



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia de Alimentos
Departamento de Engenharia de Alimentos



EFEITO DAS CONDIÇÕES DE PROCESSO NA CINÉTICA DE SECAGEM DE COGUMELO (*Agaricus blazei*)

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da
Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Mestre em
Engenharia de Alimentos, na área de concentração em Engenharia de
Processos.

Louise Emy Kurozawa
Engenheira de Alimentos

Prof^ª. Dr^ª. Fernanda Elizabeth Xidieh Murr
Orientadora

Campinas, julho de 2005.

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA F.E.A. – UNICAMP

Kurozawa, Louise Emy

K996e Efeito das condições de processo na cinética de secagem de cogumelo (*Agaricus blazei*) / Louise Emy Kurozawa. -- Campinas, SP: [s.n.], 2005.

Orientador: Fernanda Elizabeth Xidieh Murr
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1. Cogumelos. 2. Desidratação osmótica. 3. Secagem.
4. Qualidade. I. Murr, Fernanda Elizabeth Xidieh. II.
Universidade Estadual de Campinas.Faculdade de Engenharia
de Alimentos. III. Título.

Título em inglês: Effect of process conditions on drying kinetics of mushrooms
(*Agaricus blazei*)

Palavras-chave em inglês (Keywords): Mushrooms, Osmotic dehydration, Drying, Quality

Titulação: Mestre em Engenharia de Alimentos

Banca examinadora: Fernanda Elizabeth Xidieh Murr

Miriam Dupas Hubinger

Kil Jin Park

Suezilde da Conceição Amaral Ribeiro

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Fernanda Elizabeth Xidieh Murr
(Orientadora – DEA / FEA / UNICAMP)

Prof^a. Dr^a. Míriam Dupas Hubinger
(Membro – DEA / FEA / UNICAMP)

Prof. Dr. Kil Jin Park
(Membro – FEAGRI / UNICAMP)

Prof^a. Dr^a. Suezilde da Conceição Amaral Ribeiro
(Membro – ITAL)

*“O mundo é produto da vontade.
Então, o homem será antes de mais nada,
o resultado do seu próprio progresso.”*

Sartre

*“É preferível o erro à omissão
O fracasso, ao tédio. O escândalo, ao vazio.
Faça, erre, tente, falhe, lute.
Mas, por favor, não jogue fora,
se acomodando, a extraordinária oportunidade de ter vivido.
Tenha consciência de que cada homem foi feito para fazer história.
Que todo homem é um milagre e traz em si uma evolução.
Você foi criado para construir pirâmides e versos,
descobrir continentes e mundos,
e caminhar sempre, com um saco de interrogações na mão
e uma caixa de possibilidades na outra.
Trabalhe! O tempo, que é mesmo o senhor da razão,
vai bendizer o fruto do seu esforço,
e só o trabalho lhe leva a conhecer pessoas
e mundos que os acomodados não conhecerão.
E isso se chama sucesso.”*

Nizan Guanaes

DEDICO

Aos meus pais, Paschoal e Susana, por todo amor, afeto e dedicação. Que compartilharam dos meus sonhos e desalentos, vitórias e derrotas, alegrias e tristezas. Que sempre me incentivaram a buscar minhas metas. Que por sete anos abriram mão dos momentos de convívio para que eu alcançasse mais essa etapa da minha vida.

Ao meu irmão Eduardo pela paciência, apoio e companhia aqui em Campinas.

À minha “batian” e aos meus tios e primos, que mesmo longe, sempre me incentivaram e torceram muito para que eu conseguisse esse título.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que sempre me amparou e iluminou meu caminho, principalmente nos momentos de maior dificuldade.

À Prof^a. Dr^a. Fernanda E. X. Murr, pela orientação, apoio e amizade durante todos esses anos de iniciação científica e mestrado. Obrigada pelos ensinamentos que foram muito importantes para a minha formação na área de pesquisa.

Ao Prof. Dr. Satoshi Tobinaga, pela orientação no início do mestrado, ensinamentos e, principalmente, pela amizade.

Ao Prof. Dr. Kil Jin Park, pela amizade e atenção prestada ao longo deste ano. E pelas valiosas sugestões que foram muito importantes para o andamento da dissertação.

Às Professoras Dr^a. Miriam Dupas Hubinger e Dr^a. Suezilde da Conceição Amaral Ribeiro “Suzi” pelas importantes correções e sugestões para o desenvolvimento do trabalho.

Aos técnicos Rafael (Lab. de Processos Fermentativos – DEA), Chico (Lab. Central Analítico – DEPAN) e Juliana (Lab. de Secagem – FEAGRI), pela ajuda nos experimentos e pelo uso de equipamentos que foram necessários para os experimentos.

Aos funcionários da Fea, Cosme (Secretaria de pós-graduação), Graça e Reinaldo (Secretaria do DEA) pela disposição e boa vontade em ajudar.

À Gapi, Grupo Agaricus de Pilar Ltda, da cidade de Pilar do Sul – SP pela doação de cogumelos Agaricus blazei frescos necessários para o desenvolvimento da pesquisa.

À Prozyn e a Novozymes, pelo fornecimento de amostras de enzimas e a Laborlab pela doação do kit para determinação de glicose.

À Adélia, pela grande amizade e apoio ao longo do mestrado e pela ajuda valiosa durante os experimentos, principalmente durante os momentos de correria entre uma análise e outra.

À Renata, pela amizade, cumplicidade e risadas durante esses sete anos de Unicamp. E pelo apoio nos momentos de crise existencial com as nossas teses que só quem estava passando poderia compreender. E agora terá que me agüentar por mais quatro anos de doutorado!

Aos amigos do Laboratório de Medidas Físicas, pelos momentos de descontração e risadas. Muito obrigada pela amizade, ajuda e atenção ao longo deste trabalho. Para o pessoal que se encontra ainda no lab: Adélia, Márcia Simões, Grá, Fezinha, Anna Paula e Márcia Souza, apesar de mudar de laboratório, podem contar comigo nos cafezinhos e festinhas. Sei que ainda terei um pezinho no Lamefi. Ânoar, Suzi, Éder, Júnior, Maristela e Patty, apesar de cada um estar em algum lugar deste país, torço para que tenham muito

sucesso e saibam que sempre lembrarei de vocês e dos momentos felizes. Muito obrigada pelos ensinamentos e paciência prestados na iniciação científica e no mestrado.

À turma de pós-graduação: Ana Carla, Lizi, Lillian, Cris Ferrari, Ana Paula, Chrissana, Érika, Caiçara, Helena, Ale, Pi, Feni, Gui Lopes, Abraão, Roque, Douglas (DEA), Gabi, Eveline (DTA) e Jaiana (FEQ) pela amizade, companheirismo e cumplicidade. Pelos momentos de descontração na hora do almoço (bandejão, sofazinho do DEA e Cafea), na salinha de computadores, nos barzinhos, festas e churrascos e nas sessões gastronômicas e de cinema realizadas na casa dos meninos.

Aos meus amigos da graduação, de Presidente Prudente e de Campinas, pela torcida e apoio moral. E claro, pelos momentos de descontração e diversão, muito importantes para que as dificuldades do mestrado fossem encaradas sem stress.

A Capes, pela concessão da bolsa de estudo.

À Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA) e Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

A todos, que diretamente ou indiretamente, colaboraram para o desenvolvimento deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE FIGURAS	xiii
NOMENCLATURA	xvii
RESUMO	xix
ABSTRACT	xx
1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	1
1.1. Objetivos.....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Cogumelo (<i>Agaricus blazei</i>).....	3
2.1.1. Aspectos Gerais	3
2.1.2. Composição Química	5
2.1.3. Potencialidades Nutricionais e Imunoterapêuticas	5
2.2. Desidratação Osmótica	6
2.3. Isotermas de Sorção.....	8
2.3.1. Modelos Matemáticos	10
2.4. Secagem.....	14
2.4.1. Fundamentos e Mecanismos.....	14
2.4.2. Cinética de Secagem.....	17
2.4.3. Difusividade Efetiva.....	21
2.4.4. Secagem de Cogumelos.....	22
2.5. Planejamento Experimental.....	23
2.6. Parâmetros de Qualidade	24
2.6.1. Cor	24
2.6.2. β -Glucana	28
2.6.3. Atividade de Água	28
2.6.4. Capacidade de Reidratação.....	30
3. MATERIAL E MÉTODOS	32
3.1. Material.....	32
3.1.1. Matéria-Prima.....	32
3.2. Métodos	32
3.2.1. Análises Físico-Químicas.....	33
3.2.2. Desidratação Osmótica.....	35

3.2.3.	Isotermas de Dessorção	36
3.2.4.	Secagem Convectiva.....	38
3.2.5.	Determinação de Cor	40
3.2.6.	Planejamento Experimental.....	40
3.2.7.	Qualidade do Produto Final.....	42
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
4.1.	Caracterização da Matéria-Prima	44
4.2.	Caracterização do Cogumelo Desidratado Osmoticamente	45
4.3.	Isotermas de Dessorção	46
4.3.1.	Cogumelo <i>in natura</i>	46
4.3.2.	Cogumelo Desidratado Osmoticamente	50
4.4.	Cinética de Secagem.....	54
4.4.1.	Taxa de Secagem.....	55
4.4.2.	Modelagem Matemática	57
4.5.	Planejamento Experimental.....	78
4.5.1.	Constante de Secagem.....	79
4.5.2.	Diferença Total de Cor	88
4.5.3.	Otimização.....	94
4.6.	Caracterização do Produto Final.....	96
5.	CONCLUSÕES.....	99
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100
<i>APÊNDICE A</i>	<i>110</i>	
<i>APÊNDICE B</i>	<i>121</i>	

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Composição química em base seca do cogumelo <i>Agaricus blazei</i>	5
Tabela 3.1: Valores de umidade relativa relacionados às soluções salinas saturadas nas temperaturas de 40, 60 e 80°C.....	36
Tabela 3.2: Definição dos níveis das variáveis independentes.....	41
Tabela 3.3: Ensaio para o planejamento experimental, variando os parâmetros temperatura e velocidade do ar nos experimentos.....	42
Tabela 4.1: Caracterização físico-química do cogumelo <i>Agaricus blazei</i> fresco.....	44
Tabela 4.2: Caracterização físico-química do cogumelo <i>Agaricus blazei</i> desidratado osmoticamente.....	45
Tabela 4.3: Valores experimentais de umidade de equilíbrio de dessorção nas temperaturas de 40, 60 e 80°C de cogumelos <i>in natura</i>	47
Tabela 4.4: Constantes de ajuste da isoterma de dessorção do cogumelo <i>in natura</i> dos modelos sem o parâmetro temperatura.....	47
Tabela 4.5: Constantes de ajuste da isoterma de dessorção do cogumelo <i>in natura</i> dos modelos com o parâmetro temperatura.	49
Tabela 4.6: Valores experimentais de umidade de equilíbrio de dessorção nas temperaturas de 40, 60 e 80°C de cogumelos desidratados osmoticamente.....	50
Tabela 4.7: Constantes de ajuste da isoterma de dessorção do cogumelo desidratado osmoticamente dos modelos sem o parâmetro temperatura.....	51
Tabela 4.8: Constantes de ajuste da isoterma de dessorção do cogumelo desidratado osmoticamente dos modelos com o parâmetro temperatura.....	52
Tabela 4.9: Valores de umidade relativa do ar de secagem e de umidade de equilíbrio para as diferentes condições de temperatura e velocidade do ar para o cogumelo <i>in natura</i>	58
Tabela 4.10: Valores de difusividade efetiva estimada pelo modelo de Fick, coeficiente de determinação e erro relativo médio para o cogumelo <i>in natura</i>	59
Tabela 4.11: Valores de difusividade efetiva estimada pelo modelo de Fick para os dados iniciais de secagem, coeficiente de determinação e erro relativo médio para o cogumelo <i>in natura</i>	62
Tabela 4.12: Constante de secagem estimada pela lei exponencial para os dados iniciais de secagem, coeficiente de determinação e erro relativo médio para o cogumelo <i>in natura</i>	64
Tabela 4.13: Parâmetros estimados pela equação de Page para os dados iniciais de secagem, coeficiente de determinação e erro relativo médio para o cogumelo <i>in natura</i>	67
Tabela 4.14: Valores de umidade relativa do ar de secagem e de umidade de equilíbrio para as diferentes condições de temperatura e velocidade do ar para o cogumelo desidratado osmoticamente.....	69

Tabela 4.15: Valores de difusividade efetiva estimada pelo modelo de Fick para os dados iniciais de secagem, coeficiente de determinação e erro relativo médio para o cogumelo desidratado osmoticamente.....	70
Tabela 4.16: Constante de secagem estimada pela exponencial para os dados iniciais de secagem, coeficiente de determinação e erro relativo médio para o cogumelo desidratado osmoticamente.....	72
Tabela 4.17: Parâmetros estimados pela equação de Page para os dados iniciais de secagem, coeficiente de determinação e erro relativo médio para o cogumelo desidratado osmoticamente.....	75
Tabela 4.18: Valores de difusividade efetiva para o cogumelo <i>Agaricus blazei</i> com e sem tratamento osmótico.	77
Tabela 4.19: Resultados experimentais de constante de secagem e diferença total de cor obtidos através da secagem de cogumelos <i>Agaricus blazei</i> sem pré-tratamento osmótico..	78
Tabela 4.20: Resultados experimentais de constante de secagem e diferença total de cor obtidos através da secagem de cogumelos <i>Agaricus blazei</i> desidratado osmoticamente.....	79
Tabela 4.21: Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para cada fator no modelo codificado para constante de secagem do cogumelo sem pré-tratamento.	80
Tabela 4.22: Efeito estimado, SS Residual, coeficiente t e grau de significância estatística, para cada fator no modelo codificado para constante de secagem do cogumelo sem pré-tratamento.	80
Tabela 4.23: Análise de variância do modelo ajustado para constante de secagem do cogumelo sem pré-tratamento.	81
Tabela 4.24: Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para cada fator no modelo codificado para constante de secagem do cogumelo desidratado osmoticamente.....	83
Tabela 4.25: Efeito estimado, SS Residual, coeficiente t e grau de significância estatística, para cada fator no modelo codificado para constante de secagem do cogumelo desidratado osmoticamente.....	84
Tabela 4.26: Análise de variância do modelo ajustado para constante de secagem do cogumelo desidratado osmoticamente.....	85
Tabela 4.27: Valores preditos e experimentais de constante de secagem, e o erro relativo entre eles.....	86
Tabela 4.28: Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para cada fator no modelo codificado para diferença total de cor do cogumelo sem pré-tratamento.	89
Tabela 4.29: Efeito estimado, SS Residual, coeficiente t e grau de significância estatística, para cada fator no modelo codificado para diferença total de cor do cogumelo sem pré-tratamento.	89
Tabela 4.30: Análise de variância do modelo ajustado para diferença total de cor do cogumelo sem pré-tratamento.	90

Tabela 4.31: Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para cada fator no modelo codificado para diferença total de cor do cogumelo desidratado osmoticamente.....	92
Tabela 4.32: Efeito estimado, SS Residual, coeficiente t e grau de significância estatística, para cada fator no modelo codificado para diferença total de cor do cogumelo desidratado osmoticamente.....	92
Tabela 4.33: Análise de variância do modelo ajustado para diferença total de cor do cogumelo desidratado osmoticamente.....	93
Tabela 4.34: Teor de β -glucana e atividade de água do cogumelo seco sem e com pré-tratamento osmótico.	96

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Cogumelo <i>Agaricus blazei</i>	4
Figura 2.2: Evolução do tempo (t), do teor de água do produto (X), de sua temperatura (T) e da taxa de secagem (dX/dt), para um ar com propriedades constantes (BROD, 2003).	15
Figura 2.3: Velocidade relativa de reações e de crescimento de microrganismos em função da atividade de água (BOBBIO e BOBBIO, 1984).....	30
Figura 3.1: (a) Cogumelo <i>Agaricus blazei</i> utilizado nos experimentos e (b) Cogumelo fresco cortado em fatias.....	32
Figura 3.2: Fluxograma de processamento de cogumelo <i>Agaricus blazei</i> seco.....	33
Figura 3.3: Detalhes do pote com fechamento hermético.....	37
Figura 3.4: Esquema do secador vertical de leito fixo utilizado nos experimentos.....	39
Figura 4.1: Cogumelo desidratado osmoticamente.....	45
Figura 4.2 : Comparação entre os valores observados e preditos da isoterma de dessorção do cogumelo <i>in natura</i> utilizando o modelo de Henderson (sem o parâmetro temperatura).	48
Figura 4.3: Comparação entre os valores observados e preditos para a isoterma de dessorção do cogumelo <i>in natura</i> para o modelo de Henderson modificado (com o parâmetro temperatura).....	49
Figura 4.4: Comparação entre os valores observados e preditos da isoterma de dessorção do cogumelo desidratado osmoticamente utilizando o modelo de Henderson (sem o parâmetro temperatura).....	52
Figura 4.5: Comparação entre os valores observados e preditos para a isoterma de dessorção do cogumelo desidratado osmoticamente para o modelo de Henderson modificado (com o parâmetro temperatura).	53
Figura 4.6: Comparação dos dados experimentais de dessorção nas temperaturas de (a) 40, (b) 60 e (c) 80°C do cogumelo <i>in natura</i> e desidratado osmoticamente.....	54
Figura 4.7: Efeito da temperatura na taxa de secagem do cogumelo (a) <i>in natura</i> e (b) desidratado osmoticamente a velocidade do ar de 1,2 m/s.....	55
Figura 4.8: Efeito da temperatura na taxa de secagem do cogumelo (a) <i>in natura</i> e (b) desidratado osmoticamente a velocidade do ar de 1,75 m/s.....	55
Figura 4.9: Efeito da temperatura na taxa de secagem do cogumelo (a) <i>in natura</i> e (b) desidratado osmoticamente a velocidade do ar de 2,3 m/s.....	55
Figura 4.10: Efeito da velocidade do ar na taxa de secagem do cogumelo (a) <i>in natura</i> e (b) desidratado osmoticamente a temperatura de 45°C.....	56
Figura 4.11: Efeito da velocidade do ar na taxa de secagem do cogumelo (a) <i>in natura</i> e (b) desidratado osmoticamente a temperatura de 60°C.....	56
Figura 4.12: Efeito da velocidade do ar na taxa de secagem do cogumelo (a) <i>in natura</i> e (b) desidratado osmoticamente a temperatura de 75°C.....	57

Figura 4.13: Ajuste do modelo de Fick aos dados experimentais de secagem de cogumelo <i>in natura</i> , cuja ordenada encontra-se em (a) escala linear e (b) semi-log (Pontos fatoriais).	60
Figura 4.14: Ajuste do modelo de Fick aos dados experimentais de secagem de cogumelo <i>in natura</i> , cuja ordenada encontra-se em (a) escala linear e (b) semi-log (Pontos axiais).	60
Figura 4.15: Ajuste do modelo de Fick aos dados experimentais de secagem de cogumelo <i>in natura</i> , cuja ordenada encontra-se em (a) escala linear e (b) semi-log (Pontos centrais).	60
Figura 4.16: Ajuste do modelo de Fick aos dados experimentais iniciais de secagem de cogumelo <i>in natura</i> , cuja ordenada encontra-se em (a) escala linear e (b) semi-log (Pontos fatoriais).	62
Figura 4.17: Ajuste do modelo de Fick aos dados experimentais iniciais de secagem de cogumelo <i>in natura</i> , cuja ordenada encontra-se em (a) escala linear e (b) semi-log (Pontos axiais).	63
Figura 4.18: Ajuste do modelo de Fick aos dados experimentais iniciais de secagem de cogumelo <i>in natura</i> , cuja ordenada encontra-se em (a) escala linear e (b) semi-log (Pontos centrais).	63
Figura 4.19: Ajuste do modelo exponencial aos dados experimentais iniciais de secagem de cogumelo <i>in natura</i> , cuja ordenada encontra-se em (a) escala linear e (b) semi-log (Pontos fatoriais).	65
Figura 4.20: Ajuste do modelo exponencial aos dados experimentais iniciais de secagem de cogumelo <i>in natura</i> , cuja ordenada encontra-se em (a) escala linear e (b) semi-log (Pontos axiais).	65
Figura 4.21: Ajuste do modelo exponencial aos dados experimentais iniciais de secagem de cogumelo <i>in natura</i> , cuja ordenada encontra-se em (a) escala linear e (b) semi-log (Pontos centrais).	65
Figura 4.22: Comparação entre os valores de difusividade efetiva (D_{ef}) e constante de secagem (K) do cogumelo <i>in natura</i> .	66
Figura 4.23: Ajuste do modelo de Page aos dados experimentais iniciais de secagem de cogumelo <i>in natura</i> , cuja ordenada encontra-se em (a) escala linear e (b) semi-log (Pontos fatoriais).	67
Figura 4.24: Ajuste do modelo de Page aos dados experimentais iniciais de secagem de cogumelo <i>in natura</i> , cuja ordenada encontra-se em (a) escala linear e (b) semi-log (Pontos axiais).	68
Figura 4.25: Ajuste do modelo de Page aos dados experimentais iniciais de secagem de cogumelo <i>in natura</i> , cuja ordenada encontra-se em (a) escala linear e (b) semi-log (Pontos centrais).	68
Figura 4.26: Ajuste do modelo de Fick aos dados experimentais iniciais de secagem de cogumelo desidratado osmoticamente, cuja ordenada encontra-se em (a) escala linear e (b) semi-log (Pontos fatoriais).	70
Figura 4.27: Ajuste do modelo de Fick aos dados experimentais iniciais de secagem de cogumelo desidratado osmoticamente, cuja ordenada encontra-se em (a) escala linear e (b) semi-log (Pontos axiais).	71

Figura 4.28: Ajuste do modelo de Fick aos dados experimentais iniciais de secagem de cogumelo desidratado osmoticamente, cuja ordenada encontra-se em (a) escala linear e (b) semi-log (Pontos centrais).	71
Figura 4.29: Ajuste do modelo exponencial aos dados experimentais iniciais de secagem de cogumelo desidratado osmoticamente, cuja ordenada encontra-se em (a) escala linear e (b) semi-log (Pontos fatoriais).	73
Figura 4.30: Ajuste do modelo exponencial aos dados experimentais iniciais de secagem de cogumelo desidratado osmoticamente, cuja ordenada encontra-se em (a) escala linear e (b) semi-log (Pontos axiais).	73
Figura 4.31: Ajuste do modelo exponencial aos dados experimentais iniciais de secagem de cogumelo desidratado osmoticamente, cuja ordenada encontra-se em (a) escala linear e (b) semi-log (Pontos centrais).	73
Figura 4.32: Comparação entre os valores de difusividade efetiva (D_{ef}) e constante de secagem (K) do cogumelo desidratado osmoticamente.	74
Figura 4.33: Ajuste do modelo de Page aos dados experimentais iniciais de secagem de cogumelo desidratado osmoticamente, cuja ordenada encontra-se em (a) escala linear e (b) semi-log (Pontos fatoriais).	75
Figura 4.34: Ajuste do modelo de Page aos dados experimentais iniciais de secagem de cogumelo desidratado osmoticamente, cuja ordenada encontra-se em (a) escala linear e (b) semi-log (Pontos axiais).	76
Figura 4.35: Ajuste do modelo de Page aos dados experimentais iniciais de secagem de cogumelo desidratado osmoticamente, cuja ordenada encontra-se em (a) escala linear e (b) semi-log (Pontos centrais).	76
Figura 4.36: Estimativa dos efeitos para a constante de secagem do cogumelo sem pré-tratamento osmótico.	81
Figura 4.37: Superfície de resposta (a) e curva de nível (b) para constante de secagem do cogumelo <i>in natura</i> , relacionando temperatura (°C) e velocidade do ar (m/s).	83
Figura 4.38: Estimativa dos efeitos para a constante de secagem do cogumelo desidratado osmoticamente.	84
Figura 4.39: Superfície de resposta (a) e curva de nível (b) para a constante de secagem do cogumelo desidratado osmoticamente, relacionando temperatura (°C) e velocidade do ar (m/s).	87
Figura 4.40: Estimativa dos efeitos para a diferença total de cor do cogumelo sem pré-tratamento.	89
Figura 4.41: Superfície de resposta (a) e curva de nível (b) para diferença total de cor do cogumelo <i>in natura</i> , relacionando temperatura (°C) e velocidade do ar (m/s).	91
Figura 4.42: Estimativa dos efeitos para a diferença total de cor do cogumelo desidratado osmoticamente.	92
Figura 4.43: Superfície de resposta (a) e curva de nível (b) para a diferença total de cor para o cogumelo desidratado osmoticamente, relacionando temperatura e velocidade do ar.	94

Figura 4.44: Sobreposição dos gráficos de K e ΔE^* , relacionando temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e velocidade do ar (m/s), para o cogumelo <i>in natura</i>	95
Figura 4.45: Sobreposição dos gráficos de K e ΔE^* , relacionando temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e velocidade do ar (m/s), para o cogumelo desidratado osmoticamente.....	95
Figura 4.46: Cogumelo <i>Agaricus blazei</i> seco nas condições otimizadas do processo (a) sem pré-tratamento e (b) com pré-tratamento osmótico.....	96
Figura 4.47: Curvas de reidratação de cogumelos secos sem e com pré-tratamento osmótico.....	97

NOMENCLATURA

a_w	Atividade de água
a^*	Intensidade da cor vermelha
A	Constante das equações 2.8, 2.9 e 2.12
b	Constante da equação 2.20
b^*	Intensidade da cor amarela
B	Constante das equações 2.8, 2.9 e 2.12
c	Constante da equação 2.6
C_{BET}	Constante de BET
C_{GAB}	Constante de GAB
D_{ef}	Difusividade efetiva (m^2/s)
f_o	Fugacidade da água pura no estado padrão
f_w	Fugacidade da água na mistura
GL	Graus de liberdade
h	Coefficiente de transferência de calor ($kcal/h.m^2.°C$)
H_L	Calor de condensação do vapor de água (J/mol)
H_m	Calor da camada molecular da água (J/mol)
H_n	Calor de sorção da camada multimolecular da água (J/mol)
H_{vap}	Calor latente de vaporização da água a T_{bu} ($kcal/kg$)
k	Constante das equações 2.7, 2.10 e 2.11
K'	Constante da equação 2.3
K	Constante do modelo exponencial (equações 2.19 e 2.20) (s^{-b})
K_{GAB}	Constante de GAB
L	Meia espessura (m)
L^*	Luminosidade
m_e	Massa da amostra quando atingido o equilíbrio (g)
m_s	Massa seca da amostra (g)
MQ	Média quadrática
n	Número de camadas moleculares
n'	Constante das equações 2.10 e 2.11
N	Número de variáveis independentes do planejamento experimental
N_A	Fluxo mássico ($kg/h.m^2$)
P_v	Pressão de vapor de água

P_w	Pressão parcial de água no alimento
R	Constante universal dos gases (J/mol.K)
SQ	Soma quadrática
t	Tempo (s)
T	Temperatura (K) ou (°C)
T_a	Temperatura ambiente (°C)
T_{bu}	Temperatura de bulbo úmido do ar (°C)
UR	Umidade relativa do ar (%)
v_{ar}	Velocidade do ar (m/s)
X	Umidade do produto (g água/g matéria seca)
X_o	Umidade inicial da amostra (g água/g matéria seca)
X_e	Umidade de equilíbrio (g água / g matéria seca)
X_m	Umidade na monocamada molecular (g água / g matéria seca)
X_t	Umidade média no tempo (g água/g matéria seca)
Y	Adimensional de umidade
ΔE^*	Diferença total de cor
ΔH_{BET}	Entalpia de absorção da monocamada (J/g)

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo estudar a secagem do cogumelo *Agaricus blazei* com e sem pré-tratamento osmótico em um secador de leito fixo. A desidratação osmótica foi realizada em solução de 10% de sal p/p, com as seguintes condições de processo: agitação de 80 rpm, temperatura de 20°C e tempo de processo de 60 minutos. As isotermas de dessecamento do cogumelo fresco e desidratado osmoticamente foram determinadas a fim de se conhecer os valores de umidade de equilíbrio. As isotermas, obtidas através do método gravimétrico estático utilizando soluções salinas saturadas, foram conduzidas nas temperaturas de 40, 60 e 80°C. Os dados experimentais foram ajustados a diversos modelos da literatura, sendo os modelos de Henderson e Henderson modificado os que melhor se ajustaram dentre as equações sem e com o parâmetro de temperatura. O estudo da cinética de secagem foi realizado de acordo com um planejamento experimental 2² completo com 4 pontos axiais e 3 centrais, onde foi avaliada a influência da temperatura e da velocidade do ar nas respostas constante de secagem do modelo exponencial e diferença total de cor para os produtos sem pré-tratamento e pré-desidratados osmoticamente. Os experimentos de secagem foram conduzidos com temperatura variando de 40 a 80°C e velocidade do ar de 1,0 a 2,5 m/s. Os dados experimentais foram ajustados aos modelos de Fick, exponencial e Page, sendo último o que apresentou melhor ajuste, podendo ser utilizado para a predição da cinética de secagem do cogumelo. Os valores de difusividade efetiva, calculados através do modelo de Fick, ficaram na faixa de $3,84 \times 10^{-10}$ a $16,80 \times 10^{-10}$ m²/s para o cogumelo *in natura* e de $5,38 \times 10^{-10}$ a $15,08 \times 10^{-10}$ m²/s para o cogumelo desidratado osmoticamente. Os dados experimentais apresentaram também um bom ajuste ao modelo exponencial, na qual a constante de secagem da equação variou de $2,02 \times 10^{-4}$ a $8,06 \times 10^{-4}$ s⁻¹ para o cogumelo *in natura* e de $2,78 \times 10^{-4}$ a $7,25 \times 10^{-4}$ s⁻¹ para o cogumelo desidratado osmoticamente. Através da Metodologia de Superfície de Resposta, foram encontradas as seguintes condições de secagem: 70°C e 2,0 m/s para o produto sem pré-tratamento e 80°C e 2,5 m/s para o produto pré-desidratado osmoticamente. Estas condições foram escolhidas por apresentarem maior valor da constante de secagem e menor diferença total de cor. Foi feita uma caracterização dos produtos secos, para avaliar o teor do composto funcional β -glucana, a atividade de água e a capacidade de reidratação.

Palavras-chave: Cogumelo, desidratação osmótica, secagem, qualidade.

ABSTRACT

The present work had as objective to study the drying of mushroom *Agaricus blazei* with and without osmotic dehydration in a fixed bed dryer. The osmotic treatment was carried out at 20°C with 10% w/w salt solution, agitation of 80 rpm, temperature of 20°C and processing time of 60 minutes. The isotherms were obtained for three different temperatures (40, 60 and 80°C) using the static method with saturated salt solutions. Experimental data were fitted by several models (BET, GAB, Halsey, Henderson, modified Henderson, Chung-Pfost and Oswin). The best fitting was obtained when the traditional and modified Henderson models were used. For the drying experiments, carried out at various air temperature (40 to 80°C) and air velocity (1,0 to 2,5 m/s), a screening design was applied to evaluate the influence of temperature and air velocity on the responses drying constant of the exponential model and total color difference between dried and fresh samples. The experimental data of drying kinetics were fitted using diffusional model, considering no shrinkage, exponential and Page's model. The obtained effective diffusivity were $3,84 \times 10^{-10}$ to $16,80 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ for the *in nature* mushroom and of $5,38 \times 10^{-10}$ to $15,08 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ for the osmotic dehydrated mushroom. The Page's model presented better fitting in relation to the others model used. The experimental data also presented a good fitting to the exponential model, in which the drying constant varied from $2,02 \times 10^{-4}$ to $8,06 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ for the *in nature* mushroom and of $2,78 \times 10^{-4}$ to $7,25 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ for the osmotic dehydrated mushroom. Through the Response Surface Methodology, it was chosen a condition to obtain the largest values drying constant and smallest values color difference. Like this, in the optimized conditions of the process (70°C and 2,0 m/s, and 80°C and 2,5 m/s for the samples without and with osmotic treatment, respectively), it was made a characterization of the dried products, evaluating the β -glucan content, water activity and rehydration properties.

Keywords: Mushroom, osmotic dehydration, drying, quality

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O cogumelo *Agaricus blazei* é um fungo nativo do Brasil e popularmente conhecido como Cogumelo do Sol, Cogumelo de Deus ou Cogumelo Piedade. No Japão, seu corpo de frutificação é conhecido como Himematsutake ou Kawariharatake (BRAGA, 1997).

A expansão de seu cultivo tem sido verificada em várias regiões do Brasil, visando abastecer, principalmente, o mercado japonês. Outros mercados também já são abastecidos com o cogumelo, sendo encontradas referências de sua comercialização em países como Austrália, Bolívia, Alemanha, África do Sul, Tailândia, Estados Unidos, Índia e Coréia (HERRERA, 2001).

Estimativas de técnicos e produtores do Alto Tietê para a safra do ano 2000 contabilizaram que a produção alcançou cerca de 2,5 mil toneladas, volume que corresponderia a 80% da produção nacional (HERRERA, 2001).

Popularmente, o *Agaricus blazei* é utilizado na forma de infusão de chá para combater o estresse físico e psicológico, a osteoporose e a úlcera gástrica, estimular a imunidade, melhorar a qualidade de vida dos diabéticos, reduzir colesterol e aliviar problemas digestivos. Efeitos antioxidantes e anticarcinogênicos também são atribuídos a ele (MENOLI *et al.*, 2001). Seus componentes químicos têm sido amplamente estudados, incluindo esteróides, lipídios e polissacarídeos. Complexos polissacarídeo-proteicos foram reportados como substância com atividade antitumoral.

Os cogumelos possuem umidade ao redor de 90% e são altamente perecíveis. Assim, há necessidade de processar o produto, de modo a aumentar sua vida de prateleira (SUGUNA *et al.*, 1995). Dentre os possíveis processos, a secagem apresenta: facilidade na conservação do produto; estabilidade dos componentes aromáticos à temperatura ambiente por longos períodos de tempo; proteção contra degradação enzimática e oxidativa; redução do seu peso; economia de energia por não necessitar de refrigeração e a disponibilidade do produto durante qualquer época do ano.

A secagem de produtos alimentícios possui como principal objetivo a remoção de água do alimento até um determinado teor, no qual a deterioração microbiológica seja

minimizada. Porém, devido à ampla variedade de alimentos desidratados (“snacks”, chás, sucos, sopas, frutas,...) presentes atualmente no mercado e o interesse em reunir especificações de qualidade e de energia, é necessário um completo conhecimento da operação de secagem (KROKIDA *et al.*, 2003).

Desta forma, o presente trabalho visou estudar o processo de secagem do cogumelo *Agaricus blazei* (*in natura* e desidratado osmoticamente), determinando o efeito da temperatura e da velocidade do ar no processo.

1.1. Objetivos

Este trabalho teve como objetivo a obtenção do cogumelo *Agaricus blazei* com baixa umidade, utilizando o processo de secagem.

Os objetivos específicos foram:

- Obtenção de isotermas de desorção do cogumelo *in natura* e desidratado osmoticamente;
- Avaliar a influência da temperatura e da velocidade do ar na secagem do cogumelo *in natura* e desidratado osmoticamente;
- Estudar a cinética de secagem do cogumelo *in natura* e desidratado osmoticamente;
- Determinar os parâmetros ótimos de secagem visando a maior constante de secagem e menor perda de cor, através de um planejamento experimental;
- Caracterização do produto seco nas condições otimizadas de processo através da análise de reidratação, atividade de água e β -glucana, que é um composto funcional presente no *Agaricus blazei*.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Cogumelo (*Agaricus blazei*)

2.1.1. Aspectos Gerais

Na natureza existem centenas de espécies diferentes de cogumelos, sendo que algumas são venenosas, alucinógenas ou que possuem propriedades medicinais curativas. Estima-se que o primeiro cultivo intencional de cogumelos tenha ocorrido por volta do século VI d.C. As primeiras espécies cultivadas foram a *Auriculária aurícula* e a *Flammulina velutipes* (BRAGA, 1997).

O valor nutricional dos cogumelos foi por um longo tempo pouco apreciado. Entretanto, atualmente ele é reconhecido devido ao seu alto conteúdo de proteínas e carboidratos e por ser rico em aminoácidos essenciais, vitaminas (tiamina, riboflavina e niacina) e sais minerais (potássio e fósforo) (ALEXOPOULOS *et al.*, 1996).

O *Agaricus blazei* é um cogumelo comestível e conhecido popularmente no Brasil como Cogumelo do Sol, Cogumelo de Deus ou Cogumelo Piedade, ou como Himematsutake ou Kawariharatake no Japão. Ele é de ocorrência natural das regiões serranas da Mata Atlântico do sul do estado de São Paulo e cultivado em outros países, como Japão, China e Indonésia. No Brasil, o cogumelo *Agaricus blazei* é cultivado principalmente nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Paraná e Santa Catarina (BRAGA, 1997).

Sua espécie nativa foi coletada inicialmente no Brasil por um agricultor e pesquisador autônomo, Takatoshi Furumoto, que a cultivou entre as décadas de 60 e 70 no município de Piedade, sudoeste do estado de São Paulo. Em 1965, amostras de sua espécie foram enviadas do Brasil para o Iwaide Fungology Institute no Japão, sob responsabilidade do Dr. Inosuke Iwaide, a fim de estudar suas propriedades medicinais. Amostras de *Agaricus blazei* foram enviadas para a Bélgica, onde sua identificação foi realizada pelo micologista, Dr. Heineman, que o classificou da seguinte forma: Reino Fungi, divisão *Basidiomycota*, subdivisão *Holobasidiomycetidae*, Ordem *Agaricales*, Família *Agaricaceae* e Gênero *Agaricus blazei* (HERRERA, 2001).

O cogumelo *Agaricus blazei* assemelha-se ao champignon (*Agaricus bisporus*), mas possui um talo mais grosso e comprido (Figura 2.1). Ele tornou-se um ingrediente importante na culinária japonesa, ocidental e chinesa devido ao seu forte aroma, sua polpa adocicada e sua excelente textura (MIZUNO *et al.*, 1990).



Figura 2.1: Cogumelo *Agaricus blazei*.

De maneira geral, o *Agaricus blazei* é um cogumelo de clima relativamente quente e úmido e seu cultivo ocorre nas épocas de primavera e verão, quando as condições climáticas são próximas das ideais para o seu desenvolvimento, ou seja, temperaturas entre 23 e 30°C e umidade relativa do ar de 80 a 95% (BRAGA, 1997; URYU, 1998).

Não existem estatísticas oficiais sobre a produção de *Agaricus blazei* no Brasil. A região do Alto Tietê, em São Paulo, é a maior produtora nacional. Estimativas de técnicos e produtores locais para a safra do ano 2000 - entre os meses de março e junho e de setembro a novembro - davam conta que a produção alcançou cerca de 2,5 mil toneladas, volume que corresponderia a 80% da produção nacional (HERRERA, 2001).

Os valores comerciais do cogumelo, que é vendido fatiado e desidratado ou em pó, por quilograma, variam de acordo com a qualidade do produto, da região no mercado interno e de seu preço internacional. Atualmente, o principal mercado comprador deste produto é o Japão e o Brasil é o principal produtor. O preço pago ao produtor pelo tipo “A” varia de R\$ 140,00 a R\$ 160,00/kg do cogumelo desidratado (HERRERA, 2001).

2.1.2. Composição Química

O corpo de frutificação fresco do cogumelo consiste de 85-87% de água e apresenta a seguinte composição química:

Tabela 2.1: Composição química em base seca do cogumelo *Agaricus blazei*.

Componente	Constituição
Proteína (%)	40-45
Lipídios (%)	3-4
Fibra (%)	6-8
Cinza (%)	5-7
Carboidrato (%)	38-45
Vitamina B ₁ (mg)	0,3
Vitamina B ₂ (mg)	3,2
Niacina (mg)	49,2
Ergosterol (%)	0,1-0,2
Potássio (% do total das cinzas)	2,97
Fósforo (ppm)	7486
Magnésio (ppm)	528
Cálcio (ppm)	157

FONTE: MIZUNO *et al.* (1990).

2.1.3. Potencialidades Nutricionais e Imunoterapêuticas

Atualmente, o *Agaricus blazei* é consumido freqüentemente como alimento ou chá em diferentes partes do mundo, especialmente devido às suas referidas propriedades medicinais.

Popularmente, esse cogumelo é utilizado no combate ao estresse físico e psicológico, para estimular a imunidade, melhorar a qualidade de vida dos diabéticos, reduzir colesterol, combater doenças como osteoporose e úlcera gástrica e aliviar problemas digestivos. Ele também é usado como antioxidante e anticarcinogênico. Todavia, os conhecimentos científicos sobre suas propriedades biológicas ainda são insuficientes (MENOLI *et al.*, 2001).

Somente nos últimos anos, com o desenvolvimento de técnicas mais precisas de isolamento e purificação de substâncias químicas, é que tem sido possível comprovar

cientificamente a ação terapêutica de alguns cogumelos, isolando-se substâncias tanto de ação antitumoral quanto bacteriana (CHANG e BUSWELL, 1996).

2.2. Desidratação Osmótica

O processo de desidratação osmótica baseia-se na imersão de alimentos, inteiros ou em pedaços, em soluções hipertônicas de um ou mais solutos, originando dois fluxos simultâneos e em contra-corrente: uma saída de água do produto para a solução e uma migração de solutos da solução para o alimento. Há um terceiro fluxo envolvido no processo, que consiste na perda de alguns sólidos naturais, como açúcares, minerais, entre outros nutrientes. Embora seja insignificante em relação aos outros dois fluxos principais, pode ser importante para as qualidades organolépticas e nutricionais do produto (RAOULT-WACK, 1994).

Na maioria dos estudos, esse processo geralmente fornece um produto com atividade de água superior a 0,90, sendo utilizado como tratamento preliminar a processos como secagem, pasteurização, congelamento e liofilização de alimentos, visando melhorar as suas qualidades (LENART, 1996).

Dentre outras vantagens do uso da desidratação osmótica como um pré-tratamento, destacam-se a redução dos custos energéticos, importantes para o transporte, embalagem e armazenamento de alimentos com alto teor de água, e o fato do produto ser processado em fase líquida, fornecendo geralmente bons coeficientes de transferência de calor e massa (RAOULT-WACK, 1994). Além disso, a remoção da água do produto ocorre sem a sua mudança de fase (BOLIN *et al.*, 1983).

A taxa de perda de água dos produtos durante o processo osmótico sofre influência dos seguintes parâmetros: características do tecido vegetal, concentração do soluto na solução e suas propriedades físicas (como viscosidade e densidade), temperatura, tempo de imersão, proporção fruta:solução, agitação e geometria da amostra (RASTOGI *et al.*, 2002).

A temperatura é um dos parâmetros com maior influência na cinética da desidratação osmótica. A velocidade de transferência de massa aumenta com a temperatura, porém acima de um determinado valor pode acarretar a ruptura dos tecidos e das membranas celulares (YANG e LE MAGUER, 1992). Além disso, com o aumento da temperatura, há uma melhor circulação da solução osmótica devido à redução da viscosidade (CONTRERAS e SMYRL, 1981).

Para a concentração da solução osmótica sobre a transferência de massa, RAOULT-WACK (1994) verificou que quando a diferença inicial de concentração entre a solução e a fruta é de até 40%, predomina o ganho de sólidos. Quando essa diferença é superior a 40%, predomina a saída de água do produto.

A taxa de desidratação osmótica é maior quando conduzida sob agitação. Um nível adequado assegura uma diminuição dos efeitos da resistência externa à transferência de massa. Porém, deve-se fazer um controle para que não ocorram danos ao produto e considerar os custos relacionados com equipamentos e energia (PONTING *et al.*, 1966).

TORRINGA *et al.* (2001) estudaram *Agaricus bisporus* pré-tratados osmoticamente com solução de cloreto de sódio (10 e 15% de concentração, 10 a 110 minutos de tempo de processo, 20 a 45°C de temperatura e relação do material e solução osmótica de 1:5 p/p) e secos com uma combinação de ar quente e microondas. Os autores observaram que, na desidratação osmótica, houve uma redução de 30% da umidade total dos cogumelos e um ganho de sólidos de 0,5 g/g massa seca inicial. A umidade final foi praticamente independente da concentração de sal da solução para as condições de processo aplicadas. Entretanto, para temperaturas mais altas, houve uma perda de água mais rápida do produto. Com relação ao ganho de sólidos, houve uma menor incorporação nos produtos desidratados com uma solução de 10% de sal e temperatura de 20°C. Para uma maior temperatura e concentração, houve um maior ganho de sal. Quanto à qualidade final do produto, o uso de desidratação osmótica com secagem combinada de microondas e ar quente resultou em um produto com melhor capacidade de reidratação do que aqueles que não sofreram o pré-tratamento.

2.3. Isotermas de Sorção

No que diz respeito à composição de alimentos frescos, a água é o constituinte que se encontra em maior proporção. A deterioração dos alimentos está intimamente ligada à sua concentração e mobilidade. A taxa e intensidade com que ocorre a deterioração podem ser relacionadas pela atividade de água (WOLF *et al.*, 1985).

A atividade de água (a_w) é uma função termodinâmica, definida como a razão entre a fugacidade da água na mistura (f_w) e a fugacidade da água pura no estado padrão (f_0), ambas à mesma temperatura. Essa grandeza pode ser interpretada como a tendência da água líquida em escapar para o estado gasoso (GAL, 1975).

Ao se colocar um material biológico exposto a uma certa umidade relativa, ocorre um fenômeno de transferência de massa no sentido de se alcançar um equilíbrio dinâmico entre a umidade do produto e a da vizinhança. Tal fato acontece quando a pressão de vapor de água na superfície do material se iguala à do ar que o envolve (TREYBAL, 1981).

Comparação entre a atividade de água e a umidade relativa de equilíbrio apresenta uma diferença de cerca de 0,2% na temperatura ambiente, à mesma pressão (GAL, 1975). Assim, são aceitas as definições de atividade de água descritas abaixo:

$$a_w = \frac{f_w}{f_0} = \frac{P_w}{P_v} = \frac{UR}{100} \quad (2.1)$$

Onde:

UR = umidade relativa (%)

P_w = pressão parcial de água no alimento;

P_v = pressão de vapor de água na mesma temperatura.

O estudo da atividade de água pode ser feito através das isotermas de sorção. Uma isoterma é uma curva que descreve a relação de equilíbrio do teor total de umidade de um alimento e a pressão de vapor ou umidade relativa, a uma dada temperatura. Essa relação depende de diversos fatores, tais como a estrutura física da superfície do material, composição química e afinidade com a água. Assim, cada alimento apresenta características

distintas de sorção de umidade, sendo necessária a determinação experimental em cada produto (BRUNAUER *et al.*, 1938).

Isotermas de sorção são importantes na análise e montagem de vários processos alimentares, tais como preservação, secagem, embalagem e mistura. As isotermas de sorção podem ser usadas para prever as mudanças na estabilidade do alimento e para selecionar o material de embalagem e ingredientes apropriados (ZHANG *et al.*, 1996).

Uma isoterma de sorção pode ser obtida em duas direções: adsorção e dessorção. A primeira é feita quando um material mais seco é colocado em várias atmosferas, aumentando a umidade relativa e medindo o aumento de peso devido ao ganho de água. Na segunda, o material inicialmente úmido é colocado sob as mesmas condições ambientais utilizadas na adsorção, sendo medida a perda de peso, devido à saída de água (LABUZA, 1968). A isoterma de dessorção possui valores de umidade de equilíbrio superiores ao da isoterma de adsorção a uma dada atividade de água. A defasagem entre estas duas curvas, denominada histerese, pode ocorrer devido a diversos fatores, tais como condensação capilar, mudanças na estrutura física do material, impurezas na superfície e mudança de fase (RAHMAN, 1995).

LABUZA (1968) relata que a isoterma de sorção dos alimentos pode ser dividida em três regiões, em função do estado físico da água presente no alimento. A primeira região, para valores de atividade de água entre 0 e 0,35, representa a adsorção de um filme de água monomolecular. A segunda região representa a adsorção das camadas adicionais da água acima da monocamada, para níveis da atividade de água entre 0,35 e 0,60. A terceira região, que abrange valores de atividade de água acima de 0,60, representa a água condensada nos poros do material, seguida pela dissolução do material solúvel presente.

A forma das isotermas de sorção para a maioria dos alimentos é sigmoideal. Como o comportamento da sorção de água no material depende de sua composição química e do estado físico-químico de seus componentes, as isotermas dos alimentos diferem consideravelmente entre si. Produtos com alto teor de amido, como os cereais, adsorvem mais umidade a baixa atividade de água, comparando com produtos ricos em proteína, como a carne (WOLF *et al.*, 1985).

SHIVHARE *et al.* (2004) determinaram isotermas de adsorção de cogumelos secos (*Agaricus bisporus* e *Pleurotus florida*) a temperaturas variando de 30 a 70°C, usando o método estático com soluções salinas saturadas. Os dados foram ajustados a 11 modelos de sorção, sendo que o modelo de CHUNG e PFOST (1967) apresentou melhor ajuste na faixa estudada de temperatura. A espécie *Agaricus* apresentou comportamento mais higroscópico que a outra.

Isotermas de desorção de cogumelo *Morchella esculenta* foram determinadas a 5, 15, 25 e 35°C por MULET *et al.* (2002). Os autores observaram uma pequena influência da temperatura nas curvas de sorção de umidade e ajustaram os dados experimentais a oito modelos matemáticos, sendo que os modelos de GAB e Ratti resultaram num melhor ajuste.

Não são encontradas na literatura isotermas de sorção de *Agaricus blazei*, sendo necessária sua determinação, pois quando se trabalha com secagem, a umidade de equilíbrio representa o valor limite, para uma dada condição de temperatura e umidade relativa.

2.3.1. Modelos Matemáticos

Existem inúmeras equações na literatura que são utilizadas para representar as curvas experimentais de sorção de alimentos, sendo algumas descritas abaixo:

a) Modelo de BET (BRUNAUER *et al.*, 1938): Equação baseada no conceito de LANGMUIR (1918) de adsorção de água na monocamada molecular, na qual os autores modificaram para camadas polimoleculares:

$$X_e = \frac{X_m C_{BET} a_w [1 - (n+1)(a_w)^n + n(a_w)^{n+1}]}{(1 - a_w) [1 - (1 - C_{BET})a_w - C_{BET} (a_w)^{n+1}]} \quad (2.2)$$

Onde:

n = número de camadas moleculares;

X_e = umidade de equilíbrio expressa em base seca (g água/g sólidos secos);

X_m = conteúdo de umidade na monocamada molecular (g água/g sólidos secos);

C_{BET} = constante de BET, que está relacionada ao calor de sorção da camada molecular, sendo:

$$C_{BET} = K' \exp\left(\frac{\Delta H_{BET}}{RT}\right) \quad (2.3)$$

Onde:

ΔH_{BET} = entalpia de absorção da monocamada (J/g);

K' = constante da equação;

R = constante universal dos gases (J/mol.K);

T = temperatura (K).

b) Modelo de BET linearizado: É um caso especial da equação de BET, quando n tende a um valor infinito. Esse modelo restringe o ajuste a dois parâmetros, X_m e C_{BET} , e apresenta um ajuste satisfatório para atividade de água entre 0,1 e 0,5 (LABUZA, 1968).

$$X_e = \frac{X_m C_{BET} a_w}{(1 - a_w)[1 - (C_{BET} - 1)a_w]} \quad (2.4)$$

c) Modelo de GAB (Guggenheim – Anderson - De Boer): constitui uma extensão do modelo de BET, resultando numa equação com três parâmetros, permitindo um melhor ajuste dos dados de sorção dos alimentos até atividade de água de 0,9. A equação de GAB é descrita como (Van den BERG, 1984):

$$X_e = \frac{X_m C_{GAB} K_{GAB} a_w}{[(1 - K_{GAB} a_w)(1 - K_{GAB} a_w + C_{GAB} K_{GAB} a_w)]} \quad (2.5)$$

Onde:

C_{GAB} e K_{GAB} = constantes de adsorção relacionadas com as interações energéticas entre as moléculas da monocamada e as subseqüentes, em um dado sítio de sorção:

$$C_{GAB} = c \exp\left[\frac{(H_m - H_n)}{RT}\right] \quad (2.6)$$

Onde:

H_m = calor da camada molecular da água (J/mol);

H_n = calor de sorção da camada multimolecular da água (J/mol);

c = constante da equação.

$$K_{GAB} = k \exp\left[\frac{(H_L - H_n)}{RT}\right] \quad (2.7)$$

Onde:

H_L = calor de condensação do vapor de água (J/mol);

k = constante da equação.

d) Modelo de Chung e Pfof: modelo baseado na premissa que a variação na energia livre para a absorção está relacionada com o conteúdo de umidade (CHUNG e PFOF, 1967).

$$\ln(a_w) = -\frac{A}{RT} \exp(-BX_e) \quad (2.8)$$

Onde:

A e B = constantes da equação.

e) Modelo de Halsey: Essa equação considera a condensação da multicamada a uma distância relativamente grande da superfície (HALSEY, 1948):

$$a_w = \exp\left[\frac{-A}{X_e^B}\right] \quad (2.9)$$

Onde:

A e B = constantes da equação.

f) Modelo de Henderson: É uma das equações mais usadas e pode ser escrita como (HENDERSON, 1952):

$$1 - a_w = \exp(-kX_e^{n'}) \quad (2.10)$$

Onde:

k e n' = constantes da equação.

Ou sua modificação:

$$1 - a_w = \exp(-kTX_e^{n'}) \quad (2.11)$$

g) Modelo de Oswin: Esse modelo baseia-se na expansão matemática para curvas de formato sigmoidal, que é descrita como (CHINNAN e BEAUCHAT, 1985):

$$X_e = A\left(\frac{a_w}{1 - a_w}\right)^B \quad (2.12)$$

Onde:

A e B = constantes da equação.

2.4. Secagem

2.4.1. Fundamentos e Mecanismos

A secagem é provavelmente o mais antigo processo de conservação de alimentos. Durante muitos séculos, foi o único método que possibilitava o aumento de vida de prateleira de frutas e vegetais, juntamente com a salga de produtos cárneos.

O principal objetivo da desidratação de frutas e hortaliças é aumentar a sua conservação, que consiste na redução do teor de água até um determinado nível, no qual as concentrações de açúcares, ácidos, sais e outros componentes sejam suficientemente altas para reduzir a atividade de água, impedindo o crescimento de microorganismos responsáveis pela deterioração dos alimentos (TRAVAGLINI *et al.*, 1993). Além disso, a desidratação resulta numa maior facilidade de transporte, armazenamento e manuseio do produto final, seja ele para o consumo na forma direta, ou como ingrediente na elaboração de outros produtos alimentícios (TRAVAGLINI *et al.*, 2001).

De um modo geral, o processo de secagem é uma operação na qual calor é fornecido a um dado material que contém água, a fim de evaporar certa quantidade de umidade, obtendo-se um produto sólido seco. Trata-se de processo com transporte simultâneo de calor e massa, acompanhado de mudança de fase (BARBANTI *et al.*, 1994). A transferência de calor ocorre durante a evaporação da água removida da amostra, enquanto que a transferência de massa acontece durante a remoção da água da superfície desta amostra por meio, geralmente, de uma corrente de ar (DINCER e DOST, 1995).

Os mecanismos de transporte de água no interior dos sólidos durante a secagem segundo FORTES e OKOS (1980) são:

- Difusão líquida devido ao gradiente de concentração;
- Difusão de vapor devido ao gradiente de vapor, causado pelos gradientes de temperatura;
- Movimento líquido devido às forças capilares;
- Fluxo de líquido ou vapor devido à diferença na pressão total, causada pela pressão externa, encolhimento, temperaturas altas e capilaridade;

- Escoamento por efusão que existe quando o caminho livre médio das moléculas de vapor for compatível com o diâmetro dos poros;
- Movimento líquido em consequência da força gravitacional.

Os fatores que governam a velocidade dos mecanismos de transferência há pouco descritos determinam a taxa de secagem. Estes fatores são: pressão de vapor do material e do ar de secagem, temperatura e velocidade do ar, velocidade de difusão da água no material, espessura e superfície exposta para secagem (VAN ARSDEL, 1973).

As características específicas de cada produto, associadas às propriedades do ar de secagem e ao meio de transferência de calor adotado, determinam diversas condições de secagem. Entretanto, a transferência de calor e de massa que ocorrem entre o ar e o produto é fenômeno comum a qualquer condição de processo. Assim, a secagem pode ser dividida em três períodos, conforme apresentado na Figura 2.2.

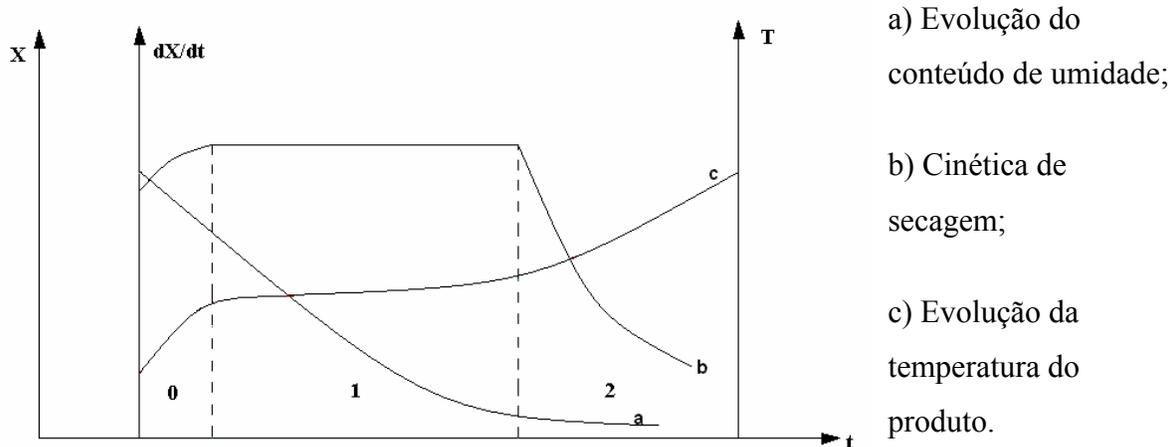


Figura 2.2: Evolução do tempo (t), do teor de água do produto (X), de sua temperatura (T) e da taxa de secagem (dX/dt), para um ar com propriedades constantes (BROD, 2003).

A curva (a) representa a diminuição do conteúdo de umidade do produto (X) em relação ao tempo (t) durante o processo de secagem. A curva (b) mostra a velocidade ou taxa de secagem do produto (dX/dt), isto é, a variação da umidade do produto por tempo,

em relação à evolução do tempo (t). A curva (c) representa a variação da temperatura da amostra (T) com o tempo (t) (BROD, 2003).

A evolução das transferências simultâneas de calor e de massa no decorrer do processo de secagem faz com que esta seja dividida em três períodos descritos a seguir:

- Período de indução (período até entrar em regime operacional): Corresponde à região 0 da Figura 2.2, na qual ocorre a adequação do produto às condições de secagem até atingir o equilíbrio (regime permanente). No início do processo, a temperatura do produto é inferior à do ar de secagem e a pressão parcial de vapor de água na superfície do produto é baixa. Conseqüentemente, a transferência de massa e a taxa de secagem também são. À medida que o ar entra em contato com o produto, temperatura deste aumenta, havendo uma elevação na pressão de vapor de água e na velocidade de secagem. Esse processo continua até a transferência de calor compensar exatamente a transferência de massa;
- Período de taxa constante: Neste período, correspondente à região 1 da Figura 2.2, tem-se que a quantidade de água disponível no interior do sólido é grande, fazendo com que o movimento de água em seu interior ocorra com velocidade suficiente para manter as condições de saturação na superfície. Dessa forma, a transferência de umidade ocorre como se fosse a evaporação de uma massa líquida, sem haver influência direta do sólido na taxa de secagem. A pressão de vapor da água na superfície é igual à pressão de vapor da água pura na temperatura do produto (temperatura de bulbo úmido). Conseqüentemente, a velocidade de secagem é constante. O término deste período ocorre quando a migração de água do interior para a superfície não consegue compensar a taxa de evaporação da água superficial;
- Período de taxa decrescente: Corresponde à região 2 da Figura 2.2, na qual a transferência de calor não é mais compensada pela transferência de massa e o movimento do líquido do interior do sólido é insuficiente para manter a taxa de evaporação na superfície deste. Como conseqüência, a velocidade de secagem começa a decrescer e há uma elevação da temperatura da superfície, tendendo à temperatura do ar de secagem. O fator limitante neste período é a migração interna de água. A secagem continua até que atinja a umidade de equilíbrio.

2.4.2. Cinética de Secagem

Dentre os processos industriais que dependem da difusão interna, encontra-se o processo de secagem. Muitos trabalhos foram publicados na literatura (EL-AOUAR *et al.*, 2003; PARK *et al.*, 2002; SIMAL *et al.*, 2005) com o intuito de se determinar às difusividades do(s) soluto(s) e /ou da água durante o processo, e as soluções para a 2ª Lei de Fick têm sido freqüentemente utilizadas para se determinar tais parâmetros (AGUERRE *et al.*, 1985).

A secagem de gêneros alimentícios sólidos é um caso complexo de transferências de calor e de massa através dos tecidos. Existem diversas teorias de secagem que tentam explicar os mecanismos de migração de umidade no interior de sólidos durante o período de taxa decrescente, como também a utilização de um grande número de modelos matemáticos para estimar as transferências simultâneas de calor e massa envolvidas (PINTO e TOBINAGA, 1996).

O cálculo da cinética de secagem está relacionado à predição do tempo de secagem, que representa um dado fundamental para o dimensionamento e a otimização de uma planta industrial envolvendo este processo. As taxas de secagem devem ser relacionadas para um determinado produto e para uma determinada operação (processo e equipamento), podendo ser estabelecidas mediante estudos de transferência de calor e de massa, além dos possíveis mecanismos de migração interna de umidade. Sendo assim, podemos avaliar, projetar e/ou otimizar o processo de secagem (BROD, 2003).

2.4.2.1. Período de secagem a taxa constante

A velocidade do processo de secagem durante o período a taxa constante depende dos coeficientes de transferência de calor e massa, da área exposta ao meio de secagem, da geometria da amostra e da diferença de temperatura e umidade entre o vapor e a superfície úmida do sólido. O mecanismo interno de migração da água não afeta a velocidade de secagem deste período (FORTES e OKOS, 1980).

Neste período, a água evapora de acordo com o fornecimento de calor para o sólido úmido e, portanto, a transferência de calor gás-sólido controla o processo. Como todo calor transferido é convertido em calor latente, pode-se representar a taxa de secagem através da equação de transferência de massa ou da equação de transferência de calor. A pressão de vapor de água na superfície do material é constante e, conseqüentemente, a temperatura do material é igual à temperatura de bulbo úmido. Desprezando-se a transferência de calor por condução e radiação, a taxa de secagem é dada por (CRANK, 1975):

$$N_A = \frac{h(T_a - T_{bu})}{H_{vap}} \quad (2.13)$$

Onde:

N_A = Fluxo mássico (kg/h.m²);

h = coeficiente de transferência de calor (kcal/h.m².°C);

T_a = temperatura ambiente (°C);

T_{bu} = temperatura de bulbo úmido do ar (°C);

H_{vap} = calor latente de vaporização da água a T_{bu} (kcal/kg).

2.4.2.2. Período de secagem a taxa decrescente

Segundo PERRY (1984), o período de taxa decrescente se inicia quando o período de taxa constante termina, e a migração interna de umidade controla o processo de secagem. Se a umidade inicial estiver abaixo da umidade crítica, toda a secagem ocorrerá no período de taxa decrescente.

Na secagem de alimentos, muitas vezes, observa-se somente o período decrescente, principalmente devido às dificuldades que a água líquida dentro do produto encontra para alcançar a superfície. Os mecanismos de transporte de água em materiais biológicos ainda não foram completamente esclarecidos, uma vez que os sistemas envolvidos como células, fibras, membranas, etc, são muito complexos (SARAVACOS e MAROULIS, 2001).

De acordo com STRUMILLO e KUDRA (1986), a secagem destes produtos caracteriza-se por apresentar um importante período decrescente, que pode ser dividido em duas fases distintas: na primeira fase, a água livre presente no produto ocupa todos os poros

do produto, sem que haja a presença de ar. O movimento de água do interior para a superfície do material ocorre por capilaridade e este mecanismo controla a velocidade de secagem. Na segunda fase, com a remoção de água da superfície de evaporação, ocorre a entrada de ar no interior do produto, que dá origem a bolsas de ar dispersas na fase líquida dentro dos poros. Assim, o escoamento capilar ocorre apenas em alguns pontos localizados.

Sabe-se que a velocidade das reações que ocorrem no interior dos alimentos é fortemente influenciada pela variação de umidade durante a desidratação. Assim, numerosos estudos têm sido realizados para representar o período de taxa decrescente de secagem. Isso pode ser feito de duas maneiras: a primeira é assumir que um determinado mecanismo de movimento prevalece no interior do material, e desenvolver modelos para representar esse mecanismo. A segunda forma é construir a curva de secagem do material e ajustar modelos já existentes à essa curva (LUCCAS, 1996).

O modelo de difusão líquida, segundo a Lei de Fick, tem apresentado bons resultados tanto para alimentos de origem vegetal como animal, provavelmente devido ao fato destes produtos não apresentarem um período de taxa constante nas curvas características de secagem (ARAUJO, 2000). Uns dos primeiros a analisar o aspecto de difusão interna de água líquida na secagem foram LEWIS (1921) e SHERWOOD (1929). A relação fundamental é apresentada na equação (2.14), que assume volume constante:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \nabla \cdot (D_{ef} \cdot \nabla X) \quad (2.14)$$

CRANK (1975) apresentou diversas soluções analíticas para a equação de difusão, considerando diferentes condições iniciais e de contorno e a difusividade constante ou variando com a umidade. Em sistemas de coordenadas retangulares (x, y e z), a equação de difusão é expressa como:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{ef} \frac{\partial X}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_{ef} \frac{\partial X}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_{ef} \frac{\partial X}{\partial z} \right) \quad (2.15)$$

Assumindo a forma geométrica de uma placa plana infinita, onde a transferência de umidade durante a secagem é predominantemente unidirecional e considerando a difusividade efetiva constante, a equação acima se reduz a:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{ef} \frac{\partial^2 X}{\partial y^2} \quad (2.16)$$

Desprezando o encolhimento do material durante a secagem e a resistência externa ao transporte de massa, e considerando que na interface a umidade seja a de equilíbrio constante, as condições de contorno e inicial para a umidade X são:

$$\begin{aligned} X &= X_o & \text{em } t = 0 & \quad 0 < y < L \\ X &= X_e & \text{em } y = L & \quad t > 0 \\ \frac{\partial X}{\partial y} &= 0 & \text{em } y = 0 & \quad t > 0 \end{aligned}$$

Assim, a média da solução analítica da equação (2.16) é (CRANK, 1975):

$$\frac{X_t - X_e}{X_o - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{(2i+1)^2} \exp\left[-(2i+1)^2 \frac{\pi^2 D_{ef}}{4L^2} t\right] \quad (2.17)$$

Onde:

X_t = umidade média no tempo (g água/g matéria seca);

X_e = umidade de equilíbrio (g água/g matéria seca);

X_o = umidade inicial da amostra (g água/g matéria seca);

$\frac{X_t - X_e}{X_o - X_e}$ = adimensional de umidade;

D_{ef} = difusividade efetiva (m²/s);

t = tempo (s);

L = meia espessura (m).

Modelos empíricos também têm sido utilizados para descrever a cinética de secagem de vários produtos. LEWIS (1921) apresentou um modelo exponencial que assume que a taxa de secagem é proporcional ao teor de água livre no material:

$$\frac{dX}{dt} = -K(X_t - X_e) \quad (2.18)$$

Onde:

K = constante de secagem (s^{-1}).

Essa equação é a expressão da lei de resfriamento de Newton, se for levado em conta que toda a resistência ao transporte de umidade encontra-se na camada limite, desconsiderando-se os efeitos no interior do material (PINTO e TOBINAGA, 1996). A equação (2.19) é normalmente utilizada na forma integrada e é conhecida como modelo exponencial:

$$\frac{X_t - X_e}{X_o - X_e} = \exp(-Kt) \quad (2.19)$$

PAGE (1949) propôs a inclusão de um expoente b no termo do tempo, para ampliar a validade do modelo de Lewis:

$$\frac{X_t - X_e}{X_o - X_e} = \exp(-Kt^b) \quad (2.20)$$

2.4.3. Difusividade Efetiva

A difusividade efetiva de umidade é uma importante propriedade de transporte, sendo útil na análise das operações de processamento de produtos alimentícios, como a secagem. Porém, devido à complexa composição e a estrutura física dos alimentos, não são conseguidas estimativas precisas desta propriedade, sendo assim necessárias medidas experimentais (SARAVACOS e ROUZEOUS, 1984). Pode-se entender a difusividade como a facilidade com que a água é removida do material (BROD, 2003).

A temperatura e a umidade são as variáveis mais relevantes em comparação a outras que afetam a difusividade efetiva, mas sem deixar de mencionar algumas como: constituição química e física do produto, forma e tamanho, as quais podem adequar-se ao modelo matemático que descreve o processo de difusão (BRENNAN e WANG, 1980).

2.4.4. Secagem de Cogumelos

PIJUAN *et al.* (1997) determinaram as curvas de secagem de champignon (*Agaricus bisporus*) em conserva a temperatura de 50, 60 e 70°C e velocidades do ar de 0,5 e 1,0 m/s, obtendo seis curvas de secagem. As curvas de cinética de secagem foram ajustadas ao modelo de Fick para placa plana, determinando a difusividade efetiva que variou de $1,464 \times 10^{-10}$ a $3,101 \times 10^{-10}$ m/s. Os autores observaram a influência positiva da temperatura e da velocidade do ar na cinética de secagem, isto é, o aumento dessas variáveis acarreta no aumento da difusividade efetiva.

Os efeitos das condições do ar (temperatura, umidade e velocidade) e do tamanho da amostra na cinética de secagem de cogumelos e de diversos vegetais foram analisados por KROKIDA *et al.* (2003). Os valores das variáveis de processo foram: 65-85°C de temperatura, 20-40% de umidade relativa e 1,5-2,5 m/s de velocidade. Os autores observaram que a temperatura de secagem foi o que mais influenciou na taxa de secagem de todos os produtos analisados, enquanto que os efeitos da velocidade e da umidade do ar tiveram menor influência.

Através do estudo de secagem de cogumelo Maitake (*Grifola frondosa*), com temperaturas variando de 35 a 55°C e umidade relativa do ar de 30 a 70%, CAO *et al.* (2003) propuseram um modelo simplificado de secagem para placa. Este modelo consiste de três parâmetros: coeficiente de transferência de massa na superfície, conteúdo de umidade de equilíbrio dinâmico e constante de secagem. Os resultados obtidos pelos autores indicaram que o modelo proposto, utilizado para predizer o conteúdo de umidade e a taxa de secagem, ajustou-se bem aos resultados experimentais nas diferentes condições de processo.

SUGUNA *et al.* (1995) estudaram o processo de secagem de *Pleurotus citrinopileatus* em secadores de leito fixo e de leito fluidizado utilizando temperaturas de 40, 50 e 60°C. Os autores observaram que a secagem no leito fluidizado apresentou melhores resultados na coloração e na capacidade de reidratação do produto seco.

Secagem de duas espécies de cogumelos (*Agaricus bisporus* e *Pleurotus florida*) a temperaturas de 45 a 65°C foi realizada por ARORA *et al.* (2003). Aos dados experimentais

foi ajustado o modelo de Page, que descreveu bem a cinética de secagem. Os autores observaram que a constante de secagem K aumentou significativamente ($p \leq 0,05$) com a temperatura do ar, sendo os valores de K para *Agaricus bisporus* menores que para *Pleurotus florida*.

2.5. Planejamento Experimental

Através de planejamentos experimentais baseados em princípios estatísticos, pode-se extrair do sistema em estudo o máximo de informação útil, fazendo um mínimo de experimentos. A falta de planejamento experimental muitas vezes é a causa do insucesso de uma investigação, sendo raros os pesquisadores que pensam em estatística antes de realizar seus experimentos (BARROS NETO *et al.*, 2001).

No planejamento de qualquer experimento, a primeira coisa a fazer é decidir quais são os fatores e as respostas de interesse. Os fatores, em geral, são as variáveis que o pesquisador tem condições de controlar e podem ser qualitativas ou quantitativas. As respostas são as variáveis de saída do sistema, nas quais se tem interesse e que serão – ou não – afetadas por modificações provocadas nos fatores. Também podem ser qualitativas ou quantitativas. Dependendo do problema podem-se ter várias respostas de interesse, que talvez precisem ser consideradas simultaneamente (BARROS NETO *et al.*, 2001).

A essência de um bom planejamento consiste em projetar um experimento de forma que ele seja capaz de fornecer exatamente o tipo de informação que procuramos. Para isso, é necessário definir claramente que objetivo se pretende alcançar com os experimentos, porque isso determinará que tipo de planejamento experimental deve ser utilizado. Quando se deseja fazer uma triagem inicial dos fatores, é vantajoso começar pela execução de planejamentos fatoriais fracionários. Esses planejamentos são extremamente econômicos e podem ser usados para estudar 20 ou mais fatores experimentais ao mesmo tempo, enquanto os planejamentos fatoriais completos avaliam quantitativamente a influência das variáveis sobre a resposta de interesse, bem como suas possíveis interações. Quando o objetivo principal do pesquisador é otimizar o seu sistema, isto é, maximizar ou minimizar

algum tipo de resposta, utiliza-se a metodologia de superfície de resposta (RSM) (BARROS NETO *et al.*, 2001).

A metodologia de superfície de resposta, do inglês *Response Surface Methodology* (RSM), é uma técnica de análise de processos baseada no emprego de planejamentos fatoriais, cujo principal atrativo é a redução do número de ensaios necessários para se avaliar a influência de determinadas variáveis na resposta em estudo, além de fornecer resultados melhores do que os obtidos pela análise de uma variável tradicional, que além de necessitar uma maior quantidade de experimentos, não fornece as interações que podem existir entre as variáveis (BOX *et al.*, 1978).

2.6. Parâmetros de Qualidade

2.6.1. Cor

Na indústria alimentícia, a cor é um importante parâmetro de qualidade, uma vez que pode ser utilizada como índice de transformações naturais dos alimentos frescos e exercer forte influência na aceitação do produto pelo consumidor.

A cor dos alimentos deve-se à presença de pigmentos naturais. Estes são instáveis, participam de diversas reações e, em função disto, a alteração de cor é um indicador de reações químicas e bioquímicas possíveis de ocorrer no produto durante o processamento e estocagem (RIBEIRO e SERAVALLI, 2004).

No caso de cogumelos desidratados, dois tipos de reações por escurecimento podem ocorrer durante o processamento: enzimático e não-enzimático.

O escurecimento enzimático é responsável pelo escurecimento de cogumelos depois de cortados e durante a fase inicial do processo, onde as oxidações de compostos fenólicos se devem à ação das polifenoloxidasas, as quais, com auxílio do oxigênio, os transformam em quinonas. Posteriormente, as quinonas participam das reações de polimerização para dar origem às melanoidinas, caracterizadas pelo aparecimento de uma coloração marrom escura na superfície do cogumelo (MENEZES *et al.*, 1980).

O pH ótimo das polifenoloxidasas varia com o tipo de enzima e com o substrato numa ampla faixa entre pH 4,0 e 7,0. No caso dos cogumelos, o pH ótimo encontra-se entre 6,0 – 7,0. Com relação à temperatura ótima de atividade, esta varia entre 30 a 50°C, sendo que a partir desta temperatura, a enzima sofre desnaturação (VÁMOS-VIGYÁZÓ, 1981). O conteúdo de umidade possui também um efeito catalítico na reação de desnaturação, através da quebra de pontes de hidrogênio entre os grupos protéicos. Quanto menor o conteúdo de umidade, maior a termoestabilidade da enzima (YAPAR *et al.*, 1990).

Basicamente, o cogumelo *Agaricus blazei* possui 40% de proteína e 38% de carboidrato, em base seca. Assim, os cogumelos são susceptíveis ao escurecimento devido à reação de Maillard (reação não-enzimática), que ocorre entre açúcares redutores e aminoácidos, que dão origem a compostos marrons. A velocidade de reação é lenta a baixas temperaturas, sendo que ela praticamente duplica a cada aumento de 10°C entre 40 e 70°C. Atividade de água também influencia na velocidade de reação. Para atividade de água superior a 0,9, há diminuição da velocidade de escurecimento, sendo que esta tende a zero, quando a_w está abaixo de 0,2-0,25. Para valores de atividade de água entre 0,3 e 0,9, ocorre reação (BOBBIO e BOBBIO, 1984).

2.6.1.1. Cor Instrumental

Segundo FRANCIS e CLYDESDALE (1975), a cor pode ser definida como a sensação experimentada por um indivíduo, quando a energia sob a forma de radiação dentro do espectro visível atinge a retina do olho. A faixa de comprimento de onda visível a olho nu compreende uma pequena parte do espectro eletromagnético inteiro, que vai aproximadamente de 390 a 750nm.

A cor de um alimento, ou de qualquer outro produto, depende das características espectrais da luz que o ilumina, e conseqüentemente, a fonte de luz ou iluminante deve ser padronizada para as medidas de cor (FRANCIS e CLYDESDALE, 1975).

Assim, com o objetivo de normalizar a medição da cor, em 1931, a “Comission Internacionale de l’Eclairage” (CIE) adotou os seguintes métodos para medição e

especificação de cor: uso de fontes de luz-padrão definidas pela CIE; condições exatas para a observação ou medição da cor; uso de unidades matemáticas apropriadas para expressar a cor e definição do “observador-padrão” (JIMÉNEZ e GUTIÉRREZ, 2001).

Em 1976, a CIE definiu um espaço físico de cor denominado CIE $L^*a^*b^*$ ou CIELAB. Neste sistema, o espaço foi definido dentro de coordenadas retangulares L^* , a^* e b^* , onde o L^* define a luminosidade e os parâmetros a^* e b^* são responsáveis pela cromaticidade. Os valores delta (ΔL^* , Δa^* e Δb^*) indicam o quanto a amostra diferiu do padrão para os parâmetros L^* , a^* e b^* , e são frequentemente utilizados no controle de qualidade e ajustes de formulação, além de serem utilizados para o cálculo da diferença total de cor (ΔE^*) (HUNTERLAB, 1996).

Diversos trabalhos encontrados na literatura utilizam o sistema CIELAB para descrever a influência da secagem e da desidratação osmótica na cor dos alimentos. MANDALA *et al.* (2005) estudaram a influência do pré-tratamento osmótico com solução de sacarose e glicose na secagem de maçãs e na qualidade final do produto. Para avaliar a cor, os autores obtiveram os parâmetros L^* , a^* e b^* e calcularam a diferença total de cor ΔE^* e concluíram que esta foi maior nas amostras secas sem pré-tratamento.

SEVERINI *et al.* (2005) analisaram a cinética de cor, utilizando os parâmetros L^* , a^* e b^* , durante a secagem de batatas em secadores convectivos e em microondas. Os autores verificaram também a influência do branqueamento na cor dos produtos. Como resultado, as batatas sem pré-tratamento e secas em microondas escureceram mais rápido do que as secas no secador convectivo. Com relação às amostras branqueadas, não foram verificadas grandes alterações de cor durante a secagem devido à inativação da polifenoloxidase no branqueamento.

Diferentes concentrações de NaCl foram utilizadas por CHUA *et al.* (2004) na desidratação osmótica de batata. Os autores estudaram a cinética de perda de cor (ΔE^*) para avaliar o escurecimento enzimático do produto durante o processamento. Como resultado, houve uma maior perda de cor quando as amostras foram desidratadas com soluções a 15% até 200 minutos de processo. Após esse período de tempo, a solução com

25% sal apresentou maior diferença de cor. A concentração de 35% sal foi a que teve menor variação de cor no final da desidratação.

O efeito do método de secagem na cor de maçã, banana, batata e cenoura foi estudado por KROKIDA *et al.* (2001). Os diferentes métodos utilizados foram: convectivo, a vácuo, microondas, liofilização e desidratação osmótica e os parâmetros de cor foram o L^* , a^* e b^* . Os autores obtiveram a cinética de cor e observaram diferença significativa entre os métodos utilizados para os três parâmetros estudados. Os produtos que apresentaram maior escurecimento, ocasionado por reações enzimáticas e não enzimáticas, foram aqueles secos em secadores convectivo, a vácuo e no microondas, com uma diminuição do parâmetro L^* e um aumento dos parâmetros a^* e b^* . Por outro lado, a liofilização e a desidratação osmótica, preservaram a cor original dos produtos.

Trabalhando com berinjela, ERTEKIN *et al.* (2004) verificaram o efeito das variáveis temperatura e velocidade do ar na secagem sobre a luminosidade e o croma dos produtos finais. Como resultados, os autores observaram que aumentando a temperatura, a luminosidade diminuía e o croma aumentava. Com relação ao efeito da velocidade do ar na cor da berinjela seca, verificou-se o inverso: um aumento desta variável acarretou num aumento do parâmetro L^* e diminuição do parâmetro C^* .

POTT *et al.* (2005) realizaram um planejamento experimental para verificar a influência das variáveis: temperatura, velocidade do ar, espessura e tempo na secagem de fatia de mangas sobre o parâmetro a^* . Como resultado, as variáveis que tiveram maior efeito na cor da fruta foram a temperatura e o tempo de secagem. Os autores observaram também que as mangas secas a temperatura inferior a 60°C e com atividade de água intermediária (0,7-0,9) apresentaram escurecimento enzimático. Entretanto, para secagem realizada a 80°C, houve uma menor degradação da cor, devido à inativação da polifenoloxidase.

2.6.2. β -Glucana

Muitos pesquisadores isolaram e purificaram polissacarídeos do *Agaricus blazei* para verificarem suas propriedades antitumorais. MIZUNO *et al.* (1990) extraíram frações de polissacarídeos e observaram se possuíam essa atividade, que foi caracterizada pela inibição do crescimento de células cancerosas (Sarcoma 180) implantadas em camundongos. Através de análises químicas, os autores concluíram que a maior fração ativa encontrada era um complexo gluco-proteico de ligação β -(1 \rightarrow 6)-D-glucana, denominado FIII-2-b e constituído por 50,2% de carboidratos e 43,3% de proteína.

Embora esses experimentos tenham mostrado efeito antitumoral em cobaias, alguns pesquisadores achavam importante explicar o efeito desses polissacarídeos no sistema imunológico de camundongos normais ao invés daqueles com tumor implantado, de modo a verificar sua ação preventiva. MIZUNO *et al.* (1998), para verificar esse efeito, ministraram soluções com determinadas concentrações de polissacarídeos extraídos do cogumelo em camundongos normais. Como resultado, essas substâncias mostraram atividade imunomoduladora, com um aumento do número de linfócitos T, citocinas e células “natural killer”, que são células do mecanismo de defesa do organismo.

Considerando que o consumo popular é através de chá, que contêm baixos teores de componentes ativos, e que os resultados obtidos pela maioria dos pesquisadores eram com extratos purificados, KANENO *et al.* (2004) investigaram os efeitos dos extratos do *Agaricus blazei* (preparados a partir de n-hexano, diclorometano e metanol) na atividade das células “natural killer” NK em tumores de Ehrlich implantados em camundongos. O tratamento com os extratos, após 10 dias, restaurou a atividade das células NK, sendo o extrato hexânico o que apresentou melhores resultados.

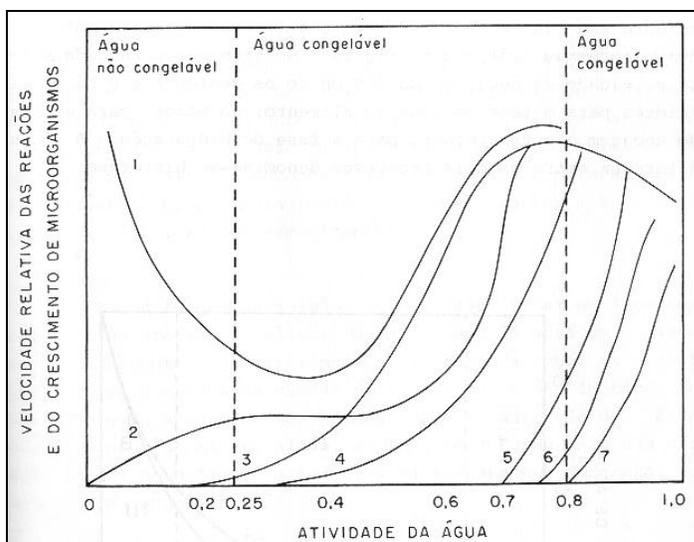
2.6.3. Atividade de Água

A água é o mais importante componente presente nos alimentos, sendo o agente controlador da deterioração dos mesmos. Entretanto, diversos alimentos com o mesmo teor de água diferem significativamente em perecibilidade. Isto é atribuído ao fato de como as

moléculas de água estão associadas aos substratos: água fortemente ligada aos constituintes sólidos do alimento não está disponível para o crescimento de microrganismos e reações químicas (FENNEMA, 1996).

A atividade de água é uma das propriedades mais importantes para o processamento, conservação e armazenamento de alimentos. Ela quantifica o grau de ligação da água contida no produto e conseqüentemente sua disponibilidade para agir como solvente e participar das transformações químicas, bioquímicas e microbiológicas (LABUZA, 1995).

O valor máximo de atividade de água é 1, na água pura. Nos alimentos ricos em água ($a_w > 0,90$), podem-se formar soluções diluídas com componentes do alimento em que os microrganismos podem crescer bem. Nessa diluição, as reações químicas e enzimáticas podem ter sua velocidade diminuída devido à baixa concentração de reagentes, mas sofrem facilmente contaminação microbiológica. Quando a atividade de água baixar para 0,40-0,80, haverá possibilidade de reações químicas e enzimáticas rápidas pelo aumento das concentrações dos reagentes, enquanto que para atividade de água próxima de 0,60, tem-se um pequeno ou nenhum crescimento microbiano. Em regiões de atividade de água inferior a 0,30, a água está fortemente ligada ao alimento, não sendo utilizada pelos microrganismos e para dissolver componentes do alimento, o que leva as reações a terem velocidade tendendo a zero, com exceção da oxidação de lipídios, que é consideravelmente mais rápida. As relações entre atividade de água e a preservação dos alimentos estão resumidas na Figura 2.3 (BOBBIO e BOBBIO, 1984).



1. Oxidação de lipídios
2. Isoterma de adsorção de umidade
3. Escurecimento não-enzimático
4. Atividade enzimática
5. Crescimento de fungos
6. Crescimento de leveduras
7. Crescimento de bactérias

Figura 2.3: Velocidade relativa de reações e de crescimento de microrganismos em função da atividade de água (BOBBIO e BOBBIO, 1984).

2.6.4. Capacidade de Reidratação

As mudanças na textura, densidade e porosidade, que ocorrem durante a secagem de produtos alimentícios, afetam a transferência de massa e a qualidade, resultando em produtos duros e com reidratação lenta ou incompleta (BARBOSA-CÁNOVAS e VEGA-MERCADO, 1996).

A reidratação é um processo complexo, na qual o produto seco entra em contato com água ou vapor e tem como objetivo restaurar as propriedades do produto fresco. Na fase inicial da reidratação, a água entra rapidamente e então a taxa decresce gradualmente até a umidade no interior do alimento alcançar o equilíbrio, quando a água preenche todos os poros e o produto ganha uma determinada porcentagem da sua umidade inicial (LEE *et al.*, 2006).

McMINN *et al.* (1997) realizaram secagem de batatas com temperaturas variando de 30 a 60°C e verificaram a cinética de reidratação do alimento. Os autores observaram que o comportamento de reidratação das batatas era dependente da temperatura, ou seja, um aumento da temperatura acarretou num aumento da capacidade de reidratação do produto.

Esse resultado pode ser explicado ao fato que para as menores temperaturas, maiores foram os tempos de processo, acarretando num aumento da ruptura celular.

Estudando as propriedades de reidratação de cogumelos secos, TORRINGA *et al.* (2001) observaram que os produtos pré-desidratados osmoticamente com solução de NaCl e posteriormente secos em microondas apresentaram melhor reidratação que os sem pré-tratamento osmótico e os secos em ar quente.

Dois modelos da literatura foram utilizados por BILBAO-SÁINZ *et al.* (2005) para explicar os dados observados durante a reidratação de maçãs secas e para predizer o comportamento dependente das diferentes condições de secagem convectiva combinada com microondas. Os autores observaram que o modelo de Peleg descreveu bem a cinética e que para maiores potências do microondas, melhor foi a capacidade de reidratação do produto seco

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material

3.1.1. Matéria-Prima

Para a realização desse trabalho, foram utilizados cogumelos da espécie *Agaricus blazei* cultivados em estufas, fornecidos pela empresa GAPI (Grupo Agaricus de Piedade), localizada na cidade de Pilar do Sul – SP.

A geometria do cogumelo (5 cm de comprimento por 3 cm de diâmetro, aproximadamente) foi adotada como parâmetro de padronização da amostra. Foram utilizados cogumelos que exibiram coloração amarela clara uniforme e textura firme (Figura 3.1a). Os produtos foram mantidos refrigerados a 10°C. Para as etapas de desidratação osmótica e secagem convectiva, os cogumelos frescos foram cortados longitudinalmente em fatias de 0,5 cm de espessura (Figura 3.1b). Não foram utilizados cogumelos que apresentaram injúrias físicas e manchas ou amostras com mais de três dias após a colheita.

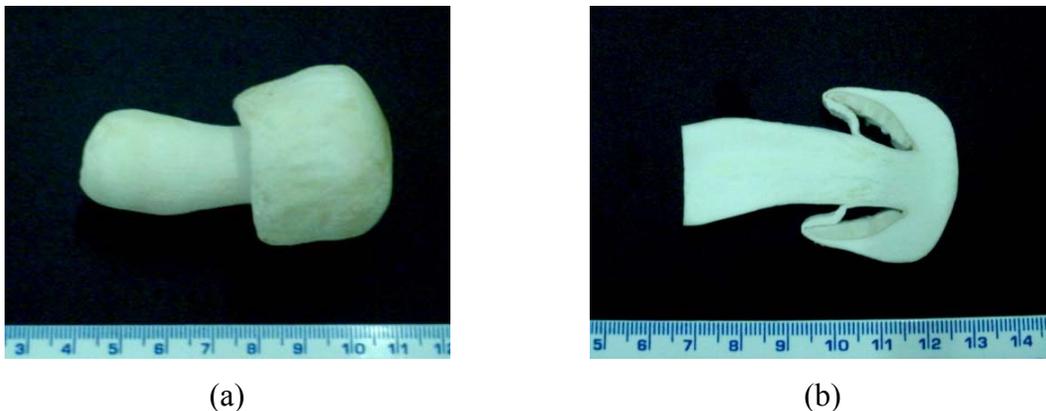


Figura 3.1: (a) Cogumelo *Agaricus blazei* utilizado nos experimentos e (b) Cogumelo fresco cortado em fatias.

3.2. Métodos

Inicialmente, foram realizadas as análises físico-químicas da matéria-prima, conforme está descrito no item 3.3. As etapas seguintes consistiram na desidratação

osmótica, na obtenção de isoterma de desorção do cogumelo *in natura* e desidratado osmoticamente, no estudo da cinética de secagem, no planejamento experimental, na otimização do processo através da metodologia de resposta e na análise de qualidade do produto final.

A Figura 3.2 apresenta as diferentes etapas deste trabalho para a obtenção de cogumelo seco.

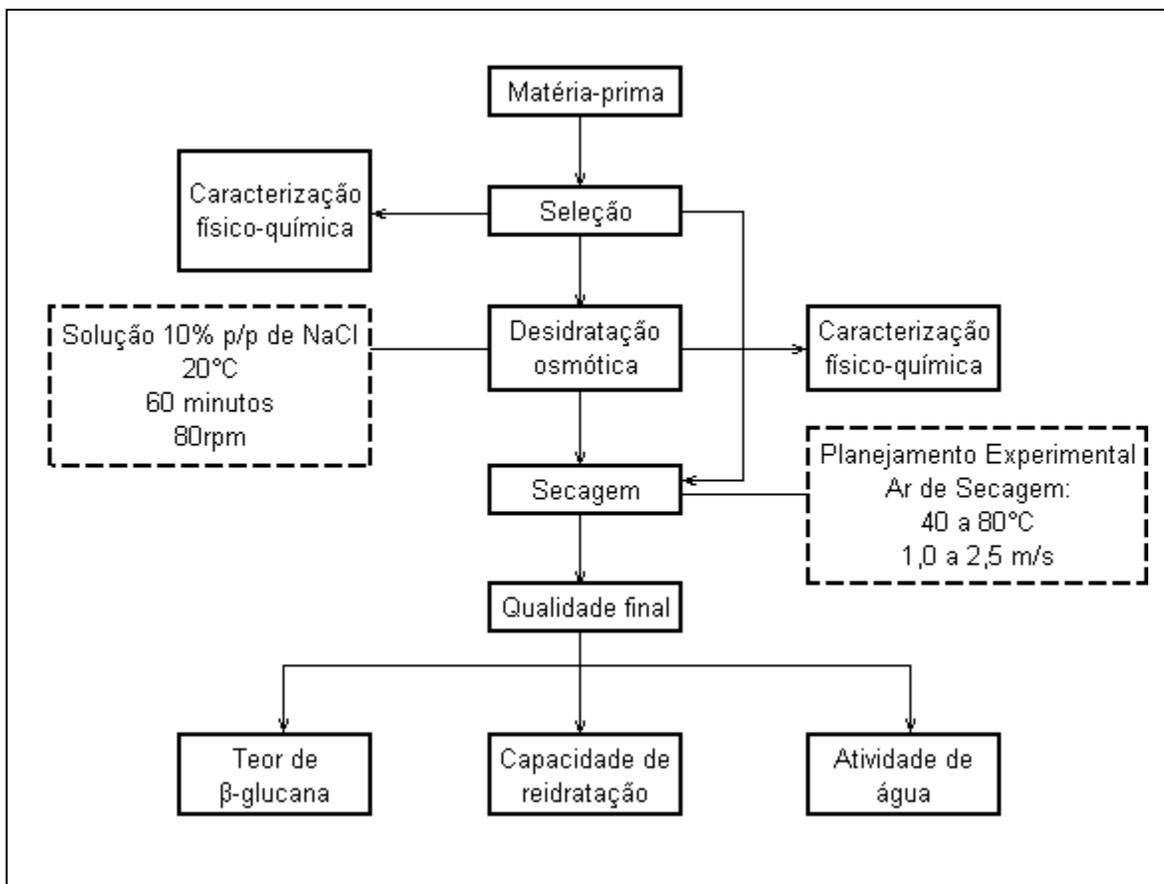


Figura 3.2: Fluxograma de processamento de cogumelo *Agaricus blazei* seco.

3.2.1. Análises Físico-Químicas

As análises físico-químicas foram realizadas de acordo com o procedimento descrito a seguir, feitas em triplicata.

3.2.1.1. Umidade

As amostras foram pesadas entre 3 e 5g e colocadas em cadinhos de alumínio. O conjunto foi levado para uma estufa com circulação forçada a 105°C durante 24 horas. Após a secagem, os cadinhos foram resfriados a temperatura ambiente em dessecador e pesados (AOAC, 1997).

3.2.1.2. Cinzas

A determinação de cinzas foi feita em mufla. As amostras foram pesadas entre 3 e 5g e colocadas em cadinhos de porcelana previamente incinerados, esfriados e tarados. O conjunto foi levado para a estufa com circulação a vácuo por 10 horas a 105°C. Amostras com alto teor de umidade devem sofrer secagem antes da incineração. Posteriormente, as amostras foram transferidas para mufla, onde permaneceram por 8 horas a 550°C. Após a incineração, os cadinhos foram esfriados em dessecadores e pesados quando atingiram temperatura ambiente (AOAC, 1997).

3.2.1.3. Proteínas

A determinação de proteína realizou-se de acordo com o método de Kjeldahl, no qual se obtém o teor de nitrogênio total de origem orgânica (AOAC, 1997). Para calcular a porcentagem de proteína da amostra a partir da quantidade de nitrogênio orgânico existente, é preciso considerar que em média as proteínas possuem 16% de nitrogênio e que são totalmente digeridas, fazendo com que o fator de conversão de porcentagem de nitrogênio em porcentagem de proteína seja 6,25. Este fator despreza outros compostos nitrogenados presentes no alimento que são, na sua maioria, insignificantes.

3.2.1.4. Lipídeos

A determinação de lipídeos foi realizada de acordo com o método de BLIGH e DYER (1959), que se baseia na extração de gordura a frio, utilizando uma mistura de três solventes, clorofórmio, metanol e água (1:2:0,8). Para amostras com alto teor de umidade, deve considerar a quantidade de água presente na amostra, contabilizando-a na proporção entre os solventes (AOAC, 1997).

3.2.1.5. Fibras

A determinação de fibras alimentares no cogumelo foi feita através da digestão da amostra com solução de ácido sulfúrico e de hidróxido de sódio. Em seguida, as fibras alimentares foram filtradas, secas em estufa de circulação e levadas à mufla, para determinação do teor de cinzas da fibra bruta (AOAC, 1997).

3.2.1.6. Carboidratos

O conteúdo de carboidratos nos cogumelos foi determinado por diferença.

3.2.1.7. Atividade de água

Para essa determinação, foi utilizado um aparelho analisador de atividade de água (Decagon, série 3TE) a 25°C.

3.2.1.8. NaCl

O conteúdo de NaCl presente nas amostras desidratadas osmoticamente foi determinado de acordo com o Método de Mohr (AOAC, 1997), que consiste na titulação com nitrato de prata, utilizando-se cromato de potássio como indicador.

3.2.2. Desidratação Osmótica

A matéria-prima, devidamente cortada e limpa, foi colocada em béqueres com solução de 10% de sal previamente aquecida à temperatura de processo. Uma relação amostra/solução de 1:10 foi utilizada para minimizar a diluição da solução osmótica ao longo do processo.

Os béqueres foram colocados em uma incubadora da marca TECNAL (modelo TE-421) com agitação de 80 rpm para garantir a homogeneização da solução ao redor da amostra, e com uma temperatura controlada de 20°C. Após 60 minutos de processo, as amostras foram retiradas da solução, enxaguadas com água destilada para retirar o excesso de solução osmótica e colocadas em papel absorvente.

As condições de processo utilizadas foram baseadas nos resultados obtidos por TORRINGA *et al.* (2001) na desidratação osmótica de *Agaricus bisporus*, que apresentara uma maior perda de água e menor ganho de sólidos.

3.2.3. Isotermas de Dessorção

As umidades de equilíbrio de cogumelo *in natura* e desidratado osmoticamente foram determinadas por método gravimétrico estático, utilizando-se soluções salinas saturadas em água destilada, para uma determinada faixa de umidade relativa, de acordo com a Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Valores de umidade relativa relacionados às soluções salinas saturadas nas temperaturas de 40, 60 e 80°C.

Sal	UR ou a_w		
	40°C	60°C	80°C
LiCl	11,21	10,95	0,1051
KF	22,68	20,77	0,2285
MgCl ₂	31,60	29,26	0,2605
NaBr	53,17	49,26	0,5143
KI	66,09	63,11	0,6097
NaNO ₃	71,00	67,35	0,6522
NaCl	74,68	74,50	0,7629
KCl	82,32	80,25	0,7890

FONTE: GREENSPAN (1977).

As amostras em triplicata foram colocadas em cadinhos de alumínio e, em seguida, armazenadas em potes herméticos (Figura 3.3) com as respectivas soluções salinas para cada valor de umidade relativa desejada. Os potes herméticos foram colocados nas estufas de circulação forçada da marca FANEM, modelo 320-SE, nas temperaturas de 40, 60 e 80°C. Essas temperaturas foram regularmente verificadas com o auxílio de um termopar colocado no interior de cada estufa.



Figura 3.3: Detalhes do pote com fechamento hermético.

As amostras com umidade relativa previamente determinada foram pesadas em balança analítica (marca BOSCH, modelo SAE 200) em intervalos regulares de tempo até o ponto de equilíbrio.

Alcançado o equilíbrio, as amostras foram levadas para estufa a vácuo da marca SUPRILAB, modelo EST920, a uma temperatura de 70°C durante 48h para se obter sua massa seca.

As umidades de equilíbrio foram calculadas de acordo com a seguinte equação:

$$X_e = \frac{m_e - m_s}{m_s} \quad (3.1)$$

Onde:

X_e = umidade de equilíbrio (g água/g massa seca);

m_e = massa da amostra quando atingido o equilíbrio (g);

m_s = massa seca da amostra (g).

Para o ajuste das isotermas do cogumelo, foram testados diversos modelos encontrados na literatura. Os parâmetros destas equações foram determinados através de uma análise de regressão não linear dos dados experimentais, realizada pelo Software Statistica 5.0, usando como método de ajuste os modelos Quasi-Newton e Simplex. Os critérios de escolha dos melhores ajustes dos modelos aos dados experimentais foram:

coeficiente de determinação (R^2) entre as respostas observadas e os valores preditos pelo modelo (BARROS NETO *et al.*, 2001) e o módulo do desvio relativo médio (E), cuja definição encontra-se descrita pela equação (3.2) (LOMAURO *et al.*, 1985):

$$E = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|V_P - V_0|}{V_0} \quad (3.2)$$

Onde:

E = desvio relativo médio (%);

V_P = valores preditos pelo modelo;

V_0 = valores observados experimentalmente;

N = número de pontos experimentais.

3.2.4. Secagem Convectiva

Para os experimentos de secagem dos cogumelos *in natura* e pré-tratados osmoticamente, utilizou-se um secador de leito fixo. As corridas experimentais foram conduzidas em temperaturas variando de 40 a 80°C e velocidade do ar de 1,0 a 2,5 m/s.

O equipamento utilizado era formado por uma cabine vertical de madeira com três portas independentes, onde eram colocadas as bandejas feitas de tela de aço inoxidável com malha quadrada de 1,2 mm de abertura. O sistema de operação do secador consistiu na passagem de ar verticalmente através de bandejas, com recirculação, constituindo um circuito fechado, sendo o aquecimento do ar feito através de três resistências (duas de 1600W e uma de 800W), as quais podem ser acionadas independentemente, controladas por um termostato digital. Um esquema do secador é apresentado na Figura 3.4.

Para a linha de transporte de ar, foram utilizados tubos de aço galvanizado com duas polegadas de diâmetro, envolvidos por uma camada de 3,0 cm de espessura de lã de vidro e alumínio corrugado, como revestimentos térmicos. O sistema possui uma válvula gaveta com uma polegada e meia, corpo de bronze, para o controle da vazão do sistema.

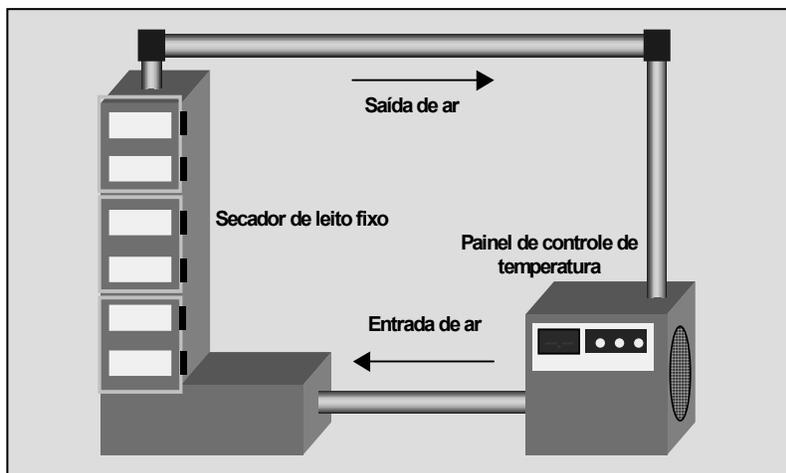


Figura 3.4: Esquema do secador vertical de leito fixo utilizado nos experimentos.

A velocidade do ar de secagem foi medida no interior da cabine onde estão localizadas as bandejas, através de um anemômetro digital (AIRFLOW, modelo LCS 6000) e a temperatura de bulbo seco e a umidade do ar através de termo higrômetro (TEXTO, modelo 635).

As amostras foram colocadas na segunda bandeja do secador (de baixo para cima), sendo a primeira bandeja reservada à sílica-gel, a fim de se manter a umidade constante e mais baixa possível no interior do secador. A pesagem das amostras foi realizada em uma balança semi-analítica. Os intervalos de tempo entre as pesagens foram de 15 minutos durante a primeira hora de processo, 30 minutos para as duas horas seguintes e 1 hora, até que as variações do peso das amostras fossem insignificantes.

A análise do processo de secagem, os ajustes dos dados experimentais e o cálculo da difusividade efetiva foram realizados através da Lei de Fick para geometria de placa plana infinita (Equação 2.17). As curvas experimentais foram ajustadas também pelo modelo exponencial (Equação 2.19), através do qual foi determinada a constante de secagem. Também foi utilizado o modelo de Page (Equação 2.20) para descrever a cinética de secagem. Os parâmetros destes modelos foram determinados através de uma análise de regressão não linear dos dados experimentais, realizada pelo Software Statistica 5.0, usando como método de ajuste o modelo Quasi-Newton.

3.2.5. Determinação de Cor

A cor das amostras frescas e secas (com e sem pré-tratamento osmótico) foi avaliada através do sistema de leitura de três parâmetros, CIELAB. Os parâmetros L^* , a^* e b^* foram fornecidos pelo espectrofotômetro de bancada Color Quest II, marca Hunter Lab. O equipamento, previamente calibrado, foi operado com iluminante D65, ângulo 10° no modo RSIN e abertura de $0,25''$.

Através destes parâmetros, calculou-se a diferença média de cor (ΔE^*) entre o cogumelo fresco e o seco (com e sem pré-tratamento osmótico), segundo a equação (3.3).

$$\Delta E^* = \sqrt{(L^* - L_o^*)^2 + (a^* - a_o^*)^2 + (b^* - b_o^*)^2} \quad (3.3)$$

Onde:

ΔE^* é a diferença total de cor;

L_o^* e L^* são as luminosidades das amostras frescas e secas, respectivamente;

a_o^* e a^* são as intensidade da cor vermelha das amostras frescas e secas, respectivamente;

b_o^* e b^* são as intensidade da cor amarela das amostras frescas e secas, respectivamente.

3.2.6. Planejamento Experimental

O planejamento experimental foi utilizado para estudar os efeitos das variáveis temperatura e velocidade do ar sobre as respostas (constante de secagem (K) e diferença total de cor (ΔE^*)) na secagem de cogumelo *Agaricus blazei*, com e sem pré-tratamento osmótico em solução binária de água + NaCl. Foi realizado um planejamento fatorial completo 2^2 , com pontos centrais (nível 0) e pontos axiais (níveis $\pm \alpha$). Dessa forma, cada fator foi estudado em 5 níveis, conforme apresenta a Tabela 3.2.

Os pontos centrais servem para estimar o erro experimental e determinar a precisão da equação polinomial. Os pontos axiais são utilizados para ampliar o modelo linear, tornando-o quadrático. O valor de α é função do número de variáveis independentes (N), sendo definido pela Equação (3.4) (BARROS NETO *et al.*, 2001).

$$\alpha = \pm(2^N)^{1/4} \quad (3.4)$$

Como foram analisadas duas variáveis independentes, o valor de α é 1,41.

Tabela 3.2: Definição dos níveis das variáveis independentes.

Variável	- α (-1,41)	- 1	0	+ 1	+ α (+1,41)
Temperatura (°C)	40	45	60	75	80
Velocidade do ar (m/s)	1,00	1,20	1,75	2,30	2,5

O planejamento requer a execução de um número mínimo de experimentos. Neste estudo, foram realizados 11 ensaios (Tabela 3.3), sendo quatro fatoriais (combinações entre os níveis ± 1), três centrais (duas variáveis independentes no nível 0) e quatro axiais (uma variável independente no nível $\pm \alpha$ e a outra, em 0), gerando um modelo quadrático, onde o valor das variáveis dependentes Y (constante de secagem K do modelo exponencial e a diferença total de cor ΔE^*) é função das variáveis independentes (temperatura e velocidade do ar), conforme descreve a equação 3.5.

$$Y = f(T, v_{ar}) = \beta_0 + \beta_1 T + \beta_2 v_{ar} + \beta_{11} T^2 + \beta_{22} v_{ar}^2 + \beta_{12} T v_{ar} \quad (3.5)$$

Para a elaboração dos modelos, foi utilizado o software Statistica 5.0, com a finalidade de assegurar a validade dos coeficientes dentro de um nível de confiança de 95%, através de análises estatísticas apropriadas.

Após a análise estatística dos coeficientes, foi realizada uma análise de variância (ANOVA), que consiste na avaliação do coeficiente de determinação (R^2) e do teste F, verificando se o modelo apresenta um ajuste adequado aos dados experimentais.

Tabela 3.3: Ensaios para o planejamento experimental, variando os parâmetros temperatura e velocidade do ar nos experimentos.

Ensaio	Variáveis Independentes			
	Real		Codificado	
	T (°C)	v_{ar} (m/s)	T	v_{ar}
1	45	1,20	-1	-1
2	75	1,20	+1	-1
3	45	2,30	-1	+1
4	75	2,30	+1	+1
5	40	1,75	-1,41	0
6	80	1,75	+1,41	0
7	60	1,00	0	-1,41
8	60	2,50	0	+1,41
9	60	1,75	0	0
10	60	1,75	0	0
11	60	1,75	0	0

3.2.6.1. Otimização do processo

A otimização do processo de secagem do cogumelo *in natura* e desidratado osmoticamente foi determinada através da Metodologia de Superfície de Resposta (RSM), de modo a obter menores valores de diferença total de cor ΔE^* e maiores valores de constante de secagem K do modelo exponencial.

3.2.7. Qualidade do Produto Final

Para a caracterização do cogumelo seco (com 10% de umidade em base úmida) nas condições otimizadas de processo, foram analisados o teor do composto funcional β -glucana, atividade de água e a capacidade de reidratação do produto.

3.2.7.1. Capacidade de Reidratação

A capacidade de reidratação do produto seco foi determinada gravimetricamente, com a imersão da amostra em água a 65°C. Em intervalos de tempo pré-estabelecidos (1, 2, 3, 5, 8, 12 e 15 minutos), as amostras foram retiradas, drenadas, enxugadas em papel absorvente e pesadas. Os resultados experimentais foram expressos em conteúdo de água, em base seca (TORRINGA *et al.*, 2001).

3.2.7.2. β -Glucana

A determinação de β -glucana foi realizada conforme a metodologia descrita por PARK *et al.* (2003). Esse método consiste em hidrólises enzimáticas e químicas, e constitui o método analítico oficial japonês para determinação de β -glucana.

Na hidrólise enzimática, as amostras de cogumelo foram submetidas a tratamento com α -amilase (para a hidrólise do amido), seguida com protease e com amiloglicosidase (para hidrólise de oligossacarídeos residuais). As moléculas de β -glucana resultantes foram hidrolisadas com ácido, formando glicose. A determinação de glicose foi realizada através de um kit enzimático fornecido pela empresa Laborlab.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Caracterização da Matéria-Prima

A caracterização do cogumelo *Agaricus blazei* fresco, de acordo com a metodologia descrita no item 3.3, é apresentada na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Caracterização físico-química do cogumelo *Agaricus blazei* fresco.

Análise	Valor médio ± Desvio padrão
Umidade (base úmida, %)	88,75 ± 0,12
Cinzas (base seca, %)	7,29 ± 0,09
Proteínas (base seca, %)	30,40 ± 0,09
Lipídios (base seca, %)	4,09 ± 0,18
Fibras (base seca, %)	6,76 ± 0,44
Carboidratos (base seca, %)	51,47 ± 1,07
Atividade de água (a_w)	0,995 ± 0,001
pH	6,24 ± 0,01
Parâmetros de cor	L^* 80,60 ± 0,73
CIE $L^*a^*b^*$	a^* -1,86 ± 0,29
	b^* 14,27 ± 0,78

Comparando os resultados da Tabela 4.1 aos obtidos por MIZUNO *et al.* (1990) (Tabela 2.1), observa-se que a umidade e o teor de cinzas estão próximos aos da literatura, enquanto que os teores de fibra e de lipídios encontram-se dentro da faixa citada pelos autores. Entretanto, os valores de proteínas encontram-se bem abaixo do valor encontrado na literatura, enquanto que o teor de carboidrato bem acima.

As diferenças apresentadas entre os valores obtidos neste trabalho e os da literatura são perfeitamente compreensíveis, pois quando se trabalha com material perecível, a sua composição centesimal é função de diversos fatores, tais como: época do ano, região da qual o produto é oriundo, ambiente, natureza do substrato de cultivo, linhagem, dentre outros.

Com relação à atividade de água, o cogumelo fresco apresentou um valor de 0,995, podendo ser considerado um produto de alta atividade de água e, conseqüentemente, altamente perecível. Nessa faixa, ocorrem crescimento de microrganismos e reações de

deterioração do alimento (reação enzimática, oxidação de lipídeos, etc), que causam alterações de cor, *flavour* e estabilidade.

4.2. Caracterização do Cogumelo Desidratado Osmoticamente

A caracterização do cogumelo *Agaricus blazei* desidratado osmoticamente (Figura 4.1) em solução binária água + NaCl, de acordo com a metodologia descrita no item 3.3 e 3.7, é apresentada na Tabela 4.2.



Figura 4.1: Cogumelo desidratado osmoticamente.

Tabela 4.2: Caracterização físico-química do cogumelo *Agaricus blazei* desidratado osmoticamente.

Análise		Valor médio ± Desvio padrão
Umidade (base úmida, %)		80,73 ± 0,14
Atividade de água (a_w)		0,965 ± 0,001
pH		6,32 ± 0,01
Sal (base úmida, %)		4,59 ± 0,02
Parâmetros de cor CIE L*a*b*	L^*	75,20 ± 1,40
	a^*	0,35 ± 0,28
	b^*	14,38 ± 0,39
	ΔE^* (em relação ao cogumelo fresco)	5,73

Comparando os resultados das análises físico-químicas do cogumelo desidratado osmoticamente (Tabela 4.2) com os do cogumelo fresco (Tabela 4.1), observa-se uma redução da umidade e na atividade de água, como já era esperado.

Com relação à cor do produto desidratado osmoticamente, percebe-se que houve perda de cor, com uma redução no valor de L^* (indicando escurecimento do produto) e um aumento de a^* (predominância da cor vermelha). Já o parâmetro b^* não se alterou, indicando que o produto manteve a coloração amarela. Observa-se que o valor do pH encontra-se dentro da faixa ótima de atividade da enzima polifenoloxidase (6,0 - 7,0), causando a perda de cor do cogumelo ao ser processado.

Analisando o efeito do NaCl no escurecimento enzimático, de acordo com ZAWISTOWSKI *at al.* (1991), a presença do sal acarreta a formação de um complexo entre os íons haletos e o cobre presentes na enzima polifenoloxidase, inibindo a sua ação. Entretanto, diversos trabalhos da literatura observaram que o NaCl não possui efeito inibitório satisfatório sobre a enzima. Estudando a ação de diversas substâncias na atividade da polifenoloxidase do abacate, GÓMEZ-LÓPEZ (2002) observou que a atividade da enzima diminuiu somente 37% ao utilizar NaCl 0,8 M, enquanto que ácido ascórbico 0,50 mM inibiu 80% da atividade da enzima.

4.3. Isotermas de Dessorção

4.3.1. Cogumelo *in natura*

A Tabela 4.3 relaciona os valores experimentais médios de umidade de equilíbrio (X_e) com a atividade de água (a_w) determinada pelas soluções salinas saturadas, para a construção das isotermas de dessorção.

Os dados experimentais das isotermas de dessorção do cogumelo *Agaricus blazei* foram descritos para cinco modelos da literatura, obtendo-se também o coeficiente de determinação (R^2) e o erro médio relativo (E). A escolha do melhor ajuste foi feita analisando o desvio médio relativo para cada modelo e para cada condição estudada. Estes valores, juntamente com os parâmetros das equações, estão descritos na Tabela 4.4.

Tabela 4.3: Valores experimentais de umidade de equilíbrio de desorção nas temperaturas de 40, 60 e 80°C de cogumelos *in natura*.

Solução Salina	40°C			60°C			80°C		
	a_w	X_e	Desvio Padrão	a_w	X_e	Desvio Padrão	a_w	X_e	Desvio Padrão
LiCl	0,1121	0,0039	0,0004	0,1095	0,0042	0,0010	0,1051	0,0035	0,0003
KF	0,2268	0,0418	0,0003	0,2077	0,0208	0,0010	0,2285	0,0360	0,0014
MgCl ₂	0,3160	0,0579	0,0050	0,2926	0,0500	0,0076	0,2605	0,0254	0,0060
NaBr	0,5317	0,1370	0,0026	0,4966	0,1652	0,0194	0,5143	0,1091	0,0066
KI	0,6609	0,3046	0,0075	0,6311	0,2912	0,0222	0,6097	0,1248	0,0054
NaNO ₃	0,7100	0,4143	0,0374	0,6735	0,3067	0,0106	0,6522	0,1659	0,0028
NaCl	0,7468	0,6241	0,0168	0,745	0,4024	0,0162	0,7629	0,2947	0,0090
KCl	0,8232	-	-	0,8025	0,4705	0,0165	0,7890	0,3805	0,0066

Tabela 4.4: Constantes de ajuste da isoterma de desorção do cogumelo *in natura* dos modelos sem o parâmetro temperatura.

Modelos	Temperatura	Constantes			R^2	E (%)
		X_m	C_{BET}			
BET linear (equação 2.4)	40°C	0,477	0,153		0,989	30,91
	60°C	0,113	2,259		0,967	36,12
	80°C	0,107	0,683		0,990	29,93
GAB (equação 2.5)	40°C	0,631	0,088	1,026	0,993	29,18
	60°C	0,533	0,463	0,715	0,990	76,68
	80°C	0,190	0,343	0,939	0,988	25,76
Halsey (equação 2.9)	40°C		A	B	0,990	16,52
	60°C		0,204	0,605	0,951	17,40
	80°C		0,216	0,530	0,958	20,23
Henderson (equação 2.10)	40°C		k	n'	0,977	10,54
	60°C		2,006	0,566	0,989	6,66
	80°C		2,275	0,606	0,977	10,88
Oswin (equação 2.12)	40°C		A	B	0,990	18,54
	60°C		0,106	1,601	0,972	37,23
	80°C		0,163	0,802	0,990	25,56
			0,084	1,114		

Analisando os resultados da Tabela 4.4 e a Figura 4.2, de forma geral as isotermas apresentaram ajustes bons em relação aos modelos testados, com valores de coeficientes de

determinação superiores a 95%. Porém, para uma avaliação mais adequada desses ajustes, calculou-se também o desvio relativo médio (Equação 3.2).

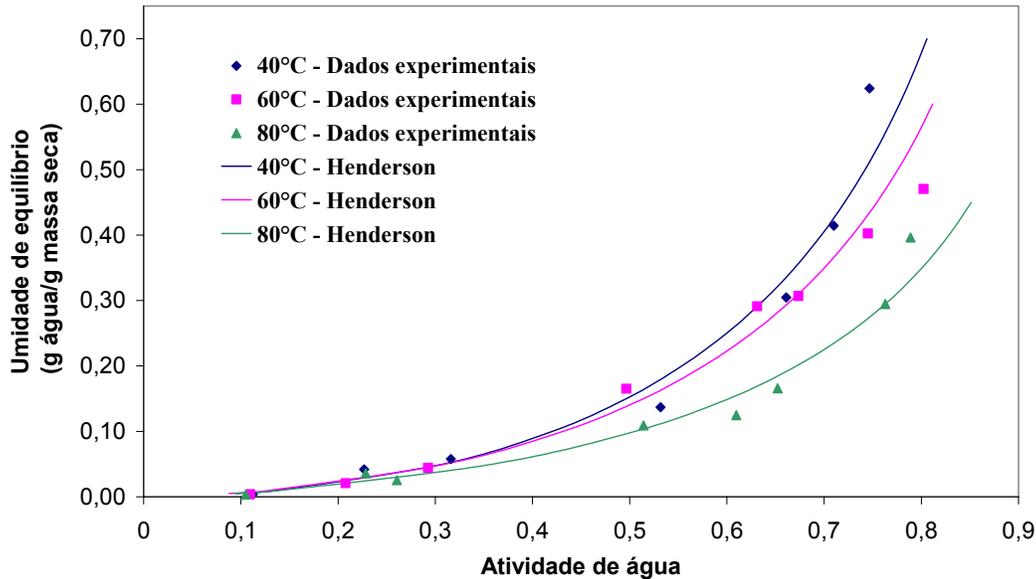


Figura 4.2 : Comparação entre os valores observados e preditos da isoterma de dessecção do cogumelo *in natura* utilizando o modelo de Henderson (sem o parâmetro temperatura).

Assim, para as temperaturas estudadas, observou-se que o modelo de Henderson foi o que apresentou melhor ajuste dentre os modelos analisados, com um erro relativo médio inferior a 11% e coeficiente de determinação próximo à unidade.

O estudo da cinética de secagem foi realizado de acordo com o planejamento experimental, com temperaturas de 40, 45, 60, 75 e 80°C. Entretanto, como não foram determinadas isotermas de cogumelo *in natura* nas temperaturas de 45 e 75°C, foi feito um ajuste aos dados experimentais de modelos da literatura que possuem o parâmetro temperatura, sendo a equação de Henderson modificada que melhor se ajustou, conforme mostra a Tabela 4.5 e a Figura 4.3.

Tabela 4.5: Constantes de ajuste da isoterma de dessecção do cogumelo *in natura* dos modelos com o parâmetro temperatura.

Modelos	Constantes		R^2	E (%)
Henderson modificado (equação 2.11)	k	n'	0,967	10,42
	0,007	0,593		
Chung e Pfost (equação 2.8)	A	B	0,881	22,43
	4366,39	4,830		

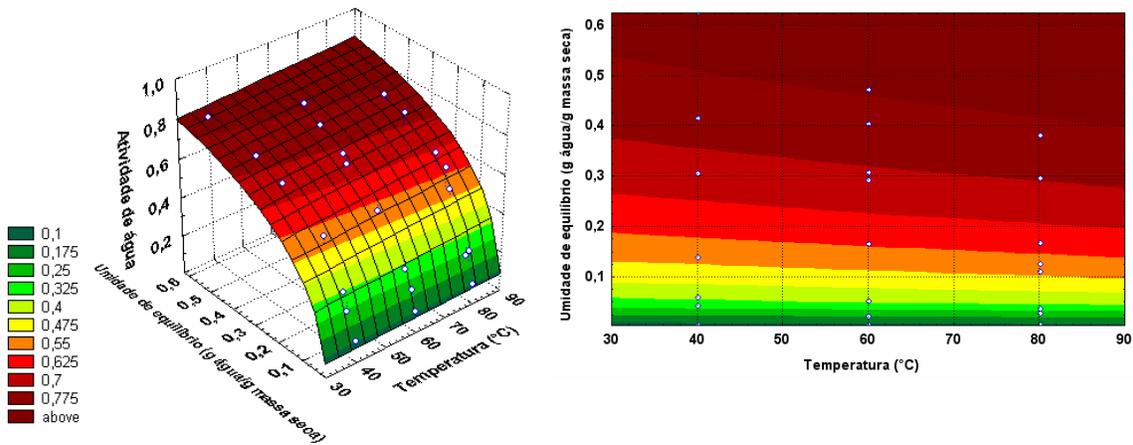


Figura 4.3: Comparação entre os valores observados e preditos para a isoterma de dessecção do cogumelo *in natura* para o modelo de Henderson modificado (com o parâmetro temperatura).

De acordo com as Figuras 4.2 e 4.3, verifica-se que a umidade de equilíbrio aumentou com a atividade de água. Verifica-se também a umidade de equilíbrio decresce com o aumento da temperatura para valores de atividade de água superiores a 0,30. A energia cinética, associada às moléculas de água presentes nos alimentos, aumenta com o aumento da temperatura, resultando na diminuição das forças de atração e, conseqüentemente, na saída de água do alimento, conduzindo a um decréscimo da umidade com a elevação da temperatura a uma determinada atividade de água (SHIVHARE *et al.*, 2004). Diversos autores observaram esse comportamento para diferentes alimentos (McLAUGHLIN & MAGEE, 1998; SHIVHARE *et al.*, 2004; VISWANATHAN *et al.*, 2003; PARK *et al.*, 2001).

Como foi observado na Tabela 4.5 e Figura 4.3, o modelo de Henderson modificado pode ser utilizado para prever o conteúdo de umidade de equilíbrio do cogumelo *Agaricus blazei in natura* nas temperaturas entre 40 e 80°C. Este modelo é uma das equações mais empregadas e descreve bem o comportamento de muitos materiais higroscópicos, como alimentos em uma faixa de atividade de água de 0,10 a 0,75 (MULET *et al.*, 2002). VISWANATHAN *et al.* (2003) determinaram o conteúdo de umidade de equilíbrio de fatias de cebola nas temperaturas de 30, 40 e 50°C e em uma faixa de umidade relativa de 15 a 85%. Os autores analisaram diversos modelos da literatura, sendo o que melhor ajustou aos dados experimentais foi o de Henderson.

4.3.2. Cogumelo Desidratado Osmoticamente

Foi realizada a desidratação osmótica dos cogumelos, utilizando 10% (p/p) de NaCl a temperatura de 20°C por 60 minutos e posteriormente, foram determinados dados experimentais de isotermas de dessorção nas temperaturas de 40, 60 e 80°C dos cogumelos desidratados. Na Tabela 4.6 estão os valores experimentais de umidade de equilíbrio para cada temperatura e soluções salinas utilizadas.

Tabela 4.6: Valores experimentais de umidade de equilíbrio de dessorção nas temperaturas de 40, 60 e 80°C de cogumelos desidratados osmoticamente.

Solução Salina	40°C			60°C			80°C		
	a_w	X_e	Desvio Padrão	a_w	X_e	Desvio Padrão	a_w	X_e	Desvio Padrão
LiCl	0,1121	0,0106	0,0010	0,1095	0,0048	0,0010	0,1051	0,0063	0,0004
KF	0,2268	0,0201	0,0014	0,2077	0,0241	0,0021	0,2285	0,0383	0,0020
MgCl ₂	0,3160	0,0513	0,0029	0,2926	0,0340	0,0024	0,2605	0,0247	0,0013
NaBr	0,5317	0,2109	0,0027	0,4966	0,1682	0,0044	0,5143	0,1301	0,0032
KI	0,6609	0,5024	0,019	0,6311	0,3453	0,0052	0,6097	0,2401	0,0145
NaNO ₃	0,7100	0,6190	0,0036	0,6735	0,4720	0,0020	0,6522	0,3331	0,0463
NaCl	0,7468	-	-	0,745	-	-	0,7629	0,4931	0,0015
KCl	0,8232	-	-	0,8025	-	-	0,7890	0,7083	0,0235

Analisando os resultados da Tabela 4.7, observou-se que o modelo de Henderson foi o que apresentou melhor ajuste dentre os modelos sem o parâmetro temperatura, com um desvio relativo médio inferior a 10% e coeficiente de determinação próximo à unidade. Para a isoterma de 40°C, apesar do modelo de Halsey apresentar desvio relativo médio inferior ao valor apresentado pelo modelo de Henderson, preferiu-se utilizar este último, para prever valores de umidade de equilíbrio, por ter descrito bem os dados nas temperaturas de 60 e 80°C (Figura 4.4).

Tabela 4.7: Constantes de ajuste da isoterma de desorção do cogumelo desidratado osmoticamente dos modelos sem o parâmetro temperatura.

Modelos	Temperatura	Constantes			R^2	E (%)
		X_m	C_{BET}			
BET linear (equação 2.4)	40°C	0,466	0,265		0,992	39,92
	60°C	0,539	0,118		0,996	47,47
	80°C	0,220	0,468		0,981	28,74
GAB (equação 2.5)	40°C	0,785	0,155	0,967	0,993	36,70
	60°C	0,704	0,123	1,016	0,997	36,88
	80°C	0,549	0,182	0,923	0,981	25,72
Halsey (equação 2.9)	40°C	0,308	0,426		0,992	5,43
	60°C	0,315	0,406		0,992	11,51
	80°C	0,228	0,510		0,973	14,50
Henderson (equação 2.10)	40°C	1,574	0,493		0,991	9,20
	60°C	1,657	0,494		0,995	4,04
	80°C	2,029	0,555		0,987	7,56
Oswin (equação 2.12)	40°C	0,185	1,388		0,994	17,89
	60°C	0,160	1,477		0,983	16,24
	80°C	0,137	1,203		0,982	23,37

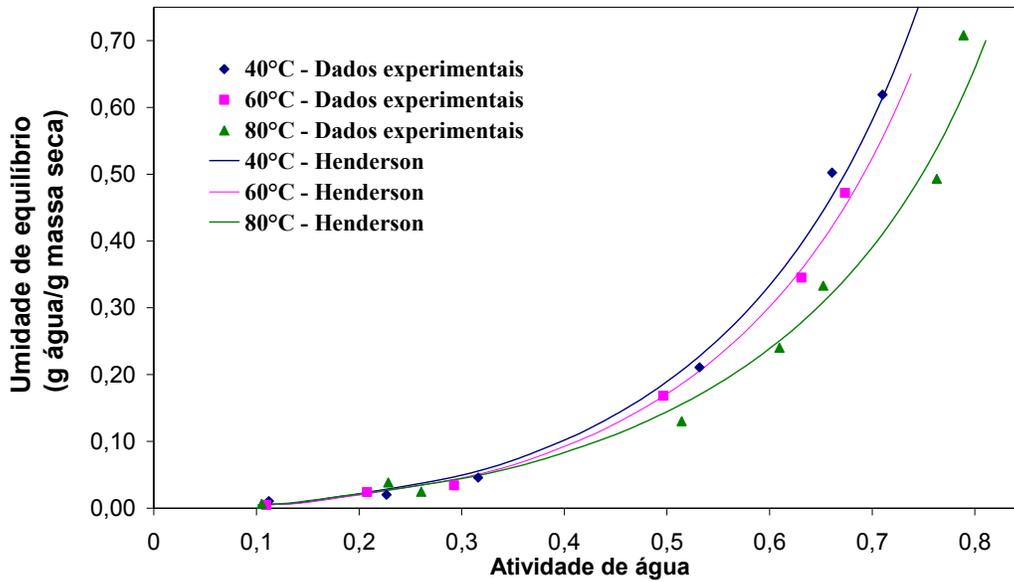


Figura 4.4: Comparação entre os valores observados e preditos da isoterma de desorção do cogumelo desidratado osmoticamente utilizando o modelo de Henderson (sem o parâmetro temperatura).

Foi feito um ajuste de modelos da literatura que possuem o parâmetro temperatura aos dados experimentais, sendo o que melhor se ajustou foi a equação 2.11, conforme mostra a Tabela 4.8 e a Figura 4.5. Assim, o modelo de Henderson modificado pode ser utilizado para prever o conteúdo de umidade de equilíbrio do cogumelo *Agaricus blazei* desidratado osmoticamente nas temperaturas entre 40 e 80°C.

Tabela 4.8: Constantes de ajuste da isoterma de desorção do cogumelo desidratado osmoticamente dos modelos com o parâmetro temperatura.

Modelos	Constantes		R^2	E (%)
	k	n'		
Henderson modificado (equação 2.11)	0,005	0,518	0,988	7,81
Chung e Pfost (equação 2.8)	A	B	0,894	25,72
	4271,53	3,321		

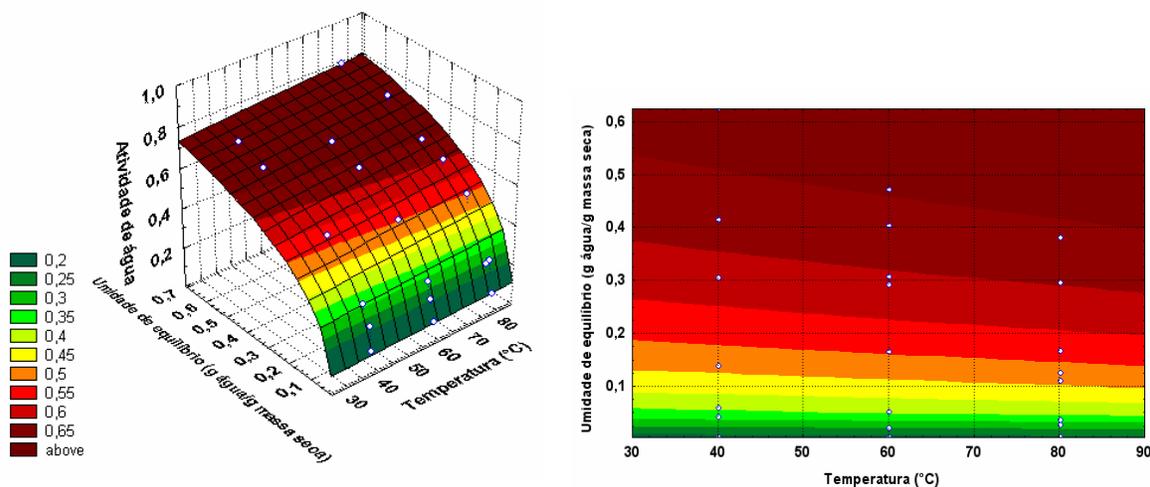


Figura 4.5: Comparação entre os valores observados e preditos para a isoterma de dessecção do cogumelo desidratado osmoticamente para o modelo de Henderson modificado (com o parâmetro temperatura).

Na Figura 4.6, foram comparados os dados experimentais das isotermas de dessecção do cogumelo *in natura* e desidratado osmoticamente. Nota-se que, para uma mesma umidade de equilíbrio, o produto desidratado apresentou menores valores de atividade de água do que para o cogumelo sem tratamento, devido provavelmente à dissolução dos solutos impregnados. SLOAN & LABUZA (1976) observaram que alguns componentes, como o sal e o glicerol, são particularmente efetivos na redução de atividade de água. BARONI (2004), trabalhando com tomates tratados e não tratados osmoticamente com soluções binárias e ternárias de sal e sacarose, observou que a isoterma da fruta desidratada com solução salina apresentava menores valores de atividade de água do que o tomate *in natura*.

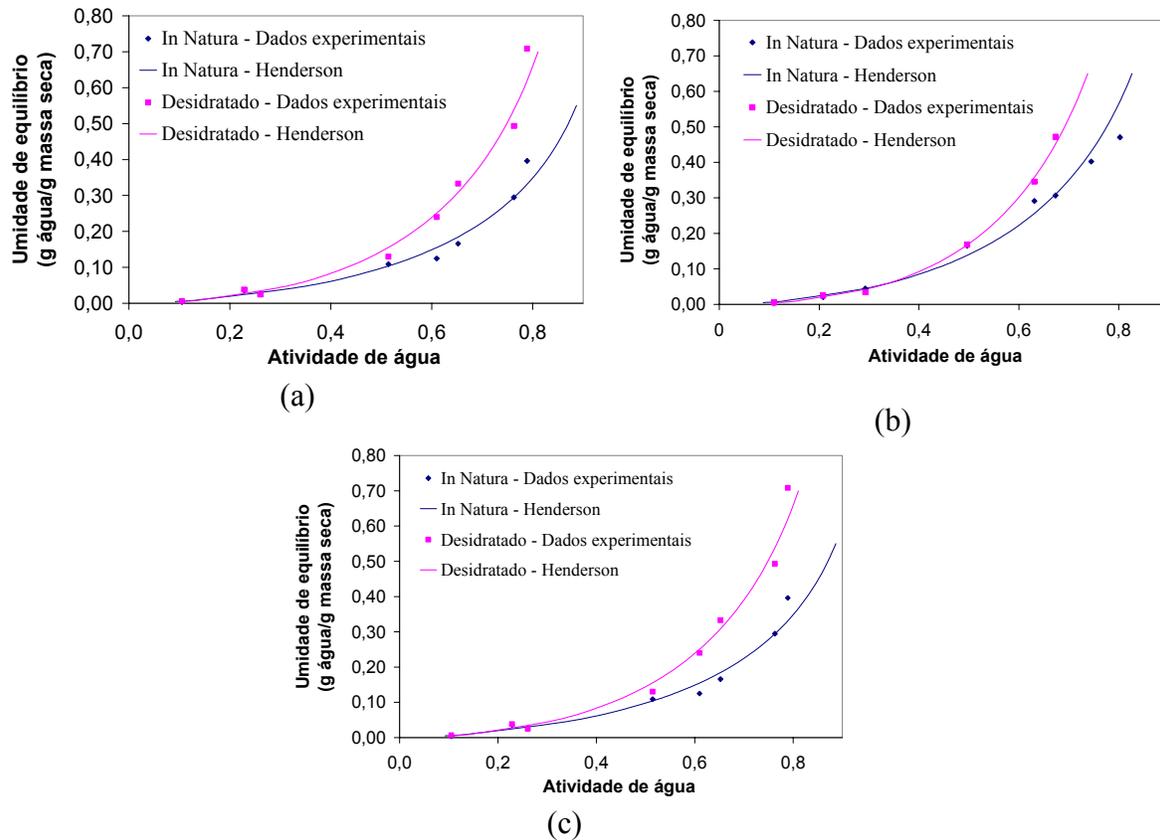


Figura 4.6: Comparação dos dados experimentais de desorção nas temperaturas de (a) 40, (b) 60 e (c) 80°C do cogumelo *in natura* e desidratado osmoticamente.

4.4. Cinética de Secagem

O estudo da cinética de secagem foi realizado de acordo com o planejamento fatorial completo, no qual foram realizados 11 ensaios a diferentes temperaturas e velocidades do ar, tanto para o cogumelo *in natura* como para o desidratado osmoticamente com solução binária de água + NaCl, conforme Tabela 3.3.

4.4.1. Taxa de Secagem

As Figuras 4.7, 4.8 e 4.9 apresentam os efeitos da temperatura sobre as taxas de secagem em função da umidade em base seca, para as amostras (a) *in natura* e (b) desidratadas osmoticamente.

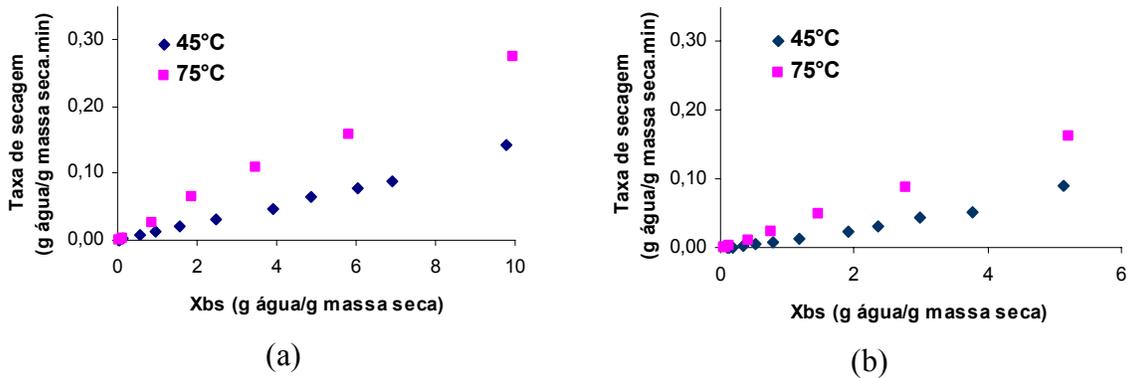


Figura 4.7: Efeito da temperatura na taxa de secagem do cogumelo (a) *in natura* e (b) desidratado osmoticamente a velocidade do ar de 1,2 m/s.

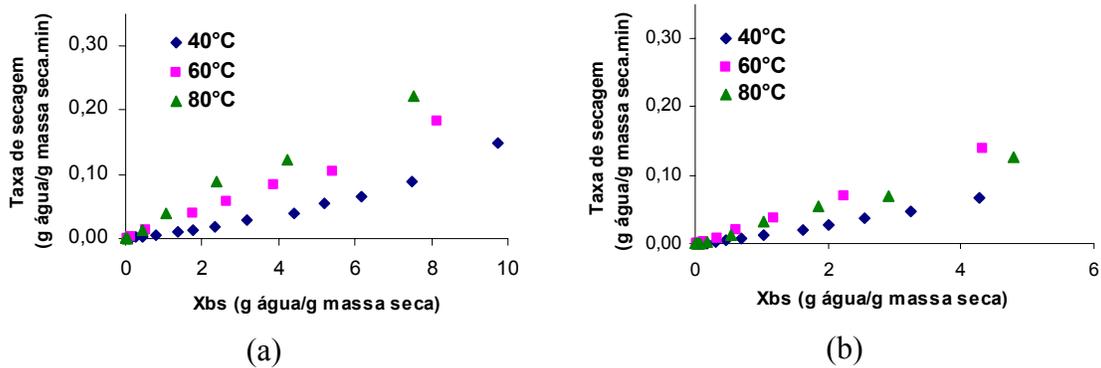


Figura 4.8: Efeito da temperatura na taxa de secagem do cogumelo (a) *in natura* e (b) desidratado osmoticamente a velocidade do ar de 1,75 m/s.

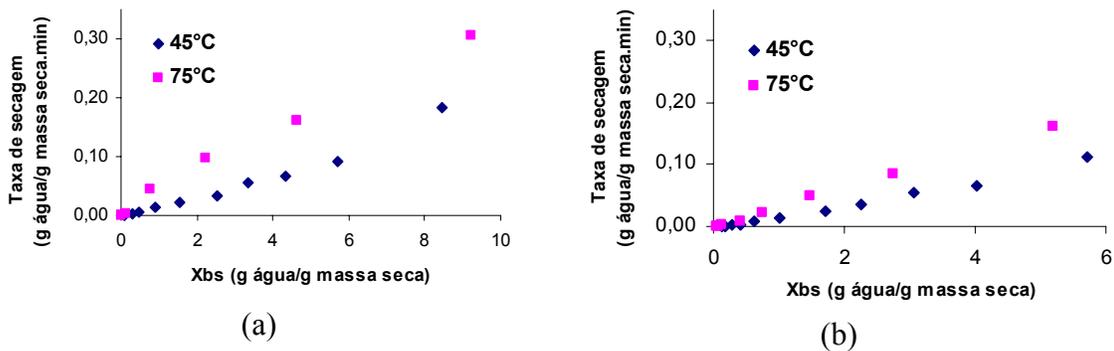


Figura 4.9: Efeito da temperatura na taxa de secagem do cogumelo (a) *in natura* e (b) desidratado osmoticamente a velocidade do ar de 2,3 m/s.

Analisando as Figuras 4.7 e 4.9, observa-se um efeito positivo da temperatura sobre a taxa de secagem, tanto para as amostras *in natura* quanto nas pré-tratadas osmoticamente, ou seja, a transferência de umidade aumenta com o aumento da temperatura. Entretanto, os ensaios com velocidade do ar a 1,75 m/s do cogumelo desidratado osmoticamente (Figura 4.8b) apresentaram comportamento bastante similar para as temperaturas de 60°C e 80°C, dentro de uma faixa de umidade (até 2 g água/g massa seca). Acima deste valor, observa-se que a temperatura de 60°C apresentou uma secagem mais eficiente que a de 80°C.

As Figuras 4.10, 4.11 e 4.12 apresentam os efeitos da velocidade do ar sobre as taxas de secagem em função da umidade em base seca, para as amostras (a) *in natura* e (b) desidratadas osmoticamente.

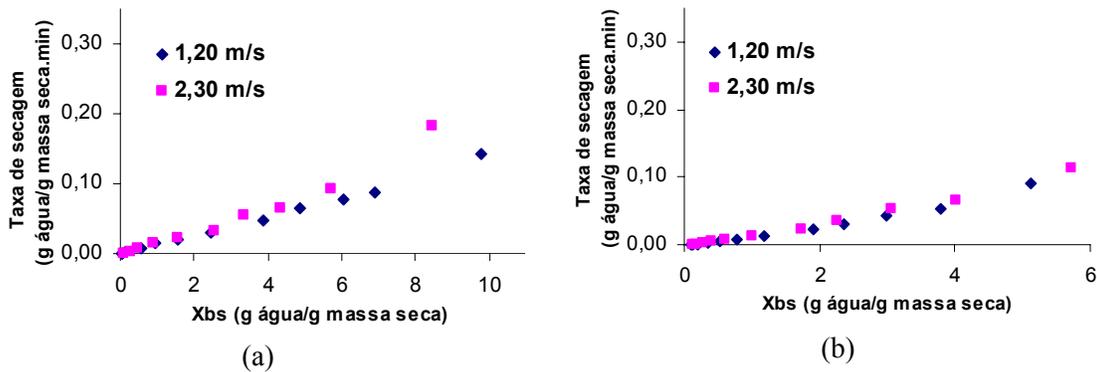


Figura 4.10: Efeito da velocidade do ar na taxa de secagem do cogumelo (a) *in natura* e (b) desidratado osmoticamente a temperatura de 45°C.

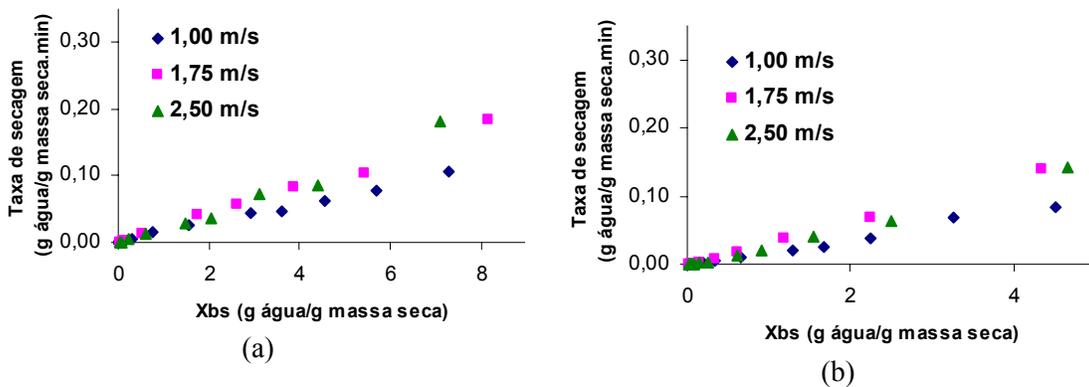


Figura 4.11: Efeito da velocidade do ar na taxa de secagem do cogumelo (a) *in natura* e (b) desidratado osmoticamente a temperatura de 60°C.

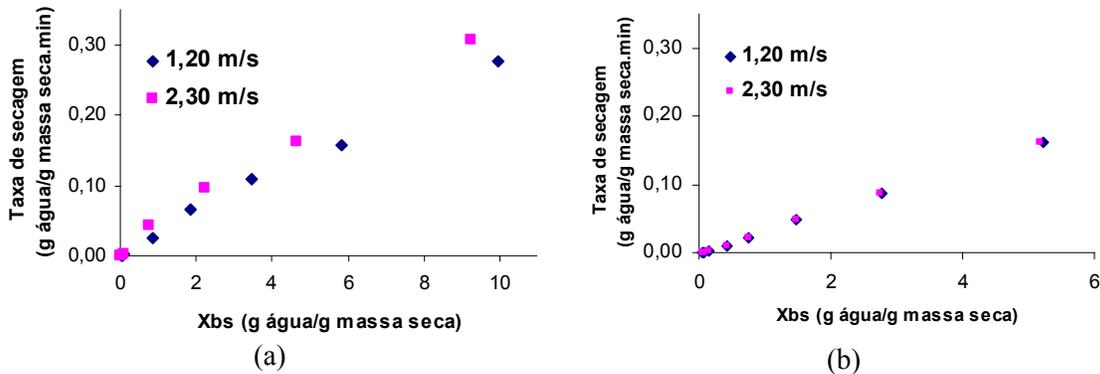


Figura 4.12: Efeito da velocidade do ar na taxa de secagem do cogumelo (a) *in natura* e (b) desidratado osmoticamente a temperatura de 75°C.

Analisando as Figuras 4.10a e 4.12a, observou-se o efeito positivo da velocidade do ar na secagem das amostras sem pré-tratamento. Entretanto, na Figura 4.10b, verifica-se uma pequena influência da velocidade do ar na taxa de secagem a 45°C das amostras desidratadas osmoticamente, enquanto que na Figura 4.12b, não foi observada essa influência na temperatura de 75°C. Esse mesmo resultado foi observado nos ensaios realizados a 60°C, com velocidades do ar de 1,75 m/s e 2,5 m/s, tanto para as amostras *in natura* como para as desidratadas osmoticamente.

4.4.2. Modelagem Matemática

Os modelos de Fick (Equação 2.17), exponencial (Equação 2.19) e Page (Equação 2.20) foram ajustados aos dados experimentais de todas as curvas de secagem (dos cogumelos sem e com pré-tratamento osmótico).

4.4.2.1. Cogumelo *in natura*

Os valores de umidade de equilíbrio foram determinados a partir dos dados de umidade relativa do ar de secagem (Tabela 4.9), aplicados no modelo de Henderson modificado, utilizando os valores dos parâmetros conforme Tabela 4.5.

Tabela 4.9: Valores de umidade relativa do ar de secagem e de umidade de equilíbrio para as diferentes condições de temperatura e velocidade do ar para o cogumelo *in natura*.

	Ensaio	T (°C)	v_{ar} (m/s)	UR (%)	X_e (g água/g massa seca)
Pontos fatoriais	1	45	1,20	25,3	0,0317
	2	75	1,20	9,9	0,0048
	3	45	2,30	23,1	0,0265
	4	75	2,30	9,5	0,0045
Pontos axiais	5	40	1,75	32,7	0,0544
	6	80	1,75	10,4	0,0051
	7	60	1,00	13,2	0,0086
	8	60	2,5	14,5	0,0103
Pontos centrais	9	60	1,75	14,1	0,0098
	10	60	1,75	14,1	0,0098
	11	60	1,75	14,1	0,0098

4.4.2.1.1 Modelo de Fick

Considerando que a amostra é uma placa plana infinita, o modelo de Fick foi utilizado para determinar a difusividade efetiva, através de um ajuste não-linear aos dados experimentais. Foram utilizados sete termos da série infinita, pois esta quantidade de termos foi a que gerou um melhor ajuste em relação à equação utilizada. Os valores encontrados são mostrados na Tabela 4.10, assim como os coeficientes de determinação (R^2) e os erros relativos médios (E).

Analisando a Tabela 4.10, observa-se que o modelo de Fick não se ajustou bem aos dados experimentais, pois apesar de apresentar valores de R^2 superiores a 0,95, os valores de erro relativo médio encontrados foram bastante elevados ao sugerido por LOMAURO *et al.* (1985), que é de 10%, com exceção do ensaio 5.

Tabela 4.10: Valores de difusividade efetiva estimada pelo modelo de Fick, coeficiente de determinação e erro relativo médio para o cogumelo *in natura*.

	Ensaio	T (°C)	v_{ar} (m/s)	D_{ef} (10^{10} m ² /s)	R^2	E (%)
Pontos fatoriais	1	45	1,20	3,88	0,992	20,25
	2	75	1,20	12,79	0,985	81,13
	3	45	2,30	6,91	0,997	23,06
	4	75	2,30	17,5	0,984	114,70
Pontos axiais	5	40	1,75	4,14	0,997	4,46
	6	80	1,75	14,29	0,985	88,45
	7	60	1,00	5,56	0,964	93,29
	8	60	2,5	9,49	0,995	34,82
Pontos centrais	9	60	1,75	10,41	0,986	85,32
	10	60	1,75	8,74	0,978	91,39
	11	60	1,75	8,86	0,982	70,78

Nas Figuras 4.13, 4.14 e 4.15, estão os dados experimentais dos pontos fatoriais, axiais e centrais, respectivamente, descritos pelo modelo de Fick, cuja ordenada expressa o adimensional de umidade, em (a) escala linear e (b) semi-log. Observando essas figuras percebe-se que, a partir de um determinado tempo de processo para cada ensaio realizado, o modelo de Fick apresenta uma discrepância em relação aos pontos experimentais. Essa falta de ajuste pode ser explicada pelo fato de que o comportamento da transferência de umidade na secagem de alimentos normalmente não satisfaz às simplificações assumidas na solução da 2ª Lei de Fick: a difusividade da água não é constante, o sólido possui uma estrutura celular heterogênea, ocorre encolhimento com a evaporação da água, variando as dimensões do produto, a difusão pode ocorrer sob vários mecanismos e a temperatura do alimento aumenta durante o processo.

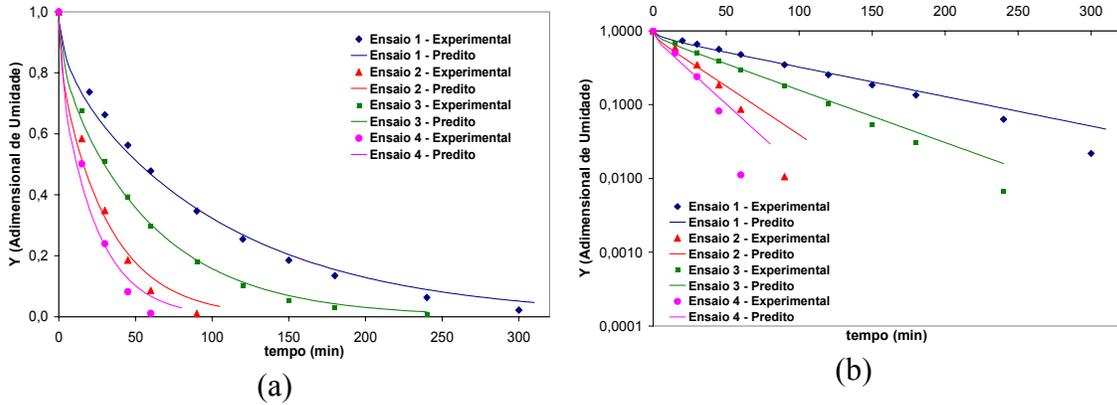


Figura 4.13: Ajuste do modelo de Fick aos dados experimentais de secagem de cogumelo *in natura*, cuja ordenada encontra-se em (a) escala linear e (b) semi-log (Pontos fatoriais).

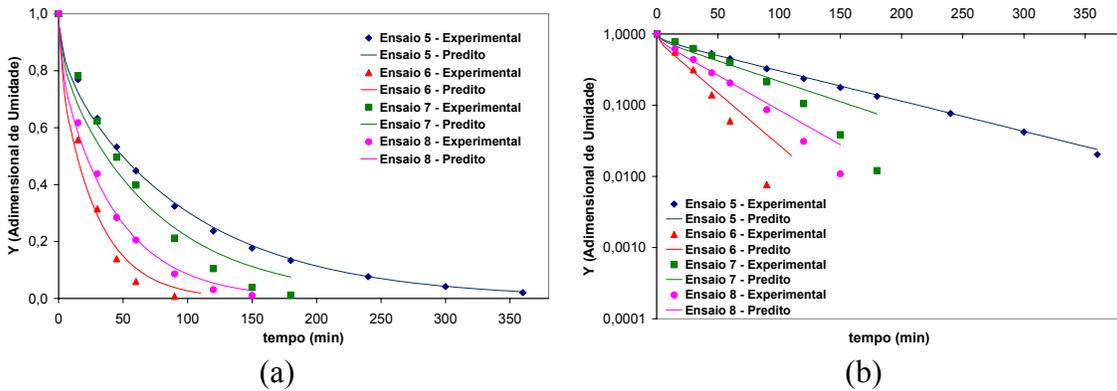


Figura 4.14: Ajuste do modelo de Fick aos dados experimentais de secagem de cogumelo *in natura*, cuja ordenada encontra-se em (a) escala linear e (b) semi-log (Pontos axiais).

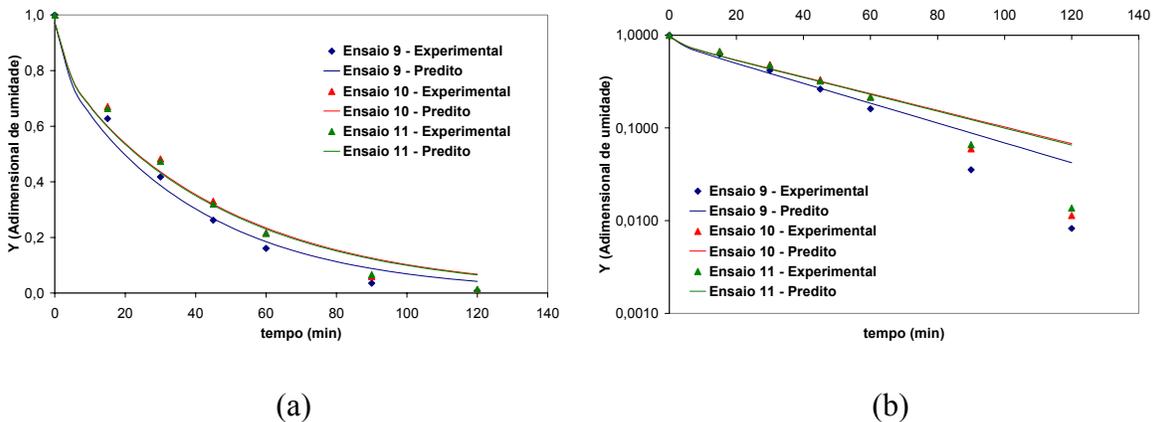


Figura 4.15: Ajuste do modelo de Fick aos dados experimentais de secagem de cogumelo *in natura*, cuja ordenada encontra-se em (a) escala linear e (b) semi-log (Pontos centrais).

BARONI (2004), estudando a secagem de tomates *in natura* e desidratado osmoticamente, observou que, pela análise estatística, o ajuste matemático do modelo de Fick foi bom, com exceção das amostras pré-tratadas com cloreto de sódio, cujo ajuste foi razoável. A autora observou que essas amostras foram as que sofreram maior encolhimento durante a secagem.

Resultados semelhantes foram encontrados por ROMERO-PEÑA e KIECKBUSCH (2003) na secagem de fatias de tomate. Os autores modelaram os dados cinéticos de secagem por meio da lei de Fick e pelo modelo de Hawlader, que considera o encolhimento, e concluíram que este último ajustou-se melhor aos dados.

Analisando as Figuras 4.13, 4.14 e 4.15 em escala semi-log, observa-se que, para a porção inicial da curva de secagem, o modelo de Fick ajustou-se bem aos dados experimentais. Assim, fixou-se um valor de umidade (1,5 g água/g massa seca), considerando somente os dados observados até esse valor limite. Desse modo, o modelo de Fick pode ser então utilizado para descrever a cinética de secagem do cogumelo fresco até essa umidade.

Os resultados da regressão não-linear desses dados ao modelo, considerando sete primeiros termos da série, apresentaram um bom ajuste, com erro relativo médio inferior a 10%, com exceção dos ensaios 4 (75°C e 2,30 m/s) e 6 (80°C e 1,75 m/s) (Tabela 4.11).

Os valores de difusividade efetiva encontrados para o cogumelo *Agaricus blazei* na forma *in natura* estão na mesma ordem de grandeza dos valores encontrados por PIJUAN *et al.* (1997) para cogumelos champignon (*Agaricus bisporus*). Os autores analisaram a cinética de secagem desses produtos nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, com velocidades do ar de secagem de 0,5 e 1,0 m/s e obtiveram valores de difusividade efetiva na faixa de $1,46 \times 10^{-10}$ a $3,10 \times 10^{-10}$ m²/s.

Tabela 4.11: Valores de difusividade efetiva estimada pelo modelo de Fick para os dados iniciais de secagem, coeficiente de determinação e erro relativo médio para o cogumelo *in natura*.

	Ensaio	T (°C)	v_{ar} (m/s)	D_{ef} (10^{10} m ² /s)	R^2	E (%)
Pontos fatoriais	1	45	1,20	3,84	0,991	6,54
	2	75	1,20	11,91	0,986	8,70
	3	45	2,30	6,77	0,996	3,14
	4	75	2,30	16,80	0,986	20,36
Pontos axiais	5	40	1,75	4,13	0,994	3,72
	6	80	1,75	13,48	0,984	13,00
	7	60	1,00	4,86	0,962	10,03
	8	60	2,5	9,19	0,994	4,98
Pontos centrais	9	60	1,75	9,92	0,987	9,19
	10	60	1,75	8,03	0,983	7,96
	11	60	1,75	8,23	0,985	7,60

Assim, nas Figuras 4.16, 4.17 e 4.18, encontram-se os dados experimentais iniciais (até umidade de 1,5 g água/g massa seca) dos pontos fatoriais, axiais e centrais, respectivamente, ajustados pelo modelo de Fick.

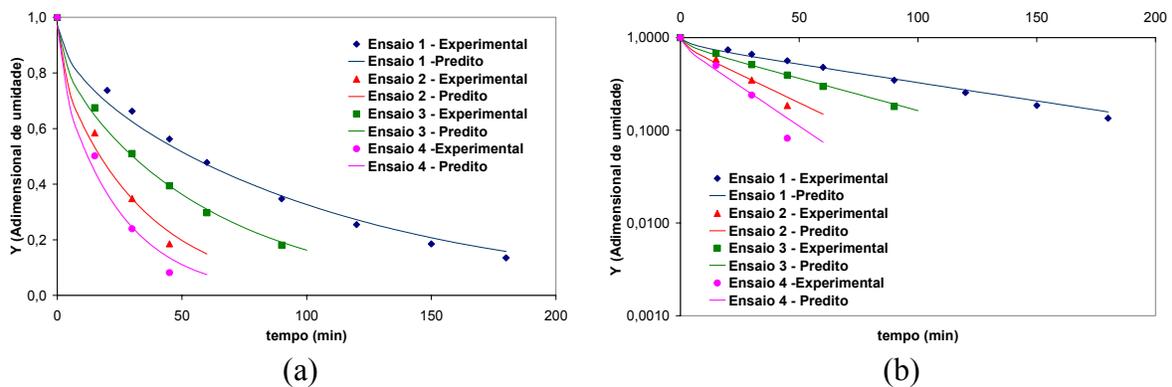


Figura 4.16: Ajuste do modelo de Fick aos dados experimentais iniciais de secagem de cogumelo *in natura*, cuja ordenada encontra-se em (a) escala linear e (b) semi-log (Pontos fatoriais).

Analisando as curvas de secagem para os pontos fatoriais (Figura 4.16), percebe-se a influência da temperatura e da velocidade do ar no processo. Comparando os ensaios 1 e 2, que foram realizados na mesma velocidade do ar, mas a temperaturas de 45 e 75°C,

respectivamente, percebe-se que a curva do ensaio 2 é mais pronunciada que a do ensaio 1. O mesmo é observado quando são comparadas as curvas dos ensaios 3 e 4. Estas, por sua vez, são as mais acentuadas que as curvas dos ensaios 1 e 2, em relação à velocidade do ar de secagem.

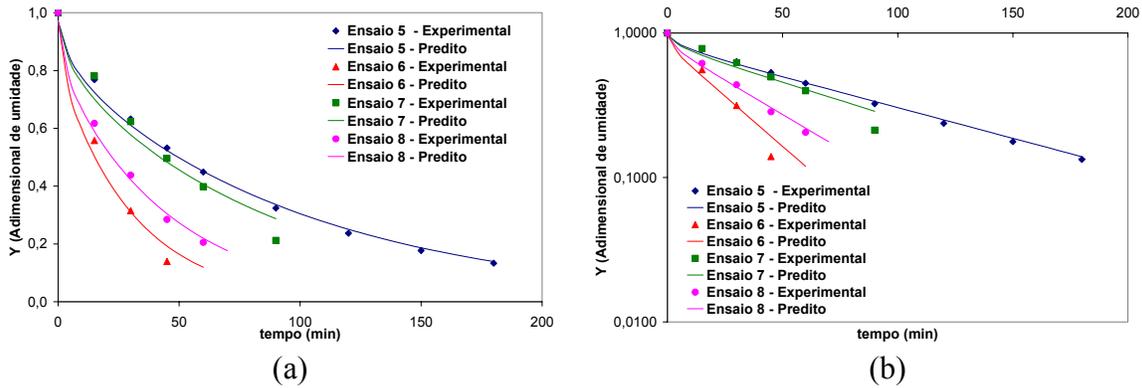


Figura 4.17: Ajuste do modelo de Fick aos dados experimentais iniciais de secagem de cogumelo *in natura*, cuja ordenada encontra-se em (a) escala linear e (b) semi-log (Pontos axiais).

A Figura 4.17 confirma o que foi dito anteriormente com relação à influência da temperatura e da velocidade do ar na secagem. Observando as curvas dos ensaios 5 e 6, realizados na mesma velocidade do ar, a mais acentuada é a da temperatura maior. Comparando as curvas dos ensaios 7 e 8, realizados na mesma temperatura, a de maior velocidade é a mais pronunciada.

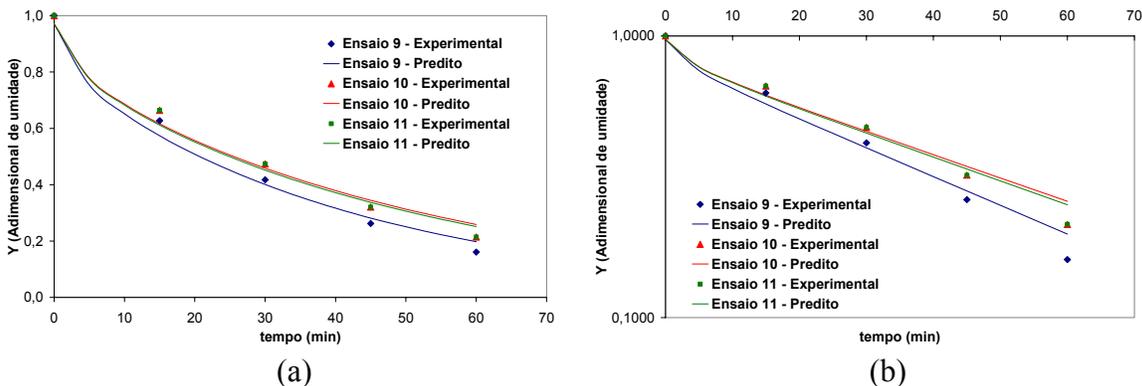


Figura 4.18: Ajuste do modelo de Fick aos dados experimentais iniciais de secagem de cogumelo *in natura*, cuja ordenada encontra-se em (a) escala linear e (b) semi-log (Pontos centrais).

4.4.2.1.2 Modelo exponencial

Os dados experimentais da porção inicial da curva de secagem (até umidade de 1,5 g água/g massa seca) também foram descritos pela lei exponencial, através de regressão não-linear, obtendo-se a constante de secagem K , o coeficiente de determinação (R^2) e desvio relativo médio ($E\%$), que se encontram na Tabela 4.12.

Tabela 4.12: Constante de secagem estimada pela lei exponencial para os dados iniciais de secagem, coeficiente de determinação e erro relativo médio para o cogumelo *in natura*.

	Ensaio	T (°C)	v_{ar} (m/s)	K ($\times 10^4$ s $^{-1}$)	R^2	E (%)
Pontos fatoriais	1	45	1,20	2,02	0,992	6,27
	2	75	1,20	6,00	0,993	2,41
	3	45	2,30	3,54	0,990	6,23
	4	75	2,30	8,06	0,997	10,99
Pontos axiais	5	40	1,75	2,17	0,986	9,35
	6	80	1,75	6,67	0,998	6,14
	7	60	1,00	2,59	0,991	4,07
	8	60	2,5	4,69	0,995	3,86
Pontos centrais	9	60	1,75	4,99	0,999	1,64
	10	60	1,75	4,18	0,999	1,89
	11	60	1,75	4,26	0,999	1,32

Assim, nas Figuras 4.19, 4.20 e 4.21, encontram-se os dados experimentais dos pontos fatoriais, axiais e centrais, respectivamente, ajustados pelo modelo exponencial, cuja ordenada expressa o adimensional de umidade, em (a) escala linear e (b) semi-log.

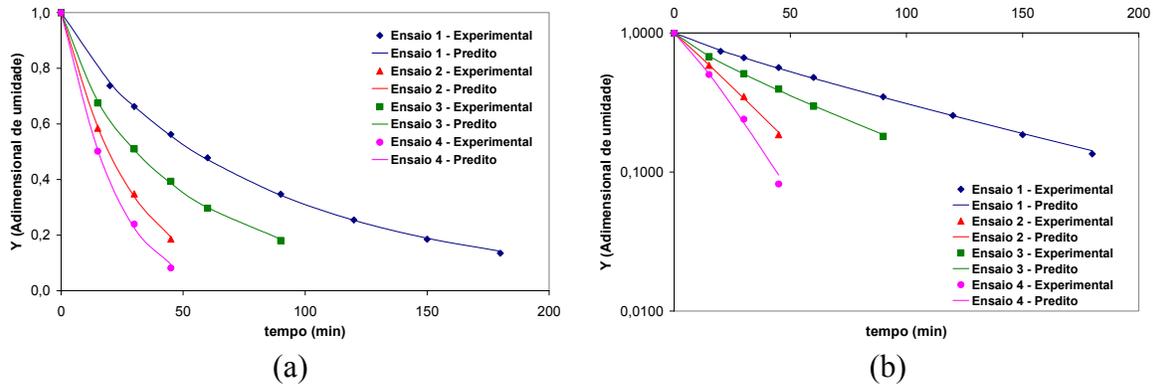


Figura 4.19: Ajuste do modelo exponencial aos dados experimentais iniciais de secagem de cogumelo *in natura*, cuja ordenada encontra-se em (a) escala linear e (b) semi-log (Pontos fatoriais).

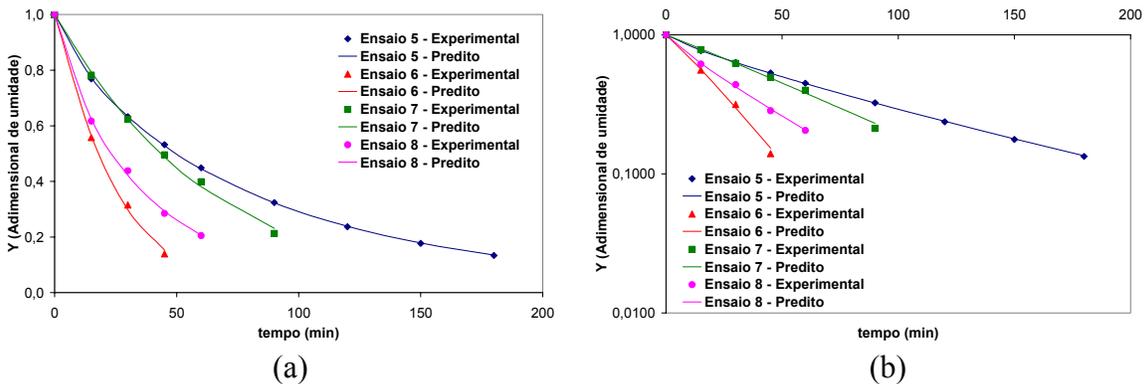


Figura 4.20: Ajuste do modelo exponencial aos dados experimentais iniciais de secagem de cogumelo *in natura*, cuja ordenada encontra-se em (a) escala linear e (b) semi-log (Pontos axiais).

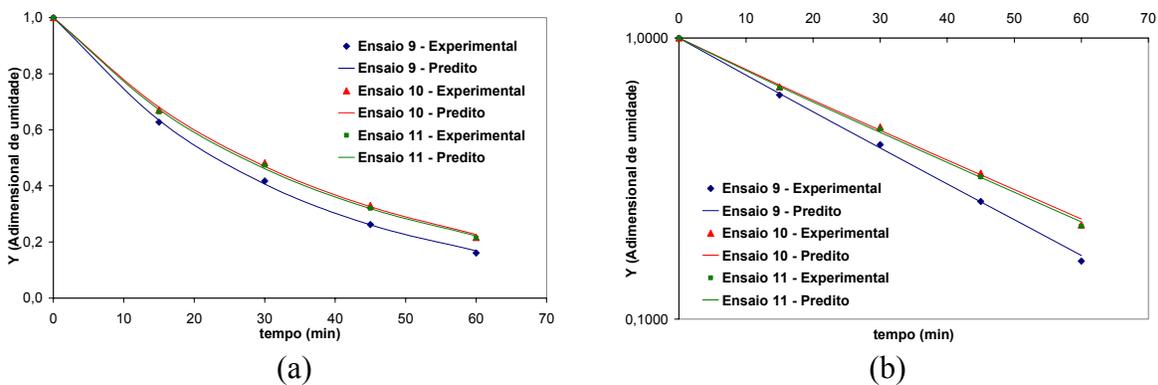


Figura 4.21: Ajuste do modelo exponencial aos dados experimentais iniciais de secagem de cogumelo *in natura*, cuja ordenada encontra-se em (a) escala linear e (b) semi-log (Pontos centrais).

Comparando os modelos de Fick e o exponencial (Tabelas 4.11 e 4.12), verifica-se que o modelo exponencial ajustou-se melhor aos dados experimentais, apresentando menores valores de erro relativo médio. Pela Figura 4.22, observa-se que a difusividade efetiva (D_{ef}) e a constante de secagem (K), obtidas respectivamente pelos modelos de Fick e exponencial, apresentaram um comportamento similar com a variação da temperatura e velocidade do ar de processo. Por esses motivos, através do planejamento experimental, preferiu-se obter um modelo preditivo (conforme descrito no item 4.5.1.1) para representar a constante de secagem em função da temperatura e da velocidade do ar de secagem ao invés da difusividade efetiva.

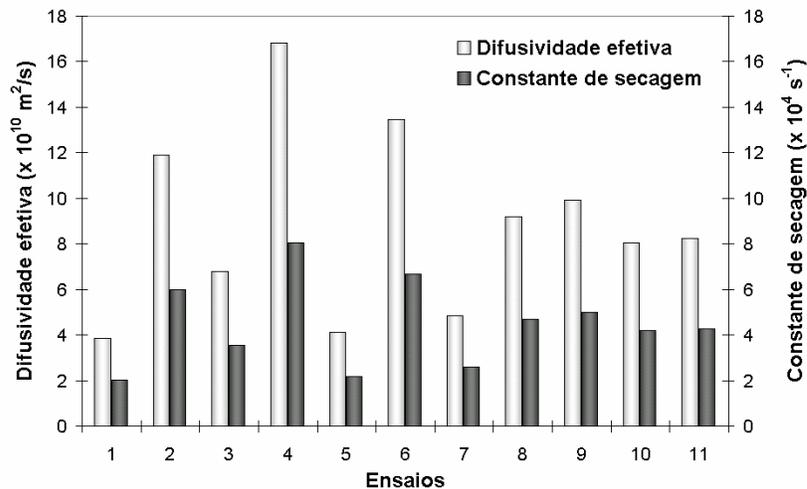


Figura 4.22: Comparação entre os valores de difusividade efetiva (D_{ef}) e constante de secagem (K) do cogumelo *in natura*.

4.4.2.1.3 Modelo de Page

Também foi utilizado o modelo de Page para modelar os dados experimentais mediante regressão não-linear, obtendo-se os parâmetros estimados (K e b), o coeficiente de determinação (R^2) e erro relativo médio ($\%E$), que se encontram na Tabela 4.13.

Tabela 4.13: Parâmetros estimados pela equação de Page para os dados iniciais de secagem, coeficiente de determinação e erro relativo médio para o cogumelo *in natura*.

	Ensaio	T (°C)	v_{ar} (m/s)	K ($\times 10^4$ s ^{-b})	b	R^2	E (%)
Pontos fatoriais	1	45	1,20	0,0214	0,8692	0,999	1,41
	2	75	1,20	0,0323	1,0330	0,999	1,89
	3	45	2,30	0,0409	0,8264	0,999	1,16
	4	75	2,30	0,0319	1,1301	0,999	5,64
Pontos axiais	5	40	1,75	0,0275	0,8257	0,999	0,57
	6	80	1,75	0,0305	1,0825	0,999	4,10
	7	60	1,00	0,0141	1,0314	0,998	2,71
	8	60	2,5	0,0443	0,8723	0,999	1,68
Pontos centrais	9	60	1,75	0,0316	0,9844	0,999	1,77
	10	60	1,75	0,0276	0,9726	0,999	2,08
	11	60	1,75	0,0294	0,9617	0,999	1,57

Nas Figuras 4.23, 4.24 e 4.25, encontram-se os dados experimentais dos pontos fatoriais, axiais e centrais, respectivamente, ajustados pelo modelo exponencial, cuja ordenada expressa o adimensional de umidade, em (a) escala linear e (b) semi-log.

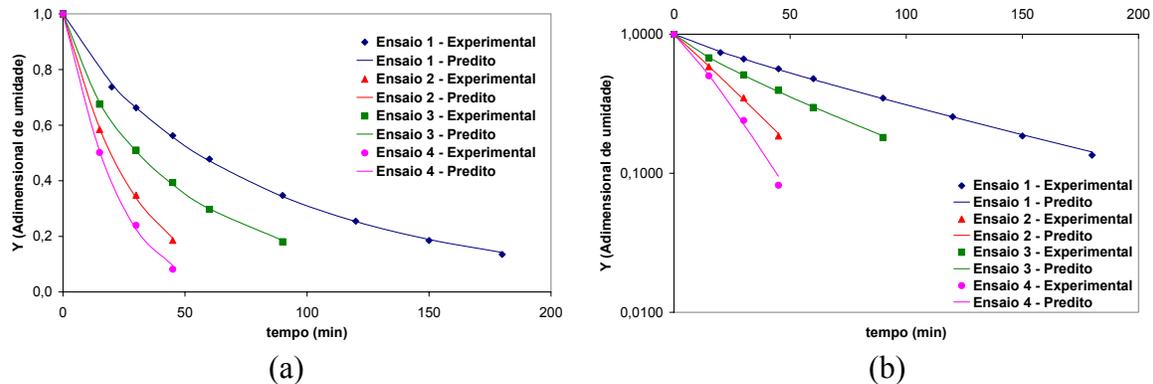


Figura 4.23: Ajuste do modelo de Page aos dados experimentais iniciais de secagem de cogumelo *in natura*, cuja ordenada encontra-se em (a) escala linear e (b) semi-log (Pontos fatoriais).

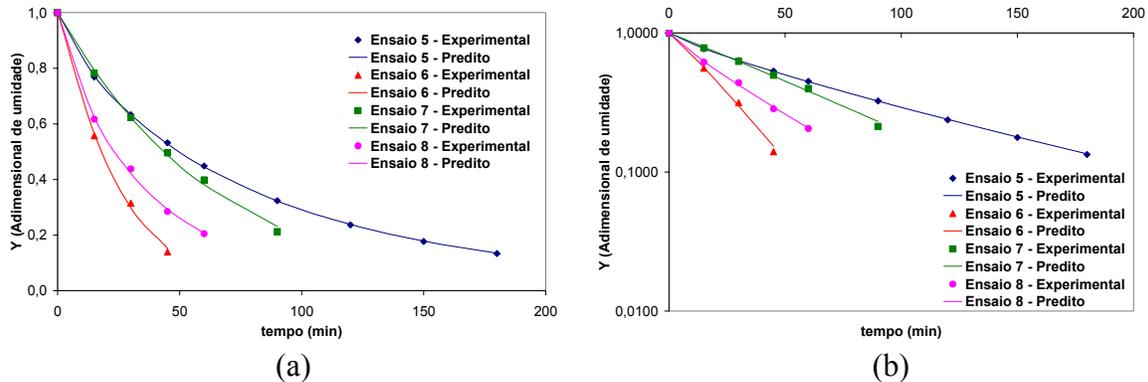


Figura 4.24: Ajuste do modelo de Page aos dados experimentais iniciais de secagem de cogumelo *in natura*, cuja ordenada encontra-se em (a) escala linear e (b) semi-log (Pontos axiais).

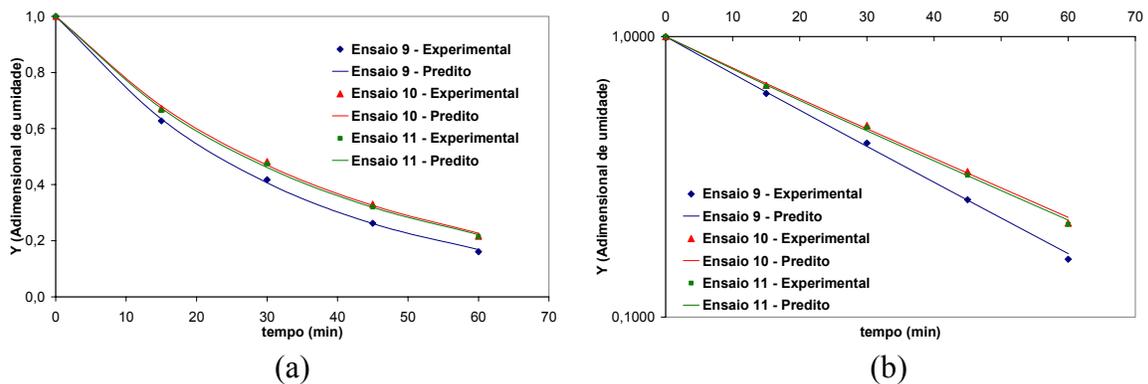


Figura 4.25: Ajuste do modelo de Page aos dados experimentais iniciais de secagem de cogumelo *in natura*, cuja ordenada encontra-se em (a) escala linear e (b) semi-log (Pontos centrais).

Dentre os três modelos analisados, observou-se um melhor ajuste do modelo de Page, com valores de erro relativo médio inferiores a 6%, podendo ser utilizado para a predição da cinética de secagem.

Resultados semelhantes foram obtidos por SIMAL *et al.* (2005) para a secagem de kiwi em cubos a temperatura variando de 30 a 90°C, ao ajustarem os dados experimentais aos modelos comentados, enquanto que PANCHARIYA *et al.* (2002) observaram que o modelo exponencial foi o que melhor descreveu a cinética de secagem de chá preto (temperatura de 80 - 120°C e velocidade do ar de 0,25 - 0,65 m/s).

4.4.2.2. Cogumelo Desidratado Osmoticamente

Os valores de umidade de equilíbrio foram determinados a partir dos dados de umidade relativa do ar de secagem (Tabela 4.14), aplicados no modelo de Henderson modificado, utilizando os valores dos parâmetros conforme Tabela 4.8.

Tabela 4.14: Valores de umidade relativa do ar de secagem e de umidade de equilíbrio para as diferentes condições de temperatura e velocidade do ar para o cogumelo desidratado osmoticamente.

	Ensaio	T (°C)	v_{ar} (m/s)	UR (%)	X_e (g água/g massa seca)
Pontos fatoriais	1	45	1,20	24,2	0,0305
	2	75	1,20	9,8	0,0038
	3	45	2,30	25,7	0,0349
	4	75	2,30	10,5	0,0044
Pontos axiais	5	40	1,75	31,3	0,0566
	6	80	1,75	10,4	0,0042
	7	60	1,00	13,2	0,0076
	8	60	2,5	14,5	0,0093
Pontos centrais	9	60	1,75	14,2	0,0089
	10	60	1,75	14,2	0,0089
	11	60	1,75	14,2	0,0089

4.4.2.2.1 Modelo de Fick

Considerando que a amostra é uma placa plana infinita, o modelo de Fick foi utilizado para determinar a difusividade efetiva, através de ajuste não-linear dos dados experimentais. Foram utilizados mais uma vez os sete primeiros termos da série. Analogamente à análise da cinética de secagem do cogumelo *in natura*, fixou-se um valor de umidade de 0,5 g água/g massa seca, a fim de se obter um melhor ajuste dos modelos estudados aos dados experimentais. Os valores encontrados de difusividade efetiva são

mostrados na Tabela 4.15, assim como os coeficientes de determinação (R^2) e os erros relativos médios (E).

Tabela 4.15: Valores de difusividade efetiva estimada pelo modelo de Fick para os dados iniciais de secagem, coeficiente de determinação e erro relativo médio para o cogumelo desidratado osmoticamente.

	Ensaio	T (°C)	v_{ar} (m/s)	D_{ef} (10^{10} m ² /s)	R^2	E (%)
Pontos fatoriais	1	45	1,20	5,80	0,995	5,52
	2	75	1,20	14,63	0,992	11,78
	3	45	2,30	6,76	0,992	7,90
	4	75	2,30	14,65	0,992	11,85
Pontos axiais	5	40	1,75	5,38	0,986	9,50
	6	80	1,75	11,39	0,983	15,65
	7	60	1,00	7,06	0,981	8,18
	8	60	2,5	12,70	0,997	3,41
Pontos centrais	9	60	1,75	14,14	0,994	8,31
	10	60	1,75	15,08	0,994	10,26
	11	60	1,75	14,80	0,996	6,21

Nas Figuras 4.26, 4.27 e 4.28, estão os dados experimentais dos pontos fatoriais, axiais e centrais, respectivamente, ajustados pelo modelo de Fick, cuja ordenada expressa o adimensional de umidade, em (a) escala linear e (b) semi-log.

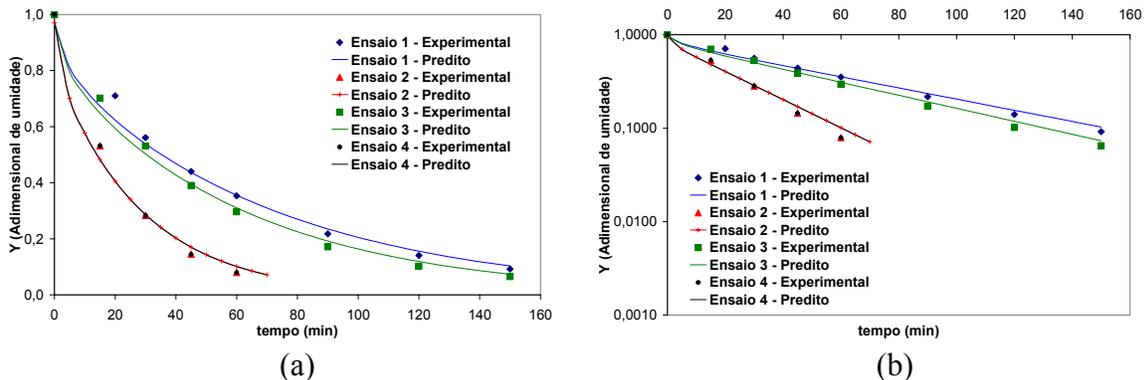


Figura 4.26: Ajuste do modelo de Fick aos dados experimentais iniciais de secagem de cogumelo desidratado osmoticamente, cuja ordenada encontra-se em (a) escala linear e (b) semi-log (Pontos fatoriais).

Analisando as curvas de secagem para os pontos fatoriais (Figura 4.26), percebe-se a influência da temperatura no processo. Comparando os ensaios 1 e 2, que foram realizados na mesma velocidade do ar, mas às temperaturas de 45 e 75°C, respectivamente, percebe-se que a curva do ensaio 2 é mais pronunciada que a curva 1. O mesmo é observado quando são comparadas as curvas dos ensaios 3 e 4. Com relação a influência da velocidade do ar, verifica-se que pouco influenciou nesse processo.

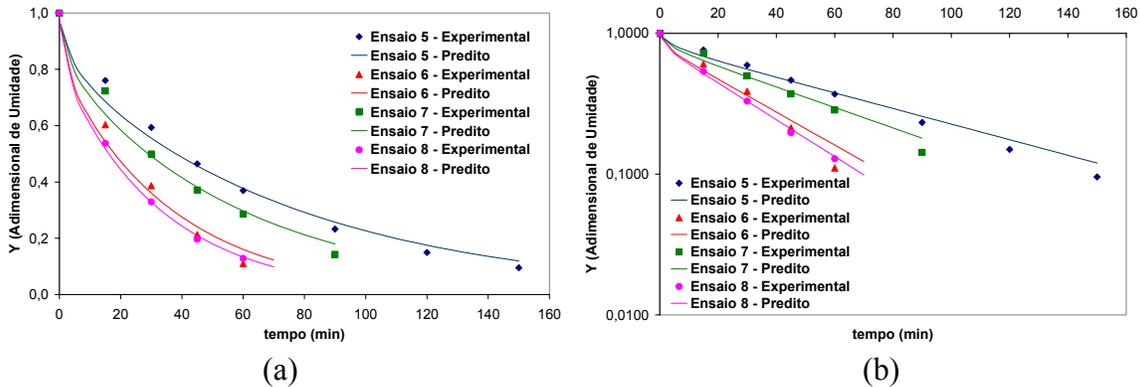


Figura 4.27: Ajuste do modelo de Fick aos dados experimentais iniciais de secagem de cogumelo desidratado osmoticamente, cuja ordenada encontra-se em (a) escala linear e (b) semi-log (Pontos axiais).

De acordo com a Figura 4.27, percebe-se novamente a influência da temperatura (curva do ensaio 5 bem afastada do ensaio 6). Entretanto, verificou-se o efeito da velocidade do ar no processo de secagem, com a curva do ensaio 8 mais acentuada que a do ensaio 7 (com menor velocidade do ar).

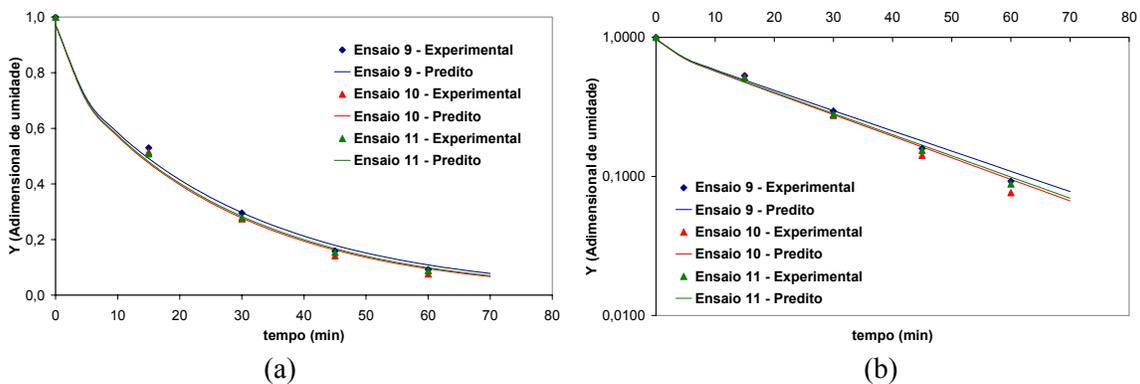


Figura 4.28: Ajuste do modelo de Fick aos dados experimentais iniciais de secagem de cogumelo desidratado osmoticamente, cuja ordenada encontra-se em (a) escala linear e (b) semi-log (Pontos centrais).

4.4.2.2.2 Modelo exponencial

Os dados experimentais da porção inicial da curva de secagem (até umidade de 0,5 g água/g massa seca) também foram descritos pela lei exponencial, através de regressão não-linear, obtendo-se a constante de secagem K , o coeficiente de determinação (R^2) e erro relativo médio (E), que se encontram na Tabela 4.16.

Tabela 4.16: Constante de secagem estimada pela exponencial para os dados iniciais de secagem, coeficiente de determinação e erro relativo médio para o cogumelo desidratado osmoticamente.

	Ensaio	T (°C)	v_{ar} (m/s)	K ($\times 10^4$ s $^{-1}$)	R^2	E (%)
Pontos fatoriais	1	45	1,20	2,99	0,992	8,52
	2	75	1,20	7,05	0,999	0,86
	3	45	2,30	3,43	0,997	8,08
	4	75	2,30	7,05	0,999	0,84
Pontos axiais	5	40	1,75	2,78	0,998	4,29
	6	80	1,75	5,61	0,998	5,87
	7	60	1,00	3,65	0,999	2,16
	8	60	2,5	6,24	0,996	6,19
Pontos centrais	9	60	1,75	6,85	0,999	2,40
	10	60	1,75	7,25	0,999	1,28
	11	60	1,75	7,15	0,999	4,79

Nas Figuras 4.29, 4.30 e 4.31, encontram-se os dados experimentais iniciais dos pontos fatoriais, axiais e centrais, respectivamente, ajustados pelo modelo exponencial, cuja ordenada expressa o adimensional de umidade, em (a) escala linear e (b) semi-log.

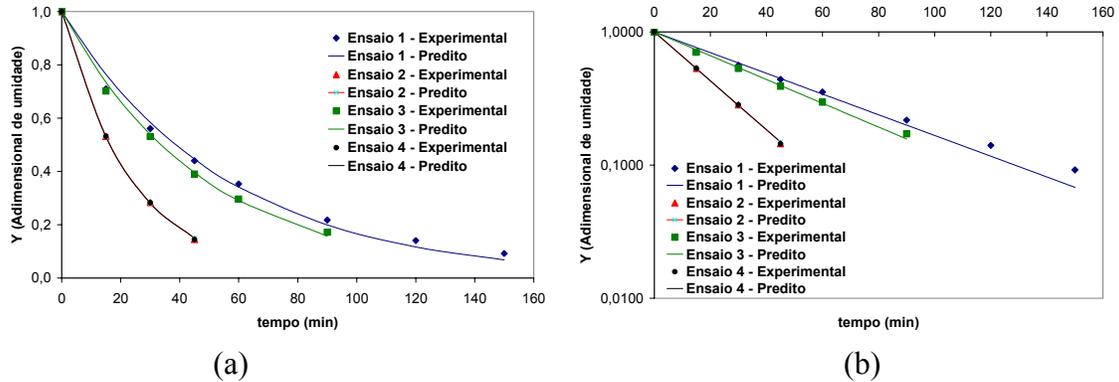


Figura 4.29: Ajuste do modelo exponencial aos dados experimentais iniciais de secagem de cogumelo desidratado osmoticamente, cuja ordenada encontra-se em (a) escala linear e (b) semi-log (Pontos fatoriais).

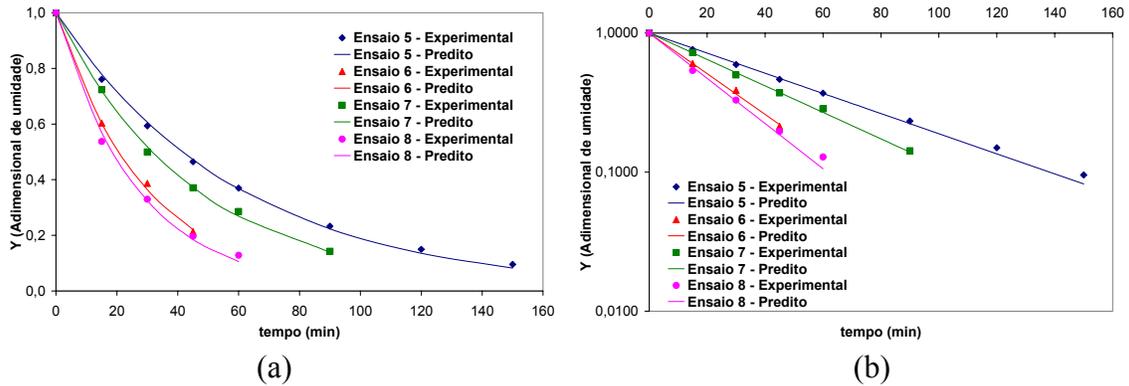


Figura 4.30: Ajuste do modelo exponencial aos dados experimentais iniciais de secagem de cogumelo desidratado osmoticamente, cuja ordenada encontra-se em (a) escala linear e (b) semi-log (Pontos axiais).

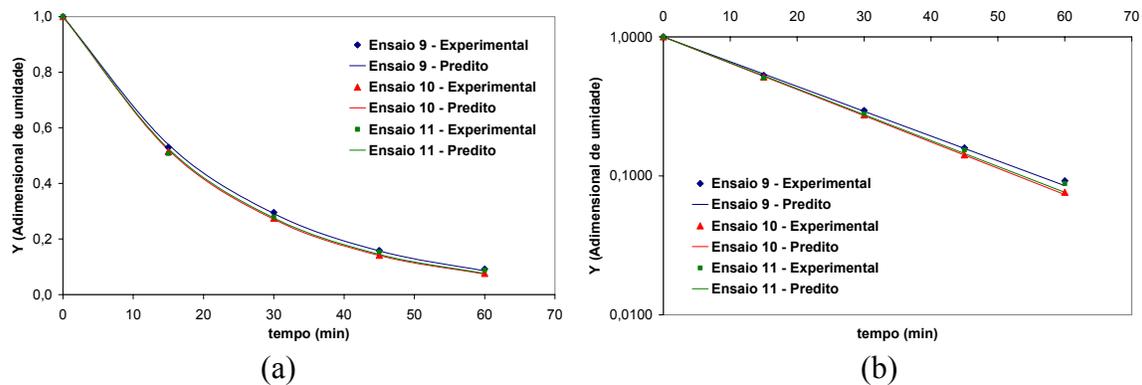


Figura 4.31: Ajuste do modelo exponencial aos dados experimentais iniciais de secagem de cogumelo desidratado osmoticamente, cuja ordenada encontra-se em (a) escala linear e (b) semi-log (Pontos centrais).

Comparando os modelos de Fick e o exponencial (Tabelas 4.15 e 4.16), verifica-se que o modelo exponencial ajustou-se melhor aos dados experimentais, apresentando menores valores de erro relativo médio. Pela Figura 4.32, observa-se que a difusividade efetiva (D_{ef}) e a constante de secagem (K), obtidas respectivamente pelos modelos de Fick e exponencial, apresentaram um comportamento similar com a variação da temperatura e velocidade do ar de processo. Por esses motivos, através do planejamento experimental, preferiu-se obter um modelo preditivo (conforme descrito no item 4.5.1.2) para representar a constante de secagem em função da temperatura e da velocidade do ar de secagem ao invés da difusividade efetiva.

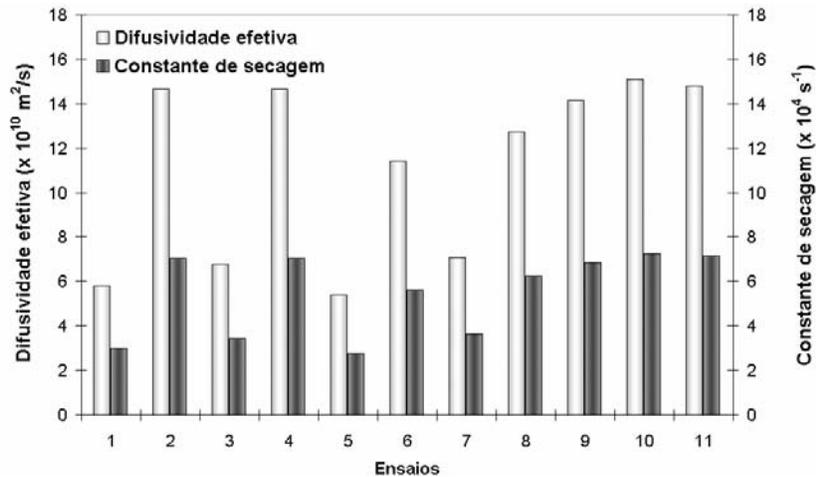


Figura 4.32: Comparação entre os valores de difusividade efetiva (D_{ef}) e constante de secagem (K) do cogumelo desidratado osmoticamente.

4.4.2.2.3 Modelo de Page

Os dados experimentais foram descritos pelo modelo de Page, através de regressão não-linear, obtendo-se os parâmetros estimados (K e b), o coeficiente de determinação (R^2) e erro relativo médio (E), que se encontram na Tabela 4.17.

Tabela 4.17: Parâmetros estimados pela equação de Page para os dados iniciais de secagem, coeficiente de determinação e erro relativo médio para o cogumelo desidratado osmoticamente.

	Ensaio	T (°C)	v_{ar} (m/s)	K ($\times 10^4$ s ^{-b})	b	R^2	E (%)
Pontos fatoriais	1	45	1,20	0,0318	0,8572	0,999	2,09
	2	75	1,20	0,0409	1,0101	0,999	1,03
	3	45	2,30	0,0300	0,9035	0,999	1,26
	4	75	2,30	0,0408	1,0106	0,999	1,03
Pontos axiais	5	40	1,75	0,0219	0,9323	0,999	0,23
	6	80	1,75	0,0280	1,0534	0,998	4,11
	7	60	1,00	0,0246	0,9694	0,999	1,99
	8	60	2,5	0,0588	0,8683	0,999	1,03
Pontos centrais	9	60	1,75	0,0470	0,9599	0,999	0,94
	10	60	1,75	0,0466	0,9793	0,999	0,65
	11	60	1,75	0,0557	0,9223	0,999	0,36

Nas Figuras 4.33, 4.34 e 4.35, encontram-se os dados experimentais dos pontos fatoriais, axiais e centrais, respectivamente, descritos pelo modelo de Page, cuja ordenada expressa o adimensional de umidade, em (a) escala linear e (b) semi-log.

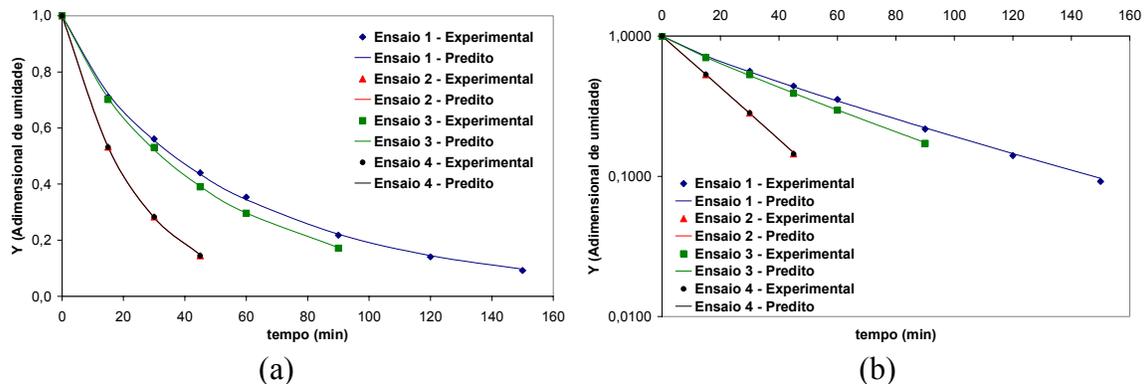


Figura 4.33: Ajuste do modelo de Page aos dados experimentais iniciais de secagem de cogumelo desidratado osmoticamente, cuja ordenada encontra-se em (a) escala linear e (b) semi-log (Pontos fatoriais).

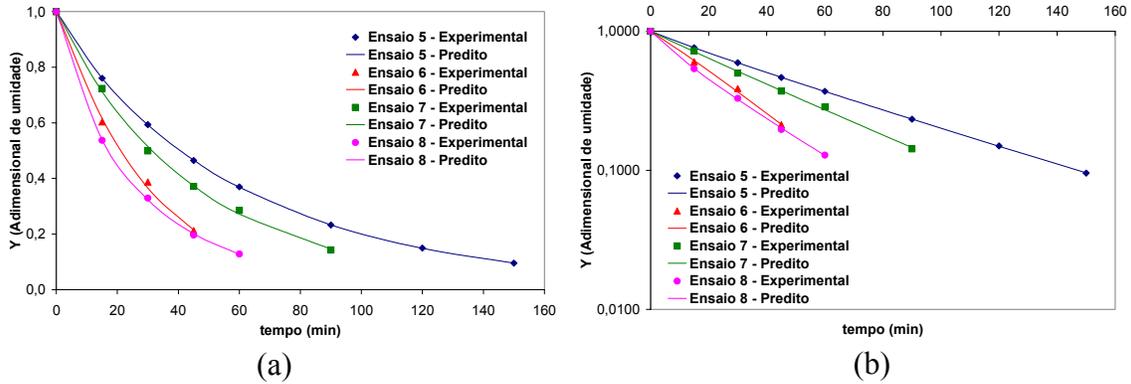


Figura 4.34: Ajuste do modelo de Page aos dados experimentais iniciais de secagem de cogumelo desidratado osmoticamente, cuja ordenada encontra-se em (a) escala linear e (b) semi-log (Pontos axiais).

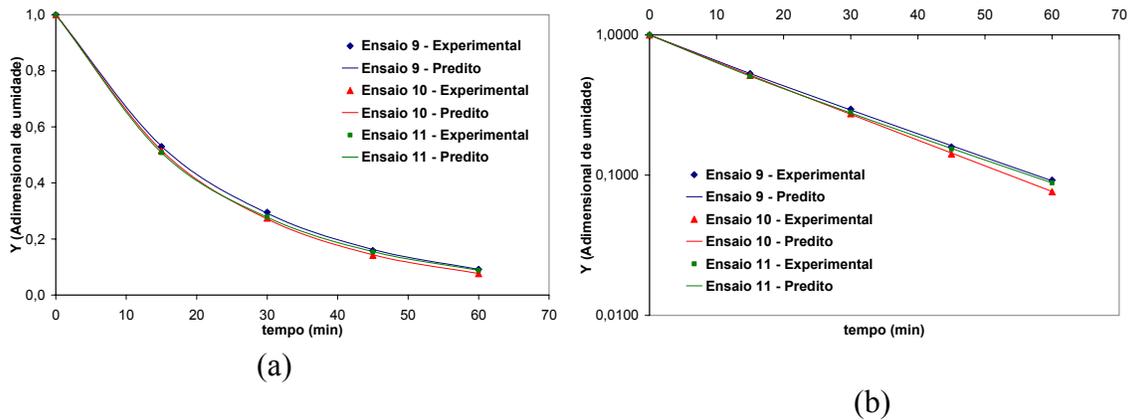


Figura 4.35: Ajuste do modelo de Page aos dados experimentais iniciais de secagem de cogumelo desidratado osmoticamente, cuja ordenada encontra-se em (a) escala linear e (b) semi-log (Pontos centrais).

Dentre os três modelos analisados, observou-se um melhor ajuste do modelo de Page em relação ao de Fick e ao exponencial, com erros relativos médios inferiores a 5%, podendo ser utilizado para a predição da cinética de secagem.

Analisando os valores de difusividade efetiva, encontrados na Tabela 4.18, observa-se que os dados confirmam os resultados discutidos anteriormente no item 4.4.1 sobre a influência da temperatura e da velocidade do ar de processo sobre a taxa de secagem.

Na Tabela 4.18 pode-se analisar também a influência do tratamento osmótico na difusividade efetiva (e conseqüentemente, na taxa de secagem) nas diferentes temperaturas

e velocidades do ar de secagem utilizadas. Entretanto, deve-se lembrar que os valores de difusividade efetiva foram calculados para até uma determinada umidade, que é de 0,5 g água/g massa e de 1,5 g água/g massa seca para os cogumelos sem e com tratamento osmótico, respectivamente.

Para a maioria dos ensaios, observa-se que a desidratação osmótica favoreceu a secagem, aumentando a taxa de secagem, com exceção dos ensaios 4 e 6, em que houve uma redução da difusividade efetiva das amostras pré-tratadas. Esse fato pode ser explicado devido, provavelmente, ao maior encolhimento e endurecimento superficial durante a secagem nestas condições das amostras desidratadas osmoticamente, fatores que dificultam transferência de umidade, resultado em um baixo valor de difusividade.

Tabela 4.18: Valores de difusividade efetiva para o cogumelo *Agaricus blazei* com e sem tratamento osmótico.

	Ensaio	T (°C)	v _{ar} (m/s)	D _{ef} (10 ¹⁰ m ² /s)	
				<i>in natura</i>	Desidratado osmoticamente
Pontos fatoriais	1	45	1,20	3,84	5,80
	2	75	1,20	11,91	14,63
	3	45	2,30	6,77	6,76
	4	75	2,30	16,80	14,65
Pontos axiais	5	40	1,75	4,13	5,38
	6	80	1,75	13,48	11,39
	7	60	1,00	4,86	7,06
	8	60	2,5	9,19	12,70
Pontos centrais	9	60	1,75	9,92	14,14
	10	60	1,75	8,03	15,08
	11	60	1,75	8,23	14,80

BARONI (1997), trabalhando com pedaços de cebola *in natura* e desidratada osmoticamente com solução salina de 10 e 15%, observou que amostras pré-tratadas com solução a 10% obteve, maiores valores de difusividade efetiva, seguida da cebola tratada com 15% de sal e da amostra *in natura*. A autora concluiu que, na amostra desidratada a 10%, o sal favoreceu a remoção de água do produto durante a secagem,

enquanto que a cebola imersa em solução mais concentrada obteve valores de difusividade efetiva menores, provavelmente devido ao alto teor de sal nas células que dificultaram a migração de água.

Resultados semelhantes foram encontrados por RIBEIRO (2005) na secagem de filés de mapará *in natura* e desidratado osmoticamente com solução binária de água + NaCl. A autora observou um aumento do valor da difusividade efetiva do peixe pré-tratado com relação ao *in natura* durante a secagem, provavelmente relacionados, de acordo com a autora, com a quantidade de sólidos incorporados ou aos efeitos desnaturantes do sal nas proteínas do pescado.

4.5. Planejamento Experimental

Para avaliar a influência das variáveis de processo (temperatura e velocidade do ar de secagem) sobre a constante de secagem K e diferença total de cor ΔE^* nas amostras de cogumelo *in natura* e desidratado osmoticamente (Tabelas 4.19 e 4.20), foi utilizado um planejamento fatorial completo 2^2 , mais os pontos centrais (nível 0) e os pontos axiais (níveis $\pm\alpha$).

Tabela 4.19: Resultados experimentais de constante de secagem e diferença total de cor obtidos através da secagem de cogumelos *Agaricus blazei* sem pré-tratamento osmótico.

Ensaio	Variáveis Independentes				Respostas	
	Real		Codificado		$K (x 10^4 s^{-1})$	ΔE^*
T (°C)	v_{ar} (m/s)	T	v_{ar}			
1	45	1,20	-1	-1	2,02	14,35
2	75	1,20	+1	-1	6,00	29,15
3	45	2,30	-1	+1	3,54	25,11
4	75	2,30	+1	+1	8,06	23,60
5	40	1,75	-1,41	0	2,17	10,65
6	80	1,75	+1,41	0	6,67	22,55
7	60	1,00	0	-1,41	2,59	24,15
8	60	2,50	0	+1,41	4,69	22,63
9	60	1,75	0	0	4,99	12,98
10	60	1,75	0	0	4,18	8,98
11	60	1,75	0	0	4,26	9,83

Tabela 4.20: Resultados experimentais de constante de secagem e diferença total de cor obtidos através da secagem de cogumelos *Agaricus blazei* desidratado osmoticamente.

Ensaio	Variáveis Independentes				Respostas	
	Real		Codificado		$K (x 10^4 s^{-1})$	ΔE^*
T (°C)	v_{ar} (m/s)	T	v_{ar}			
1	45	1,20	-1	-1	2,99	26,03
2	75	1,20	+1	-1	7,05	34,20
3	45	2,30	-1	+1	3,43	28,82
4	75	2,30	+1	+1	7,05	31,19
5	40	1,75	-1,41	0	2,78	23,90
6	80	1,75	+1,41	0	5,61	30,67
7	60	1,00	0	-1,41	3,65	26,88
8	60	2,50	0	+1,41	6,24	33,20
9	60	1,75	0	0	6,85	34,26
10	60	1,75	0	0	7,25	33,74
11	60	1,75	0	0	7,15	35,12

4.5.1. Constante de Secagem

4.5.1.1. Cogumelo *in natura*

Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e das interações na constante de secagem, assim como o erro, o coeficiente t e a significância estatística podem ser observados nas Tabelas 4.21 e 4.22 (calculados pelo Erro Puro e pelo SS Residual, respectivamente). Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e da interação, em negrito, são significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$). Na Figura 4.36, são apresentados os efeitos estimados de cada fator e suas interações, na forma de um gráfico de barras, para melhor visualização.

Os valores dos efeitos estimados indicam quanto cada fator influencia na resposta estudada (neste caso, a constante de secagem). Quanto maior é o seu valor, maior é a sua influência, e um efeito positivo indica que ao passar de um valor mínimo a um valor máximo da variável, a resposta aumenta. Já um efeito negativo indica o contrário, ou seja, ao passar de um valor mínimo para o valor máximo, a resposta diminui.

Tabela 4.21: Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para cada fator no modelo codificado para constante de secagem do cogumelo sem pré-tratamento.

Fatores	Efeito Estimado ($\times 10^5$)	Erro Puro ($\times 10^5$)	t (2)	Significância Estatística (p)
Média	44,8	2,6	17,4	0,003
Temperatura (L)	37,2	3,2	11,8	0,007
Temperatura (Q)	3,8	3,8	1,0	0,417
Velocidade do ar (L)	16,4	3,2	5,2	0,035
Velocidade do ar (Q)	-4,0	3,8	-1,1	0,399
Temperatura x Velocidade do ar	2,7	4,5	0,6	0,607

(L): linear (Q): quadrático

Tabela 4.22: Efeito estimado, SS Residual, coeficiente t e grau de significância estatística, para cada fator no modelo codificado para constante de secagem do cogumelo sem pré-tratamento.

Fatores	Efeito Estimado ($\times 10^5$)	Erro ($\times 10^5$)	t (5)	Significância Estatística (p)
Média	44,8	4,1	10,9	0,000
Temperatura (L)	37,2	5,1	7,4	0,001
Temperatura (Q)	3,8	6,0	0,6	0,554
Velocidade do ar (L)	16,4	5,1	3,2	0,023
Velocidade do ar (Q)	-4,0	6,0	-0,7	0,536
Temperatura x Velocidade do ar	2,7	7,2	0,4	0,721

(L): linear (Q): quadrático

O valor de t indica o quão grande é a variável em relação ao seu desvio. Assim, quanto maior o valor de t, maior a probabilidade de a variável ser estatisticamente significativa.

O coeficiente p está relacionado ao nível de significância da variável independente sobre a resposta em estudo. Normalmente é escolhido como intervalo de confiança o valor de 95%. Sendo assim, pode-se afirmar que para valores de p inferiores a 5%, a variável é considerada estatisticamente significativa. Caso contrário, é considerada não significativa.

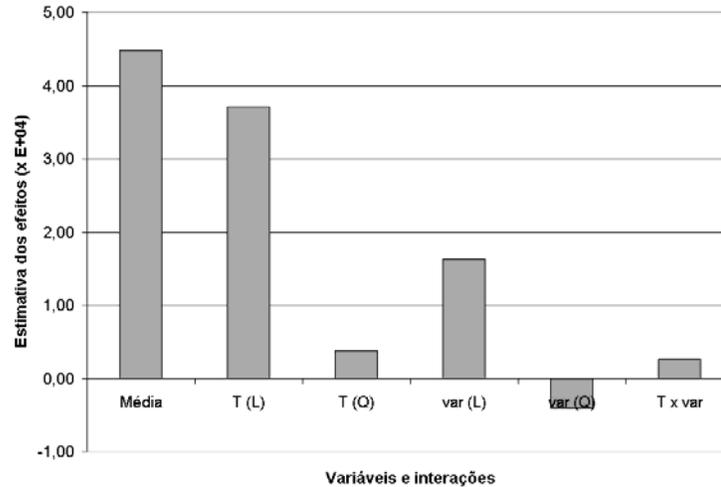


Figura 4.36: Estimativa dos efeitos para a constante de secagem do cogumelo sem pré-tratamento osmótico.

Através destas tabelas e da Figura 4.36, percebe-se que os parâmetros temperatura (L), temperatura (Q), velocidade do ar (L) e a interação temperatura x velocidade do ar apresentam um efeito positivo na constante de secagem, ou seja, um aumento em qualquer um desses fatores acarreta um aumento na resposta, enquanto o parâmetro velocidade do ar (Q) apresentou um efeito negativo, ou seja, um aumento neste fator acarreta uma diminuição na constante de secagem. Entretanto, somente os fatores temperatura (L) e velocidade do ar (L) apresentaram um efeito significativo a $p \leq 0,05$.

Eliminando-se os fatores não-significativos, verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste em relação a $p \leq 0,05$, através do teste F, na análise de variância. Na Tabela 4.23, encontram-se os valores calculados e tabelados de F.

Tabela 4.23: Análise de variância do modelo ajustado para constante de secagem do cogumelo sem pré-tratamento.

Fonte de variação	$SQ (x10^9)$	GL	$MQ (x10^9)$	$F_{calculado}$	$F_{tabelado}$
Regressão	329,80	2	164,90	40,87	4,46
Resíduo:	32,28	8	4,04		
-Falta de ajuste	28,3	6	4,72	2,37	19,33
-Erro puro	3,98	2	1,99		
Total	362,08	10			

SQ : soma quadrática

GL : grau de liberdade

MQ : média quadrática

O valor de F da regressão em relação aos resíduos deve ser o maior possível, pois isso indica que a variação é explicada pela regressão e não pelos resíduos. Para que a regressão seja considerada estatisticamente significativa, o $F_{\text{calculado}}$ deve ser maior que o F_{tabelado} . Já o F da falta de ajuste em relação ao erro puro, pelo contrário, deve apresentar o menor valor possível, pois um alto F indica que há uma grande falta de ajuste dos dados ao modelo obtido.

O coeficiente de determinação (R^2) para o modelo ajustado foi de 0,9106, indicando que o modelo explicou 91,06% da variação dos dados observados. O modelo apresentou regressão significativa ao nível de 95% de confiança ($F_{\text{calculado}}$ da regressão com relação ao resíduo superior ao F_{tabelado}) e falta de ajuste não significativo no mesmo nível de confiança ($F_{\text{calculado}}$ da falta de ajuste com relação ao erro puro inferior ao F_{tabelado}).

Sendo assim, o modelo codificado (Equação 4.1) ajustado para constante de secagem no processo de secagem de cogumelo *Agaricus blazei* na forma *in natura* é a seguinte:

$$K = (4,47 + 1,86T + 0,82v_{ar}) \times 10^{-4} \quad (4.1)$$

Onde:

K é a constante do modelo exponencial (s^{-1});

T é a temperatura (codificada);

v_{ar} é a velocidade do ar (codificada).

Nas Figuras 4.37 são mostradas a superfície de resposta (a) e a curva de nível (b) gerada através do modelo proposto. Esta superfície confirma a análise dos efeitos realizados anteriormente, ou seja, há um aumento do valor da constante de secagem (K) com a elevação dos parâmetros temperatura (L) e velocidade do ar (L). Percebe-se que os maiores valores de K ocorrem para maiores valores de temperatura e velocidade do ar.

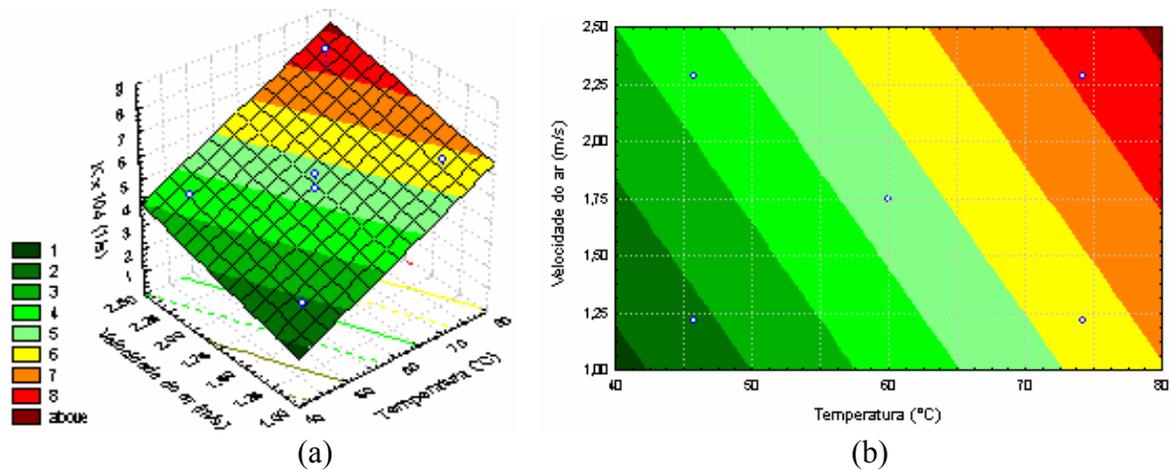


Figura 4.37: Superfície de resposta (a) e curva de nível (b) para constante de secagem do cogumelo *in natura*, relacionando temperatura (°C) e velocidade do ar (m/s).

4.5.1.2. Cogumelo Desidratado Osmoticamente

Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e das interações na constante de secagem, assim como o erro, o coeficiente t e a significância estatística podem ser observados nas Tabelas 4.24 e 4.25 (calculados pelo Erro Puro e pelo SS Residual, respectivamente). Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e da interação, em negrito, são significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$). Na Figura 4.38 são apresentados os efeitos estimados de cada fator e suas interações, na forma de um gráfico de barras, para melhor visualização.

Tabela 4.24: Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para cada fator no modelo codificado para constante de secagem do cogumelo desidratado osmoticamente.

Fatores	Efeito Estimado (10^5)	Erro Puro (10^5)	t (2)	Significância Estatística (p)
Média	70,8	1,2	58,9	0,000
Temperatura (L)	29,2	1,5	19,8	0,003
Temperatura (Q)	-26,1	1,8	-14,9	0,005
Velocidade do ar (L)	10,3	1,5	7,0	0,020
Velocidade do ar (Q)	-18,6	1,8	-10,6	0,009
Temperatura x Velocidade do ar	-2,2	2,1	-1,1	0,401

(L): linear (Q): quadrático

Tabela 4.25: Efeito estimado, SS Residual, coeficiente t e grau de significância estatística, para cada fator no modelo codificado para constante de secagem do cogumelo desidratado osmoticamente.

Fatores	Efeito Estimado (10^5)	Erro (10^5)	t (5)	Significância Estatística (p)
Média	70,8	5,0	14,3	0,000
Temperatura (L)	29,2	6,1	4,8	0,005
Temperatura (Q)	-26,1	7,2	-3,6	0,016
Velocidade do ar (L)	10,3	6,1	1,7	0,153
Velocidade do ar (Q)	-18,6	7,2	-2,6	0,050
Temperatura x Velocidade do ar	-2,2	8,6	-0,3	0,808

(L): linear (Q): quadrático

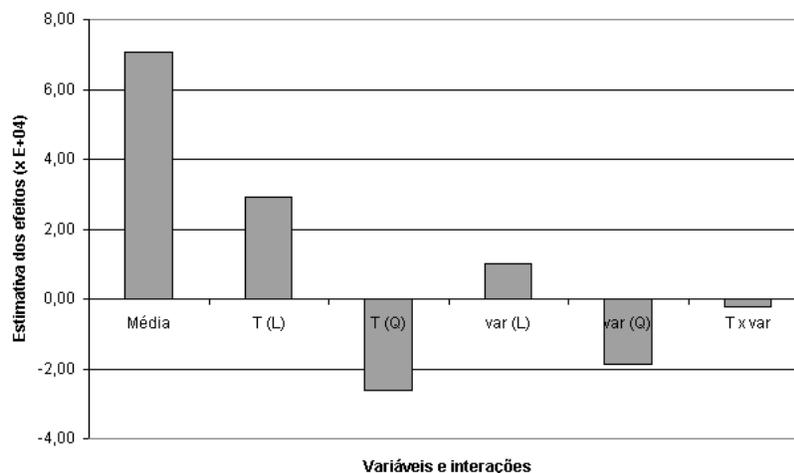


Figura 4.38: Estimativa dos efeitos para a constante de secagem do cogumelo desidratado osmoticamente.

Analisando as Tabelas 4.24 e 4.25, percebe-se que os fatores que são significativos a 95% de confiança, tanto pelo erro puro quanto pelo SS residual, são a temperatura (L) e temperatura (Q). Analisando os outros fatores pelo SS Residual e que são significativos pelo erro puro, nota-se que as velocidades do ar (L) e (Q) apresentaram um valor de p igual a 0,153 e 0,050, significando que esses fatores estão dentro de um limite de confiança de 84% e 94%, respectivamente. Sendo assim, não seria conveniente descartá-los. Já o fator

temperatura x velocidade do ar apresentou valor de p muito alto e, portanto, não deve ser considerado significativo.

Eliminando-se o fator não-significativo (temperatura x velocidade do ar), verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste em relação a 95% de confiança ($p \leq 0,05$), através do teste F , na análise de variância. Na Tabela 4.26, encontram-se os valores calculados e tabelados de F .

Tabela 4.26: Análise de variância do modelo ajustado para constante de secagem do cogumelo desidratado osmoticamente.

Fonte de variação	$SQ (x10^9)$	GL	$MQ (x10^9)$	$F_{calculado}$	$F_{tabelado}$
Regressão	306,08	4	76,52	12,24	4,53
Resíduo:	37,51	6	6,25		
-Falta de ajuste	36,65	4	9,16	21,14	19,25
-Erro puro	0,87	2	0,43		
Total	346,60	10			

SQ : soma quadrática

GL : grau de liberdade

MQ : média quadrática

O modelo apresentou regressão e falta de ajuste significativa ao nível de 95% de confiança ($F_{calculado}$ superior ao $F_{tabelado}$). O alto valor de $F_{calculado}$ para a falta de ajuste em relação ao erro puro é devido ao fato de a média quadrática (MQ) do erro puro apresentar um valor muito inferior à MQ da falta de ajuste (devido à boa repetibilidade dos ensaios nos pontos centrais). Isso faz com que a razão entre eles resulte num valor muito alto. Sendo assim, para verificar o ajuste do modelo, pode-se calcular os valores das constantes de secagem preditos por ele e compará-los com os valores experimentais, obtendo-se o erro relativo entre eles. Analisando a Tabela 4.27, percebe-se que os erros relativos variaram de 0,93% a 23,29%, sendo que o erro relativo médio foi de 9,36%.

Tabela 4.27: Valores preditos e experimentais de constante de secagem, e o erro relativo entre eles.

Ensaio	K experimental x 10^4	K predito x 10^4	Erro relativo (%)
1	2,98	2,88	3,78
2	7,05	5,80	17,76
3	3,37	3,90	13,77
4	7,05	6,82	3,22
5	2,78	2,41	13,32
6	5,62	6,54	16,58
7	3,65	4,50	23,29
8	6,25	5,95	4,65
9	6,85	7,08	3,41
10	7,25	7,08	2,30
11	7,15	7,08	0,93
Desvio relativo médio			9,36

O coeficiente de determinação (R^2) para o modelo ajustado foi de 0,8908, indicando que o modelo explicou 89,08% da variação dos dados observados. O modelo apresentou regressão significativa ao nível de 95% de confiança ($F_{\text{calculado}}$ superior ao F_{tabelado}).

Sendo assim, o modelo codificado (Equação 4.2) ajustado para constante do modelo exponencial no processo de secagem de cogumelo *Agaricus blazei* desidratado osmoticamente é:

$$K = (7,08 + 1,46T - 1,30T^2 + 0,51v_{ar} - 0,93v_{ar}^2) \times 10^{-4} \quad (4.2)$$

Onde:

K é a constante do modelo exponencial (s^{-1});

T é a temperatura (codificada);

v_{ar} é a velocidade do ar (codificada).

Nas Figuras 4.39 são mostradas as superfícies de resposta (a) e a curva de nível (b) gerada através do modelo proposto. Estas superfícies confirmam a análise dos efeitos realizada anteriormente e permitem visualizar a variação da resposta para os parâmetros estudados. Percebe-se que os maiores valores de constante de secagem ocorrem para valores de temperatura entre 60 a 75°C e velocidade do ar entre 1,5 a 2,25 m/s.

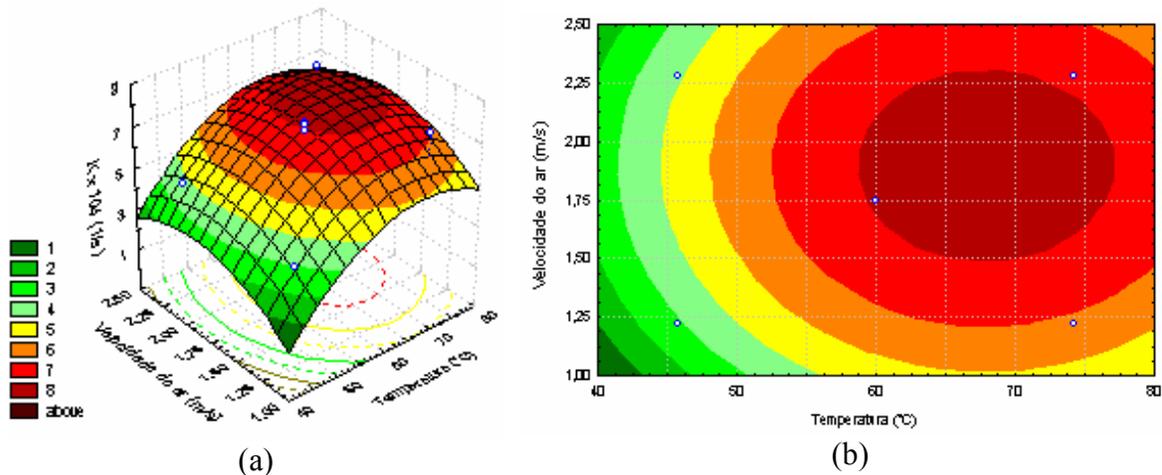


Figura 4.39: Superfície de resposta (a) e curva de nível (b) para a constante de secagem do cogumelo desidratado osmoticamente, relacionando temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e velocidade do ar (m/s).

Trabalhando com kiwi em cubos, SIMAL *et al.* (2005) ajustaram o modelo exponencial aos dados experimentais de secagem. Assim, obtiveram os valores das constantes de secagem a diferentes temperaturas de processo (30 a 90°C) que se encontram na mesma ordem de grandeza dos valores obtidos neste trabalho. Os autores encontraram um modelo linear da constante de secagem em função da temperatura, com um coeficiente de determinação de 0,993.

A influência das variáveis temperatura (80 a 120°C) e velocidade do ar de secagem (0,25 a 0,65 m/s) na cinética de secagem de folhas de chá preto foi estudada por PANCHARIYA *et al.* (2002). O modelo exponencial foi ajustado aos dados experimentais, obtendo-se os valores de constante de secagem. Os autores observaram a influência das variáveis de processo no valor da constante de secagem que varia linearmente com a temperatura.

PARK *et al.* (2002) obtiveram valores experimentais de difusividade efetiva de pês D'Anjou *in natura* e desidratadas osmoticamente (solução de sacarose 55°Brix). As amostras foram secas a diferentes temperaturas (40, 60 e 80°C) e velocidades do ar (1,0 e 2,0 m/s). Para as amostras desidratadas osmoticamente, houve um aumento da difusividade com o aumento das variáveis de processo, enquanto que nas amostras *in natura*, observou-se uma redução da difusividade efetiva com o aumento da velocidade do ar, provavelmente

devido ao encolhimento e ao endurecimento superficial da amostra durante a secagem. Entretanto, a difusividade aumentou com o aumento da temperatura.

RIBEIRO (2000) realizou um estudo da cinética de secagem de filé de peixe matrinchã defumado a líquido. Através de um planejamento fatorial completo 2^3 , a autora analisou a influência das variáveis: temperatura de secagem, tempo de imersão e concentração de fumaça no valor da difusividade efetiva. Observou-se que as variáveis temperatura e concentração de fumaça foram significativas a um nível de 95% de confiança, tendo um efeito positivo sobre a resposta, obtendo assim um modelo linear para estimar a difusividade efetiva.

Em seus estudos de secagem com raízes de chicória fatiadas e em cubos, OLIVEIRA (2005) verificou a influência da temperatura (41,7°C a 98,3°C) e da velocidade do ar (0,34 m/s a 1,46 m/s) no valor da difusividade efetiva através de um planejamento fatorial completo 2^2 . Para a secagem da raiz fatiada, o autor observou somente um efeito da temperatura (L) para a raiz *in natura* e um efeito dos parâmetros temperatura (L), velocidade do ar (L) e da interação temperatura x velocidade do ar para a raiz congelada. Para as raízes em cubos, verificou-se o efeito da temperatura e da velocidade do ar (L) tanto para o produto *in natura*, quanto para o congelado.

4.5.2. Diferença Total de Cor

4.5.2.1. Cogumelo *in natura*

Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e das interações na diferença total de cor, assim como o erro, o coeficiente t e a significância estatística podem ser observados nas Tabelas 4.28 e 4.29 (calculados pelo Erro Puro e pelo SS Residual, respectivamente). Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e da interação, em negrito, são significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$). Na Figura 4.40 são apresentados os efeitos estimados de cada fator e suas interações, na forma de um gráfico de barras, para melhor visualização.

Tabela 4.28: Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para cada fator no modelo codificado para diferença total de cor do cogumelo sem pré-tratamento.

Fatores	Efeito Estimado	Erro Puro	t (2)	Significância Estatística (p)
Média	10,60	1,22	8,71	0,013
Temperatura (L)	7,53	1,49	5,05	0,037
Temperatura (Q)	7,53	1,77	4,25	0,051
Velocidade do ar (L)	0,77	1,49	0,51	0,659
Velocidade do ar (Q)	14,32	1,77	8,08	0,015
Temperatura x Velocidade do ar	-8,16	2,11	-3,87	0,061

(L): linear (Q): quadrático

Tabela 4.29: Efeito estimado, SS Residual, coeficiente t e grau de significância estatística, para cada fator no modelo codificado para diferença total de cor do cogumelo sem pré-tratamento.

Fatores	Efeito Estimado	Erro	t (5)	Significância Estatística (p)
Média	10,60	1,55	6,85	0,001
Temperatura (L)	7,53	1,90	3,97	0,011
Temperatura (Q)	7,53	2,26	3,34	0,021
Velocidade do ar (L)	0,77	1,90	0,40	0,703
Velocidade do ar (Q)	14,32	2,26	6,35	0,001
Temperatura x Velocidade do ar	-8,16	2,68	-3,04	0,029

(L): linear (Q): quadrático

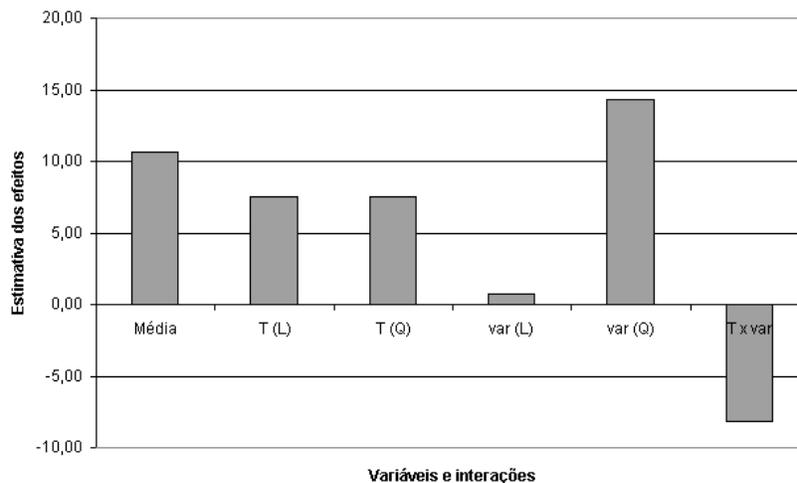


Figura 4.40: Estimativa dos efeitos para a diferença total de cor do cogumelo sem pré-tratamento.

Os valores dos efeitos principais e das interações foram determinados através do Erro Puro e do SS Residual. Para ambos, o fator significativo a 95% de confiança foi a temperatura (L) e velocidade do ar (Q), conforme mostram as Tabelas 4.28 e 4.29. Analisando os outros fatores que são significativos pelo SS Residual e não são pelo Erro Puro, nota-se que a temperatura (Q) e a interação temperatura x velocidade do ar apresentaram um p igual a 0,051 e 0,061, respectivamente, significando que esses fatores estão dentro de um limite de confiança de 93%. Sendo assim, não seria conveniente descartá-los. Já o fator velocidade do ar (L) apresentou valor de p muito alto e, portanto, não deve ser considerado significativo.

Eliminando-se os fatores não-significativos, verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste em relação a $p \leq 0,05$, através do teste F, na análise de variância. Na Tabela 4.30, encontram-se os valores calculados e tabelados de F.

Tabela 4.30: Análise de variância do modelo ajustado para diferença total de cor do cogumelo sem pré-tratamento.

Fonte de variação	<i>SQ</i>	<i>GL</i>	<i>MQ</i>	$F_{\text{calculado}}$	F_{tabelado}
Regressão	486,52	4	121,63	19,68	4,53
Resíduo:	37,09	6	6,18		
-Falta de ajuste	28,20	4	7,05	1,59	19,25
-Erro puro	8,88	2	4,44		
Total	523,60	10			

SQ: soma quadrática

GL: grau de liberdade

MQ: média quadrática

O coeficiente de determinação (R^2) para o modelo ajustado foi de 0,9292, indicando que o modelo explicou 92,92% da variação dos dados observados. O modelo apresentou regressão significativa ao nível de 95% de confiança ($F_{\text{calculado}}$ da regressão com relação aos resíduos superior ao F_{tabelado}) e falta de ajuste não significativo no mesmo nível de confiança ($F_{\text{calculado}}$ da falta de ajuste com relação ao erro puro inferior ao F_{tabelado}).

Sendo assim, o modelo codificado Equação (4.3) ajustado para diferença total de cor no processo de secagem de cogumelo *Agaricus blazei* na forma *in natura* é a seguinte:

$$\Delta E^* = 10,60 + 3,76T + 3,77T^2 + 7,16v_{ar}^2 - 4,18Tv_{ar} \quad (4.3)$$

Onde:

ΔE^* é a diferença total de cor;

T é a temperatura (codificada);

v_{ar} é a velocidade do ar (codificada).

Nas Figuras 4.41 são mostradas a superfície de resposta (a) e a curva de nível (b) gerada através do modelo proposto, permitindo visualizar a variação da resposta para os parâmetros estudados. Percebe-se que os menores valores de ΔE^* ocorrem para valores de temperatura entre 40 e 55°C e velocidade do ar entre 1,50 e 1,75 m/s.

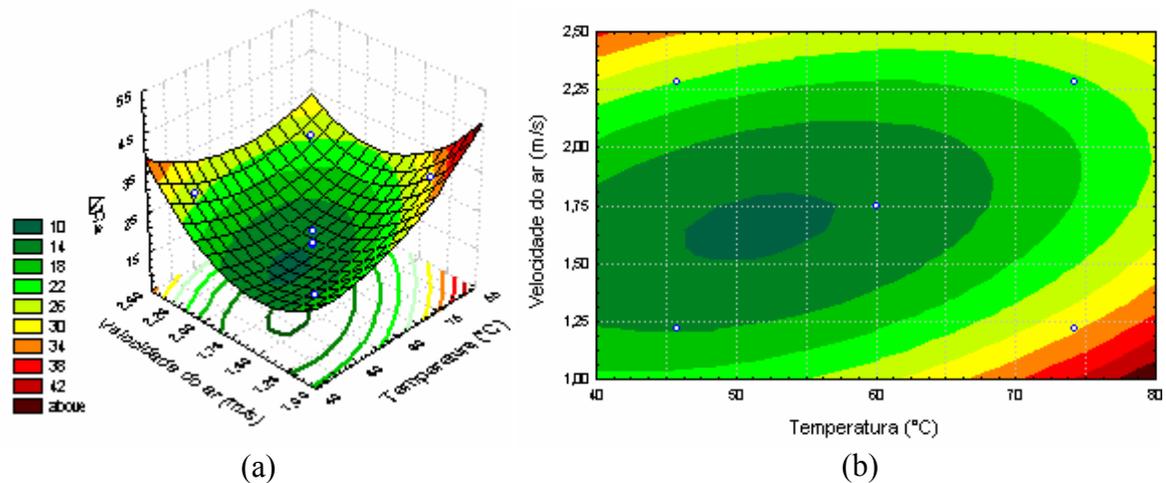


Figura 4.41: Superfície de resposta (a) e curva de nível (b) para diferença total de cor do cogumelo *in natura*, relacionando temperatura (°C) e velocidade do ar (m/s).

4.5.2.2. Cogumelo Desidratado Osmoticamente

Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e das interações na diferença total de cor, assim como o erro, o coeficiente t e a significância estatística podem ser observados nas Tabelas 4.31 e 4.32 (calculados pelo Erro Puro e pelo SS Residual, respectivamente). Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e da interação, em negrito, são significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$). Na Figura 4.42 são apresentados os efeitos estimados de cada fator e suas interações, na forma de um gráfico de barras, para melhor visualização.

Tabela 4.31: Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para cada fator no modelo codificado para diferença total de cor do cogumelo desidratado osmoticamente

Fatores	Efeito Estimado	Erro Puro	t (2)	Significância Estatística (p)
Média	34,37	0,40	85,42	0,000
Temperatura (L)	2,51	0,25	10,20	0,010
Temperatura (Q)	-3,19	0,29	-10,89	0,008
Velocidade do ar (L)	1,09	0,25	4,42	0,048
Velocidade do ar (Q)	-1,82	0,29	-6,20	0,025
Temperatura x Velocidade do ar	-1,45	0,35	-4,16	0,053

(L): linear (Q): quadrático

Tabela 4.32: Efeito estimado, SS Residual, coeficiente t e grau de significância estatística, para cada fator no modelo codificado para diferença total de cor do cogumelo desidratado osmoticamente.

Fatores	Efeito Estimado	Erro	t (5)	Significância Estatística (p)
Média	34,37	1,02	33,84	0,000
Temperatura (L)	2,51	0,62	4,04	0,010
Temperatura (Q)	-3,19	0,74	-4,32	0,008
Velocidade do ar (L)	1,09	0,62	1,75	0,140
Velocidade do ar (Q)	-1,82	0,74	-2,45	0,058
Temperatura x Velocidade do ar	-1,45	0,88	-1,65	0,160

(L): linear (Q): quadrático

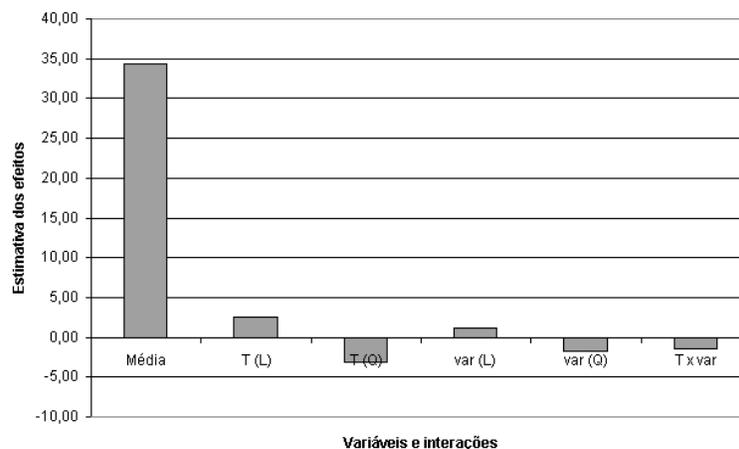


Figura 4.42: Estimativa dos efeitos para a diferença total de cor do cogumelo desidratado osmoticamente.

Analisando as Tabelas 4.31 e 4.32, percebe-se que os fatores que são significativos a 95% de confiança, tanto pelo erro puro quanto pelo SS residual, são a temperatura (L) e (Q). Analisando os outros fatores pelo SS Residual e pelo Erro Puro, nota-se todos apresentaram um p inferior a 0,2, significando que esses fatores estão dentro de um limite de confiança de 80%, respectivamente. Sendo assim, não seria conveniente descartá-los.

Assim, considerando todos os fatores, verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste com 95% de confiança ($p \leq 0,05$), através do teste F, na análise de variância. Na Tabela 4.33, encontram-se os valores calculados e tabelados de F.

Tabela 4.33: Análise de variância do modelo ajustado para diferença total de cor do cogumelo desidratado osmoticamente.

Fonte de variação	<i>SQ</i>	<i>GL</i>	<i>MQ</i>	$F_{\text{calculado}}$	F_{tabelado}
Regressão	130,88	5	26,18	8,456	5,05
Resíduo:	15,48	5	3,10		
-Falta de ajuste	14,51	3	4,84	9,955	19,16
-Erro puro	0,97	2	0,49		
Total	146,36	10			

SQ: soma quadrática

GL: grau de liberdade

MQ: média quadrática

O coeficiente de determinação (R^2) para o modelo ajustado foi de 0,8943, indicando que o modelo explicou 89,43% da variação dos dados observados. O modelo apresentou regressão significativa ao nível de 95% de confiança ($F_{\text{calculado}}$ superior ao F_{tabelado}).

Sendo assim, o modelo codificado (Equação 4.4) ajustado para diferença total de cor no processo de secagem de cogumelo *Agaricus blazei* desidratado osmoticamente é:

$$\Delta E^* = 34,37 + 2,51T - 3,019T^2 + 1,09v - 1,82v^2 - 1,45T.v \quad (4.4)$$

Onde: ΔE^* é diferença total de cor;

T é a temperatura (codificada);

v_{ar} é a velocidade do ar (codificada).

Nas Figuras 4.43 são mostradas a superfície de resposta (a) e a curva de nível (b) gerada através do modelo proposto. Estas superfícies confirmam a análise dos efeitos realizados anteriormente e permite visualizar a variação da resposta para os parâmetros estudados.

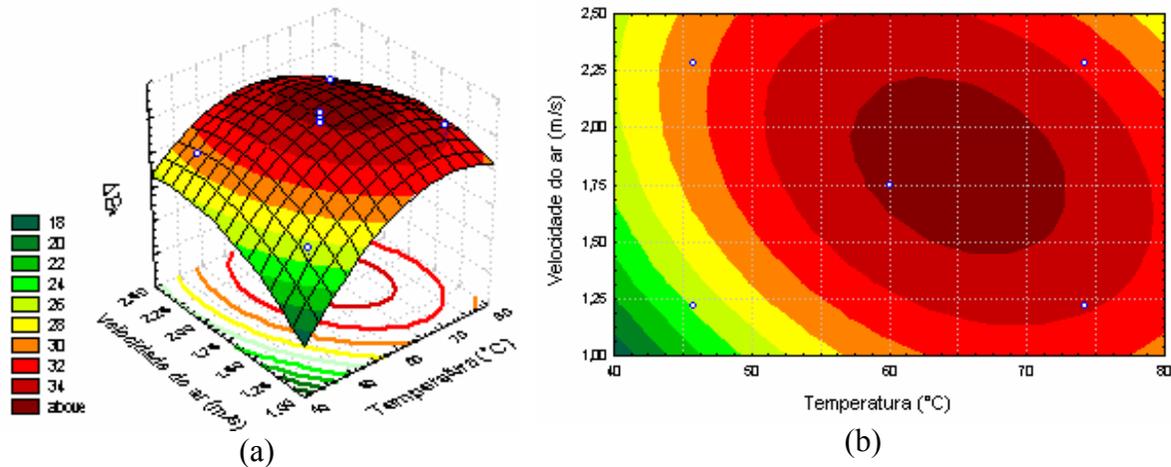


Figura 4.43: Superfície de resposta (a) e curva de nível (b) para a diferença total de cor para o cogumelo desidratado osmoticamente, relacionando temperatura e velocidade do ar.

Comparando as Figuras 4.41 e 4.43, percebe-se que os produtos que sofreram desidratação osmótica apresentaram valores de ΔE^* superiores aos dos produtos sem pré-tratamento. Resultados semelhantes foram observados por RODRIGUEZ *et al.* (2003), ao trabalharem com secagem de algas com e sem pré-tratamento osmótico com solução ternária água + NaCl + sacarose. Os autores atribuíram tal fato devido a desidratação osmótica promover a destruição de pigmentos naturais e a formação de outros compostos.

4.5.3. Otimização

Nas Figuras 4.44 e 4.45 estão apresentadas os gráficos sobrepostos de diferença total de cor ΔE^* e constante de secagem K na secagem de cogumelo *Agaricus blazei* com e sem pré-tratamento osmótico. O gráfico da constante de secagem está representado através de áreas, enquanto que o de diferença total de cor, através de linhas.

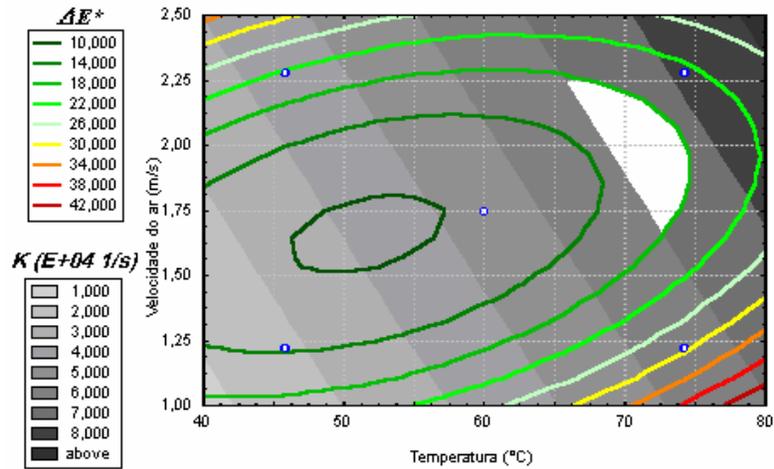


Figura 4.44: Sobreposição dos gráficos de K e ΔE^* , relacionando temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e velocidade do ar (m/s), para o cogumelo *in natura*.

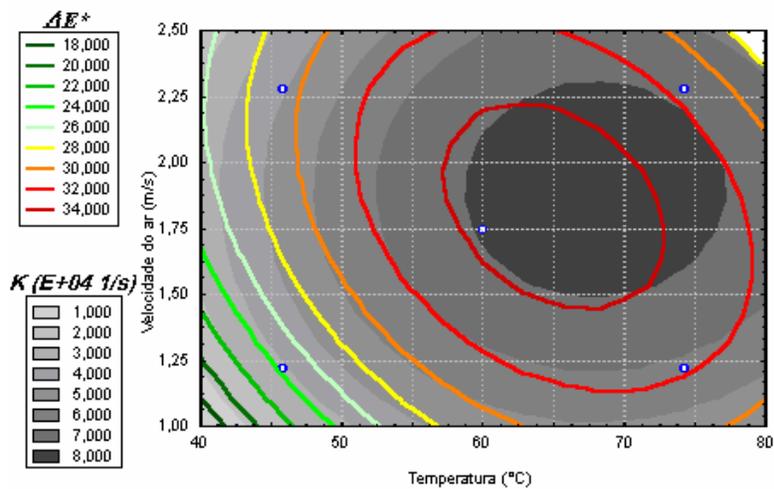


Figura 4.45: Sobreposição dos gráficos de K e ΔE^* , relacionando temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e velocidade do ar (m/s), para o cogumelo desidratado osmoticamente.

Nas Figuras 4.44 e 4.45, observa-se uma região branca, considerada ótima para o estudo, pois é uma região limite do objetivo de obter produtos com maior constante de secagem e menor diferença total de cor. Assim, optou-se em trabalhar com a seguinte condição: temperatura de 70°C e velocidade do ar de $2,00\text{ m/s}$, e temperatura de 80°C e velocidade do ar de $2,5\text{ m/s}$ para o produto sem e com pré-tratamento osmótico, respectivamente.

4.6. Caracterização do Produto Final

Os produtos finais secos nas condições otimizadas do processo, com 10% de umidade (Figura 4.46), foi avaliado através do teor de β -glucana, da atividade de água e capacidade de reidratação. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 4.34 e na Figura 4.47.



Figura 4.46: Cogumelo *Agaricus blazei* seco nas condições otimizadas do processo (a) sem pré-tratamento e (b) com pré-tratamento osmótico.

Tabela 4.34: Teor de β -glucana e atividade de água do cogumelo seco sem e com pré-tratamento osmótico.

Amostras	β -glucana (g/100 g massa seca)	a_w
Frescas	$7,48 \pm 0,16$	$0,995 \pm 0,001$
Sem pré-tratamento osmótico	$6,14 \pm 0,55$	$0,438 \pm 0,002$
Com pré-tratamento osmótico	$6,77 \pm 0,47$	$0,415 \pm 0,006$

De acordo com a Tabela 4.34, observa-se que o teor de β -glucana não variou entre as amostras analisadas. PARK et al. (2003) determinaram o teor de β -glucana presente no cogumelo *Agaricus blazei*, coletados em três diferentes locais. Os autores observaram que o produto cultivado no campo em São Paulo foi o que apresentou maior conteúdo do polissacarídeo ($10,1 \pm 2,1$ g/100 g massa seca) com relação aos cultivados em estufas em São Paulo ($8,4 \pm 0,9$ g/100 g massa seca) e no Japão ($7,6 \pm 2,8$ g/100 g massa seca).

Para a atividade de água dos produtos secos, com mesma umidade final de 10%, observa-se que a amostra sem pré-tratamento apresentou valor ligeiramente superior ao da amostra que sofreu desidratação osmótica. Este resultado já era esperado, devido ao fato do NaCl ser uma substância eletrolítica, que se dissocia em íons, interagindo com as moléculas de água e, conseqüentemente, diminuindo a atividade de água do produto.

Com relação à capacidade de reidratação, as amostras secas com pré-tratamento, apresentaram menor cinética de reidratação com relação às sem pré-tratamento osmótico (Figura 4.47). Esse comportamento ocorreu provavelmente devido à incorporação de sólidos durante a desidratação osmótica, resultando numa diminuição da porosidade do produto.

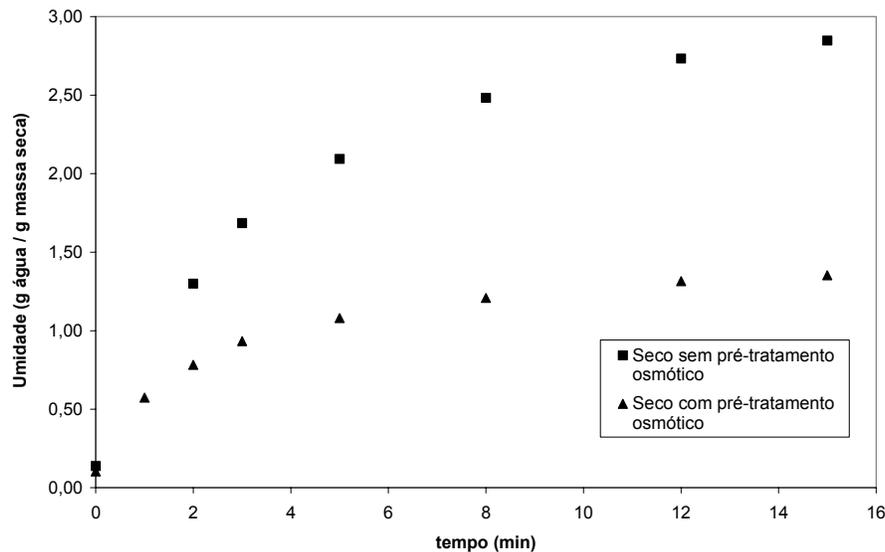


Figura 4.47: Curvas de reidratação de cogumelos secos sem e com pré-tratamento osmótico.

Diversos autores obtiveram resultados semelhantes. Trabalhando com batatas secas com e sem pré-tratamento osmótico em solução de NaCl, SEVERINI *et al.* (2005) observaram que o tempo necessário para as amostras alcançarem o equilíbrio na reidratação foi maior para as batatas desidratadas osmoticamente (120 minutos) do que para as sem pré-tratamento osmótico (70 minutos).

RODRIGUEZ *et al.* (2003) tiveram também esse comportamento ao estudar a reidratação de algas secas sem e com pré-tratamento osmótico em solução ternária água +

NaCl + sacarose. Os autores concluíram que tais resultados podem ter ocorrido devido à interação do sódio com os polissacarídeos presentes nas algas, acarretando alterações na capacidade de reidratação.

Observa-se também pela Figura 4.47 que a reidratação dos cogumelos sem pré-tratamento osmótico se estabilizou em 15 minutos, com uma umidade aproximada de 2,7g água/g massa seca. Já para o cogumelo desidratado osmoticamente, nota-se que o tempo necessário para reidratação foi de 8 minutos, obtendo uma umidade final de 1,2g água/g massa seca.

FUNEBO e OHLSSON (1998) realizaram a secagem de cogumelos com ar quente e microondas e a reidratação dos produtos obtidos. Os autores observaram que a reidratação do cogumelo se estabilizou em 5 minutos, com umidade de 2 kg água/kg massa seca, correspondendo a 20% da umidade inicial.

5. CONCLUSÕES

- Para as isotermas de dessecção do cogumelo *in natura* e do desidratado osmoticamente, os modelos de Henderson e Henderson modificado foram os que apresentaram melhor ajuste nas temperaturas estudadas;
- Para a cinética de secagem, a equação de Page foi a que melhor se ajustou aos dados experimentais de secagem, podendo ser utilizado para a predição da cinética de secagem do cogumelo *in natura* (até 1,5 g água/g massa seca) e do desidratado osmoticamente (até 0,5 g água/g massa seca);
- Os valores de difusividade efetiva calculados através do modelo difusional simplificado, baseado na 2ª Lei de Fick, ficaram na faixa de $3,84 \times 10^{-10}$ a $16,80 \times 10^{-10}$ m²/s para o cogumelo *in natura* e de $5,38 \times 10^{-10}$ a $15,08 \times 10^{-10}$ m²/s para o cogumelo desidratado osmoticamente;
- Os dados experimentais apresentaram também um bom ajuste ao modelo exponencial, na qual foi obtida a constante de secagem da equação, que variou de $2,02 \times 10^{-4}$ a $8,06 \times 10^{-4}$ s⁻¹ para o cogumelo *in natura* e de $2,78 \times 10^{-4}$ a $7,25 \times 10^{-4}$ s⁻¹ para o cogumelo desidratado osmoticamente;
- Através da Metodologia de Superfície de Resposta, foram encontradas as seguintes condições de secagem otimizadas para maior valor de constante de secagem e menor diferença de cor: 70°C e 2,00 m/s, e 80°C e 2,50 m/s para o produto sem e com pré-tratamento osmótico, respectivamente;
- Nas condições de secagem otimizadas, os cogumelos secos sem e com pré-tratamento apresentaram valores de teor de β-glucana de $6,14 \pm 0,55$ e $6,77 \pm 0,47$ g/100 g massa seca. Para a atividade de água, observou-se que a amostra pré-tratada apresentou menor valor que a sem tratamento. A capacidade de reidratação dos cogumelos secos sem pré-tratamento foi maior das que os pré-tratados osmoticamente.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUERRE, R.J.; GABITTO, J.F.; CHIRIFE, J. Utilization of Fick's second law for the evaluation of diffusion coefficients in foods processes controlled by internal diffusion.

Journal of Food Technology, n.20, p. 623-629, 1985.

ALEXOPOULOS, C.J.; MIMS, C.W.; BLACWELL, M. **Introductory Mycology**. New York: John Wiley & Sons, 1996. 869p.

AOAC. Official Methods of Analysis. 16^a edição. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, EUA, 1997.

ARAUJO, E.A.F. **Estudo da cinética de secagem de fatias de banana nanica (*Musa acuminiata* var. Cavendish) osmoticamente desidratadas**. 2000. 87p. Dissertação (Mestre em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidades Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

ARORA, S.; SHIVHARE, U.S.; AHMED, J.; RAGHAVAN, G.S.V. Drying kinetics of *Agaricus bisporus* and *Pleurotus florida* mushrooms. **Transactions of ASAE**, v.46, n.3, p.721-724, 2003.

BARBANTI, D.; MASTROCOLA, D.; SEVERINI, C. Air drying of plums. A comparison among twelve cultivars. **Sciences des Aliments**, n. 14, p. 61-73, 1994.

BARBOSA-CÁNOVAS, G.V.; VEGA-MERCADO, H. **Dehydration of foods**. New York: Chapman & Hall, 1996. p.29-95.

BARONI, A.F. **Semi-desidratação congelamento e semi-desidratação secagem de cebola (*Allium cepa* L.)**. 1997. 94p. Dissertação (Mestre em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

BARONI, A. F. **Propriedades mecânicas, termodinâmicas e de estado de tomate submetido à desidratação osmótica e secagem**. 2004. 226 p. Tese (Doutor em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

- BARROS NETO, B.; SCARMINO, I.S.; BRUNS, R.E. **Como fazer experimentos – Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria.** Campinas: Editora da UNICAMP, 2001. 401p.
- BILBAO-SÁINZ, C.; ANDRÉS, A.; FITO, P. Hydration kinetics of dried apple as affected by drying conditions. **Journal of Food Engineering**, v. 68, p.369-376, 2005.
- BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry**, v. 37, p. 911-17, 1959.
- BOBBIO, P.A; BOBBIO, F.O. **Química do processamento de alimentos.** Campinas: Fundação Cargill, 1984. 232p.
- BOLIN, H.R.; HUXSOLL, L.C.; JACKSON, R.; NG, K.G. Effect of osmotic agents and concentration on fruit quality. **Journal of Food Science**, v.56, p.202-205, 1983.
- BOX, G.E.P.; HUNER, W.G.; HUNTER, J.S. **Statistics for experiments – An introduction to design, data analysis and model building.** New York: Wiley Series in Probability And Mathematic Statistics, 1978.
- BRAGA, G.C. Cogumelo do Sol: Pesquisas apontam suas propriedades medicinais. **Revista Tecnologia e Treinamento Agropecuário**, v.2, n.6, p.07, 1997.
- BRENNAN, J.G.; WANG, N. A mathematical model of simultaneous heat and moisture transfer during drying of potato. **Journal of Food Engineering**, v.24, p.47-60, 1980.
- BROD, F.P.R. Avaliação de um secador vibro-fluidizado. 2003. 335p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.
- BRUNAUER, S.; EMMET, T.H.; TELLER, F. Adsorption of gases in multimolecular layers. **Journal of American Chemical Society**, v.60, n. 2, p. 309-319, 1938.
- CAO, W.; NISHIYAMA, Y.; KOIDE, S. Thin-layer drying of Maitake analysed with a simplified model, **Biosystems Engineering**, v. 85 (3), p. 331-337, 2003.
- CHANG, S.T.; BUSWELL, J.A. Mushroom nutraceuticals. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v.12, p.473-476, 1996.

- CHINNAN, M.S.; BEAUCHAT, L.R. Sorption isotherms of whole cowpeas and flours. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, v.18, p.83-88, 1985.
- CHUA, K.J.; CHOU, S.K.; MUJUMDAR, A.S.; HO, J.C.; HON, C.K. Radiant-convective drying of osmotic treated agro-products: effect on drying kinetics and product quality. **Food Control**, v. 15, p. 145-158, 2004.
- CHUNG, D.S.; PFOST, H.B. Adsorption and desorption of water vapor by cereal grains and their products. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v.10, p.549, 1967.
- CONTRERAS, J.E.; SMYRL, T.G. An evaluation of osmotic concentration of apple rings using corn syrup solids solutions. **Can. Inst. Food Science Technology**, v.14, n.4, p.310-314, 1981.
- CRANK, J. **The mathematics of diffusion**, 2^a ed. S.I. Clarendon Press Oxford, 1975. 414p.
- DINCER, I.; DOST, S. An analytical model for moisture diffusion in solid objects during drying. **Drying Technology**, 13:425-435, 1995.
- EL-AOUAR, A.A.; AZOUBEL, P.M.; MURR, F.E.X. Drying kinetics of fresh and osmotically pre-treated papaya. **Journal of Food Engineering**, v.59, p.85-91, 2003.
- ERTEKIN, C.; YALDIZ, O. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. **Journal of Food Engineering**, v. 63, p. 349-359, 2004.
- FENNEMA, O.R. **Food chemistry**. 3ed. New York: Marcel Dekker, 1996. 1069p.
- FORTES, M.; OKOS, M. R. Drying theories: their bases and limitations as applied to foods and grains. **Advances in Drying**, v.1, p.119-153, 1980.
- FRANCIS, F.J.; CLYDESDALE, F.M. **Food colorimetry: theory and applications**. Westport: AVI Publishing Co., 1975. 477p.
- FUNEBO, T.; OHLSSON, T. Microwave-assisted air dehydration of apple and mushroom. **Journal of Food Engineering**, v. 38, p. 353-367, 1998.

- GAL, S. Recent developments in techniques for the determination of sorption isotherms. In: DUCKWORTH, R.B. (Ed.). **Water relations of food**. London: Academic, 1975.
- GÓMEZ-LÓPEZ, V.M. Some biochemical properties of polyphenol oxidase from two varieties of avocado. **Food Chemistry**, v. 77, p. 163-169, 2002.
- GREENSPAN, L. Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. **Journal of Research of the National Bureau of Standards - Physics and Chemistry**, v.81, n.1, p.89-96, 1977.
- HALSEY, G. Physical adsorption on uniform surfaces. **Journal of Chemical and Physics**, v.16, n.10, p.931-937, 1948.
- HENDERSON, S.M. A basic concept of equilibrium moisture. **Agricultural Engineering**, St. Joseph, Michigan, v.33, n.1, p. 29-32, 1952.
- HERRERA, O.M. **Produção, economicidade e parâmetros energéticos do cogumelo *Agaricus blazei*: um enfoque de cadeia produtiva**. 2001.192p. Tese (Doutor em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Unesp, Botucatu, 2001.
- HUNTERLAB. Applications note: CIE L* a* b* color scale. Virginia, 1996. v.8, n.7.
- JIMÉNEZ, A.; GUTIÉRREZ, G. Color. In: ALVARADO, J.D.; AGUILERA, J.M. **Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos**. Zaragoza: Editorial Acribia S.A., 2001. p. 325-346.
- KANENO, R.; FONTANARI, L.M.; SANTOS, S.A.; STASI, L.C.Di; RODRIGUES FILHO, E.; EIRA, A.F. Effects of extracts from Brazilian sun-mushroom (*Agaricus blazei*) on the NK activity and lymphoproliferative responsiveness of Ehrlich tumor-bearing mice. **Food and Chemical Toxicology**, 2004. In Press.
- KROKIDA, M.K.; MAROULIS, Z.B.; SARAVACOS, G.D. The effect of the method of drying on the colour of dehydrated products. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 36, p. 53-59, 2001.
- KROKIDA, M.K.; KARATHANOS, V.T.; MAROULIS, Z.B.; MARINOS-KOURIS, D. **Drying kinetics of some vegetables**. *Journal of Food Engineering*, v. 59, p. 391-403, 2003.

- LABUZA, T.P. Sorption phenomena in foods. **Food Technology**, v.22, n.3: p.263-272, 1968.
- LABUZA, T.P. The properties of water in relationship to water binding in food: a review. **Journal of Food Engineering**, v.25, p.151-166, 1995.
- LENART, A. Osmo-convective drying of fruits and vegetables: technology and application. **Drying Technology**, v.14, n.2, p.391-413, 1996.
- LANGMUIR, I. The adsorption of gases in a plane surfaces of glass, mica and platinum. In: **Journal American Chemical Society**, v. 46, p. 1361-1403, 1918.
- LEE, K.T.; FARID, M.; NGUANG, S.K. The mathematical modeling of the rehydration characteristics of fruits. **Journal of Food Engineering**, v. 72, p. 16-23, 2006.
- LEWIS, W. K. The rate of drying of solids materials. **The Journal of Industrial and Eng. Chem.**, 13(5): 427-432, 1921.
- LOMAURO, C.J.; BAKSHI, A.S.; LABUZA, T.P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equation. Part I: fruit, vegetables and meat products. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, v. 18, p.111-117, 1985.
- LUCCAS, V. **Obtenção de fatias de banana desidratada crocantes através da pré-secagem a altas temperaturas e curto tempo em leito fluidizado**. 1996. Dissertação (Mestre em Engenharia Química). Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996.
- MANDALA, I.G.; ANAGNOSTARAS, E.F.; OIKONOMOU, C.K. Influence of osmotic dehydration conditions on apple air-drying kinetics and their quality characteristics. **Journal of Food Engineering**, v.69, p.307-316, 2005.
- McLAUGHLIN, C. P.; MAGEE, T. R. A. The determination of sorption isotherm and the isosteric heats of sorption for potatoes. **Journal of Food Engineering**, v. 35, p. 267-280, 1998.
- McMINN, W.A.M.; MAGEE, T.R.A. Physical characteristics of dehydrated potatoes – Part II. **Journal of Food Engineering**, v.33, p.49-55, 1997.

- MENEZES, H.C.; DRAETTA, I.S; SALES, A.M.; LEITÃO, M.F.F.; CAMPOS, S.D.S.; CABRAL, A.C.D.; ORTIZ, S.A.; MADI, L.F.C.; SOLER, R.M.; GAZETA, E.F. **Alguns aspectos tecnológicos das frutas tropicais e seus produtos**. São Paulo: ITAL, 1980. 296p.
- MENOLI, R.C.R.N.; MANTOVANI, M.S.; RIBEIRO, L.R.; SPEIT, G.; JORDÃO, B.Q. Antimutagenic effects of the mushroom *Agaricus blazei* Murril extracts on V79 cells. **Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis**, v. 496, n. 1-2, p. 5-13, 2001.
- MIZUNO, T; HAGIWARA, T.; NAKAMURA, T; ITO, H.; SHIMURA, K.; SUMIYA, T.; ASAKURA, A. Antitumor activity and some properties of water-soluble polysaccharides from “Himematsutake”, the fruiting body of *Agaricus blazei* Murril. **Agricultural Biological Chemistry**, v. 54 (11), p. 2889-2896, 1990.
- MIZUNO, M.; MORIMOTO, M.; MINATO, K.; TSUCHIDA, H. Polysaccharides from *Agaricus blazei* stimulate T-Cell subsets in mice. **Bioscience, Biotechnology and Biochemistry**, v.62, n. 3, p. 434-437, 1998.
- MULET, A.; GARCÍA-PASCUAL, P.; SANJUÁN, N.; GARCÍA-REVERTER, J. Equilibrium isotherms and isosteric heats of morel (*Morchella esculenta*). **Journal of Food Engineering**, v. 53, p. 75-81, 2002.
- OLIVEIRA, R. A.. **Efeito da secagem de raízes de chicória na obtenção de inulina**. Campinas, 2005. 100p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.
- PAGE, G.E. **Factors influencing the maximum of air drying shelled corn in thin layer**. Indiana, 1949. Dissertação (Mestrado). Purdue University.
- PANCHARIYA, P.C.; POPOVIC, D.; SHARMA, A.L. Thin-layer modelling of black tea drying process. **Journal of Food Engineering**, v. 52, p. 349-357, 2002.
- PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra bartlett (*Pyrus* sp.) com e sem desidratação or mótica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.21. n. 1, 73-77, 2001.

- PARK, K.J.; ADRIANA, B.; BROD, F.P.R. Drying of pear. D'Anjon with and without osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, v. 56, n.1, p.97-103, 2002.
- PARK, Y.K.; IKEGAKI, M.; ALENCAR, S.M; AGUIAR, C.L. Determinação da concentração de β -glucano em cogumelo *Agaricus blazei* Murril por método enzimático. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.23, n. 3, p. 312-316, 2003.
- PERRY,S. Chemical Engineer Handbook, 6 ed., New York: McGraw-Hill, 1984.
- PIJUAN, M.N.B; BROD, F.P.R.; PARK, K.J. Estudio de secado de champiñón en conserva (*Agaricus bisporus*) utilizando uu secador vertical. **Alimentaria**, n. 286, p. 119-122, 1997.
- PINTO, L.A.A.; TOBINAGA, S. Modelos de secagem em camada fina de alimentos: uma revisão da literatura. **VETOR**, Rio Grande, n.6, p. 33-49, 1996.
- PONTING, J.D; WALTERS, G.G.; FORREY, R.R.; JACKSON, R.; STANLEY, W.L.. Osmotic dehydration of fruits. **Food Technology**, v.20, n.10, p.125-128, 1966.
- POTT, I.; NEIDHART, S.; MÜHLBAUER, W.; CARLE, R. Quality improvement of non-sulphited mango slices by drying at high temperatures. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, 2005. In Press.
- RAHMAN, M. S. **Food Properties Handbook**. 1 ed.CRC Press, Boca Raton, 1995.
- RAOULT-WACK, A.L. Recent Advances in the osmotic dehydration of foods, v.5, p.255-260, 1994.
- RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S.; NIRANJAN, K.; KNORR, D. Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. **Trends in Food Science and Technology**, v.13, p.48-59, 2002.
- RIBEIRO, E.P.; SERAVALLI, E.A.G. **Química de Alimentos**. 1ed. São Paulo: Edgard Blücher LTDA, 2004.
- RIBEIRO, S.C.A. **Secagem e defumação líquida de filé de peixe matrinhã (*Brycon cephalus*)**. 2000. 101 p. Dissertação (Mestre em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 2000.

RIBEIRO, S.C.A. **Estudo do processo de desidratação osmótica e secagem de filés de mapará (*Hypophthalmus edentatus*)**. 2005. 250 p. Tese (Doutor em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

RODRIGUEZ, T.V.; ROJAS, A.M.; CAMPOS, C.A.; GERSCHENSON, L.N. Effect of osmotic dehydration on the quality of air-dried *Porphyra*. **Lebensmittel – Wissenschaft and Technologies**, v.36, p.415-422, 2003.

ROMERO-PEÑA, L.M.; KIECKBUSCH, T.G. Influência de condições de secagem na qualidade de fatias de tomate. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.6, n.1, p.69-76, 2003.

SARAVACOS, G.; ROUZEOUS, G.S. Diffusivity of moisture in air-drying of starch gels. In: **Engineering and food**, London and New York: ed. Brian M. Mckenna, Elsevier Applied Science Publishes, v.1, p. 493-507, 1984.

SARAVACOS, G.D.; MAROULIS, Z.B. **Transport properties of foods**. 1 ed., Marcel Dekker, New York, 415p., 2001.

SEVERINI, C.; BAIANO, A.; PILLI, T.; CARBONE, B.F.; DEROSI, A. Combined treatments of blanching and dehydration: study on potatoes cubes. **Journal of Food Engineering**, v. 38, p. 289-296, 2005.

SHERWOOD, T.K. The drying of solids II. **Industrial and Engineering Chemistry**, v. 21, n. 10, p. 12-16 / 976-980, 1929.

SHIVHARE, U.S.; ARORA, S.; AHMED, J.; RAGHAVAN, G.S.V. Moisture adsorption isotherms for mushroom. **Lebensmittel – Wissenschaft and Technologies**, v.37, p.133-137, 2004.

SIMAL, S.; FEMENIA, A.; GARAU, M.C.; ROSSELLÓ, C. Use of exponential, Page's and diffusional models to simulate the drying kinetics of kiwi fruit. **Journal of Food Engineering**, v. 66, p. 323-328, 2005.

SLOAN, A.E.; LABUZA, T.P. Investigation alternative humectants for use in food. **Food Prod. Devel.**, v.9, p. 75-88, 1975.

STRUMILLO, C.; KRUDA, T. **Drying: principles, applications and design**. Gordon and Beach. New York, 1986.

SUGUNA, S.; USHA, M.; SREENARAYANAN, V.V.; RAGHUPATHY, R.;
GOTHANDAPANI, L. Dehydration of mushroom by sun-drying, thin-layer drying,
fluidized bed drying and solar cabinet drying. **Journal of Food Science Technology**, v. 32,
n. 4, p.284-288, 1995.

TORRINGA, E.; ESVELD, E.; SCHEEWE, I.; VAN DEN BERG, R.; BARTELS, P.
Osmotic dehydration as a pre-treatment before combined microwave-hot-air drying of
mushrooms, **Journal of Food Engineering**, v. 49, n. 2-3, p. 185-191, 2001.

TRAVAGLINI, D.A.; NETO, M.P.; BLEINROTH, E.W.; LEITÃO, M.F.F. **Banana-
passa: Princípios de secagem, conservação e produção industrial**. Campinas: ITAL,
1993. 73p.

TRAVAGLINI, D.A.; AGUIRRE, J.M.; SILVEIRA, E.T. Desidratação de frutas. In:
Desidratação de frutas e hortaliças – Manual técnico. Campinas: ITAL, 2001. p.31-34.

TREYBAL, R.E. **Mass Transfer Operations**. 3 ed. Auckland: McGraw-Hill, 1981.
784p.

URYU, E.N. Cogumelo do Sol ou Princesa. Cati Responde, n. 28, 1998. Disponível em:
<http://www.cati.sp.gov.br/tecnologias/catiresponde/CR28cogumelo.html>. Acesso em 07
ago. 2003.

VÁMOS- VIGYÁZÓ, L. Polyphenol oxidase and peroxidase in fruits and vegetables. **CRC
Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, September, p. 49 -125, 1981.

VAN ARSDEL, W.B. Drying phenomena. In: VAN ARSDEL, W.B.; COPLEY, M.J.
MORGAN Jr., A.I. **Food dehydration**, 2 ed., Westorp., AVI publishing Co., v.1, cap.3, p.
22-57, 1973.

Van der BERG, C. Description of water activity of foods for engineering purposes by
means of the GAB model of sorption. In: **Engineering and Food**. London: B. M.
Mckenna, Elsevier Applied Science, v. 1, p. 311-321, 1984.

VISWANATHAN, R.; JAYAS, D. S.; HULASARE, R. B. Sorption isotherms of tomato slices and onion shreds. **Biosystems Engineering**, v. 86, n. 4, p. 465-472, 2003.

WOLF, W.; SPIESS, W.E.L.; JUNG, G. **Sorption isotherms and water activity of food materials: a bibliography**. New York: Elsevier Science Publishing Co., 1985. 239p.

YANG, D.C.; LE MAGUER, M. Osmotic dehydration of strawberries in a batch recirculation system. **Journal of Food Quality**, v.15, p.387-397, 1992.

YAPAR, S.; HELVACI, S.S.; PEKER, S. Drying behavior of mushroom slices. **Drying Technology**, v.8, n.1, p.77-99, 1990.

ZAWISTOWSKI, J.; BILIADERIS, C.G.; MICHAEL, N.A. Polyphenol oxidase. In: ROBINSON, D.S.; ESKIN, N.A.M. **Oxidative enzymes in foods**. London: Elsevier Applied Science Ltda, 1991. p.217-273.

ZHANG, X.W.; LIU, X.; GU, D.X.; ZHOU, W.; WANG, R.L.; LIU, P. Desorption isotherms of some vegetables. **Journal of Science of Food and Agriculture**, v.70, p.303-306, 1996.

APÊNDICE A

Tabelas dos dados da cinética de secagem de amostras *in natura***Tabela 1:** Dados experimentais de cinética de secagem de amostra *in natura* na temperatura de 45°C e velocidade do ar de 1,20 m/s (Ensaio 1).

t (min)	$m_{amostra}$ (g)	X_{bs} (g água/ g sólido)	X_{bu} (%)	$Y = \frac{X_t - X_e}{X_o - X_e}$
0	4,314	9,8093	90,75	1,0000
15	3,288	7,2385	87,86	0,7371
30	2,997	6,5094	86,68	0,6625
45	2,607	5,5322	84,69	0,5626
60	2,277	4,7053	82,47	0,4780
90	1,766	3,4250	77,40	0,3470
120	1,406	2,5229	71,61	0,2548
150	1,135	1,8439	64,84	0,1853
180	0,938	1,3503	57,45	0,1349
240	0,659	0,6512	39,44	0,0634
300	0,497	0,2453	19,70	0,0218
360	0,434	0,0874	8,04	0,0057
420	0,42	0,0524	4,98	0,0021
480	0,416	0,0423	4,06	0,0011

Tabela 2: Dados experimentais de cinética de secagem de amostra *in natura* na temperatura de 75°C e velocidade do ar de 1,20 m/s (Ensaio 2).

t (min)	$m_{amostra}$ (g)	X_{bs} (g água/ g sólido)	X_{bu} (%)	$Y = \frac{X_t - X_e}{X_o - X_e}$
0	4,042	9,9688	90,88	1,0000
15	2,517	5,8304	85,36	0,5847
30	1,65	3,4776	77,67	0,3485
45	1,051	1,8521	64,94	0,1854
60	0,688	0,8670	46,44	0,0865
90	0,409	0,1099	9,90	0,0105
120	0,378	0,0258	2,51	0,0021
150	0,375	0,0176	1,73	0,0013

Tabela 3: Dados experimentais de cinética de secagem de amostra *in natura* na temperatura de 45°C e velocidade do ar de 2,30 m/s (Ensaio 3).

t (min)	$m_{amostra}$ (g)	X_{bs} (g água/ g sólido)	X_{bu} (%)	$Y = \frac{X_t - X_e}{X_o - X_e}$
0	4,034	8,4584	89,43	1,0000
15	2,866	5,7198	85,12	0,6752
30	2,272	4,3271	81,23	0,5100
45	1,854	3,3470	77,00	0,3938
60	1,505	2,5287	71,66	0,2968
90	1,087	1,5487	60,76	0,1805
120	0,811	0,9015	47,41	0,1038
150	0,63	0,4771	32,30	0,0534
180	0,549	0,2872	22,31	0,0309
240	0,462	0,0832	7,68	0,0067
300	0,451	0,0574	5,43	0,0037

Tabela 4: Dados experimentais de cinética de secagem de amostra *in natura* na temperatura de 75°C e velocidade do ar de 2,30 m/s (Ensaio 4).

t (min)	$m_{amostra}$ (g)	X_{bs} (g água/ g sólido)	X_{bu} (%)	$Y = \frac{X_t - X_e}{X_o - X_e}$
0	4,368	9,2295	90,22	1,0000
15	2,405	4,6323	82,25	0,5017
30	1,372	2,2131	68,88	0,2394
45	0,752	0,7611	43,22	0,0820
60	0,473	0,1077	9,73	0,0112
90	0,435	0,0187	1,84	0,0016
120	0,433	0,0141	1,39	0,0010
150	0,431	0,0094	0,93	0,0005

Tabela 5: Dados experimentais de cinética de secagem de amostra *in natura* na temperatura de 40°C e velocidade do ar de 1,75 m/s (Ensaio 5).

t (min)	$m_{amostra}$ (g)	X_{bs} (g água/ g sólido)	X_{bu} (%)	$Y = \frac{X_t - X_e}{X_o - X_e}$
0	3,667	9,7160	90,67	1,0000
15	2,902	7,4804	88,21	0,7686
30	2,452	6,1654	86,04	0,6325
45	2,12	5,1952	83,86	0,5321
60	1,844	4,3887	81,44	0,4486
90	1,432	3,1847	76,10	0,3240
120	1,144	2,3431	70,09	0,2369
150	0,946	1,7645	63,83	0,1770
180	0,802	1,3437	57,33	0,1334
240	0,614	0,7943	44,27	0,0766
300	0,499	0,4582	31,42	0,0418
360	0,428	0,2507	20,05	0,0203
420	0,382	0,1163	10,42	0,0062
480	0,372	0,0871	8,01	0,0031
540	0,365	0,0666	6,25	0,0010
600	0,362	0,0579	5,47	0,0001

Tabela 6: Dados experimentais de cinética de secagem de amostra *in natura* na temperatura de 80°C e velocidade do ar de 1,75 m/s (Ensaio 6).

t (min)	$m_{amostra}$ (g)	X_{bs} (g água/ g sólido)	X_{bu} (%)	$Y = \frac{X_t - X_e}{X_o - X_e}$
0	5,301	7,5500	88,30	1,0000
15	3,232	4,2129	80,82	0,5577
30	2,098	2,3839	70,45	0,3153
45	1,276	1,0581	51,41	0,1396
60	0,902	0,4548	31,26	0,0596
90	0,659	0,0629	5,92	0,0077
120	0,635	0,0242	2,36	0,0024
150	0,63	0,0161	1,59	0,0013
180	0,628	0,0129	1,27	0,0009
240	0,626	0,0097	0,96	0,0005
300	0,624	0,0065	0,64	0,0000

Tabela 7: Dados experimentais de cinética de secagem de amostra *in natura* na temperatura de 60°C e velocidade do ar de 1,00 m/s (Ensaio 7).

t (min)	$m_{amostra}$ (g)	X_{bs} (g água/ g sólido)	X_{bu} (%)	$Y = \frac{X_t - X_e}{X_o - X_e}$
0	6,463	7,3002	87,95	1,0000
15	5,224	5,7080	85,09	0,7816
30	4,324	4,5515	81,99	0,6230
45	3,601	3,6225	78,37	0,4956
60	3,049	2,9131	74,45	0,3983
90	1,994	1,5574	60,90	0,2124
120	1,384	0,7736	43,62	0,1049
150	1,008	0,2904	22,51	0,0386
180	0,857	0,0964	8,79	0,0120
240	0,8	0,0231	2,26	0,0018
300	0,793	0,0141	1,39	0,0005
360	0,792	0,0129	1,27	0,0004
420	0,791	0,0116	1,14	0,0002

Tabela 8: Dados experimentais de cinética de secagem de amostra *in natura* na temperatura de 60°C e velocidade do ar de 2,50 m/s (Ensaio 8).

t (min)	$m_{amostra}$ (g)	X_{bs} (g água/ g sólido)	X_{bu} (%)	$Y = \frac{X_t - X_e}{X_o - X_e}$
0	4,71	7,1137	87,68	1,0000
15	3,131	4,3936	81,46	0,6171
30	2,393	3,1223	75,74	0,4381
45	1,76	2,0319	67,02	0,2846
60	1,433	1,4686	59,49	0,2053
90	0,943	0,6245	38,44	0,0865
120	0,714	0,2300	18,70	0,0309
150	0,631	0,0870	8,00	0,0108
180	0,609	0,0491	4,68	0,0053
240	0,602	0,0370	3,57	0,0036

Tabela 9: Dados experimentais de cinética de secagem de amostra *in natura* na temperatura de 60°C e velocidade do ar de 1,75 m/s (Ensaio 9).

t (min)	$m_{amostra}$ (g)	X_{bs} (g água/ g sólido)	X_{bu} (%)	$Y = \frac{X_t - X_e}{X_o - X_e}$
0	3,265	8,2932	89,24	1,0000
15	2,18	5,2047	83,88	0,6271
30	1,57	3,4683	77,62	0,4175
45	1,118	2,1816	68,57	0,2622
60	0,823	1,3419	57,30	0,1608
90	0,458	0,3029	23,25	0,0354
120	0,379	0,0780	7,24	0,0082
150	0,37	0,0524	4,98	0,0052
180	0,366	0,0410	3,94	0,0038
240	0,362	0,0296	2,88	0,0024

Tabela 10: Dados experimentais de cinética de secagem de amostra *in natura* na temperatura de 60°C e velocidade do ar de 1,75 m/s (Ensaio 10).

t (min)	$m_{amostra}$ (g)	X_{bs} (g água/ g sólido)	X_{bu} (%)	$Y = \frac{X_t - X_e}{X_o - X_e}$
0	3,306	8,6950	89,69	1,0000
15	2,33	5,8328	85,36	0,6705
30	1,773	4,1994	80,77	0,4824
45	1,323	2,8798	74,23	0,3305
60	0,985	1,8886	65,38	0,2163
90	0,521	0,5279	34,55	0,0597
120	0,378	0,1085	9,79	0,0114
150	0,358	0,0499	4,75	0,0046
180	0,353	0,0352	3,40	0,0029
240	0,348	0,0205	2,01	0,0012
300	0,345	0,0117	1,16	0,0002

Tabela 11: Dados experimentais de cinética de secagem de amostra *in natura* na temperatura de 60°C e velocidade do ar de 1,75 m/s (Ensaio 11).

t (min)	$m_{amostra}$ (g)	X_{bs} (g água/ g sólido)	X_{bu} (%)	$Y = \frac{X_t - X_e}{X_o - X_e}$
0	3,974	8,1672	89,09	1,0000
15	2,785	5,4245	84,43	0,6638
30	2,113	3,8743	79,48	0,4737
45	1,571	2,6240	72,41	0,3205
60	1,195	1,7566	63,72	0,2142
90	0,671	0,5479	35,39	0,0660
120	0,486	0,1211	10,80	0,0137
150	0,448	0,0334	3,24	0,0029
180	0,441	0,0173	1,70	0,0009

Tabelas dos dados da cinética de secagem de amostras desidratadas osmoticamente.

Tabela 1: Dados experimentais de cinética de secagem de amostra desidratada osmoticamente na temperatura de 45°C e velocidade do ar de 1,20 m/s (Ensaio 1).

t (min)	$m_{amostra}$ (g)	X_{bs} (g água/ g sólido)	X_{bu} (%)	$Y = \frac{X_t - X_e}{X_o - X_e}$
0	2,947	5,2569	84,02	1,0000
15	2,336	3,9597	79,84	0,7518
30	1,924	3,0849	75,52	0,5844
45	1,618	2,4352	70,89	0,4601
60	1,399	1,9703	66,33	0,3711
90	1,057	1,2442	55,44	0,2322
120	0,856	0,8174	44,98	0,1506
150	0,73	0,5499	35,48	0,0994
180	0,646	0,3715	27,09	0,0653
240	0,566	0,2017	16,78	0,0328
300	0,537	0,1401	12,29	0,0210
360	0,522	0,1083	9,77	0,0149

Tabela 2: Dados experimentais de cinética de secagem de amostra desidratada osmoticamente na temperatura de 75°C e velocidade do ar de 1,20 m/s (Ensaio 2).

t (min)	$m_{amostra}$ (g)	X_{bs} (g água/ g sólido)	X_{bu} (%)	$Y = \frac{X_t - X_e}{X_o - X_e}$
0	3,083	5,2132	83,91	1,0000
15	1,873	2,7747	73,51	0,5319
30	1,23	1,4788	59,66	0,2831
45	0,872	0,7574	43,10	0,1447
60	0,703	0,4168	29,42	0,0793
90	0,567	0,1427	12,49	0,0267
120	0,536	0,0802	7,43	0,0147
150	0,52	0,0480	4,58	0,0085
180	0,512	0,0318	3,09	0,0054

Tabela 3: Dados experimentais de cinética de secagem de amostra desidratada osmoticamente na temperatura de 45°C e velocidade do ar de 2,30 m/s (Ensaio 3).

t (min)	$m_{amostra}$ (g)	X_{bs} (g água/ g sólido)	X_{bu} (%)	$Y = \frac{X_t - X_e}{X_o - X_e}$
0	2,729	5,7266	85,13	1,0000
15	2,04	4,0283	80,11	0,7016
30	1,646	3,0572	75,35	0,5310
45	1,321	2,2561	69,29	0,3903
60	1,104	1,7212	63,25	0,2963
90	0,816	1,0113	50,28	0,1716
120	0,655	0,6145	38,06	0,1018
150	0,57	0,4050	28,82	0,0650
180	0,521	0,2842	22,13	0,0438
240	0,479	0,1807	15,30	0,0256
300	0,459	0,1314	11,61	0,0170
360	0,448	0,1043	9,44	0,0122

Tabela 4: Dados experimentais de cinética de secagem de amostra desidratada osmoticamente na temperatura de 75°C e velocidade do ar de 2,30 m/s (Ensaio 4).

t (min)	$m_{amostra}$ (g)	X_{bs} (g água/ g sólido)	X_{bu} (%)	$Y = \frac{X_t - X_e}{X_o - X_e}$
0	3,085	5,1861	83,83	1,0000
15	1,875	2,7598	73,40	0,5318
30	1,232	1,4704	59,52	0,2829
45	0,874	0,7526	42,94	0,1444
60	0,705	0,4137	29,26	0,0790
90	0,569	0,1410	12,36	0,0264
120	0,538	0,0788	7,30	0,0144
150	0,522	0,0467	4,46	0,0082
180	0,514	0,0307	2,98	0,0051

Tabela 5: Dados experimentais de cinética de secagem de amostra desidratada osmoticamente na temperatura de 40°C e velocidade do ar de 1,75 m/s (Ensaio 5).

t (min)	$m_{amostra}$ (g)	X_{bs} (g água/ g sólido)	X_{bu} (%)	$Y = \frac{X_t - X_e}{X_o - X_e}$
0	2,769	4,2643	81,00	1,0000
15	2,239	3,2567	76,51	0,7605
30	1,869	2,5532	71,86	0,5933
45	1,584	2,0114	66,79	0,4646
60	1,374	1,6122	61,72	0,3697
90	1,071	1,0361	50,89	0,2328
120	0,887	0,6863	40,70	0,1497
150	0,767	0,4582	31,42	0,0954
180	0,689	0,3099	23,66	0,0602
240	0,618	0,1749	14,89	0,0281
300	0,588	0,1179	10,54	0,0146
360	0,571	0,0856	7,88	0,0069
420	0,565	0,0741	6,90	0,0042
480	0,561	0,0665	6,24	0,0024
540	0,559	0,0627	5,90	0,0015

Tabela 6: Dados experimentais de cinética de secagem de amostra desidratada osmoticamente na temperatura de 80°C e velocidade do ar de 1,75 m/s (Ensaio 6).

t (min)	$m_{amostra}$ (g)	X_{bs} (g água/ g sólido)	X_{bu} (%)	$Y = \frac{X_t - X_e}{X_o - X_e}$
0	5,091	4,8017	82,76	1,0000
15	3,421	2,8986	74,35	0,6033
30	2,51	1,8604	65,04	0,3869
45	1,777	1,0251	50,62	0,2128
60	1,346	0,5339	34,81	0,1104
90	1,031	0,1749	14,89	0,0356
120	0,942	0,0735	6,85	0,0144
150	0,912	0,0393	3,78	0,0071
180	0,902	0,0279	2,72	0,0047
240	0,891	0,0154	1,52	0,0021
300	0,886	0,0097	0,96	0,0009
360	0,884	0,0074	0,74	0,0005

Tabela 7: Dados experimentais de cinética de secagem de amostra desidratada osmoticamente na temperatura de 60°C e velocidade do ar de 1,00 m/s (Ensaio 7).

t (min)	$m_{amostra}$ (g)	X_{bs} (g água/ g sólido)	X_{bu} (%)	$Y = \frac{X_t - X_e}{X_o - X_e}$
0	4,714	4,5070	81,84	1,0000
15	3,648	3,2617	76,54	0,7232
30	2,785	2,2535	69,26	0,4992
45	2,292	1,6776	62,65	0,3712
60	1,961	1,2909	56,35	0,2852
90	1,412	0,6495	39,38	0,1427
120	1,142	0,3341	25,04	0,0726
150	1,023	0,1951	16,32	0,0417
180	0,967	0,1297	11,48	0,0271
240	0,913	0,0666	6,24	0,0131
300	0,893	0,0432	4,14	0,0079
360	0,884	0,0327	3,17	0,0056
420	0,876	0,0234	2,28	0,0035
480	0,871	0,0175	1,72	0,0022
540	0,868	0,0140	1,38	0,0014

Tabela 8: Dados experimentais de cinética de secagem de amostra desidratada osmoticamente na temperatura de 60°C e velocidade do ar de 2,50 m/s (Ensaio 8).

t (min)	$m_{amostra}$ (g)	X_{bs} (g água/ g sólido)	X_{bu} (%)	$Y = \frac{X_t - X_e}{X_o - X_e}$
0	3,241	4,6513	82,30	1,0000
15	2,009	2,5031	71,45	0,5372
30	1,456	1,5388	60,61	0,3295
45	1,102	0,9215	47,96	0,1965
60	0,921	0,6059	37,73	0,1285
90	0,718	0,2520	20,13	0,0523
120	0,655	0,1421	12,44	0,0286
150	0,624	0,0881	8,09	0,0170
180	0,611	0,0654	6,14	0,0121
240	0,599	0,0445	4,26	0,0076
300	0,594	0,0357	3,45	0,0057
360	0,589	0,0270	2,63	0,0038
420	0,584	0,0183	1,80	0,0019
480	0,582	0,0148	1,46	0,0012

Tabela 9: Dados experimentais de cinética de secagem de amostra desidratada osmoticamente na temperatura de 60°C e velocidade do ar de 1,75 m/s (Ensaio 9).

t (min)	$m_{amostra}$ (g)	X_{bs} (g água/ g sólido)	X_{bu} (%)	$Y = \frac{X_t - X_e}{X_o - X_e}$
0	2,594	4,2457	80,94	1,0000
15	1,609	2,2538	69,27	0,5299
30	1,118	1,2609	55,77	0,2955
45	0,832	0,6825	40,56	0,1590
60	0,692	0,3994	28,54	0,0922
90	0,568	0,1486	12,94	0,0330
120	0,539	0,0900	8,26	0,0191
150	0,523	0,0576	5,45	0,0115
180	0,513	0,0374	3,61	0,0067
240	0,505	0,0212	2,08	0,0029
300	0,503	0,0172	1,69	0,0020

Tabela 10: Dados experimentais de cinética de secagem de amostra desidratada osmoticamente na temperatura de 60°C e velocidade do ar de 1,75 m/s (Ensaio 10).

t (min)	$m_{amostra}$ (g)	X_{bs} (g água/ g sólido)	X_{bu} (%)	$Y = \frac{X_t - X_e}{X_o - X_e}$
0	2,873	4,3352	81,26	1,0000
15	1,743	2,2368	69,10	0,5150
30	1,183	1,1968	54,48	0,2746
45	0,873	0,6212	38,32	0,1415
60	0,721	0,3389	25,31	0,0763
90	0,613	0,1383	12,15	0,0299
120	0,582	0,0808	7,47	0,0166
150	0,572	0,0622	5,86	0,0123
180	0,562	0,0436	4,18	0,0080
240	0,551	0,0232	2,27	0,0033
300	0,549	0,0195	1,91	0,0024

Tabela 11: Dados experimentais de cinética de secagem de amostra desidratada osmoticamente na temperatura de 60°C e velocidade do ar de 1,75 m/s (Ensaio 11).

t (min)	$m_{amostra}$ (g)	X_{bs} (g água/ g sólido)	X_{bu} (%)	$Y = \frac{X_t - X_e}{X_o - X_e}$
0	2,238	4,1770	80,68	1,0000
15	1,351	2,1251	68,00	0,5077
30	0,939	1,1721	53,96	0,2791
45	0,713	0,6493	39,37	0,1536
60	0,595	0,3764	27,34	0,0882
90	0,506	0,1705	14,57	0,0388
120	0,485	0,1219	10,87	0,0271
150	0,473	0,0941	8,60	0,0205
180	0,467	0,0803	7,43	0,0171
240	0,46	0,0641	6,02	0,0132
300	0,448	0,0363	3,50	0,0066
360	0,439	0,0155	1,53	0,0016

APÊNDICE B

Tabelas dos parâmetros L^* , a^* e b^* do cogumelo fresco e seco sem e com pré-tratamento osmótico.

Tabela 1: Tabela dos parâmetros L^* , a^* e b^* do cogumelo fresco e seco sem pré-tratamento osmótico.

Ensaio	Cogumelo fresco			Cogumelo seco			ΔE^*
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	
1	81,95	-1,49	15,35	68,14	0,41	18,80	14,35
2	82,43	-0,73	13,02	54,61	4,28	20,17	29,15
3	73,11	0,25	13,32	48,55	4,51	15,31	25,01
4	88,24	-1,32	7,88	69,21	3,39	21,01	23,60
5	81,66	-1,19	9,43	77,72	-1,20	19,32	10,65
6	78,19	-0,82	17,58	57,52	7,28	21,54	22,55
7	83,90	-2,66	14,69	61,13	2,54	20,83	24,15
8	77,98	-0,66	19,04	55,84	3,83	17,62	22,63
9	79,62	-2,34	15,53	72,68	7,19	20,96	12,98
10	79,72	-0,26	14,50	75,31	6,66	18,16	8,98
11	80,56	-0,82	14,86	77,28	7,35	19,22	9,83

Tabela 2: Tabela dos parâmetros L^* , a^* e b^* do cogumelo fresco e seco com pré-tratamento osmótico.

Ensaio	Cogumelo fresco			Cogumelo seco			ΔE^*
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	
1	81,83	-1,45	15,64	56,55	3,29	19,67	26,03
2	81,04	0,56	11,56	47,99	5,02	19,18	34,20
3	77,67	-0,15	14,56	50,04	7,34	17,83	28,82
4	88,47	-1,28	8,78	61,77	5,75	23,29	31,19
5	82,61	-0,86	9,71	63,25	3,88	22,90	23,90
6	81,07	-1,82	19,24	51,57	6,51	20,27	30,67
7	80,48	-2,86	17,17	54,70	4,00	20,40	26,88
8	79,54	-1,21	18,69	46,82	3,78	15,73	33,24
9	84,26	8,98	14,54	50,35	7,54	19,17	34,26
10	84,37	8,11	15,52	50,78	7,20	18,60	33,74
11	86,73	9,75	15,90	51,83	7,14	18,10	35,12