


**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

SECAGEM DE COGUMELO (*Agaricus bisporus*)

PARECER

Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por CLÁUDIA CRISTINA PASCHOALETI e aprovada pela Comissão Julgadora em 02 de abril de 1996.

Campinas, 02 de abril de 1996

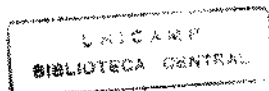

PROF. DR. SATOSHI TOBINAGA
Presidente da Banca

**CLAUDIA CRISTINA PASCHOALETI
ENGENHEIRA DE ALIMENTOS**

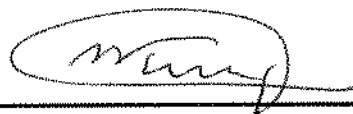
**PROF. Dr SATOSHI TOBINAGA
ORIENTADOR**

Tese apresentada à faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos.

**CAMPINAS - SP
ABRIL/1996**



BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Satoshi Tobinaga
(Orientador)



Prof. Dr. Carlos Alberto Gasparetto
(Membro)



Profa. Dra. Mirian Dupas Hubinger
(Membro)



Profa. Dra. Fernanda E. X. Murr
(Membro)

Campinas, 02 de abril de 1996.

*A vocês que acreditaram,
empenharam e investiram em meu
potencial e com isso, me
transmitiram a confiança e coragem
tão necessária para que continuasse a
caminhada. A vocês minha gratidão.*

DEDICAO

*À meus pais, Carlos e Vera,
irmãos Paula e Figue e ao
sobrinho José Guilherme.*

Ao

Prof. Abdo Elcarim Murad Neto (Em memória)

Você me guiou, para além das teorias e das práticas. Suas lições incluíram compreensão, amizade e mais do que tudo, você me deu a consciência ao valor da nossa profissão. Dizer-lhe muito obrigado é muito pouco e não expressa tudo aquilo que sinto.

Saudades

AGRADECIMENTOS

À DEUS, sem o qual nada seria possível.

Ao Prof. Dr. Satoshi Tobinaga pela orientação, apoio e amizade dispensada durante a realização deste trabalho.

Aos professores Gaspareto, Mirian e Fernanda pela orientação, atenção e sugestões durante a correção da tese.

À CAPES pela concessão da bolsa de mestrado

Aos funcionários do Departamento de Engenharia de Alimentos pelo apoio.

Ao Arnaldinho e Nivaldo pelo paciência dispensada durante todo o tempo passado no microcentro.

À Faculdade de Engenharia Agrícola pela utilização de equipamentos.

À amiga Neusa Maria de Paula pela confiança e apoio.

Aos amigos Gasparetto e Eny pelos momentos de descontração.

Aos meus professores de graduação pela confiança, amizade e incentivo

Aos meus familiares, em especial a tia Carminha pela compreensão e carinho.

Às amigas Simone, Alcilene, Jesus, Àssima, Sayoko, Vera e Eliana por todos os bons momentos e pelos bate papos no banquinho.

Às amigas Tati, Biba e Luíza pela amizade e pelo companherismo no término deste trabalho.

Aos amigos Du e Hosi pelo bom humor e palavras sempre de carinho.

Ao amigo Antônio pela transmissão de conhecimentos e parceria na conclusão deste trabalho.

À vocês colegas que ouviram meus desabaços, presenciaram o meu silêncio, à vocês que me acompanharam, choraram, riram, sentiram, participaram e aconselharam.

A todos que aqui se sintam incluídos e que com sinceridade de sentimento contribuíram de uma maneira ou de outra para a conclusão desta tese.

ÍNDICE

LISTA DE TABELAS	iii
LISTA DE FIGURAS.....	iv
NOMENCLATURA	viii
RESUMO	x
SUMMARY.....	xi
1- INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....	1
1.1- Introdução	1
1.2- Objetivos.....	2
2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Cogumelos Comestíveis	3
2.2-Composição Nutricional.....	4
2.2.1 - Umidade.....	5
2.2.2 - Proteína.....	5
2.2.3 - Aminoácidos	7
2.2.4 - Carboidratos e Fibras.....	7
2.2.5 - Vitaminas e Minerais	8
2.2.6 - Gordura	8
2.3 - Valor Medicinal.....	10
2.4- Secagem: Fundamentos e Mecanismos.....	11
2.5- Período de Taxa Constante de Secagem	12
2.6- Período de Taxa Decrescente de Secagem	13
2.7- Fatores que afetam o movimento de umidade.....	14
2.8- Métodos de Secagem para Conservação de Cogumelos	15

3 - MATERIAIS E MÉTODOS	19
3.1- Matéria Prima	19
3.2- Equipamento de Secagem por Corrente de Ar Seco	20
3.2.1- Compartimento de secagem do material	21
3.2.2- Compartimento de secagem do ar e sistema de ventilação	21
3.2.3- Sistemas de Medidas	23
3.3- Metodologia	25
3.4- Tratamento Matemático	25
4-RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1- RESULTADOS.....	30
4.1.1- Curvas de secagem	30
4.1.1.1-Período de secagem de taxa decrescente.....	30
4.1.2- Tratamento Matemático	39
4.1.3- Matéria - Prima	43
4.2-DISCUSSÃO.....	45
4.2.1-Curvas de Secagem.....	45
4.2.2- Tratamento Matemático	46
5-CONCLUSÃO.....	49
6-SUGESTÕES	50
7- BIBLIOGRAFIA.....	51
APÊNDICE A.....	56

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1- Cogumelos Comestíveis.....	04
TABELA 2.2- Composição % aproximada de espécies cultivadas e não-cultivadas de cogumelos comestíveis.....	06
TABELA 2.3- Composição de aminoácidos de espécies cultivadas de cogumelos comestíveis.....	09
TABELA 2.4- Conteúdo de vitaminas e minerais de espécies cultivadas e não-cultivadas de cogumelos comestíveis.....	10
TABELA 4.1- Valores de umidade inicial e de equilíbrio de champignons (T _{bs} =35°C;T _{bu} =13°C).....	38
TABELA 4.2- Transição da 1 ^a para a 2 ^a fase do período de taxa decrescente.....	38
TABELA 4.3- Valores de Def para as duas fases do período de taxa decrescente.....	38
TABELA 4.4- Valores de umidades adimensionais experimental de cogumelo de 2,8 cm de diâmetro e calculada.....	40
TABELA 4.5- Valores de umidades adimensionais experimental de cogumelo de 2,7 cm de diâmetro e calculada.....	41

TABELA 4.6- Valores de umidades adimensionais experimental de cogumelo de 2,6 cm de diâmetro e calculada.....	42
TABELA 4.7- Valores de umidades adimensionais experimental de cogumelo de 2,5 cm de diâmetro e calculada.....	43
TABELA A.1- Parâmetros da correlação exponencial ajustada para todo o período da taxa decrescente da curva de secagem $\left[\frac{(\bar{X} - X_o)}{(X_o - X_e)} \right]$ versus tempo.....	57
TABELA A.2- Parâmetro de regressão linear para a determinação de Def da 1ª fase e 2ª-fases do período de taxa decrescente.....	57

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1- Claridade (L^*) de pedaços de cogumelos secos por vários processos.....	16
FIGURA 2.2- Comparação dos principais componentes voláteis na preservação do sabor dos cogumelos dependendo do processo de secagem.....	17
FIGURA 3.1- Detalhes do Champignon fresco.....	20
FIGURA 3.2- Desenho esquemático do secador tubular.....	22
FIGURA 3.3- Detalhes do compartimento de secagem.....	23
FIGURA 3.4- Desenho esquemático do dinamometro.....	24
FIGURA 4.1- Umidade adimensional de cogumelo de 2,8 cm de diâmetro em função do tempo de secagem ; $T_{bs}=35^{\circ}\text{C}$ e $T_{bu}=15^{\circ}\text{C}$	31
FIGURA 4.2- Umidade adimensional de cogumelo de 2,7 cm de diâmetro em função do tempo de secagem; $T_{bs}=35^{\circ}\text{C}$ e $T_{bu}=15^{\circ}\text{C}$	32
FIGURA 4.3- Umidade adimensional de cogumelo de 2,6 cm de diâmetro em função do tempo de secagem; $T_{bs}=35^{\circ}\text{C}$ e $T_{bu}=15^{\circ}\text{C}$	32
FIGURA 4.4- Umidade adimensional de cogumelo de 2,5 de diâmetro em função do tempo de secagem; $T_{bs}=35^{\circ}\text{C}$ e $T_{bu}=15^{\circ}\text{C}$	33

FIGURA 4.5- Ajuste da correlação polinomial proposta para a curva de secagem de cogumelo de 2,6 cm de diâmetro.....	33
FIGURA 4.6- Ajuste da correlação polinomial proposta para a curva de secagem de cogumelo de 2,5 cm de diâmetro.....	34
FIGURA 4.7- Ajuste da correlação exponencial proposta para a curva de secagem de cogumelo de 2,8 cm de diâmetro em função do tempo.....	34
FIGURA 4.8- Ajuste da correlação exponencial proposta para a curva de secagem de cogumelo de 2,7 cm de diâmetro em função do tempo.....	35
FIGURA 4.9- Curva de secagem de cogumelo de 2,5 cm de diâmetro ; $T_{bs}=35^{\circ}\text{C}$ e $T_{bu}=15^{\circ}\text{C}$	36
FIGURA 4.10- Curva de secagem de cogumelo de 2,7 cm de diâmetro ; $T_{bs}=35^{\circ}\text{C}$ e $T_{bu}=15^{\circ}\text{C}$	36
FIGURA 4.11- Curva de secagem de cogumelo de 2,6 cm de diâmetro ; $T_{bs}=35^{\circ}\text{C}$ e $T_{bu}=15^{\circ}\text{C}$	37
FIGURA 4.12- Curva de secagem de cogumelo de 2,8 cm de diâmetro ; $T_{bs}=35^{\circ}\text{C}$ e $T_{bu}=15^{\circ}\text{C}$	37
FIGURA 4.13- Detalhes do cogumelo seco.....	44
FIGURA 4.14- Curvas de secagem experimental de cogumelo de 2,8 cm de diâmetro e calculada.....	47

FIGURA 4.15- Curvas de secagem experimental de cogumelo de 2,7 cm de diâmetro e calculada.....	47
FIGURA 4.16- Curvas de secagem experimental de cogumelo de 2,6 cm de diâmetro e calculada.....	48
FIGURA 4.17- Curvas experimental de secagem de cogumelo de 2,5 cm de diâmetro e calculada.....	48
FIGURA A.1- Umidade adimensional de cogumelo de 2,8 cm de diâmetro em função do tempo ; $T_{bs}=35^{\circ}\text{C}$ e $T_{bu}=15^{\circ}\text{C}$	58
FIGURA A.2- Umidade adimensional de cogumelo de 2,8 cm de diâmetro em função do tempo de secagem ; $T_{bs}=35^{\circ}\text{C}$ e $T_{bu}=15^{\circ}\text{C}$	58
FIGURA A.3- Umidade adimensional de cogumelo de 2,5 cm de diâmetro em função do tempo de secagem ; $T_{bs}=35^{\circ}\text{C}$ e $T_{bu}=15^{\circ}\text{C}$	59
FIGURA A.4- Umidade adimensional de cogumelo de 2,6 cm de diâmetro em função do tempo de secagem ; $T_{bs}=35^{\circ}\text{C}$ e $T_{bu}=15^{\circ}\text{C}$	59
FIGURA A.5- Umidade adimensional de cogumelo de 2,5 cm de diâmetro em função do tempo de secagem ; $T_{bs}=35^{\circ}\text{C}$ e $T_{bu}=15^{\circ}\text{C}$	60
FIGURA A.6- Umidade adimensional de cogumelo de 2,4 cm de diâmetro em função do tempo de secagem ; $T_{bs}=35^{\circ}\text{C}$ e $T_{bu}=15^{\circ}\text{C}$	60
FIGURA A.7- Umidade adimensional de cogumelo de 2,25 cm de diâmetro em função do tempo de secagem ; $T_{bs}=35^{\circ}\text{C}$ e $T_{bu}=15^{\circ}\text{C}$	61

NOMENCLATURA

- A - Constante da equação (3.7)
- D_{ef} - Difusividade efetiva de umidade, (cm^2/h)
- m - Número inteiro e positivo
- p - Constante da equação (4.1)
- q - Constante da equação (4.1)
- r - Coordenada radial da equação (3.1)
- R - Raio da amostra (cm)
- t - Tempo (h)
- T - Temperatura ($^{\circ}C$)
- X - Umidade em base seca das amostras, adimensional
- \bar{X} - Umidade média em base seca, adimensional

Letras-gregas

θ - Coordenada angular da equação (3.1)

ψ - Umidade em base seca da amostra, adimensional

$\bar{\psi}$ - Umidade média em base seca da amostra, adimensional

α_m - Auto valores da equação (3.8.1)

λ_n - Parâmetro definido da equação (3.4)

φ - Umidade em base seca, adimensional

Sub-índices

bs - bulbo seco

bu - bulbo úmido

e - equilíbrio

n - número inteiro e positivo

o - inicial

RESUMO

Desenvolveu-se um estudo experimental de secagem do cogumelo, tipo champignon (*Agaricus bisporus*). As corridas experimentais foram conduzidas em secador hermético com corrente de ar a temperatura de 35°C, com umidade relativa média de 9,8% e velocidade de 1,05m/s. Na faixa de umidade de 95-12% (em base seca), a curva de secagem não apresentou a fase de taxa constante, e apresentou 2 fases na taxa decrescente, e os cogumelos apresentaram escurecimento e enrugamento de suas superfícies.

A solução analítica foi obtida adotando a lei de Fick com difusividade efetiva constante para geometria semi-esférica. Para cada instante, o valor do perfil médio de umidade foi obtido utilizando os softwares EUREKA e o Lotus 1-2-3 versão 4. Os perfis de umidade assim calculados foram comparados com os experimentais, obtendo-se uma boa concordância entre eles, com erro mínimo médio de 1,8% para o período de taxa decrescente. Os valores de difusividade efetiva obtidos do ajuste do perfil de umidade experimental e calculado foram de $2,0 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{h}$ para a 1ª fase da taxa decrescente e de $1,0 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{h}$ para a 2ª fase.

SUMMARY

Wide champignons (*Agaricus bisporus*) were dried in an airtight chamber with air at 35 °C, 9.8% relative humidity and 1.05 m/s average velocity. During the experiments champignons were dried from 95% to 12% (dry basis) and drying curves exhibited two decreasing ranges only. The final product showed intense browning and surface shrinking.

The process was assumed controlled by diffusion and therefore theoretical analysis was made based on Ficks's second law with constant effective diffusivity applied to semi-spherical geometry. The time dependent moisture profile was evaluated from spatial average of exact solution by use of EUREKA and version 4 Lotus 1-2-3 softwares. Analytical solution for humidity profile fitted very well to the experimental data. Average minimal error was 1,8% for decreasing range. The results obtained for effective difusivity were $2,0 \times 10^{-3}$ and $1,0 \times 10^{-3}$ in the first and second phases of dreping curve respectively.

1- INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

1.1- Introdução

O cultivo de cogumelos, conhecidos no mundo inteiro como champignons, teve origem na França por volta de 1650. Porém a verdadeira técnica de cultivo teve início em 1707 por Tovanefort, que utilizou esterco de cavalo como substrato. Em 1865, o cultivo foi introduzido na América, onde passou a ser utilizado em casas de cultivo, com instalações semelhantes as de uma fábrica. Esse sistema, mais tarde, passou a ser utilizado também na Europa. No Brasil o cultivo teve início em escala comercial em 1952, introduzido pelo italiano Oscar Molena (Informativo Coopercitrus, 1991).

Em 1986 a produção mundial de cogumelos foi estimada em 2,2 milhões de toneladas, com o mais comum sendo o cogumelo botão ou champignon (*Agaricus bisporus*), avaliado em 56% da produção total. Tem-se outras importantes espécies tais como, shiitake (*Lentinula edodes*) 14%; cogumelo palha (*Volvariella volvacea*) 8%; cogumelo madeira (*Auricularia spp*) 6%; enokitake (*Flamulina velutipes*) 5%; outras espécies 3% (BREENE, 1990).

O cultivo de cogumelos em escala comercial sempre se inicia com a produção de um substrato apropriado. Este substrato geralmente consiste de esterco de animal, sabugo de milho, palha de arroz e outros resíduos agrícolas. A preparação do composto é realizada em duas fases: a primeira geralmente realizada a céu aberto, tem a finalidade de um desdobramento inicial das matérias primas e a segunda fase é realizada em ambientes fechados, à temperatura e umidade controladas, para o crescimento de microrganismos termófilos.

Os cogumelos são por natureza um produto altamente perecível, cujo período de aceitabilidade no estado fresco, após sua colheita, não pode exceder de 5 a 6 dias. Devido à alta perecibilidade é difícil os cogumelos serem distribuídos frescos, precisando portanto de técnicas de conservação.

A secagem é um dos métodos mais antigos de preservação de alimentos de origem animal e vegetal. Nos países europeus e asiáticos é comum a comercialização de cogumelos desidratados, enquanto que no Brasil o consumo deste tipo de produto ainda é muito restrito.

Este método de conservação facilita os trabalhos de armazenamento, transporte e manuseio dos alimentos, por isto motivou e ainda motiva pesquisas em diversas áreas. Na área de secagem de alimentos existe a necessidade da determinação experimental dos parâmetros que caracterizam a secagem; incluindo os efeitos da variação biológica, para diferentes faixas de umidade. Estes dados podem então ser utilizados para verificar a validade dos vários modelos existentes.

Apesar da existência de inúmeros trabalhos sobre secagem, ainda não se encontra um modelo que possa ser generalizado para todos os gêneros alimentícios.

1.2- Objetivos

Este trabalho visou realizar o estudo da secagem de cogumelos em forma semi-esférica, fazendo circular ar seco, mantendo aproximadamente constantes as temperaturas de bulbo seco (T_{bs}) e bulbo úmido (T_{bu}). Com os dados experimentais encontrados, desenvolveu-se a modelagem da transferência de massa no processo de secagem, considerando apenas a influência da difusão.

2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1- Cogumelos Comestíveis

De acordo com TRUFEM & BONONI (1985) os povos do mundo, de modo geral, conhecem os fungos há séculos. Enquanto alguns povos apresentaram atração por esse grupo de organismos, outros apenas constatavam sua ocorrência, sem dedicar-lhes maiores atenções. Desta forma, as populações podem ser ditas micófilas e não-micófilas, de acordo com seu interesse ou não pelos fungos.

Dentre os povos "micófilos", são mencionados os europeus de um modo geral, que até os dias atuais, saem às matas para a coleta de cogumelos silvestres, para a preparação de pratos culinários. Segundo FIDALGO e GUIMARÃES (1985), o povo brasileiro pode ser considerado como "não-micófilo", uma vez que não demonstra, por uma tendência nata, qualquer interesse ou atração pelos fungos. Assim, o hábito de usar os fungos na alimentação foi aqui introduzido pelos europeus, através de uma culinária mais sofisticada que espelhava um "status" para as camadas mais abastadas da sociedade .

Os fungos comestíveis pertencem aos mais diversos gêneros, tais como: *Psalliota*, *Agaricus*, *Pleurotus*, *Boletus*, *Suillus*, *Calvatia*, *Auricularia*, etc, ligados a diferentes famílias que em sua maioria se acham vinculadas a classe *Basidiomycetes* (FIDALGO et alli, 1976 citado por FIDALGO & GUIMARÃES, 1985).

De acordo com BISARIA & MADAN (1983), são conhecidos 2.000 variedades de cogumelos comestíveis, mas aproximadamente apenas 25 são aceitas como alimento, e somente de 8 a 10 são cultivadas comercialmente, como mostrado na tabela 2.1:

TABELA 2.1 - Cogumelos Comestíveis.

ESPÉCIES CULTIVADAS COMERCIALMENTE
<i>Agaricus bitorquis</i>
<i>Agaricus brunnescens</i>
<i>Auricularia spp.</i>
<i>Flammulina velutipes</i>
<i>Lentinus edodes</i>
<i>Pholiota namero</i>
<i>Pleurotus cornocopiae</i>
<i>Pleurotus cystidieus</i>
<i>Pleurotus eryngã</i>
<i>Pleurotus florida</i>

Fonte-BISARIA & MADAN,1983

Segundo GRAY (1970) citado por BISARIA & MADAN (1983), a espécie mais produzida e consumida no mundo é *Agaricus bisporus (brunnescens)* conhecida popularmente por cogumelo-botão ou champignon, responsável por 56% da produção total mundial de cogumelos.

2.2-Composição Nutricional

CRISAN & SANDS (1978) evidenciam que várias opiniões têm sido expressas considerando o real valor nutritivo dos cogumelos comestíveis. Historicamente, os cogumelos têm sido considerados por alguns autores como "vegetable beef steak", enquanto outros os consideram isento de qualquer valor nutritivo, ou com mínima importância nutricional.

Análises aproximadas da composição de vários cogumelos estão listadas na tabela 2.2. Nela estão presentes cogumelos comuns já cultivados, e espécies não cultivadas, mas de grande perspectiva para o futuro.

2.2.1- Umidade

De acordo com CRISAN & SANDS (1978) e BREENE (1990), espécies de cogumelos frescos geralmente contém de 85 a 95% de umidade (% de peso fresco), e espécies comercializadas secas contém de 5 a 20% de umidade. Inevitavelmente a umidade contida nos cogumelos é afetada significativamente por fatores como a temperatura e umidade relativa do ar durante o seu crescimento e estocagem. Em média, os cogumelos frescos contém aproximadamente 90% de umidade, e cogumelos secos de 10 a 12%. Este alto conteúdo de umidade não é raro se compararmos cogumelos com outros vegetais.

2.2.2- Proteína

Segundo CRISAN & SANDS (1978), proteína é geralmente o contribuinte decisivo para o valor nutricional dos alimentos. O conteúdo de proteína bruta de muitos alimentos, é calculado pelo conteúdo de nitrogênio, usando um fator de conversão ($N \times 6,25$), baseando no pressuposto de que as proteínas contém cerca de 16% de nitrogênio, e que elas são aproximadamente 100% digestíveis, não levando em conta a quantidade de nitrogênio não-protéico.

LINTZEI (1943) e MÖRNER (1886), citados por CRISAN & SANDS (1978) e BREENE (1990) afirmam que somente 34 a 89% do total de proteína presente é digestiva, enquanto que FITZPATRICK et alli (1976) citado por CRISAN & SANDS (1978), consideram que este valor seja de 60 a 70%.

TABELA 2.2 - Composição % aproximada de espécies cultivadas e não-cultivadas de cogumelos comestíveis

ESPÉCIES	Amostra	Umidade Média *1	Prot. Bruta (Nx4.38) *2	Gord *2	Carboidrato Tot.-N livre *2	Fibra *2	Cinza *2	Valor Energ. *3
<i>Agaricus bisporus</i>	fresca	89.7	33.2	1.9	56.9 - 48.8	8.1	8.0	354
	seca	9.1	27.8	3.9	52.6 - 46.0	6.6	15.7	337
<i>A. breitsch- eideri</i>	seca	12.8	11.5	2.1	81.2 - 73.5	7.7	5.2	372
<i>A. campestris</i>	fresca	89.7	33.2	1.9	56.9 - 48.8	8.1	8.0	354
<i>Armillaream- elia</i>	-	86.0	11.4	5.2	75.9 - 70.1	5.8	7.5	384
<i>Auriculariaa uricula-judae</i>	seca	16.4	8.1	1.5	81.0 - 74.1	6.9	9.4	356
<i>A.sp (var. philippine)</i>	fresca	89.1	4.2	8.3	82.8 - 63.0	19.8	4.7	351
<i>Boletus edulis</i>	fresca	87.3	29.7	3.1	59.7 - 51.7	8.0	7.5	362
<i>Canthare- llus cibarius</i>	fresca	91.4	21.5	5.0	64.9 - 53.7	11.2	8.6	353
<i>Flammulina velutipes</i>	fresca	89.2	17.6	1.9	73.1 - 69.4	3.7	7.4	378
<i>Lentinus edodes</i>	fresca	91.8	13.4	4.9	78.0 - 70.7	7.3	3.7	392
	seca	15.8	10.3	1.9	82.3 - 75.8	6.5	5.5	375
<i>Pleurotus ostreatus</i>	fresca	90.8	30.4	2.2	57.6 - 48.9	8.7	9.8	345

Os dados apresentados na tabela 2.1 são: *1-% peso fresco; *2-% peso seco e *3- Kcal/100 g. peso seco. Fonte- CRISAN & SANDS, 1978

Um acordo aproximado do conteúdo de proteína bruta dos cogumelos pode ser obtido usando o fator de conversão para 70% ($0,7 \times N \times 6,25$). O conteúdo corrigido de proteína bruta mostra variações extremas entre diferentes amostras de espécies conhecidas (tabela 2.2). Segundo CRISAN & SANDS (1978) e BREENE (1990), o conteúdo proteico pode variar de baixos valores (4 a 9%) para espécies de *Auricularia*, até valores de 44% para *Agaricus*, baseado no peso seco. Análises de *A. bisporus* indicam uma faixa de 24 a 44% de proteína bruta.

2.2.3- Aminoácidos

O perfil de aminoácidos de vários cogumelos são mostrados na tabela 2.3. De acordo com CRISAN & SANDS (1978), não se verifica a informação de alguns pesquisadores de que há ausência de certos aminoácidos no cogumelo. Eles afirmam que o mesmo contém todos aminoácidos essenciais, bem como aminoácidos não-essenciais e amidos.

BREENE (1990) diz que os aminoácidos aparecem nos cogumelos na seguinte ordem decrescente: metionina, cistina, leucina, isoleucina, valina, lisina, fenilalanina, tirosina, treonina e triptófano.

De acordo com HOLTZ & SCHILER (1971) citado por CRISAN & SANDS (1978), em *Agaricus bisporus*, por exemplo, uma grande variedade de ácidos graxos livres e combinados ocorre com concentrações altas de ácido palmítico e ácido linoléico.

2.2.4- Carboidratos e Fibras

Como pode ser notado por CRISAN & SANDS (1978) e BREENE (1990), cogumelos frescos contém uma quantidade relativamente alta de carboidratos (3 a

28%) e fibras (3 a 32%). O conteúdo de carboidratos pode consistir de uma grande variedade de componentes. *Agaricus bisporus* contém pentose (xilose e ribose), metilpentose (raminose e frutose), hexose (glicose, galactose e manose), dissacarídeos (sacarose), amino-açúcares (glucosamina e N-acetilglucosamina), alcóois-açúcares (manitol e inositol), açúcares-ácidos (galacturônico e ácido glucurônico). Segundo estes autores o N-acetilglucosamina é considerado como sendo o maior constituinte do conteúdo de fibra dos cogumelos, e contém significativa quantia de nitrogênio não-protéico.

2.2.5- Vitaminas e Minerais

Segundo CRISAN & SANDS (1978), os cogumelos apresentam-se como boa fonte de vitaminas, incluindo tiamina, riboflavina, niacina, biotina e ácido ascórbico (tabela 2.4). Provavelmente os cogumelos contém todos os minerais, presentes no seu substrato de crescimento. Em geral, os cogumelos contém significativas quantidades de fósforo, sódio e potássio, e uma pequena quantidade de cálcio e ferro. O *Agaricus bisporus* apresenta conteúdo de fósforo, sódio e potássio.

2.2.6- Gordura

O conteúdo de gordura bruta nos cogumelos pode compreender desde de baixos (1%) até altos valores (de 15 a 20%) em peso seco. Esta gordura bruta inclui representantes de todas as classes de componentes lipídicos, incluindo ácidos graxos livres, mono-, di- e triglicerídeos, esteróides e fosfolipídeos (CRISAN & SANDS 1978 e BREENE 1990).

TABELA 2.3 - Composição de aminoácidos de espécies cultivadas de cogumelos comestíveis.

	<i>Agaricus bisporos</i>	<i>Boletus edulis</i>	<i>Cantharellus cibarius</i>	<i>Lentinus edodes</i>	<i>Pleurotus ostreatus</i>
Proteína (% peso seco)	30.4	12.1	3.5	17.5	-
Isoleucina	200	93	230	218	266
Leucina	329	378	583	348	390
Lisina	527	611	230	174	250
Metionina	41	192	35	87	90
Cistina	47	1041	690	-	29
Fenilalanina	186	331	513	261	216
Tirosina	171	388	495	174	184
Triptófano	91	756	283	-	61
Valina	112	254	354	261	309
Argenina	529	823	530	348	306
Histidina	120	720	177	87	87
Alanina	414	544	548	305	450
Ác. Aspártico	400	544	884	392	564
Ác. Glutâmico	629	803	1202	1349	890
Glicina	229	321	442	218	273
Prolina	457	476	447	218	269
Serina	243	316	354	261	271
Total de	1820	4386	4156	1784	2059
Aminoácidos					
Essenciais					
Total de	4841	8933	8740	4962	5169
Aminoácidos					

Os dados apresentados são em mg de aminoácidos/g de conteúdo de nitrogênio proteico bruto

Fonte-CRISAN & SANDS,1978

TABELA 2.4 - Conteúdo de vitaminas e minerais de espécies cultivadas e não-cultivadas de cogumelos comestíveis.

Espécies	Amostras	Tiami na	Ribo flavi na	Niaci na	Ácido Ascór bico	Ca	P	Fe	Na	K
<i>Agaricus bisporus</i>	fresca	8.9	3.7	42.5	26.5	71	912	8.8	106	2850
	enlatado	1.0	0.2	17.9	0.0	119	738	9.5	-	4762
<i>A. polytricha</i>	seca	0.2	0.4	2.4	-	249	116	23.2	144	680
<i>Auricularia sp.</i>	seca	traços	0.2	1.7	-	587	287	34.9	-	1133
<i>Flammulina velutipes</i>	fresca	6.1	5.8	106.5	46.3	19	278	11.1	278	2981
<i>Lentinus edodes</i>	fresca	7.8	4.9	54.9	0.0	98	476	8.5	61	-
	seca	0.4	0.9	11.9	0.0	12	171	4.0	19	380
<i>Pleurotus ostreatus</i>	fresca	4.8	4.7	108.7	0.0	33	134	15.2	837	3793

Os dados apresentados são em mg de vitaminas ou minerais por 100g de peso seco
 Fonte-CRISAN & SANDS,1978

2.3 - Valor Medicinal

BREENE (1990) verificou que o cultivo de espécies populares de cogumelos, tem mostrado conter substâncias que previnem ou aliviam câncer, doenças do coração e doenças causadas por infecções viróticas.

Segundo MORI (1974) citado por BREENE (1990), o ano de 1963 marcou o início da moderna pesquisa dos efeitos do cogumelo em tumores cancerígenos, supressão de doenças viróticas e diminuição do nível de colesterol no sangue.

De acordo com COCHRAN (1978) citado por BREENE (1990), a calvacin, uma substância extraída de *Calvatia gigante* mostrou ser um possível agente anti-tumor.

IKEKAWA et alli citado por BREENE (1990) demonstrou que injeções intraperitoniais de extratos aquosos de seis ou sete espécies comestíveis de cogumelos, inibiram altamente o crescimento de tumores (72 a 92% de controle) surgidos do sarcoma. O extrato de *Lentinus edodes* mostrou inibir em 97% o crescimento de tumores de sarcoma.

MORI (1974) citado por BREENE (1990) relatou que o shiitake pode ajudar a prevenir o alto nível de pressão sangüínea, arteriosclerose, pequenos problemas renais, diabetes, cataratas, neuralgias, pedras na vesícula, paralização das mãos e dos pés e hemorróidas.

2.4-Secagem: Fundamentos e Mecanismos

MC CORMING (1983) evidencia que secagem é normalmente considerada um processo de remoção de umidade de um sólido por evaporação. Segundo TOBINAGA & PINTO (1991) quando o calor necessário para evaporar a água é fornecido ao material, ocorrem transferências simultâneas de calor e massa.

De acordo com PINTO (1992) desde o início da pesquisa de secagem foi ressaltado que o conhecimento do mecanismo de transferência de água, do interior

do material para a sua superfície, é de fundamental importância para a descrição do fenômeno da secagem.

VACAREZZA e CHIRIFE (1975) afirmam que a migração de umidade através do sólido pode acontecer por meio dos seguintes mecanismos:

- Difusão devido ao gradiente de concentração;
- Difusão térmica;
- Escoamento viscoso;
- Difusão devido ao gradiente de umidade;
- Escoamento capilar;
- Movimento por gravidade.

Normalmente se classifica a secagem em duas categorias:

- Período de taxa constante de secagem
- Período de taxa decrescente de secagem

2.5- Período de Taxa Constante de Secagem

Este período se caracteriza pelo fato da superfície da amostra ser mantida em um nível de umidade tal que a secagem ocorre como se o sistema fosse água pura evaporando.

Segundo LUIKOV (1966) e TOBINAGA e PINTO (1991), o fim do período de taxa constante corresponde ao instante em que a migração interna de água para a superfície não consegue mais compensar a taxa de evaporação da água livre da superfície. O valor da umidade deste ponto é denominado “Umidade Crítica”.

JASON (1958) define que a taxa de evaporação da água da superfície durante o período de taxa constante é expressa como função das condições do ar (velocidade, depressão de bulbo úmido, umidade relativa), da forma e da área da superfície, e da direção da corrente de ar.

2.6- Período de Taxa Decrescente de Secagem

Segundo PERRY (1963), o período de taxa decrescente se inicia quando o período de taxa constante termina, quando então a migração interna de umidade controla o processo de secagem. Se a umidade inicial estiver abaixo da umidade crítica, todo o processo de secagem ocorrerá no período de taxa decrescente.

De acordo com CHIRIFE (1981) para a primeira fase do período de taxa decrescente, os principais mecanismos de transporte sugeridos são: escoamento capilar, difusão de líquido e difusão de vapor. Nota-se que um mecanismo não necessariamente exclui os outros, podendo acontecer transporte paralelo de mecanismos simultâneos.

DAUDIN (1983) diz que a teoria de migração de água por difusão apoia-se exclusivamente sobre a Lei de Fick, expressa em termos do gradiente de umidade.

As primeiras referências a esta lei foram feitas por LEWIS (1921), depois por SHERWOOD (1929), tendo a preferência, posteriormente no estudo da secagem de produtos alimentícios, por vários pesquisadores da área.

Segundo DAUDIN citado por CARNEIRO (1995), desde que a quantidade de água na superfície diminua, a velocidade de secagem também diminua. A transferência de calor aumenta, aumentando a temperatura do produto, tendendo para a temperatura do ar de secagem.

O comportamento da secagem, durante o período da taxa decrescente, descrito pelo modelo de difusão de Fick, considerando a difusão de umidade isotrópica e D_{ef} independente da concentração, da temperatura e do encolhimento, pode ser descrita por:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{ef} \nabla^2 X \quad (2.1)$$

Rigorosamente, a equação (2.1) só pode ser aplicada em alguns casos muito particulares, pois a difusividade efetiva é, em geral, função da umidade X , os materiais biológicos geralmente são anisotrópicos e ainda, durante a secagem, a sua estrutura se altera resultando numa difusividade que é função explícita do tempo. Outra dificuldade reside no fato da ocorrência de encolhimento, resultando em um problema de contorno móvel. Porém, na prática a equação (2.1), usada com D_{ef} constante e desprezando o encolhimento, fornece resultados surpreendentemente, concordantes com os experimentais, conforme comentado por FORTES e OKOS (1980).

2.7- Fatores que afetam o movimento de umidade

HOLDSWORTH (1971) afirma que vários fatores influenciam na taxa de difusão da água, segundo o autor, os principais são:

- Propriedades físicas do produto;
- Arranjo geométrico do produto em relação à superfície de transferência de calor no meio;
- Propriedades físicas do ambiente de secagem;
- Características do equipamento de secagem.

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

2.8- Métodos de Secagem para Conservação de Cogumelos

BONAZZI et alli (1992), KOMANOWSKY et alli (1970) e CHAMARRO et alli (1972) citam vários processos de secagem usados em cogumelos. Entre os mais comuns se encontram secagem a frio, secagem por corrente de ar, secagem pelo frio a vácuo e secagem a vácuo .

Estudos realizados por BARTHOLOMAI (1974-a) e CHAMARRO (1972) em diferentes métodos de secagem, verificaram que o processo tem efeitos variáveis no sabor, cor e capacidade de reidratação dos cogumelos . LI SHING-TAT & JELEN (1987) citado por BONAZZI & WOLF (1992) relata que a secagem a frio e a secagem a vácuo (considerando baixas temperaturas) são os dois únicos processos que atualmente fornecem alimentos com excelente coloração e qualidade aromáticas, e boa capacidade de rehidratação.

O efeito do método de secagem na coloração dos cogumelos pode ser observado na Fig 2.1, onde o critério de avaliação requerido é o possível valor elevado de L* (claridade).

BONAZZI, WOLFF e GILBERT (1991) através de experimentos, verificaram que amostras secas à pressão atmosférica são sistematicamente escuras, enquanto que às secas pelo frio à vácuo são claras. A combinação do frio com a redução da quantidade de oxigênio durante o processo, limita a atividade da polifenol-oxidase, que é a enzima responsável pelo escurecimento de cogumelos. Eles verificaram

também que a secagem pelo frio a vácuo é o processo que melhor preserva as propriedades do sabor dos cogumelos.

As substâncias responsáveis pelo sabor característico do cogumelo fresco, são os componentes voláteis, principalmente o 1-octeno 3-ol. Pode ser observado através da Fig.2.2, que a secagem pelo frio à vácuo é o processo que mais conserva este componente.

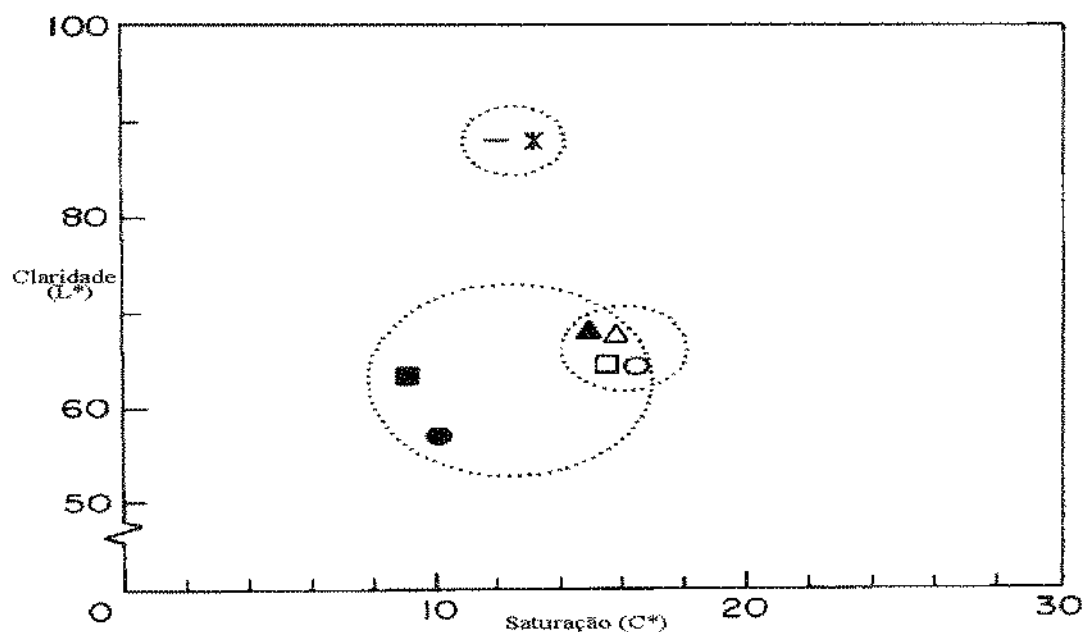


FIGURA 2.1- Claridade (L*) de pedaços de cogumelos secos por vários processos:

O, secagem à 40°C; □, secagem à 60°C; Δ, secagem a vácuo (1000 Pa); ●, secagem pelo frio à pressão atmosférica (ar); ■, secagem pelo frio à pressão atmosférica (nitrogênio); ▲, secagem por fluidização à pressão reduzida (0,5 atm); *, secagem pelo frio a vácuo (60°C, 5Pa); -, secagem pelo frio a vácuo (60°C, 100Pa)

Fonte: BONAZZI & WOLFF, 1992

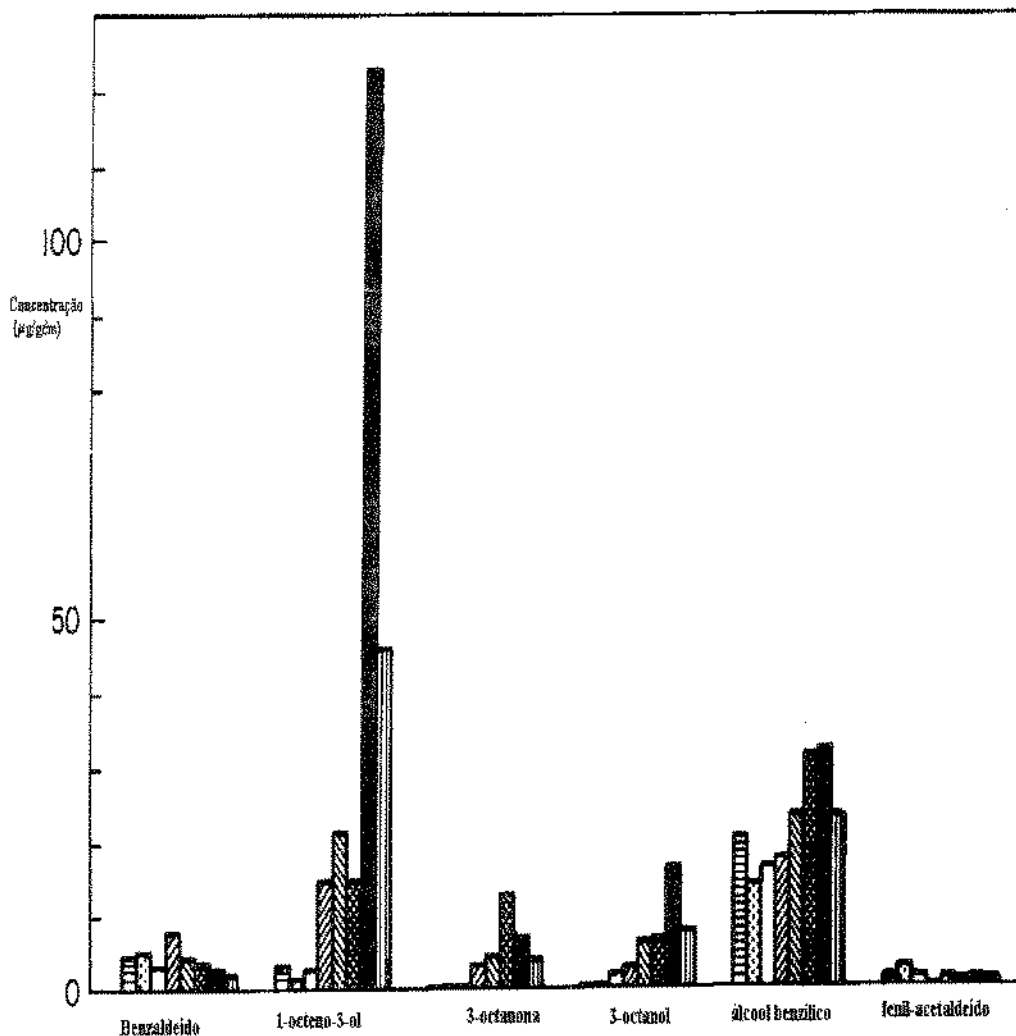


FIGURA 2.2- Comparação dos principais componentes voláteis na preservação do sabor dos cogumelos dependendo do processo de secagem. ▨ secagem a 40°C; ▩ secagem a 60°C; □ secagem a vácuo; ▤ secagem atmosférica a frio (ar); ▥ secagem atmosférica a frio (N₂); ▦ secagem em leito fluidizado a frio (pressão reduzida); ▧ secagem a vácuo a frio (5Pa); ▨ secagem a vácuo a frio (100 Pa)

Fonte: BONAZZI & WOLFF, 1992

Apesar de todas as vantagens apresentadas pelo processo de liofilização, ele possui uma grande desvantagem que é o seu alto custo. Devido a isto, vários estudos vem sendo feitos com a secagem por corrente de ar (CHAMARRO et alli, 1972 e BARTHOLOMAI, 1974-a).

YAPAR et alli citado por BONAZZI e WOLFF (1991), estudaram a influência da temperatura na secagem por corrente de ar em cogumelos (*Agaricus bisporus*) e verificaram que usando temperatura entre 60 e 70°C, ao invés da faixa usualmente utilizada (55-60°C), a enzima se desnatura reduzindo assim o escurecimento do produto.

BARTHOLOMAI (1974) estudou a cinética da secagem por corrente de ar em cogumelos *Agaricus bisporus* cortados em tamanhos de 4mm a 5mm de espessura, submetidos a tratamento térmico ou não. Este trabalho foi realizado com uma temperatura de bulbo seco de 80°C, e com uma velocidade do ar de 6 m/s. Admitindo que o processo de secagem é, em sua totalidade, conduzido por difusão, este fenômeno pode ser interpretado mediante a segunda Lei de Fick, e de acordo com a geometria utilizada, pode-se considerar uma difusão unidirecional. Feitas essas considerações, BARTHOLOMAI (1974) utilizou a seguinte equação:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{ef} \frac{\partial^2 X}{\partial x^2} \quad (2.2)$$

Do ajuste do perfil experimental da umidade média \bar{X}_{exp} função do tempo, com o perfil de umidade média, calculada pela equação (1), mais condições de contorno e inicial, o autor determinou a difusividade efetiva. Ele observou que os cogumelos submetidos a tratamento térmico tem uma difusividade menor que os não tratados, o que pode ser a razão da sua menor velocidade de secagem. Ele também verificou que com a secagem, os cogumelos tem uma contração de volume em torno de 80%.

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1- Matéria Prima

Os cogumelos utilizados nas experiências foram da espécie Champignons (*Agaricus bisporus*) provenientes de uma fazenda de Itatiba-SP, adquiridos em um mercado municipal da cidade de Campinas-SP com 2 dias após a colheita.

Os Champignons foram lavados em água fria, selecionados por tamanho de 2,0cm a 3,0cm de diâmetro, retirados os caules para que ficassem com a geometria semi-esférica devido à modelagem matemática e submetidos à tratamento térmico, submergindo-os em água à temperatura de 100^oC por 10 minutos para inativação enzimática. O material pode ser visto na figura 3.1.

Após o tratamento térmico, os Champignons eram armazenados sob refrigeração, para serem utilizados quando necessário, sendo que o tempo máximo de armazenamento não excedeu à 5 dias, para evitar deterioração.

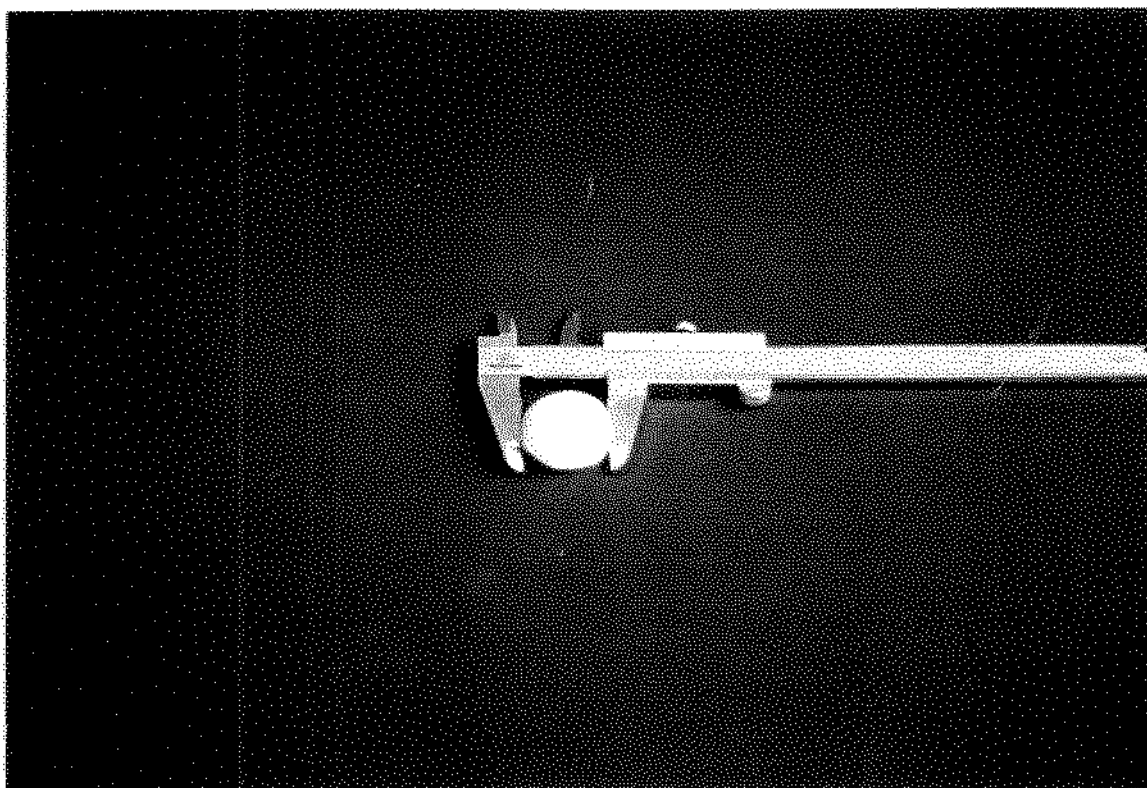


FIGURA 3.1- Detalhes do Champignon fresco

3.2- Equipamento de Secagem por Corrente de Ar Seco

O equipamento utilizado para a secagem das amostras, apresentado na figura 3.2, constitui-se das seguintes partes:

- compartimento de secagem do ar
- compartimento de secagem do material
- sistema de ventilação
- sistemas de medidas (da amostra, temperaturas)

O equipamento era hermético para garantir que a circulação do ar fosse somente interna.

3.2.1- Compartimento de secagem do material

O secador de amostras consistiu de um tubo de PVC sanitário com 100mm de diâmetro, tendo um visor frontal removível para colocação de amostras. A ele foi acoplado um dinamômetro, conforme figura 3.3.

3.2.2- Compartimento de secagem do ar e sistema de ventilação

O secador de ar e o ventilador responsável pelo escoamento do ar consistiam de um mesmo compartimento, ou seja, uma caixa de madeira herméticamente fechada, com dimensões de 60cm por 30cm, como pode ser observado na figura 3.2.

A sílica-gel era acondicionada dentro de um reservatório de tela de arame e então inserida na caixa de madeira. O escoamento de ar era feito por meio de um ventilador, colocado na outra lateral da caixa.

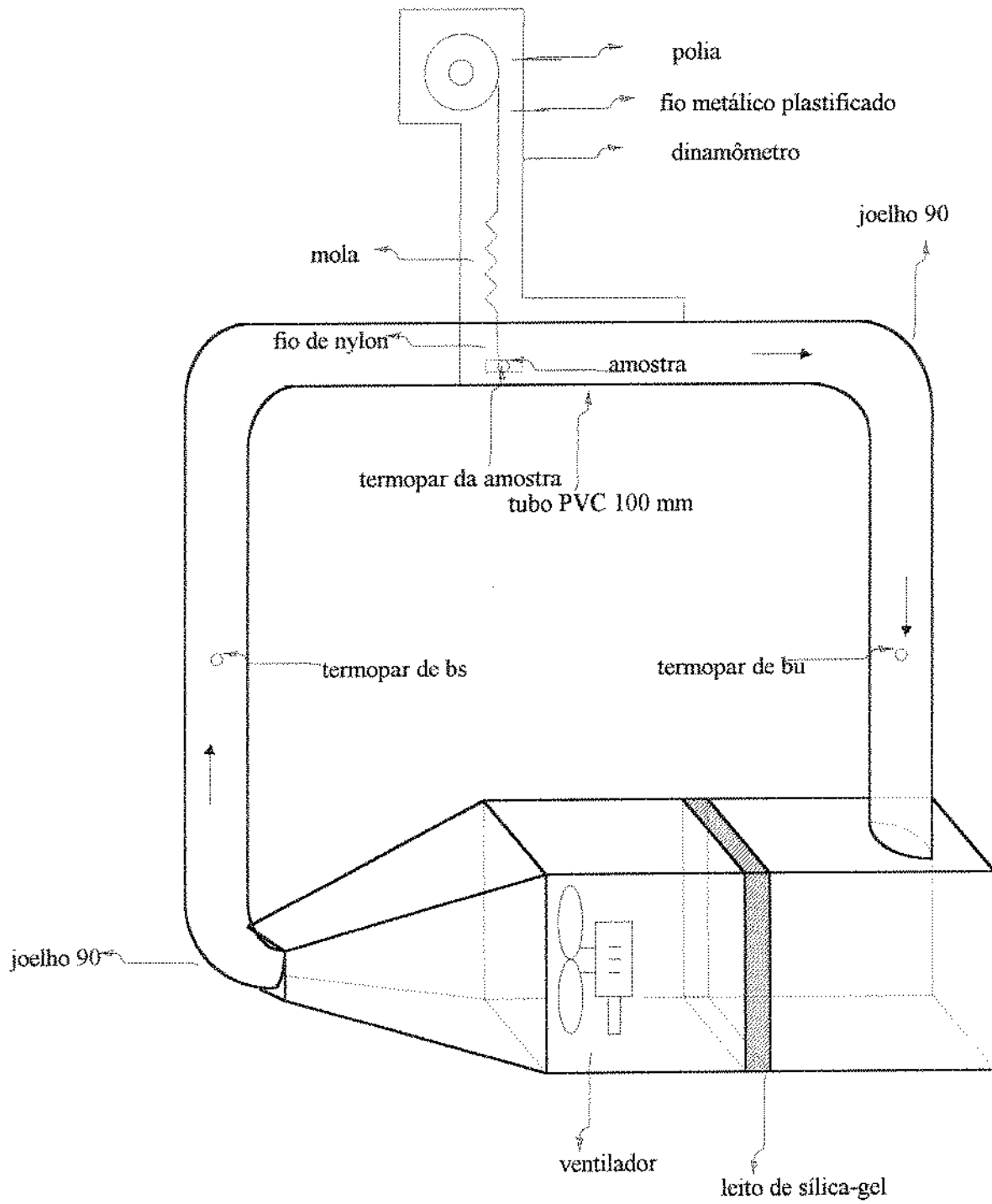


FIGURA 3.2 - Desenho esquemático do secador tubular

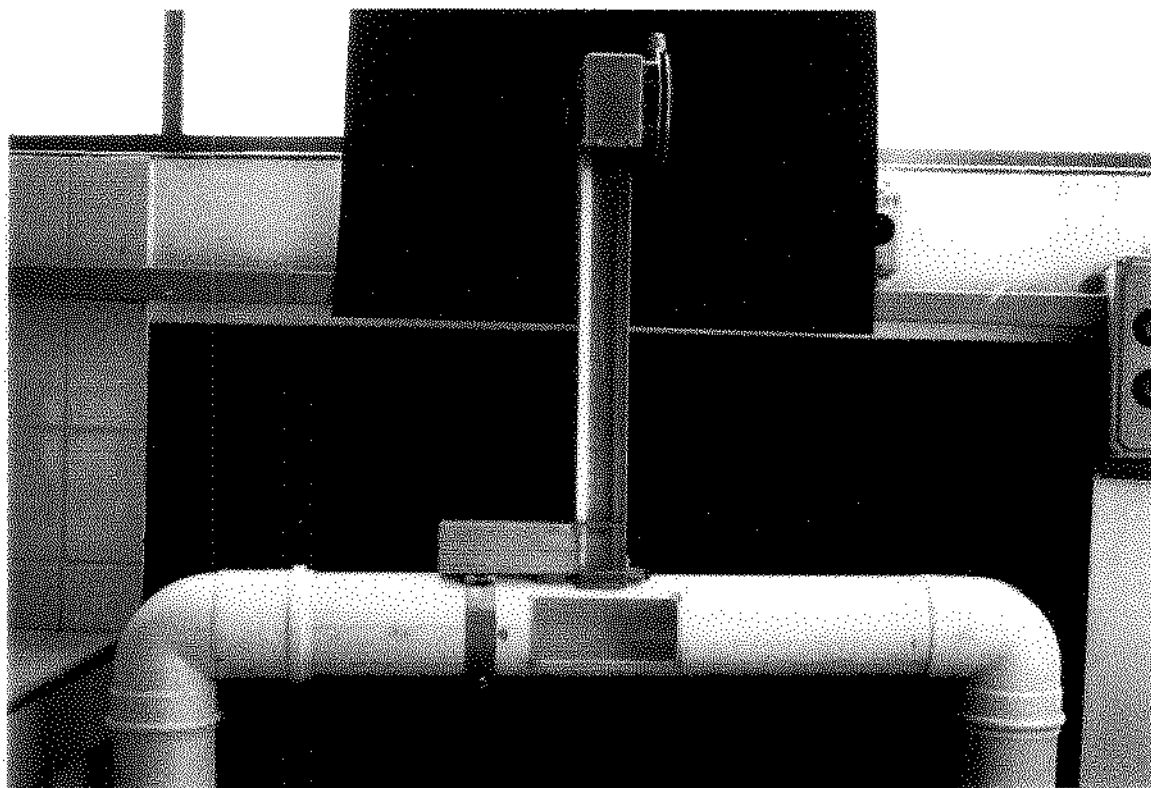


FIGURA 3.3- Detalhes do compartimento de secagem

3.2.3- Sistemas de Medidas

- Medida da velocidade do ar

Utilizou-se um medidor tipo Anemômetro digital Air flood C.O modelo L.C.A 6000, conectado no secador antes de começarem as experiências.

- Medidas das amostras

A massa das amostras durante a secagem foi determinada através de um dinamômetro devidamente calibrado, apresentado na Figura 3.4. As dimensões das mesmas foram medidas por meio de um paquímetro. O prato do dinamômetro foi colocado no interior do secador de amostras.

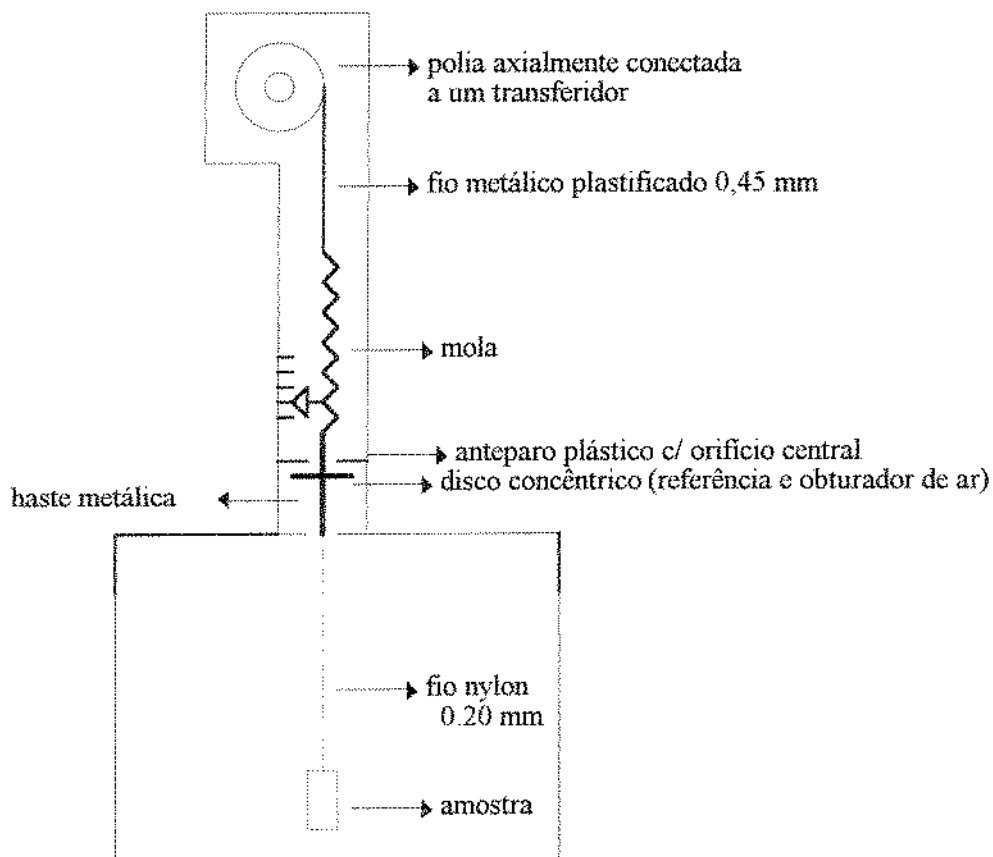


FIGURA 3.4- Desenho esquemático do dinamômetro

- Medidas de temperatura

Foram colocados três termopares de cobre-constantan nas seguintes posições: na entrada e na saída do secador e inserida na amostra. Na entrada e saída do secador foram instalados termopares de bulbo seco e bulbo úmido, respectivamente para medidas psicrométricas do ar de secagem, como podem ser vistos na Figura 3.2.

3.3- Metodologia

Os Champignons após o tratamento térmico eram pesados, medidos com um paquímetro e colocados em prato de inox maciço, já acoplado ao dinamômetro, no interior do secador. A variação da massa da amostra com o tempo era feita através do dinamômetro. A secagem ocorreu em condições de $T_{bs}=35^{\circ}\text{C}$ e $T_{bu}=15^{\circ}\text{C}$, com umidade relativa média do ar de 9,8%. A velocidade do ar foi de 1,05m/s.

3.4- Tratamento Matemático

A equação matemática que trata do modelo difusivo sem encolhimento, para semi-esfera, é a equação de Fick considerando as coordenadas (θ, r, t) :

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{ef} \left[\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial X}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial X}{\partial \theta} \right) \right] \quad (3.1)$$

Com as seguintes condições :

$$t=0 \quad X=X_0 \quad (3.1.1)$$

$$X(R,\theta,t) = X_e \quad (3.1.2)$$

$$X(r,0,t) = \text{finito} \quad (3.1.3)$$

$$-\frac{D_{ef}}{r} \frac{\partial X}{\partial \theta} \Big|_{\theta=\pi/2} = 0 \quad (3.1.4)$$

$$X(0,\theta,t) = \text{finito} \quad (3.1.5)$$

A equação (3.1) pode ser adimensionalizada através da seguinte mudança de variáveis :

$$\psi(r,\theta,t) = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} \quad (3.2)$$

$$\psi(r, \theta, t) = \varphi(r, \theta)e^{-D_{\text{ef}}\lambda^2 t} \quad (3.3)$$

Em termos destas variáveis a equação 3.1 fica:

$$-\lambda^2 \varphi = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} \right) \quad (3.4)$$

e as condições de contorno ficam:

$$\varphi(r, \theta, 0) = 1 \quad (3.4.1)$$

$$\varphi(R, \theta, t) = 0 \quad (3.4.2)$$

$$\varphi(0, \theta, t) = \textit{finito} \quad (3.4.3)$$

$$\left. \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} \right|_{\theta=\pi/2} = 0 \quad (3.4.4)$$

$$\varphi(r, 0, t) = \textit{finito} \quad (3.4.5)$$

Por separação de variáveis, fazendo :

$$\varphi = F(r)G(\theta) \quad (3.5)$$

Obtém-se

$$\varphi(r, \theta) = (BP_n(x) + CQ_n(x))(Dj_n(\lambda r) + En\eta(\lambda r)) \quad (3.6)$$

onde $n=1,2,3,\dots$; $x = \cos\theta$; $P_n(x)$ e $Q_n(x)$ são polinômios de Legendre, respectivamente, de 1ª e 2ª espécies, $j_n(\lambda r)$ e $n_\eta(\lambda r)$ são funções de Bessel esféricas.

Impondo-se as condições de contorno, equações 3.4.2 a 3.4.5, obtém-se para a equação 3.3

$$\psi(r, \theta, t) = \varphi(r, \theta) \exp(-\lambda^2 D_{ef} t) = \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} A_{lm} j_{2l}(\alpha_m \eta) P_{2l}(x) \exp\left(-\alpha_m^2 \frac{D_{ef}}{R^2} t\right) \quad (3.7)$$

onde α_m são os zeros positivos de $j_{2l}(y)$ e $\eta = r/R$

Impondo a condição inicial, equação 3.4.1 e utilizando as propriedades das funções $j_{2l}(\alpha_m \eta)$ e $P_{2l}(x)$, obtém-se

$$A_{0m} = \frac{2}{\alpha_m j_1(\alpha_m)}, \quad m=1,2,3,\dots \quad (3.7.1)$$

e

$$A_{lm}=0, \quad l \geq 1 \text{ e } m=1,2,3,\dots \quad (3.7.2)$$

Finalmente o perfil adimensional de umidade para secagem de semi-esfera isolada na face diametral, é dado por:

$$\psi(r, \theta, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \frac{2}{\alpha_m j_1(\alpha_m)} j_0(\alpha_m \eta) \exp\left(-\alpha_m^2 \frac{D_{ef} t}{R^2}\right) \quad (3.8)$$

onde $\alpha_m = m\pi$, $m=1,2,3,\dots$, são zeros positivos de $j_0(y) = \text{sen}(y)/y$ (3.8.1).

A média volumétrica do perfil de umidade na semi-esfera, definida por

$\bar{\psi} = \frac{1}{V_0} \int_0^{\infty} \psi dV$, resulta:

$$\bar{\psi}(t) = \frac{6}{\pi^2} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m^2} \exp\left(-m^2 \pi^2 \frac{D_{ef} t}{R^2}\right) \quad (3.9)$$

4-RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1- RESULTADOS

4.1.1- Curvas de secagem

São apresentadas nas Figuras 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4 curvas típicas de secagem, umidade adimensional em função do tempo, para cogumelos de diferentes diâmetros. As curvas de secagem determinadas para as demais amostras estão representadas no Apêndice A.

Foi realizada uma regressão polinomial para o ajuste da curva de secagem $[(\bar{X}-X_e)/(X_o-X_e)]$ em função do tempo], constatando-se que um polinômio de 7^o grau foi o que melhor representou os dados experimentais, com um coeficiente de correlação médio de 99,9%, como pode ser observado nas curvas de secagem nas Figuras 4.5 e 4.6.

4.1.1.1-Período de secagem de taxa decrescente

Utilizando-se o gráfico $[(\bar{X}-X_e)/(X_o-X_e)]$ em função do tempo, para analisar todo o período de taxa decrescente, observou-se um comportamento exponencial nas curvas das diferentes amostras, do tipo:

$$\left[\frac{(\bar{X}-X_e)}{(X_o-X_e)} \right] = p \exp(-qt) \quad (4.1)$$

com coeficientes de correlação em média maiores do que 97%, conforme mostrado nas figuras 4.7 e 4.8. Os valores da umidade de equilíbrio (X_e) foram determinados deixando as amostras secarem até atingirem massa constante, os seus valores e os

valores de umidade inicial, para diferentes amostras, são apresentados na tabela 4.1. Os valores das constantes e dos coeficientes de correlação, para todo o período de taxa decrescente, de algumas amostras são apresentados na Tabela A1 do Apêndice A.

Para se determinar o ponto de transição entre as duas fases do período de taxa decrescente, foram realizadas observações nas curvas de secagem na forma $\log [(\bar{X} - X_e)/(X_o - X_e)]$ em função do tempo. A Tabela 4.2 apresenta os valores de umidade, para diferentes amostras, onde ocorreu a transição entre as duas fases.

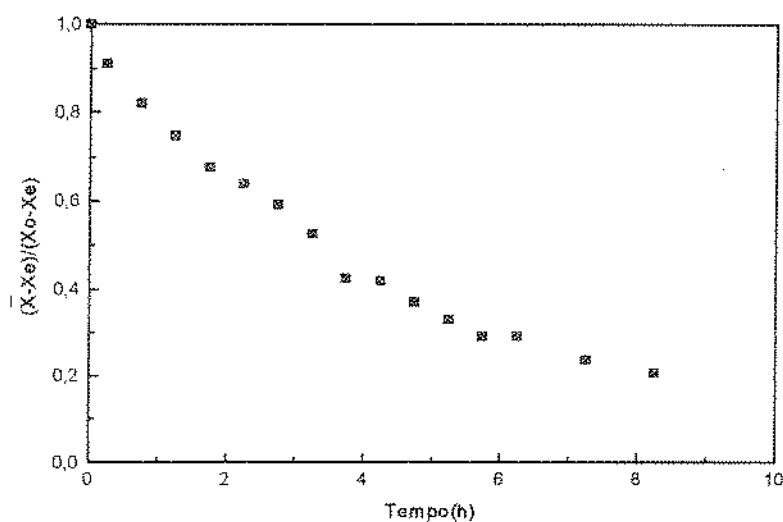


FIGURA 4.1-Umidade adimensional de cogumelo de 2,8 cm de diâmetro em função do tempo de secagem ; $T_{bs}=35^{\circ}\text{C}$ e $T_{bu}=15^{\circ}\text{C}$

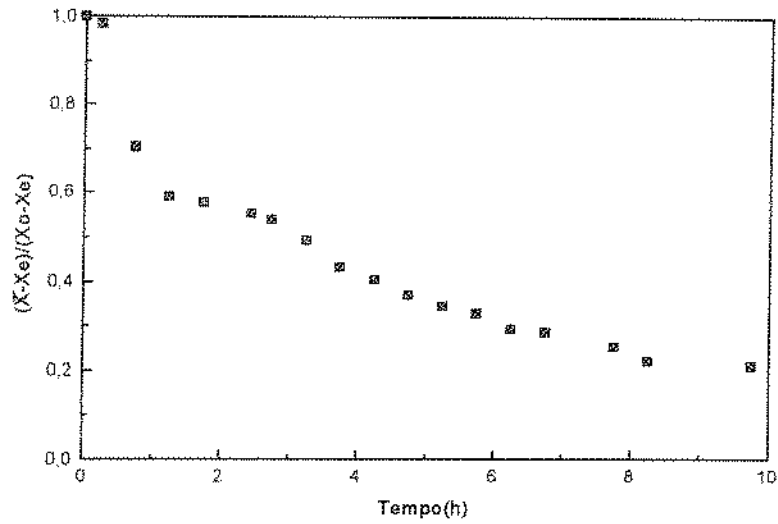


FIGURA 4.2-Umidade adimensional de cogumelo de 2,7 cm de diâmetro em função do tempo de secagem; $T_{bs}=35^{\circ}\text{C}$ e $T_{bu}=15^{\circ}\text{C}$

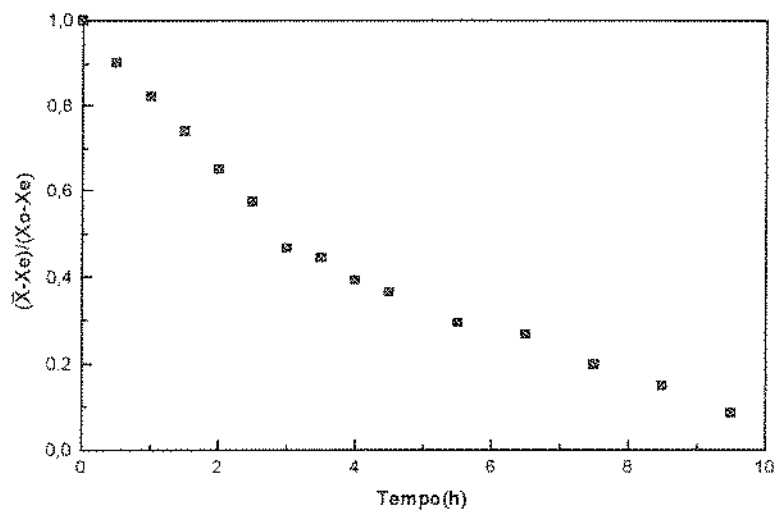


FIGURA 4.3-Umidade adimensional de cogumelo de 2,6 cm de diâmetro em função do tempo de secagem; $T_{bs}=35^{\circ}\text{C}$ e $T_{bu}=15^{\circ}\text{C}$

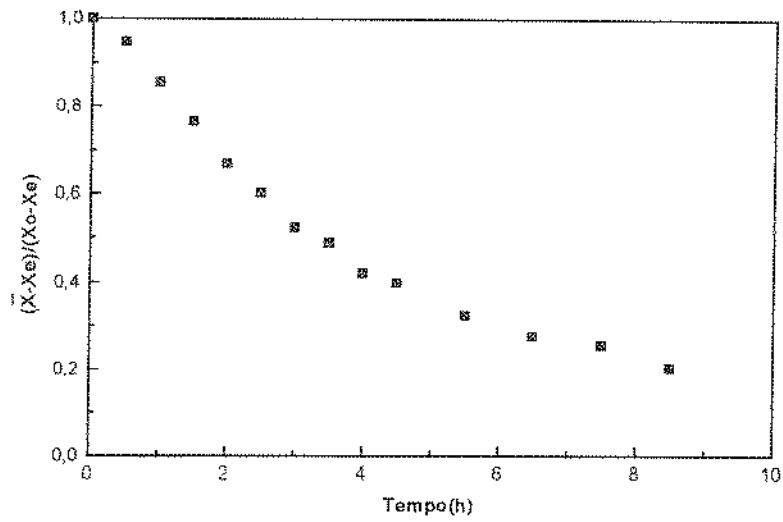


FIGURA 4.4-Umidade adimensional de cogumelo de 2,5cm de diâmetro em função do tempo de secagem, $T_{bs}=35^{\circ}\text{C}$ e $T_{bu}=15^{\circ}\text{C}$

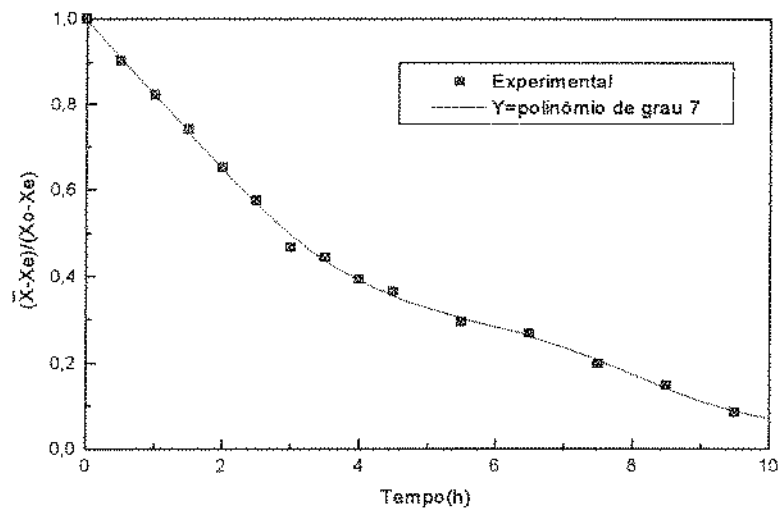


FIGURA 4.5-Ajuste da correlação polinomial proposta para a curva de secagem de cogumelo de 2,6 cm de diâmetro

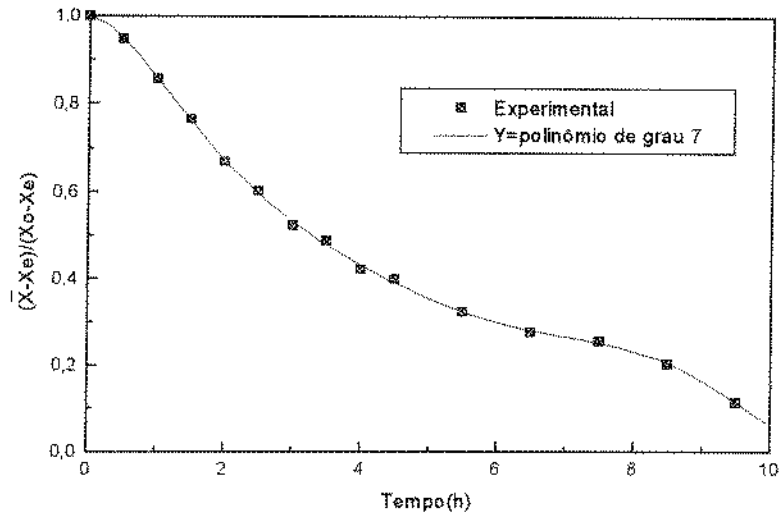


FIGURA 4.6-Ajuste da correlação polinomial proposta para a curva de secagem de cogumelo de 2,5 cm de diâmetro

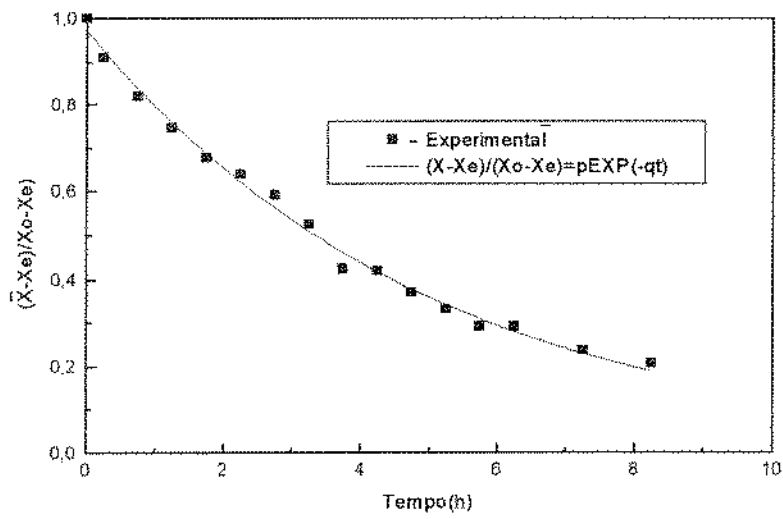


FIGURA 4.7-Ajuste da correlação exponencial proposta para a curva de secagem de cogumelo de 2,8 cm de diâmetro em função do tempo

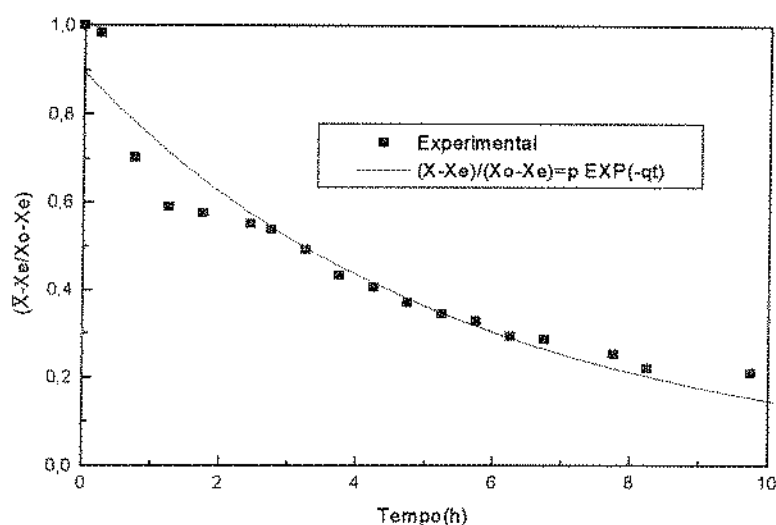


FIGURA 4.8-Ajuste da correlação exponencial proposta para a curva de secagem de cogumelo de 2,7 cm de diâmetro em função do tempo

As difusividades efetivas, para as duas fases do período de taxa decrescente, foram calculadas por regressão linear nas curvas de secagem mostradas nas Figuras 4.9, 4.10, 4.11 e 4.12, e comparadas com os valores calculados pela equação (3.9), até a obtenção de um Def tal que o desvio entre $\bar{\psi}_{exp}(t)$ e $\bar{\psi}_{calc}(t)$ fosse mínimo.

A Tabela 4.3 mostra os valores da difusividade efetiva, para secagem em pratos maciços; e a Tabela A.2 do Apêndice A traz os valores das constantes e as correlações da regressão linear para a determinação da difusividade efetiva.

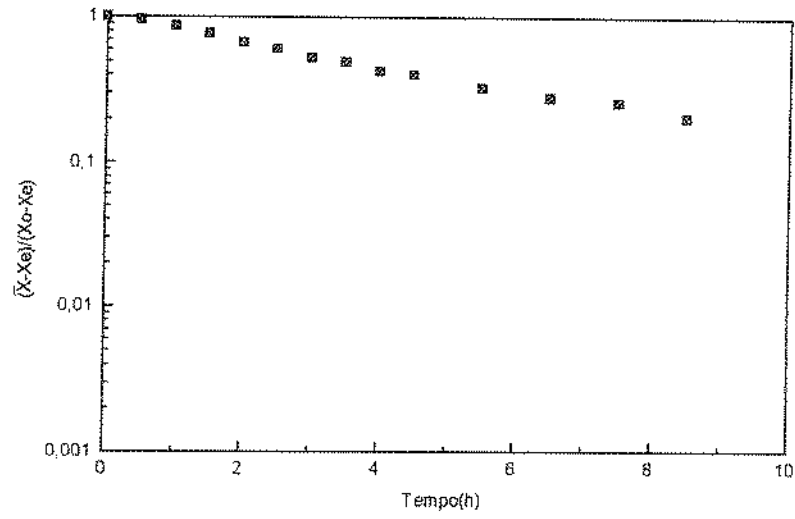


FIGURA 4.9-Curva de secagem de cogumelo de 2,5 cm de diâmetro ; Tbs=35°C e Tbu=15°C

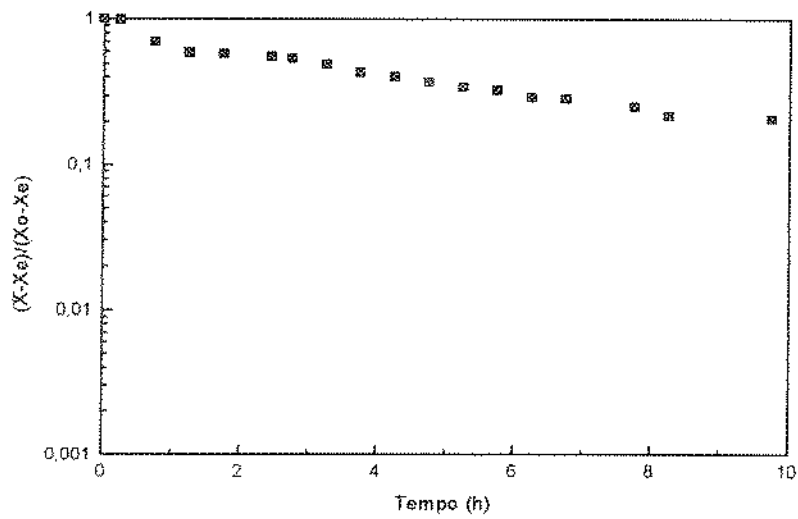


FIGURA 4.10-Curva de secagem de cogumelo de 2,7 cm de diâmetro ; Tbs=35°C e Tbu=15°C

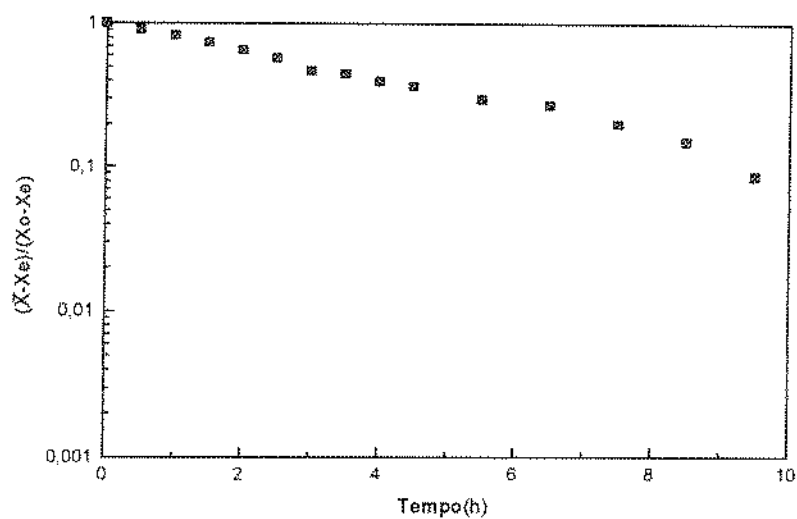


FIGURA 4.11-Curva de secagem de cogumelo de 2,6 cm de diâmetro ; $T_{bs}=35^{\circ}\text{C}$ e $T_{bu}=15^{\circ}\text{C}$

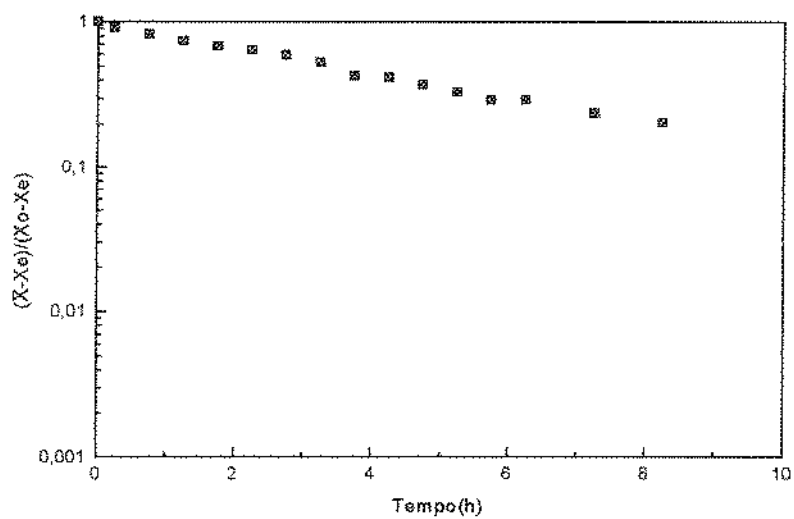


FIGURA 4.12-Curva de secagem de cogumelo de 2,8 cm de diâmetro ; $T_{bs}=35^{\circ}\text{C}$ e $T_{bu}=15^{\circ}\text{C}$

TABELA 4.1-Valores de umidade inicial e de equilíbrio de champignons ($T_{bs}=35^{\circ}\text{C}$; $T_{bu}=13^{\circ}\text{C}$)

Diâmetro (cm)	X_o (b.s)	X_e (b.s.)
2,5	12,2772	0,1257
2,6	9,1524	0,1187
2,7	13,0700	0,1178
2,8	14,8275	0,0521

TABELA 4.2-Transição da 1ª para a 2ª fase do período de taxa decrescente.

Diâmetro (cm)	Umidade \bar{X} (b.s.)
2,5	1,8048
2,6	1,4595
2,7	1,9429
2,8	1,8830

TABELA 4.3-Valores de Def para as duas fases do período de taxa decrescente.

Amostra	Def X 10^3 (cm ²)	
	1ª fase	2ª fase
Champignons	$2,0 \pm 0,05$	$1,0 \pm 0,11$

4.1.2- Tratamento Matemático

Para o cálculo da umidade adimensional média analítica utilizou-se da equação (3.9):

$$\bar{\psi}(t) = \frac{6}{\pi^2} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m^2} \exp\left(-m^2 \pi^2 \frac{D_{ef} t}{R^2}\right) \quad (3.9)$$

Onde o seguinte procedimento foi empregado:

1) A difusividade efetiva foi calculada pelo ajuste da equação (3.9) ao perfil experimental, para tempos grandes truncando a série a partir do 1º termo.

2) Com os valores de $\alpha_m R$ e D_{ef} calculou-se a umidade adimensional no instante t através da equação (3.9) utilizando o software LOTUS 1-2-3 versão 4, truncando a série a partir do 15º termo.

3) Os valores de umidade adimensional calculados foram comparados com os valores obtidos experimentalmente, para várias amostras, como pode ser observado nas Tabelas 4.4, 4.5, 4.6, 4.7.

TABELA 4.4-Valores de umidades adimensionais experimental de cogumelo de 2,8 cm de diâmetro e calculada

Tempo (h)	Umidade adimensional experimental	Umidade adimensional calculada
0	1	1
0,5	0,9108	0,99
1	0,8202	0,93
1,5	0,7459	0,7928
2	0,6767	0,6842
2,5	0,6396	0,6396
3	0,592	0,5971
3,5	0,5242	0,4677
4	0,4244	0,4206
4,5	0,419	0,4119
5,5	0,37	0,3779
6,5	0,3311	0,313
7,5	0,2918	0,2645
8,5	0,2918	0,2273
9,5	0,2371	0,1467
10,5	0,2061	0,1288

TABELA 4.5-Valores de umidades adimensionais experimental de cogumelo de 2,7 cm de diâmetro e calculada

Tempo (h)	Umidade adimensional experimental	Umidade adimensional calculada
0	1	1
0,5	0,9825	0,8741
1	0,7016	0,7582
1,5	0,5889	0,6877
2	0,5754	0,5959
2,5	0,5383	0,5382
3	0,4921	0,4912
3,5	0,4325	0,4523
4	0,4042	0,4197
4,5	0,3688	0,392
5,5	0,3444	0,3126
6,5	0,3271	0,266
7,5	0,2927	0,2455
8,5	0,2858	0,229
9,5	0,253	0,2156

TABELA 4.6-Valores de umidades adimensionais experimental de cogumelo de 2,6 cm de diâmetro e calculada

Tempo (h)	Umidade adimensional experimental	Umidade adimensional calculada
0	1	1
0,5	0,9014	0,8747
1	0,8209	0,8025
1,5	0,74	0,7081
2	0,6501	0,6637
2,5	0,5741	0,5964
3	0,4669	0,5546
3,5	0,4446	0,4523
4	0,3923	0,4197
4,5	0,363	0,392
5,5	0,2943	0,3126
6,5	0,2673	0,266
7,5	0,197	0,2455
8,5	0,1478	0,1839
9,5	0,0849	0,166

TABELA 4.7-Valores de umidades adimensionais experimental de cogumelo de 2,5 cm de diâmetro e calculada

Tempo (h)	Umidade adimensional	Umidade adimensional
	experimental	calculada
0	1	1
0,5	0,9468	0,9402
1	0,8551	0,8139
1,5	0,7646	0,712
2	0,6691	0,6288
2,5	0,6012	0,5599
3	0,5225	0,5024
3,5	0,4867	0,4539
4	0,4206	0,4124
4,5	0,3985	0,3767
5,5	0,3235	0,3183
6,5	0,2769	0,2729
7,5	0,2559	0,2366
8,5	0,2026	0,207
9,5	0,1134	0,1428

4.1.3- Matéria - Prima

As corridas de secagem foram realizadas, para que as amostras atingissem uma faixa de umidade de 10-15% de umidade (base seca). Os cogumelos com menos de 10% de umidade apresentaram enrugamento da superfície. Durante a secagem pode-se observar também o escurecimento dos cogumelos, estes detalhes podem ser vistos na figura 4.13.



FIGURA 4.13-Detalhes do cogumelo seco

4.2-DISCUSSÃO

4.2.1-Curvas de Secagem

Para estudar a secagem de champignons, foram construídos os gráficos: a) umidade adimensional em função do tempo; b) taxa de secagem em função do tempo; c) log (umidade adimensional) em função do tempo.

Observou-se nas curvas de secagem $[(\bar{X}-X_e)/(X_o-X_e)]$ em função do tempo de todas as amostras utilizadas, secas em pratos maciços (secagem por um lado), nas mesmas condições de Tbs, Tbu, um comportamento bastante similar, independente do diâmetro das amostras. Este comportamento foi representado por um ajuste polinomial de 7º grau, conforme mostrado nas figuras 4.5 e 4.6, com um coeficiente de ajuste ao redor de 99,0%. Porém não foi possível, até o presente, atribuir significado físico aos seus coeficientes.

Pela análise do gráfico $\log [(\bar{X}-X_e)/(X_o-X_e)]$ em função do tempo, durante o período de taxa decrescente, observou-se para as diferentes amostras, a existência de duas fases durante este período. Foi proposta uma correlação do tipo exponencial (equação 4.1), e os valores das constantes do modelo foram calculadas para as amostras de diferentes diâmetro.

A transição entre as duas fases na taxa decrescente ocorreu para um conteúdo de umidade (b.s), ao redor de: 12,70% para champignons de 2,8 cm de diâmetro; 14,86% para champignons de 2,7 cm de diâmetro; 14,70% para champignons de 2,5 cm de diâmetro e 15,95% para champignons de 2,6 cm de diâmetro.

4.2.2- Tratamento Matemático

A difusividade efetiva para as duas fases do período de taxa decrescente, calculados pela equação (3.9) são apresentados na Tabela 4.3. Como pode ser observado o valor de Def da 1ª fase é cerca de 2,0 vezes maior do que o valor de Def da 2ª fase do período de taxa decrescente para as amostras de champignons.

O tempo de duração da 1ª fase para as amostras, secas por um lado, foi aproximadamente de 8,0 hs.

Analisando as curvas, de valores de umidade adimensional calculados com os valores obtidos experimentalmente, apresentadas nas Figuras 4.14, 4.15, 4.16 e 4.17, verificou-se que cerca de 50% das amostras analisadas apresentaram valores de umidade calculada maiores que os experimentais até um tempo médio de 5,0 hs, após este tempo apresentaram valores menores.

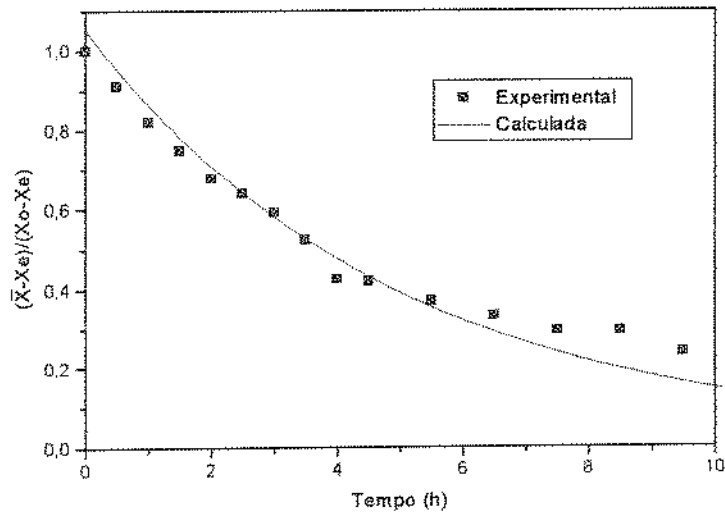


FIGURA 4.14-Curvas de secagem experimental de cogumelo de 2,8 cm de diâmetro e calculada

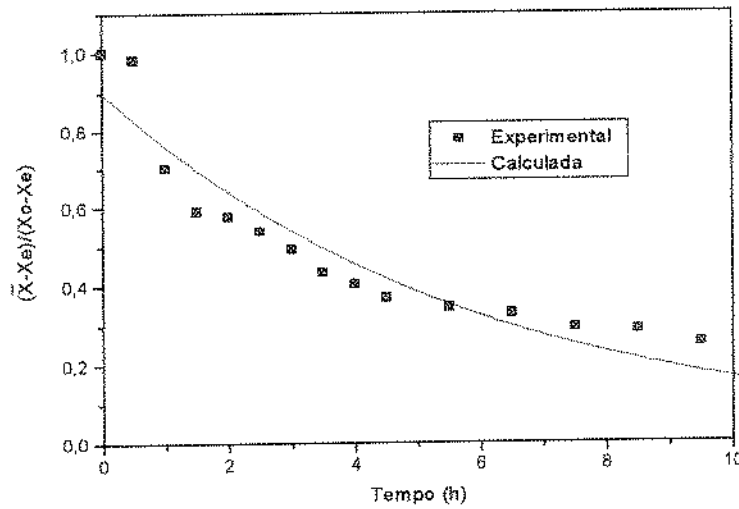


FIGURA 4.15-Curvas de secagem experimental de cogumelo de 2,7 cm de diâmetro e calculada

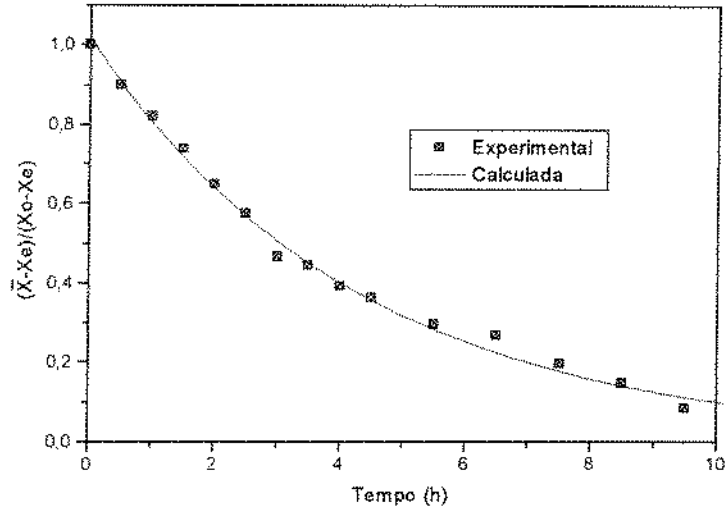


FIGURA 4.16-Curvas de secagem experimental de cogumelo de 2,6 cm de diâmetro e calculada

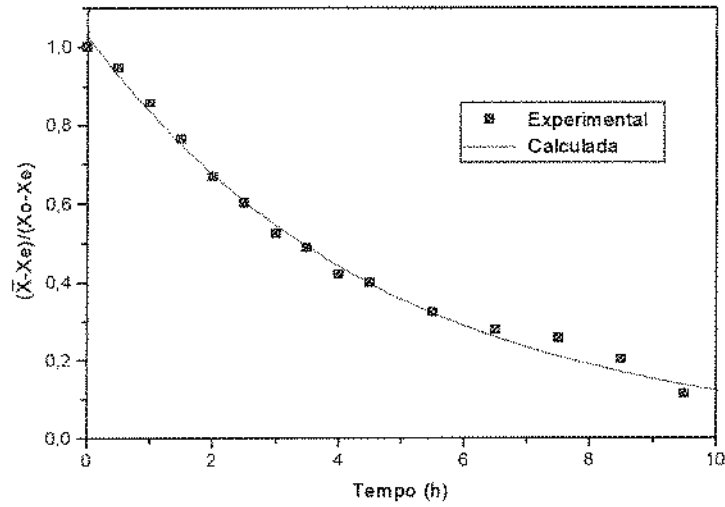


FIGURA 4.17-Curvas experimental de secagem de cogumelo de 2,5 cm de diâmetro e calculada

5-CONCLUSÃO

Após os estudos realizados, destacam-se as seguintes conclusões:

- A não existência de um período de taxa constante, que está relacionada com X_0 , Var , $(T_{bs}-T_{bu})$.

- As curvas de secagem, na forma $[(\bar{X}-X_e)/(X_0-X_e)]$ em função do tempo, foram representadas por um ajuste polinomial de 7º grau, com correlação de 99,9%, para todas as amostras secas em pratos maciços (por um lado). Sendo também, que um ajuste exponencial se ajustou muito bem, com coeficiente de correlação de 97%. Porém o problema do primeiro ajuste é de não ter significado físico para seus coeficientes e não poderem os mesmos serem relacionados com as grandezas envolvidas no processo de secagem.

-Observou-se no período de taxa decrescente a existência de duas fases, podendo o comportamento de ambas ser representado pelo modelo de difusão de Fick. A difusividade efetiva da primeira fase foi duas vezes maior do que a da segunda fase. Estes valores não puderam ser verificados por não se encontrar nada na bibliografia.

-Verificou-se que 50% das amostras apresentaram nas primeiras 5 hs de secagem valores calculados maiores que os experimentais e nas 6 hs finais valores menores. Notou-se porém que mesmo ocorrendo essa variação de umidade, os valores calculados ficaram bem próximos dos dados experimentais, conseguindo-se um bom ajuste das curvas de secagem, com erro mínimo médio de 1,8%.

6-SUGESTÕES

- Desenvolver um modelo matemático para geometria semi-esféra considerando o encolhimento, pois os champignons após 10% de umidade (base seca), apresenta uma acentuada redução de volume, e enrugamento da superfície.

- Determinar experimentalmente as curvas de secagem utilizando temperaturas de bulbo seco mais elevadas, conforme proposto por YAPAR et alli citado por DONAZZI e WOLFF (1991), numa faixa de 60-70°C para tentar diminuir o escurecimento do produto.

- Analisar a qualidade do produto final através de realizações de ensaios físicos, químicos e sensoriais.

7- BIBLIOGRAFIA

- BARTHOLOMAI,G.B. Efecto del la combinación de la liofilización y el secado por corriente de aire sobre la duración del ciclo de secado y la calidad de champiñones deshidratados. Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, 14 (4), p. 611-615,1974 (a).
- BARTHOLOMAI,G.B. Efecto del escado sobre la cinética del secado y la calidad de champiñones deshidratados en corriente de aire y por liofilización. Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos,14 (3), p. 429-438,1974 (b).
- BISARIA,R.&MADAN,M. Mushrooms:potential protein source from cellulosic residues. Enzyme Microbiologie Technologie,5, p. 251-259,1983.
- BONAZZI,L.C.L. & WOLFF,E. Quality of dehydrated cultivated mushrooms (*Agaricus bisporus*):a comparison betwen different drying and freeze-drying processes. Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie,25 (4), p. 334-339,1992.
- BONAZZI,L.C.L., WOLFF,E. & GILBERT,H. Characterization of the flavor properties of the cultivated mushroom(*Agaricus bisporus*) and the influence of drying processes. Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie,24 (5), p. 386-390,1991.
- BREENE,W.M. Nutritional and medicinal value of specialty mushrooms. Journal of Food Protection,53(10), p. 883-894,1990.

CARNEIRO, M.J.M. Modelagem Matemática da Secagem de Pescado com Encolhimento. Tese de mestrado, Universidade Estadual de Campinas Campinas, 78p, 1995.

CHAMARRO, J., LAFUENTE, B., LONGÁS, J.F. & PIÑAGA, F. Liofilización de champiñones. I influencia de las variables del proceso sobre la velocidad de secado. Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, 12(3), p. 450-455, 1972.

CHIRIFE, J. Fundamentals of the drying mechanism during air dehydration of foods. In: Advances in Drying, ed. Arum S. Mujumdar, Hemisphere Publishing Corporation, Washington, v.1, p. 73-102, 1981.

CRISAN, E.V. & SANDS, A. Nutritional value. In : Chang, S.T. & Hayes, W.A. The Biology and Cultivation of Edible Mushrooms, 6, p. 137-168, 1978.

"Champignon de Paris"-diretamente de Guariba
Informativo Coopercitrus, Bebedouro, ano VI, n 62, p. 10-15, 1991.

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

FIDALGO, O. & GUIMARÃES, S.M.P.B. A situação do cogumelo comestível no Brasil e no exterior. In anais do I Encontro Nacional sobre Cogumelos Comestíveis, Mogi das Cruzes, 1980. Instituto de Botanica, p. 7-23, 1985.

FORTES, M.; OKOS, M.R. In : Arum S. Mujundar Advances in Drying (Drying Theories : The bases and limitations as applied to food and grain), ed. Hemisphere Publishing Corporation . Washington, v.1, p. 119-154,1980.

HOLDSWORTH, S.D. Dehydration of food products. A review. Journal of Food Technology, 6 , p. 331-370,1971.

JASON, A.C. A study of evaporation and diffusion Process in the drying of fish muscle. In : Fundamentals Aspects of the Dehydration of Foodstuffs . The Society of Chemical Industry. New York, p.103-135,1958.

JONG,S.C.Conservation of the cultures.In Chang,S.T. & Hayes,W.A. The Biology and Cultivation of Edible Mushrooms ,5. p. 119-135,1978.

KOMANOWSKY,M.,TALLEY,F.B. & ESKEW,R.K. Air drying of cultivated mushrooms. Food Technology,24 p. 81-84,1970.

LEWIS, W.K. The rate of drying of solids materials. The Journal of Industrial and Engineering Chemistry, v. 13, n. 5, p. 427-432,1921.

LUIKOV, A.V. Heat and Mass Transfer In Capillary Porous Bodies . Pergamon Press Oxford., 392P,1966.

Mc CORMING, P.Y. Solids drying fundamentals. In : PERRY, J.H. & CHILTON, C.H. Chemical Engineers Handbook, Mc Graw-Hill Co, 5 ed. Section 20-4,1983.

- MOLENA, O. Dificuldades na produção e na divulgação da cultura de cogumelos. In : Anais do I Encontro Nacional sobre Cogumelos Comestíveis, Mogi das Cruzes, 1980, Instituto de botânica, p. 25-36, 1985.
- PÄÄKKÖNEN, K. & KURKELA, R. Effect of drying method on the water sorption of blanched northern milk cap mushrooms (*Lactarius trivialis*) at different temperatures. Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie, 20 (3), p. 158-161, 1987.
- PINTO, L.A.A. Secagem de Materiais Fibrosos: Músculos de Peixes. (Mestre em Engenharia Química). Engenharia Química. São Carlos, 104p, 1992.
- PINTO, L.A.A. & TOBINAGA, S. Secagem e encolhimento de materiais fibrosos: Músculo de peixes. In: Encontro sobre Escoamento em Meios Porosos. Campinas, v. 2, p. 568-579, 1991.
- SHERWOOD, T.K. The drying of solids II. Industrial and Engineering Chemistry, v. 21, n 10, p. 12-16 / 976-980, 1929.
- TRUFEM, S.F.B. & BONONI, V.L.R. Cogumelos comestíveis. São Paulo, Icone, p. 11-28, 1985.
- VACAREZZA, L.; CHIRIFE, J. On the mechanism of moisture transport during air drying of sugar beet root. Journal of Food Science. v. 40, p. 1286-1289, 1975.

VAGENAS, G.K.; MARINOS-KOURIS, D.& SARAVACOS, G.D. An Analysis of mass transfer in air-drying of foods. Drying Technology, 8 (2), p. 323-342,1990.

WATSON,G.N. A Triase Theory of Bessel Functions. Second Edition. Cambridge at the University Press,1966.

WHITAKER, S.H. Heat and mass transferring granular porous media. In : Advances in Drying. . Ed. Arum S. MUJUNDAR, Hemisphere Publishing Corporation, Washington, v. 1, p. 23-611,1980.

APÉNDICE A

TABELA A.1- Parâmetros da correlação exponencial ajustada para todo o período da taxa decrescente da curva de secagem $\left[\frac{(\bar{X} - X_o)}{(X_o - X_e)} \right]$ versus tempo.

Amostra diâmetro (cm)	p	q	r ²
2,25	1,0066	-0,2298	99,91
2,4	0,9494	-0,1870	98,91
2,5	1,0288	-0,1898	99,50
2,6	1,0010	-0,1530	99,81
2,7	0,8953	-0,1809	97,06
2,8	0,9832	-0,2076	99,4

TABELA A.2- Parâmetro de regressão linear para a determinação de Def da 1ª fase e 2ª fases do período de taxa decrescente.

Amostra diâmetro (cm)	1ª fase			2ª fase		
	p	q	r ²	p	q	r ²
2,5	1,02	-0,20	99,6	0,86	-0,07	99,3
	±0,01	±0,006		±0,06	±0,006	
2,6	1,01	-0,22	99,8	0,44	-0,04	91,8
	±0,01	±0,005		±0,08	±0,007	
2,7	0,90	-0,19	96,6	0,50	-0,03	97,8
	±0,03	±0,01		±0,09	±0,008	
2,8	0,9742	-0,20	99,4	0,84	-0,07	99,3
	±0,01	±0,005		±0,04	±0,003	

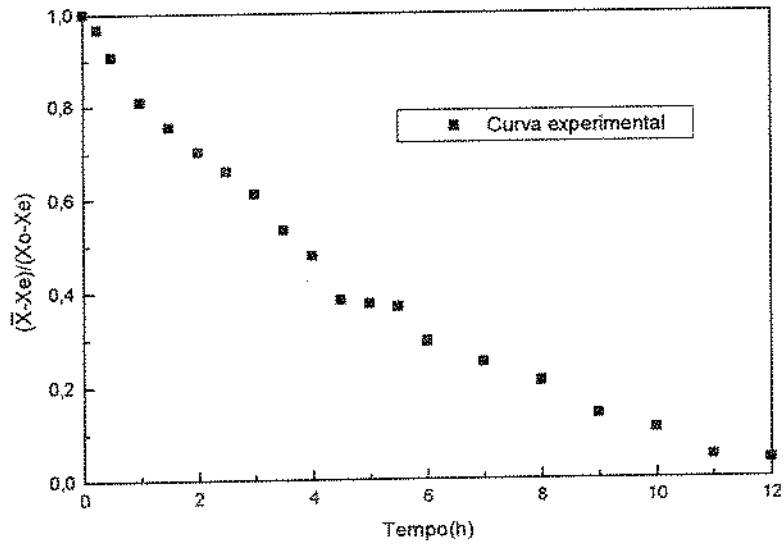


FIGURA A.1- Umidade adimensional de cogumelo de 2,8 cm de diâmetro em função do tempo ; $T_{bs}=35^{\circ}\text{C}$ e $T_{bu}=15^{\circ}\text{C}$

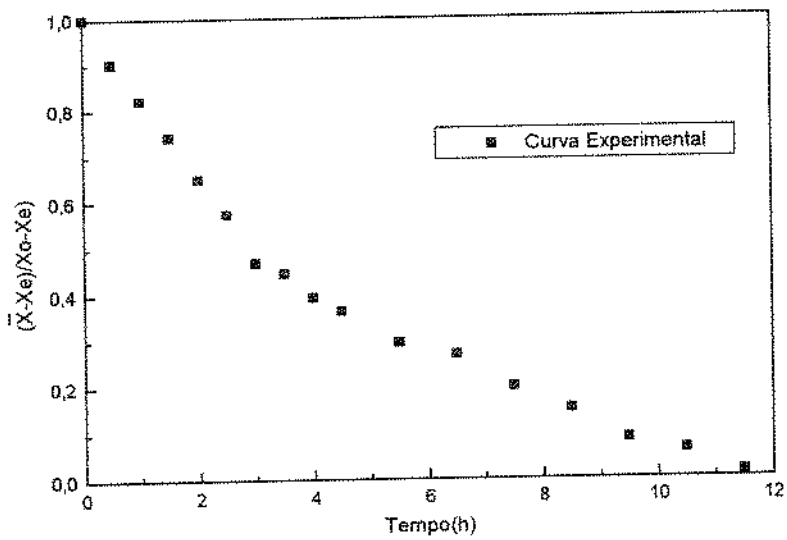


FIGURA A.2- Umidade adimensional de cogumelo de 2,8 cm de diâmetro em função do tempo de secagem ; $T_{bs}=35^{\circ}\text{C}$ e $T_{bu}=15^{\circ}\text{C}$

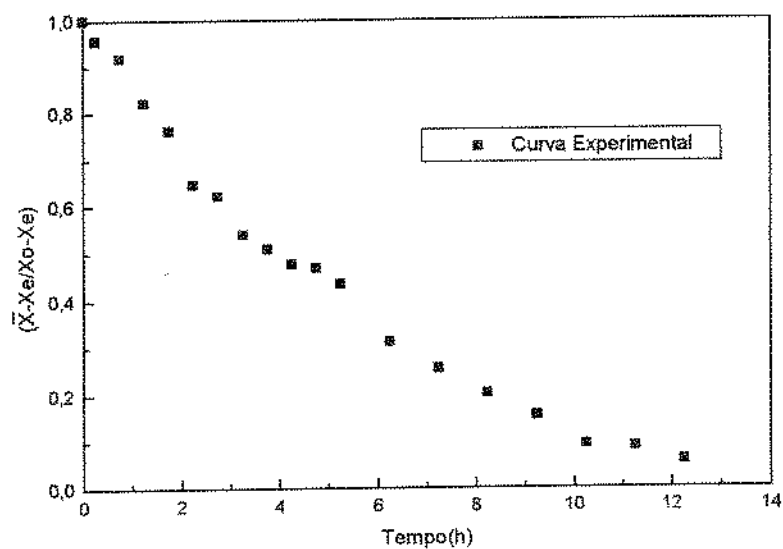


FIGURA A.3-Umidade adimensional de cogumelo de 2,5 cm de diâmetro em função do tempo de secagem ; $T_{bs}=35^{\circ}\text{C}$ e $T_{bu}=15^{\circ}\text{C}$

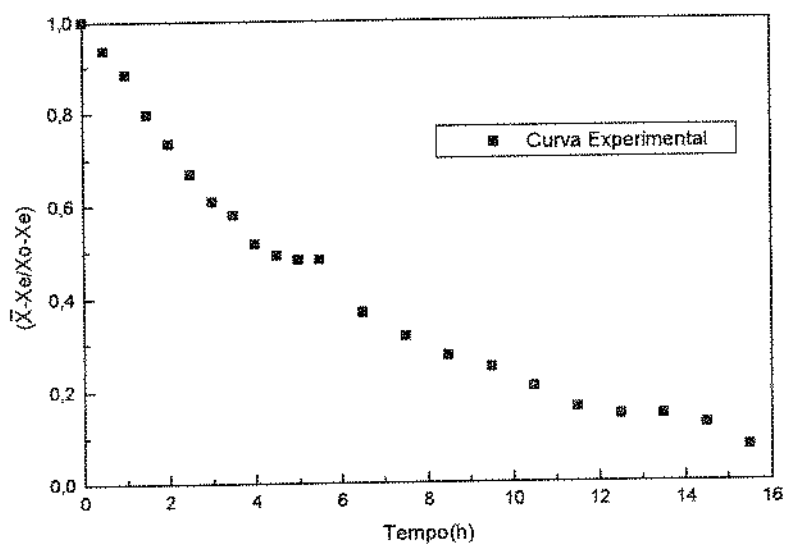


FIGURA A.4- Umidade adimensional de cogumelo de 2,6 cm de diâmetro em função do tempo de secagem ; $T_{bs}=35^{\circ}\text{C}$ e $T_{bu}=15^{\circ}\text{C}$

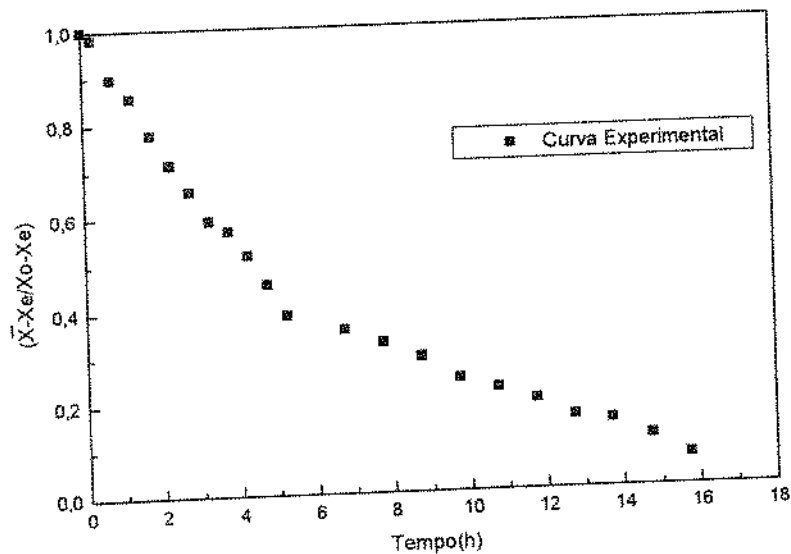


FIGURA A.5- Umidade adimensional de cogumelo de 2,5 cm de diâmetro em função do tempo de secagem ; $T_{bs}=35^{\circ}\text{C}$ e $T_{bu}=15^{\circ}\text{C}$

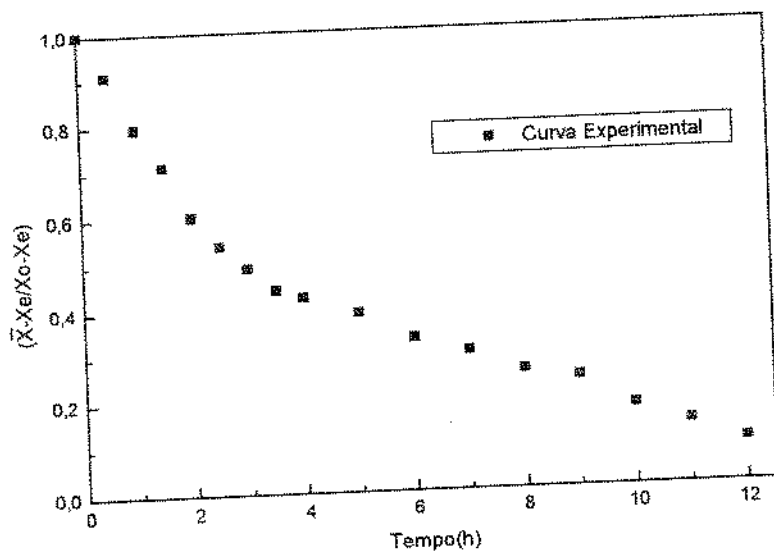


FIGURA A.6- Umidade adimensional de cogumelo de 2,4 cm de diâmetro em função do tempo de secagem ; $T_{bs}=35^{\circ}\text{C}$ e $T_{bu}=15^{\circ}\text{C}$

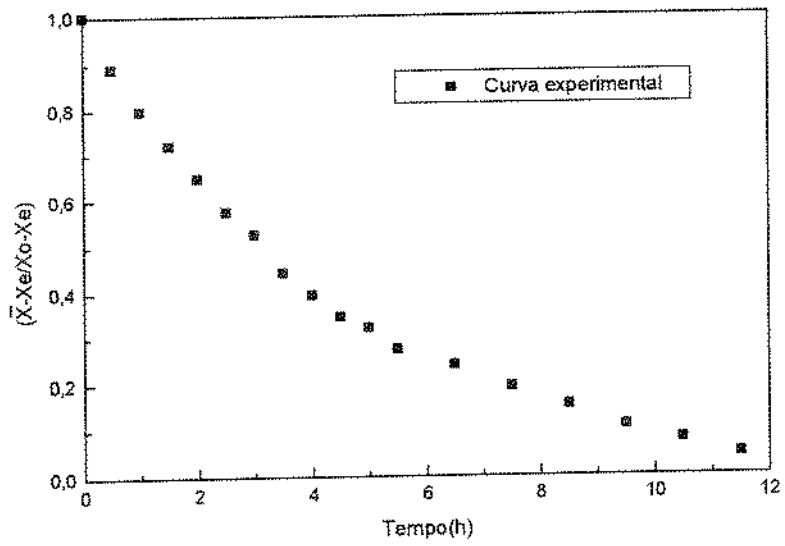


FIGURA A.7- Umidade adimensional de cogumelo de 2,25 cm de diâmetro em função do tempo de secagem ; $T_{bs}=35^{\circ}\text{C}$ e $T_{bu}=15^{\circ}\text{C}$