADO AMINCO 44.93°C-A */
data NAOLINE1;
options nodate nonumber;
input RU t;
cards;
1.0000      0.0
0.9684      1.0
0.9171      2.0
0.8906      3.0
0.8539      4.0
0.8291      5.0
0.7911      6.0
0.7532      7.0
0.6683      8.0
0.5831     12.0
0.5469     16.0
0.3567     20.0
0.3082     24.0
0.2601     28.0
0.2206     32.0
0.1853     36.0
0.1556     40.0
0.1257     44.0
0.1102     48.0
0.0950     52.0
0.0830     56.0
0.0725     60.0
0.0639     64.0
0.0541     68.0
0.0462     72.0
0.0402     76.0
0.0365     80.0
0.0326     84.0
0.0272     88.0
0.0206     92.0
0.0174     96.0
0.0128    100.0
0.0089    104.0
0.0048    108.0
0.0019    112.0
0.0007    116.0
0.9992      0.0
0.9721      1.0
0.9254      2.0
```

0.9008	3.0
0.8668	4.0
0.8426	5.0
0.8075	6.0
0.7716	7.0
0.6784	8.0
0.6077	12.0
0.4946	16.0
0.3780	20.0
0.3250	24.0
0.2721	28.0
0.2272	32.0
0.1985	36.0
0.1742	40.0
0.1206	44.0
0.1043	48.0
0.0872	52.0
0.0741	56.0
0.0619	60.0
0.0533	64.0
0.0407	68.0
0.0313	72.0
0.0250	76.0
0.0200	80.0
0.0174	84.0
0.0139	88.0
0.0028	92.0
1.0000	0.0
0.9815	1.0
0.9437	2.0
0.9234	3.0
0.8952	4.0
0.8748	5.0
0.8442	6.0
0.8147	7.0
0.7339	8.0
0.6723	12.0
0.6243	16.0
0.4569	20.0
0.4055	24.0
0.3501	28.0
0.3028	32.0
0.2759	36.0
0.2282	40.0
0.1812	44.0
0.1610	48.0
0.1427	52.0

0.1274	56.0
0.1129	60.0
0.1036	64.0
0.0866	68.0
0.0771	72.0
0.0695	76.0
0.0637	80.0
0.0580	84.0
0.0549	88.0
0.0421	92.0
0.0391	96.0
0.0336	100.0
0.0284	104.0
0.0246	108.0
0.0211	112.0
0.0184	116.0
0.0156	120.0
0.0140	124.0
0.0093	128.0
0.0063	132.0
0.0035	136.0
0.0013	140.0

```

;
proc nlin method=gauss;
parm Ao= 0.0139
      A1= 1.0111
      B= 18.4678
      Kd= 0.0023
;
model RU=Ao*EXP(-Kd*t)+A1*EXP(-B*Kd*t);
output out=saida1 p=yhat r=yresid;
title 'CURVA DE SECADO 44.93°C-UR 21.70% ';
run;
*;
proc print data=saida1;
proc corr;
var RU;
with yhat;
proc reg;
model yhat=RU;
output out=new p=yhat R= resid;
run;
quit;
*;
PROC GPLOT;
PLOT RU*t='*' YHAT*t='M'/OVERLAY;
PLOT RESID*YHAT/VREF=0;

```

```
PLOT RU*YHAT;  
PROC PRINT;  
RUN;  
QUIT;
```

/* APÉNDICE D */

CURVA DE SECADO 44.93°C-UR 21.70%

Non-Linear Least Squares Iterative Phase Method: Gauss-Newton		Dependent Variable RU		
Iter	A0	A1	B	KD
Sum of Squares				
0	0.013900	1.011100	18.467800	
0.002300	0.101018			
1	0.013860	1.011141	18.623573	
0.002281	0.101007			
2	0.013819	1.011182	18.781581	
0.002261	0.100997			
3	0.013779	1.011222	18.941870	
0.002242	0.100988			
4	0.013739	1.011263	19.104489	
0.002223	0.100979			
5	0.013700	1.011303	19.269488	
0.002204	0.100970			
6	0.013660	1.011343	19.436916	
0.002185	0.100962			
7	0.013621	1.011383	19.606828	
0.002166	0.100954			
8	0.013582	1.011422	19.779275	
0.002147	0.100946			
9	0.013544	1.011462	19.954315	
0.002128	0.100939			
10	0.013505	1.011501	20.132004	
0.002109	0.100933			
11	0.013467	1.011540	20.312400	
0.002090	0.100927			
12	0.013428	1.011579	20.495565	
0.002071	0.100921			
13	0.013390	1.011617	20.681559	
0.002053	0.100916			
14	0.013353	1.011656	20.870448	
0.002034	0.100911			
15	0.013315	1.011694	21.062298	
0.002015	0.100907			
16	0.013278	1.011732	21.257175	
0.001997	0.100903			
17	0.013240	1.011770	21.455150	
0.001978	0.100900			
18	0.013203	1.011807	21.656296	
0.001960	0.100897			
19	0.013166	1.011845	21.860686	
0.001941	0.100895			

0.001923	20	0.013130 0.100894	1.011882	22.068398
0.001905	21	0.013093 0.100893	1.011919	22.279509
0.001886	22	0.013057 0.100892	1.011956	22.494102
0.001877	23	0.013039 0.100882	1.011974	22.603182
0.001868	24	0.013021 0.100872	1.011993	22.713182
0.001859	25	0.013003 0.100862	1.012011	22.824116
0.001850	26	0.012985 0.100852	1.012029	22.935995
0.001841	27	0.012967 0.100842	1.012048	23.048831
0.001832	28	0.012949 0.100832	1.012066	23.162635
0.001823	29	0.012932 0.100823	1.012084	23.277420
0.001814	30	0.012914 0.100813	1.012102	23.393198
0.001805	31	0.012896 0.100804	1.012120	23.509983
0.001796	32	0.012879 0.100794	1.012138	23.627786
0.001787	33	0.012861 0.100785	1.012156	23.746622
0.001778	34	0.012843 0.100776	1.012174	23.866503
0.001769	35	0.012826 0.100767	1.012191	23.987444
0.001760	36	0.012809 0.100758	1.012209	24.109457
0.001751	37	0.012791 0.100749	1.012227	24.232558
0.001742	38	0.012774 0.100740	1.012245	24.356760
0.001733	39	0.012756 0.100731	1.012262	24.482077
0.001724	40	0.012739 0.100723	1.012280	24.608526
0.001715	41	0.012722 0.100714	1.012298	24.736120
0.001706	42	0.012705 0.100706	1.012315	24.864875

43	0.012687	1.012333	24.994807
	0.001697	0.100698	

CURVA DE SECADO 44.93°C-UR 21.70%

Non-Linear Least Squares Iterative Phase Dependent Variable RU
Method: Gauss-Newton

Iter	A0	A1	B	KD
Sum of Squares				
44	0.012670	1.012350	25.125932	
0.001688	0.100689			
45	0.012653	1.012368	25.258265	
0.001680	0.100681			
46	0.012636	1.012385	25.391824	
0.001671	0.100673			
47	0.012619	1.012402	25.526624	
0.001662	0.100666			
48	0.012602	1.012420	25.662684	
0.001653	0.100658			
49	0.012585	1.012437	25.800020	
0.001644	0.100650			
50	0.012568	1.012454	25.938651	
0.001635	0.100643			

NOTE: Convergence criterion met.

Non-Linear Least Squares Summary Statistics
Dependent Variable RU

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	4	24.415650427	6.103912607
Residual	104	0.100642663	0.000967718
Uncorrected Total	108	24.516293090	
(Corrected Total)	107	13.134843201	

NOTE: Convergence criterion met.

Parameter	Estimate	Asymptotic Std. Error
Asymptotic 95 % Confidence Interval		

Upper				Lower
0.012568449	A0	0.01256845	0	0.012568449
1.012454169	A1	1.01245417	0	1.012454169
25.938650554	B	25.93865055	0	25.938650554
0.001635397	KD	0.00163540	0	0.001635397

Asymptotic Correlation Matrix

	Corr	A0	A1	B
KD				
<hr/>				
	A0	1	-0.978600247	-0.985454472
0.9856424631	A1	-0.978600247	1	0.9728614998
-0.972880946	B	-0.985454472	0.9728614998	1
-0.99999896	KD	0.9856424631	-0.972880946	-0.99999896

1

APÊNDICE E

/* APÊNDICE E */
 BASE DE DADOS
 CURVA DE SECADO-SECADOR T 36,7°C

REPETIÇÃO	TEMPERATURA MEDIA	TEMPO (h)	RU EXPERIMENTAL	LN RU EXPERIMENTAL
1	36,7	0,0	0,9999	-0,0001
1	37,1	1,0	0,9526	-0,0486
1	39,0	2,0	0,8580	-0,1532
1	36,0	3,0	0,6828	-0,3815
1	37,3	4,0	0,6040	-0,5041
1	36,8	5,0	0,4954	-0,7023
1	36,2	6,0	0,4271	-0,8507
1	34,8	7,0	0,3956	-0,9274
1	37,2	8,0	0,3238	-1,1277
1	37,5	12,0	0,2870	-1,2483
1	38,0	16,0	0,2450	-1,4067
1	35,6	20,0	0,2327	-1,4580
1	35,6	24,0	0,2292	-1,4732
1	35,0	28,0	0,2292	-1,4732
1	36,8	32,0	0,1924	-1,6481
1	37,9	36,0	0,1661	-1,7950
1	35,2	40,0	0,1696	-1,7741
1	35,3	44,0	0,1644	-1,8056
1	35,1	48,0	0,1486	-1,9064
1	31,2	52,0	0,1872	-1,6758
1	40,2	56,0	0,1521	-1,8831
1	39,6	60,0	0,1329	-2,0185
1	36,3	64,0	0,1206	-2,1153
1	34,3	68,0	0,1083	-2,2226
1	34,2	72,0	0,1013	-2,2894
1	32,7	76,0	0,1329	-2,0185
1	41,5	80,0	0,1031	-2,2723
1	44,1	84,0	0,0488	-3,0205
1	35,4	88,0	0,0173	-4,0599

REPETIÇÃO	TEMPERATURA MEDIA	TEMPO (h)	RU EXPERIMENTAL	LN RU EXPERIMENTAL
2	36,0	0,0	0,9998	-0,0002
2	36,2	1,0	0,9099	-0,0944
2	37,0	2,0	0,8546	-0,1571
2	37,6	3,0	0,7067	-0,3472
2	35,9	4,0	0,5878	-0,5314
2	35,6	5,0	0,5062	-0,6808
2	35,1	6,0	0,4219	-0,8630
2	35,7	7,0	0,3375	-1,0861
2	35,4	8,0	0,3002	-1,2033
2	37,7	12,0	0,2242	-1,4953
2	37,1	16,0	0,1938	-1,6412
2	36,2	20,0	0,1620	-1,8204
2	35,8	24,0	0,1288	-2,0497
2	38,3	28,0	0,1136	-2,1754
2	35,2	32,0	0,1136	-2,1754
2	38,1	36,0	0,0693	-2,6689
2	37,3	40,0	0,0666	-2,7096
2	37,1	44,0	0,0596	-2,8193
2	36,2	48,0	0,0486	-3,0244
2	36,4	52,0	0,0472	-3,0532
2	36,0	56,0	0,0417	-3,1778
2	36,9	60,0	0,0375	-3,2827
2	35,7	64,0	0,0389	-3,2465
2	37,9	68,0	0,0334	-3,3998
2	37,4	72,0	0,0320	-3,4421
2	35,9	76,0	0,0265	-3,6318
2	39,1	80,0	0,0043	-5,4383

REPETIÇÃO	TEMPERATURA MEDIA	TEMPO (h)	RU EXPERIMENTAL	LN RU EXPERIMENTAL
3	36,8	0,0	1,0001	0,0001
3	36,8	1,0	0,9261	-0,0767
3	37,2	2,0	0,8551	-0,1565
3	38,2	3,0	0,8087	-0,2123
3	36,4	4,0	0,6434	-0,4410
3	38,5	5,0	0,5317	-0,6316
3	37,1	6,0	0,4433	-0,8135
3	36,3	7,0	0,3432	-1,0693
3	35,9	8,0	0,2098	-1,5615
3	37,1	12,0	0,2026	-1,5966
3	37,3	16,0	0,1939	-1,6405
3	36,5	20,0	0,1678	-1,7851
3	36,4	24,0	0,1562	-1,8568
3	36,0	28,0	0,1257	-2,0736
3	35,8	32,0	0,1098	-2,2093
3	37,7	36,0	0,0982	-2,3210
3	35,9	40,0	0,0837	-2,4808
3	37,9	44,0	0,0648	-2,7361
3	38,7	48,0	0,0503	-2,9893
3	35,9	52,0	0,0315	-3,4586
3	34,7	56,0	0,0329	-3,4136
3	36,6	60,0	0,0097	-4,6332
3	38,0	64,0	0,0184	-3,9941

APÊNDICE F

/* APÊNDICE F */
BASE DE DADOS T 55,18°C

REPETIÇÃO	TEMPERATURA MEDIA	TEMPO (h)	RU EXPERIMENTAL	LN RU EXPERIMENTAL
1	51,9	0,0	1,0000	0,0000
1	55,2	1,0	0,9069	-0,0977
1	57,0	2,0	0,8182	-0,2007
1	57,2	3,0	0,6741	-0,3944
1	57,3	4,0	0,6297	-0,4625
1	60,9	5,0	0,5865	-0,5336
1	58,3	6,0	0,4102	-0,8910
1	58,1	7,0	0,3648	-1,0085
1	57,0	8,0	0,3138	-1,1591
1	56,6	12,0	0,2439	-1,4108
1	59,1	16,0	0,2162	-1,5314
1	63,3	20,0	0,1807	-1,7106
1	62,6	24,0	0,1453	-1,9291
1	60,0	28,0	0,0754	-2,5845
1	59,4	32,0	0,0289	-3,5449
1	57,4	36,0	0,0100	-4,6026
1	60,5	40,0	0,0000	-9,9335

REPETIÇÃO	TEMPERATURA MEDIA	TEMPO (h)	RU EXPERIMENTAL	LN RU EXPERIMENTAL
2	49,3	56,0	0,0002	-8,5962
2	50,1	0,0	0,9999	-0,0001
2	59,9	1,0	0,9027	-0,1023
2	60,4	2,0	0,8474	-0,1655
2	61,7	3,0	0,7787	-0,2501
2	62,9	4,0	0,6621	-0,4123
2	62,0	5,0	0,5575	-0,5842
2	62,6	6,0	0,4739	-0,7468
2	60,1	7,0	0,4066	-0,8999
2	53,5	8,0	0,3065	-1,1825
2	53,2	12,0	0,2721	-1,3014
2	53,0	16,0	0,2198	-1,5148
2	48,9	20,0	0,1167	-2,1478
2	46,7	24,0	0,0719	-2,6323
2	48,3	28,0	0,0301	-3,5042
2	47,7	32,0	0,0435	-3,1346
2	47,6	36,0	0,0420	-3,1695
2	47,8	40,0	0,0405	-3,2057
2	45,7	44,0	0,0151	-4,1912
2	47,0	48,0	0,0002	-8,5962
2	40,7	52,0	0,0151	-4,1912

REPETIÇÃO	TEMPERATURA MEDIA	TEMPO (h)	RU EXPERIMENTAL	LN RU EXPERIMENTAL
3	46,2	0,0	0,9998	-0,0002
3	54,5	1,0	0,7872	-0,2392
3	54,2	2,0	0,7242	-0,3227
3	54,2	3,0	0,6624	-0,4118
3	54,0	4,0	0,6007	-0,5096
3	54,1	5,0	0,4896	-0,7141
3	51,1	6,0	0,3786	-0,9714
3	48,1	7,0	0,3114	-1,1668
3	52,6	8,0	0,2469	-1,3988
3	55,6	12,0	0,1770	-1,7319
3	54,2	16,0	0,1152	-2,1608
3	49,3	20,0	0,1056	-2,2477
3	49,2	24,0	0,1015	-2,2875
3	50,7	28,0	0,0933	-2,3720
3	53,8	32,0	0,0768	-2,5661
3	57,7	36,0	0,0522	-2,9536
3	57,9	40,0	0,0357	-3,3328
3	51,2	44,0	0,0302	-3,4996
3	51,1	48,0	0,0275	-3,5948
3	51,8	52,0	0,0316	-3,4552
3	55,3	56,0	0,0343	-3,3719
3	59,0	60,0	0,0028	-5,8853
3	59,2	64,0	0,0028	-5,8853
3	57,5	68,0	0,0014	-6,5651
3	55,1	72,0	0,0096	-4,6421
3	53,0	76,0	0,0000	-10,1978