

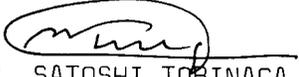
**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

**SECAGEM E DEFUMAÇÃO DE FILÉ DE PEIXE DE ÁGUA DOCE**  
**TAMBACU (*Colossoma macropum e Colossoma mitrei*)**

PARECER

Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por ANTONIO MANOEL C. RODRIGUES e aprovada pela Comissão Julgadora em 29 de março de 1996.

Campinas, 29 de março de 1996.

  
PROF. DR. SATOSHI TOBINAGA

Presidente da Banca

**ANTONIO MANOEL C. RODRIGUES**  
**ENGENHEIRO QUÍMICO**

**PROF. Dr. SATOSHI TOBINAGA**  
**ORIENTADOR**

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

**CAMPINAS - SP**  
**MARÇO/96**

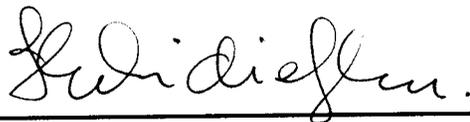


**BANCA EXAMINADORA**



---

**Prof. Dr. Satoshi Tobinaga**  
**(Orientador)**



---

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



---

**Profa. Dra. Flôrência Menegali**  
**(Membro)**



---

**Prof. Dr. Kil Jin Park**  
**(Membro)**

**Campinas, 29 de março de 1996.**

“As dificuldades existem não para fazer o Ser Humano sofrer, mas para desenvolver nele a capacidade de superá-las.”

DEDICO

À meus pais, Mariana e Antonio (in memoriam) pelo amor, carinho, incentivo e compreensão nos momentos mais difíceis e nos mais felizes também.

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Satoshi Tobinaga, pela orientação e amizade dispensadas durante a realização deste Trabalho.

Ao Maurício B. F. Teixeira pelo entusiasmo e pelas valiosas informações.

Aos amigos Bruno, Celso, Leonardo, Lúcio e Vandoel pelas dicas, momentos de descontração e apoio nas horas difíceis.

À Luiza pelo amor, carinho, dedicação e incentivo em todos os momentos.

Ao Professor Carlos Gasparetto pelas sugestões e “troca de figurinhas” durante o trabalho.

Ao CNPq, pela concessão de bolsa de Mestrado.

Aos funcionários Dagoberto Favoretto - FEAGRI e Angela Grandin - FEA pela ajuda prestada durante a execução dos experimentos.

Aos professores Dr Kil Jin Park, Fernanda E. X. Murr e Florência Menegali pelas correções e sugestões propostas.

Ao Centro de Pesquisa e Treinamento em Aqüicultura CEPTA/IBAMA, Pirassununga, pela doação das amostras de peixe.

Aos colegas da Pós - Graduação, pelos bons momentos durante este período.

À todos aqueles que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

RESUMO	i
SUMMARY	ii
NOMENCLATURA	iii
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	ix
Capítulo 1. INTRODUÇÃO	01
Capítulo 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	03
2.1.ASPECTOS TECNOLÓGICOS SOBRE O PROCESSAMENTO DE PEIXES	03
2.1.1. Classificação da Matéria-Prima	03
2.1.2. Refrigeração	05
2.1.3. Congelamento e Armazenamento	06
2.1.4. Operação de Evisceração e Limpeza	07
2.1.5. Tecnologia de Defumação	07
2.1.6. Tecnologia de Secagem de Peixe	09
2.1.7. Composição Química Aproximada de Espécies de Água Doce	11
2.2. DEFUMAÇÃO	12
2.2.1. Fundamentos e Mecanismos	12
2.2.2. Fontes e Características da Fumaça	12
2.2.3. Defumação Líquida	14
2.3.SECAGEM	15
2.3.1. Fundamentos e Mecanismos	15

2.3.2. Generalidades da Secagem de Materiais Alimentícios	19
2.3.3. Período de Taxa Constante de Secagem	20
2.3.4. Período de Taxa Decrescente de Secagem	21
2.3.5. Fatores que Influenciam o Movimento de umidade	24
2.3.6. Umidade de Equilíbrio	26
2.3.7. Propriedades Físicas	30
Capítulo 3 . MATERIAIS E MÉTODOS	33
3.1. MATERIAIS	33
3.1.1. Matéria - Prima	33
3.1.2. Equipamento	33
3.1.2.1. Camara de secagem do material	34
3.1.2.2. Leito de secagem do ar	34
3.1.2.3. Sistema de ventilação	34
3.1.2.4. Sistema de Medida	35
3.1.2.4.1. Massa da Amostra	35
3.1.2.4.2. Medida de Temperatura	36
3.2. METODOLOGIA	38
3.2.1. Processamento	39
3.2.1.1. Preparo da matéria-prima	39
3.2.2. Salga	39
3.2.3. Defumação Líquida	40
3.2.4. Secagem	40
Capítulo 4. RESULTADOS	41
4.1. TRATAMENTO MATEMÁTICO	41
4.1.1. Curva de Secagem	41
4.1.2. Período de Taxa constante	41

4.1.3. Período de Taxa Decrescente	41
4.2.RESULTADOS	45
4.2.1.Descongelamento	45
4.2.2. Salga e Defumação	45
4.2.3. Secagem	45
4.2.3.1. Curva de Secagem	45
4.2.3.2 Período de Taxa Constante	47
4.2.3.3. Período de Taxa Decrescente	47
4.2.3.4 Comportamento do ar durante a Secagem	49
4.2.3.5. Anisotropia do Material	49
Capítulo 5 . DISCUSSÃO	63
5.1. Descongelamento	63
5.2. Salga e Defumação	63
5.3. Secagem	63
5.4 . Comportamento do ar durante a Secagem	65
5.5. Anisotropia do Material	65
Capítulo 6 . CONCLUSÕES	67
Capítulo 7. BIBLIOGRAFIA	69
ANEXO A	80
ANEXO B	84

## RESUMO

A secagem de alimentos em ambientes sob condições de temperatura, pressão e umidade controladas, tem sido um procedimento bastante conveniente na determinação de parâmetros físicos e na avaliação das condições de operação do processo. Neste contexto fez-se aqui, um estudo experimental seguido de um tratamento matemático, da secagem de filés de Tambacu (híbrido de : *Colossoma macropum* e *Colossoma mitrei*), em forma de lâminas retangulares, previamente salgados e defumados a líquido com extrato vegetal de noqueira. Para tanto, utilizou-se um secador de prato hermeticamente fechado, à pressão atmosférica, dotado de um leito fixo de sílica-gel para manter a umidade do ar constante. O trabalho visou investigar o processo de secagem, tendo como base o modelo de difusão de Fick considerando a difusividade efetiva constante. A temperatura de bulbo seco no interior do secador foi de  $27,5 \pm 1$  °C e a de bulbo úmido de  $18,3 \pm 1,5$  °C. O ar nestas condições, é soprado com uma velocidade de 1,5 m/s sobre a amostra colocada em um prato de alumínio. Os resultados alcançados demonstram a conveniência da metodologia empregada na determinação de parâmetros difusionais em processos de secagem de peixe gorduroso à baixa temperatura.

## SUMMARY

Drying of foodstuff under controlled conditions of temperature, pressure and moisture has been a usefull procedure to determine physical parameters and process conditions.

Using this technique an experimental study with the aid of a mathematical analysis, was conducted on drying Tambacu (*Colossoma mitrei* and *Colossoma macropum*). These lumps were rectangular cuts from the fish fillets and salted and liquid smoked with hickory extract.

Dryer was a closed circuit system under atmospheric pressure with a silica-gel fixed bed used to control air moisture.

Drying mass transfer was analysed through Ficks law (constant diffusivity). Temperature conditions inside the system were kept at 27,5°C for dry bulb and 18,3°C for wet bulb. Air was blown towards a try containing one fish lumps ata average speed of 1,5 m/s.

Results proved this tobe a good technique to determine diffusional parameters in drying of fatty fish at low temperatures.

## NOMENCLATURA

$a_w$	atividade de água, adimensional.
$A$ e $n$	Constantes da equação 2.1.
$C_{BET}$	Constante de BET
$C$	Constante da equação 2.14
$C_{GAB}$	Constante de Guggenheins definida na equação 2.15
$D$	Difusividade efetiva de umidade, $m^2/s$
$D_0$	Constante da equação de Arrhenius, $m^2/s$
$D_{ef}$	Difusividade efetiva
$E_a$	Energia de ativação, J/s
$K_{GAB}$	Constante de Guggenheins definida na equação 2.15
$L$	Espessura da placa plana, cm
$N_c$	Taxa de secagem const. por unidade de massa de sólido seco, $Kg_{\text{água}}/Kg_{\text{sólido seco}} \cdot s$
$P$	Pressão

$Q_s$	Calor de sorção, j/mol
$R$	Constante universal dos gases, j/mol.K
$S_b$	Coefficiente de encolhimento volumétrico, adimensional
$t$	Tempo (s)
$V$	Volume ( $m^3$ )
$V_{ar}$	Velocidade do ar ( m/s)
$\bar{X}$	Umidade média da amostra em base seca, Kg água /Kg sólido seco
$X$	umidade das amostras em base seca Kg água /Kg sólido seco

### Sub índices

a	aparente
b	amostra
bs	bulbo seco
bu	bulbo úmido

c	crítica
e	equilíbrio
m	monocamada
o	inicial
w	água
v	vapor

### **Letras Gregas**

$\alpha$	Constante da equação 2.16, adimensional
$\beta$	Constante da equação 2.23, adimensional
$\delta$	Constante da equação 2.19, adimensional
$\eta$	Constante da equação 4.4, adimensional
$\theta$	Constante da equação 2.17, adimensional
$\kappa$	Parâmetro de ajuste da equação 3.7, adimensional
$\lambda$	Constante da equação 4.4, adimensional

$\mu$	Constante da equação 2.16, adimensional
$\nu$	Constante da equação 2.22, adimensional
$\xi$	Constante da equação 2.16, adimensional
$\rho$	massa específica, $\text{g/cm}^3$
$\tau$	Constante da equação 2.19, adimensional
$\phi$	Constante da equação 2.17, adimensional
$\psi$	Constante da equação 4.4, adimensional
$\omega$	Constante da equação 2.16, adimensional

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 . Esquema de secagem segundo Park, 1987	16
FIGURA 2.2 . Crescimento de microorganismos em função da atividade de água.	18
FIGURA 3.1 . Desenho esquemático do Dinamômetro	36
FIGURA 3.2 . Desenho esquemático de Secador	37
FIGURA 3.3 . Fluxograma do Processamento experimental utilizado	38
FIGURA 4.1. Umidade adimensional em função do tempo para a secagem de filé de peixe salgado e defumado, com a pele voltada para cima	53
FIGURA 4.2. Umidade adimensional em função do tempo para a secagem de filé de peixe salgado e defumado, com a pele voltada para baixo	53
FIGURA 4.3. Umidade adimensional em função do tempo para a secagem de filé de peixe salgado e defumado, com espinha e a pele voltada para baixo	54
FIGURA 4.4. Umidade adimensional em função do tempo para a secagem de filé de peixe salgado e defumado, com espinha e a pele voltada para cima	54
FIGURA 4.5. Umidade adimensional em função do tempo para a secagem de filé de peixe salgado e defumado (sem espinha)	55
FIGURA 4.6. Umidade adimensional em função do tempo para a secagem de filé de peixe salgado e defumado (com espinha)	55
FIGURA 4.7. Taxa de secagem para de filé de peixe salgado e defumado (com espinha)	56
FIGURA 4.8. Taxa de secagem para filé de peixe salgado e defumado (sem espinha)	56
FIGURA 4.9. Umidade adimensional em função do tempo para a secagem de filé de peixe salgado e defumado (com espinha)	57
FIGURA 4.10. Umidade adimensional em função do tempo para a secagem de filé de peixe salgado e defumado (sem espinha)	57

FIGURA 4.11. Umidade adimensional logarítmica em função do tempo para a secagem de filé de peixe salgado e defumado (sem espinha)	58
FIGURA 4.12. Umidade adimensional logarítmica em função do tempo para a secagem de filé de peixe salgado e defumado (sem espinha)	58
FIGURA 4.13. Umidade adimensional logarítmica em função do tempo para a secagem de filé de peixe salgado e defumado (com espinha)	59
FIGURA 4.14. Umidade adimensional logarítmica em função do tempo para a secagem de filé de peixe salgado e defumado (com espinha)	59
FIGURA 4.15. Ajuste da equação 4.7 resultante da correlação exponencial	60
FIGURA 4.16. Ajuste da equação 4.7 resultante da correlação exponencial	60
FIGURA 4.17. Ajuste da equação 4.5 resultante da solução analítica Def constante aos dados experimentais de secagem (corrida J)	61
FIGURA 4.18. Ajuste da equação 4.5 resultante da solução analítica Def constante aos dados experimentais de secagem (corrida A)	61
FIGURA 4.19. Temperatura de bulbo seco e úmido durante o processo de secagem	62
FIGURA A.1. Curva de Calibração da mola	83

## LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1. Espécies de Peixes de água doce criadas em cativeiro	03
TABELA 2.2. Classificação do peixe quanto ao teor de gordura	04
TABELA 2.3. Classificação do peixe quanto ao teor de gordura e proteína	04
TABELA 2.4. Tempo de vida do pescado em função da temperatura de armazenagem	06
TABELA 2.5. Composição Química de Peixes de Água Doce “In Natura”	11
TABELA 2.6. Valores das Constantes da equação 1 obtidos por JASON, 1958	21
TABELA 2.7. Valores de difusividade e energia de ativação para diferentes materiais	26
TABELA 4.1 Valor médio da redução percentual de massa após o descongelamento	49
TABELA 4.2 Teor de sal contido nas amostras após a salga	50
TABELA 4.3 Valor médio do aumento de massa após a salga	50
TABELA 4.4 Valores das umidades inicial e de equilíbrio de filés de peixe salgados e defumados	51
TABELA 4.5. Valores dos parâmetros envolvidos no ajuste exponencial da equação 4.6	51
TABELA 4.6 Valor da difusividade efetiva calculada a partir do ajuste exponencial da equação 4.6	52
TABELA 4.7 Redução das dimensões dos filés de peixe durante o processo de secagem	52
TABELA A.1 Guia para avaliação da qualidade do peixe fresco e resfriado baseado em inspeção visual	82

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo o boletim técnico da FAO (1994), em 1991 a produção pesqueira mundial foi da ordem de 96,8 milhões de toneladas, sendo 84,3% de origem marinha e 15,7% continental. A aquicultura contribuiu aproximadamente com 12,7 milhões de toneladas da produção total, sendo que 65,5% deve-se a aquicultura em águas continentais e 34,5% a cultivos em água marinhas e estuarinas. O valor da produção oriunda da aquicultura, foi estimada em torno de 25 milhões de dólares

Os peixes são reconhecidamente uma excelente fonte de proteínas, comparados em valor nutritivo com ovos, carnes e leite, sendo em muitos países a principal fonte de proteína animal. Atualmente vem sendo estimulado o uso das diferentes variedades de peixes de água doce e salgada para tal fim.

O Brasil possui várias espécies de peixes nativas conhecidas e apreciadas pelo consumidor, que são potencialmente e economicamente viáveis para a piscicultura. O Pacu (*Piractus muesopotamicus*), o Tambaqui (*Colossoma macropum*) e seus cruzamentos (Tambacu e Paqui), são espécies promissoras para a piscicultura intensiva em virtude do alto poder de fecundação, sabor de sua carne e grande aceitação no mercado. Entretanto, o consumo de pescado no Brasil é baixo, ao redor de 4,7 Kg/ ano por pessoa. Enquanto em países como Estados Unidos e Japão o consumo é de 7,2 Kg/ e 65,0 Kg/ ano por pessoa respectivamente.

As condições de comercialização de pescado no país não são perfeitas nem mesmo nos grandes centros consumidores, por isso o pescado nem sempre chega ao consumidor em boas condições. Isso sugere outras soluções que levam à industrialização e, conseqüentemente, ao aumento do consumo desse alimento proteico de boa qualidade (SANCHEZ, 1989).

A salga, secagem e a defumação de pescado são métodos tradicionais de preservação que quando combinados conferem ao produto características que o tornam estável durante a sua distribuição e estocagem sem a necessidade de refrigeração.

A secagem de peixe é tradicionalmente realizada pela ação do sol, o que implica em longos períodos de processamento e nem sempre, o produto resultante é de boa qualidade. Assim existe um duplo interesse em estudar o fenômeno de secagem : aumento da produtividade e controle do processo, que resulta num produto uniforme e de boa qualidade.

A partir disto, o presente trabalho teve por objetivo o estudo da secagem e defumação líquida de peixes gordos de água doce criados em pequenos açudes.

São apresentados aqui os aspectos tecnológicos e o estudo do fenômeno de transporte de água no músculo de peixe durante o processo de secagem. O modelo adotado é baseado na lei de difusão de fick e resolvido considerando-se a difusividade efetiva constante.

## Capítulo 2 . REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1.ASPECTOS TECNOLÓGICOS SOBRE O PROCESSAMENTO DE PEIXES

#### 2.1.1. Classificação da Matéria-Prima

A tabela 2.1 mostra algumas espécies provenientes de água doce comercializadas no Mercado Internacional. No Brasil, espécies nobres como Tambaqui (*Colossoma macropomum*), Pintado (*Pseudo platystoma corus cans*) e Pacu (*Colossoma mitrei*), são os que possuem maior valor de mercado.

**TABELA 2.1**

Espécies de Peixes de água doce criadas em cativeiro

Espécie	Nome Científico	Observações
Carpa comum	<i>Cyprinus carpiol</i>	Originário da China, é a espécie mais criada no mundo. Atinge 1,5 Kg no primeiro ano de cativeiro.
Tambaqui	<i>Colossoma Macropum</i>	Originário da Bacia Amazônica ; na Venezuela é conhecido como Cachama
Pacu	<i>Colossoma mitrei</i>	Peixe nobre, nativo do Brasil, é uma espécie de excelente potencial para a piscicultura
Pintado	<i>Pseudoplatystoma Coruscans</i>	Habita a Bacia do São Francisco, onde é conhecido como Surubin
Tilápia do Nilo	<i>Oreochromis niloticos</i>	Originário da Bacia do Nilo, na África, seu peso comercial (350 a 400g), é atingido em seis meses

As tabelas 2.2 e 2.3 mostram a classificação do pescado do ponto de vista industrial, com respeito ao seu conteúdo de gordura e proteína (SANCHEZ,1989).

**TABELA 2.2**

Classificação do peixe quanto ao teor de gordura

Categoria	Gordura %
Gordo	> 8
Semi - Gordo	3 - 8
Magro	2 - 3

**TABELA 2.3**

Classificação do peixe quanto ao teor de gordura e proteína

Categoria	Classe	Gordura %	Proteína %
A	Gordura baixa alta proteína	<5	15 - 20
B	Gordura média alta proteína	5 - 15	15 - 20
C	Gordura alta baixa proteína	>15	15
D	Gordura baixa muito alta proteína	<5	>20
E	Gordura baixa baixa proteína	<5	<15

### 2.1.2. Refrigeração

Na maioria das espécies de peixes, o ponto crioscópico do músculo está em torno de  $-1^{\circ}\text{C}$ , o que leva a utilização de processos de refrigeração que promovam uma diminuição de temperatura do músculo, próxima a  $0^{\circ}\text{C}$ , num curto período de tempo (NISHIMOTO *et alii*, 1985).

Após a captura, os peixes devem ser imediatamente refrigerados. Vários métodos de conservação utilizando o frio, foram descritos por SANCHES (1989). Dentre eles, o mais indicado é o armazenamento em água salgada (método RSW), a  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ . A vantagem desse método é o fácil manuseio do pescado por bombeamento, além de assegurar qualidade com grau A (ver anexo A), durante o armazenamento máximo de 4 dias.

Vários testes químicos e físico-químicos são utilizados para determinar a perda de qualidade de peixes armazenados sob refrigeração. O índice de TVB (base de voláteis totais), é o mais recomendado, principalmente porque estabelece o limite de frescor para a matéria-prima (MARRAKCHI *et alii*, 1990).

O limite do índice de TVB para peixes de água doce e marinhos, à serem processados (fresco ou resfriado) com grau A, deve ser inferior a 18mg N/100g e 30mg N/100g, respectivamente (SANCHES *et alii*, 1990).

### 2.1.3. Congelamento e Armazenamento

O congelamento de peixes inicia-se normalmente entre -1 e 2 °C, dependendo da espécie. a medida que a temperatura é reduzida, uma proporção maior de água é transformada em cristais de gelo, sendo grande parte solidificada na faixa de -1 a -5°C, que é a faixa de temperatura que define a velocidade de congelamento do pescado. Do ponto de vista da qualidade do produto é importante que esta faixa seja ultrapassada o mais rápido possível, evitando assim danos físicos às células do músculo do pescado (SANCHES, 1989).

Os equipamentos empregados no congelamento de pescado podem ser classificados de acordo com sua utilização. Geralmente, para pescados grandes acima de 1 metro, recomenda-se equipamentos que operem com a utilização de ar frio, sendo mais utilizado neste caso, os túneis de congelamento. Para pescados pequenos e filés recomenda-se freezer do tipo placa ou unidades de congelamento individuais IQF (Individually Quick Frozen) (NICHOLSON e JOHNSTON, 1993).

O tempo de armazenamento do pescado congelado depende basicamente de dois fatores : a qualidade inicial da matéria-prima e a temperatura de armazenagem. A tabela 2.4 mostra o tempo de vida útil do pescado congelado em função da temperatura de armazenagem (BURGES,1971 citado por SANCHES, 1989).

**TABELA 2.4**

Tempo de vida do pescado em função da temperatura de armazenagem

Tipo de Pescado	-10°C		-20 °C		-30 °C	
	Bom	Impróprio	Bom	Impróprio	Bom	Impróprio
Pescado branco (eviscerado)	1 mês	4 meses	4 meses	15 meses	8 meses	> 4 anos
Arenque (com víscera)	1 mês	3 meses	3 meses	6 meses	6 meses	< 1 ano

#### **2.1.4. Operação de Evisceração e Limpeza**

A eliminação das vísceras é realizada através de um corte longitudinal na região abdominal do peixe, tomando o cuidado de não romper a vesícula biliar. Atualmente existem equipamentos automatizados que realizam esta operação (VENUGOPAL, 1995).

A evisceração mecânica é realizada em máquinas equipadas com serras que executam o corte abdominal; garras separadoras que promovem a abertura da parede abdominal e um disco eviscerador que efetua a extração das vísceras (VENUGOPAL, 1995).

A remoção da cabeça auxilia também sua conservação, pois elimina um dos principais focos de penetração de bactérias no pescado que são as guelras . A remoção da cabeça é feita através de um corte em forma de “V “por meio de uma serra (VENUGOPAL, 1995).

Após a evisceração e remoção da cabeça, o pescado deve ser lavado com água clorada a 20 ppm, com a finalidade de remover da cavidade abdominal, restos de sangue e vísceras que possam contribuir para o detrimento do pescado (VENUGOPAL, 1995).

#### **2.1.5. Tecnologia de Defumação**

Basicamente existem três técnicas de defumação : defumação a quente, a frio e líquida, diferenciando-se amplamente entre si nos detalhes (SUBASINGHE, 1993).

Na defumação a quente o produto é exposto a temperaturas acima de 80°C, ocorrendo desnaturação enzimática e uma breve esterilização, resultando num grau maior de preservação, podendo ser consumido sem nenhum cozimento prévio (SUBASINGHE, 1993).

A defumação a frio ocorre em temperaturas moderadas, em torno de 40 °C, evitando assim o cozimento do produto . Esse processo não confere ao produto um alto grau de preservação (SUBASINGHE, 1993).

A defumação com solução de fumaça líquida é uma das mais importantes modificações obtidas no processo de cura por fumaça. A fumaça líquida geralmente é aplicada em pescados pela adição do extrato em salmora, pela atomização com bicos atomizadores ou imersão do produto numa solução de extrato ( SUBASINGHE, 1993).

O filé de Salmão defumado é um dos mais famosos e apreciados produto defumado. Para a sua fabricação o Salmão (*Oncorhynchus gorbusha*) é eviscerado, lavado com água ( ou com uma solução salina a 2° Be) e reduzido a forma de filés (ADICON, 1994).

Os filés são então acondicionados em uma solução de salmora a 3,5% de NaCl, durante 3 horas a 8 °C. Após a salmora, os filés são lavados e colocados sobre telas de nylon para secar durante 2 horas a 20 °C e umidade relativa entre 60 e 70%, visando a obtenção de uma superfície insaturada, que possibilita uma maior difusão da fumaça líquida no músculo do peixe (ADICON, 1994).

A defumação é realizada em uma câmara onde com auxílio de um bico atomizador (*nozzles*), a fumaça líquida é aplicada na superfície do produto durante 15 minutos numa razão entre 160-250 ml de fumaça para 100g de produto (ADICON,1994).

Após a aplicação da fumaça líquida, o produto deve ser submetido a um tratamento térmico. Para filés de Salmão, ADICON (1994) aconselha o seguinte ciclo:

- secagem a 26 °C por 2 horas;
- secagem a 50 °C por 2 horas;
- secagem a 88 °C por 1 hora.

Este procedimento visa promover a formação de cor na superfície do músculo e a homogeneização da fumaça líquida.

#### **2.1.6. Tecnologia de Secagem de Peixe**

O preparo do pescado para a secagem, varia de acordo com a espécie e o tamanho. Tradicionalmente, os peixes pequenos são secos inteiros ou eviscerados parcialmente. Para peixes grandes, o processo adotado é o da redução em mantas ou filés (SUBASINGHE,1993).

Os métodos de secagem solar ainda são bastante empregados em países do continente Africano, Asiático e em alguns países europeus, onde essa prática vem sendo substituída pelo emprego de equipamentos mecanizados (SUBASINGHE, 1993).

A secagem solar é um processo rústico que requer uma atmosfera seca e brisa suave. Nesse processo os peixes pequenos são secos inteiros sobre telas metálicas ou de nylon. Nos peixes grandes tradicionalmente é feita a remoção das vísceras, cabeças e a divisão do animal em mantas, que são penduradas em cabos estendidos horizontalmente e expostos ao sol. O tempo de duração do processo é de duas a seis semanas, a umidade final fica entre 30 e 40 % (b.u) (BERAQUET & MORI, 1984).

A secagem artificial, realizada em câmaras ou túneis de secagem, permite a elaboração de produtos de qualidade homogênea com redução de custos operacionais. As taxas de secagem alcançadas são superiores as observadas na secagem solar, sendo necessárias aproximadamente 40 horas para a conclusão do ciclo de secagem. A faixa de temperatura recomendada para este processo é de 16 a 27 °C, utilizando ar com umidade relativa de 45% (JASON, 1965).

Na fabricação de filés salgados e secos de Corvina (*Micropogon furnieri*), a massa visceral, a cabeça e as nadadeiras são removidas do animal e realizada uma lavagem na cavidade abdominal e externa do peixe com água clorada. Em seguida, os peixes são cortados, obtendo-se dois filés de cada espécie. Os filés são submetidos ao processo de salga úmida durante 8 dias a 25 °C em uma solução de salmora a 30% de NaCl (QUEIROZ, 1977).

Após esse período os filés são drenados por 30 minutos e apresentam uma umidade entre 50 e 53%, em seguida, acondicionados por 30 minutos a 25 °C numa solução com a seguinte composição : 0,25 % de ácido ascórbico, 20 % de ácido cítrico e 0,25 % de butilato de hidroxionisol. A secagem pode ser realizada com temperatura de até 40°C. Entre 18 e 25 horas, a umidade do produto atinge aproximadamente de

39 a 48 %, sendo embalado e armazenado para processamento posterior ( QUEIROZ, 1977).

### 2.1.7. Composição Química Aproximada de Espécies de Água Doce

Segundo GURGEL e FREITAS (1972), a composição química do pescado apresenta variações significativas de espécie para espécie, como também entre peixes da mesma espécie. Os autores citam como fatores responsáveis por essa variação, o tamanho, alimentação, estação do ano e local de captura. A tabela 2.5 fornece a composição química aproximada de algumas espécies de água doce de valor comercial criadas em cativeiro (\*GURGEL e FREITAS, 1972; \*\*MACHADO e SGARBIERI, 1991).

**TABELA 2.5**

Composição Química de Peixes de Água Doce “In Natura”

Espécie	Nome Popular	Porção Comestível %	• Umidade (%)	• Proteína (%)	• Lipídeos (%)	• Cinzas (%)
* <i>Astronotus ocellatus</i>	Apaiari	59.4	72.32	19.0	4.1	2.3
* <i>Tilapia melanopleura</i>	Tilápia	56.1	73.05	18.9	3.4	2.2
* <i>Hoplias malabaricus</i>	Traíra	59.6	72.23	21.0	2.3	1.9
* <i>Cicha ocellaris</i>	Tucunaré	60.5	72.88	21.0	1.1	2.5
* <i>Pimelodus clarias</i>	Mandir	75.3	74.5	16.00	14.6	1.7
** <i>Colossoma mitrei</i>	Pacu	55.6	67.7	13.0	17.0	1.3
** <i>Colossoma macropomum</i>	Tambaqui	38.96	73.71	18.11	7.06	1.2

- Os métodos de análise utilizados estão citados no anexo B.

## 2.2. DEFUMAÇÃO

### 2.2.1. Fundamentos e Mecanismos

A defumação é um método tradicional de conferir sabor, aroma e cor de defumado à peixes e mariscos, pela deposição de compostos gerados pela combustão da madeira sobre a superfície do músculo, além de auxiliar na preservação, através da desidratação que ocorre durante o processo e pela ação conservante de substâncias antioxidantes presentes na fumaça, como fenóis, aldeídos e ácidos orgânicos (CHILDS *et alii*, 1976).

De acordo com FOSTER *et alii* (1961), a fumaça contém pequenas gotas líquidas dispersas em uma fase gasosa e partículas sólidas, sendo a fase gasosa a principal responsável pela absorção dos componentes da fumaça no produto. Segundo os autores, a fase gasosa da fumaça se dissolve na água intersticial do músculo, formando assim, uma solução que se transforma em um perfeito agente de defumação.

Quando o produto apresenta uma superfície levemente umedecida, a fase gasosa é rapidamente depositada. Mas, com excessiva umidade relativa o vapor se condensa e goteja, levando consigo os componentes da fumaça que impede sua absorção. Em superfícies secas, onde as gotas líquidas encontram-se presas no interior do músculo a deposição de fumaça é limitada (TOLEDO, 1975).

### 2.2.2. Fontes e Características da Fumaça

A madeira contém substâncias combustíveis tais como : celulose, lignina, pentosanas, ácidos tânicos, terpenos e resinas. São estas substâncias que , quando

lentamente queimadas, transformam-se em outras substâncias que conferirão ao alimento defumado suas qualidades de sabor, aroma e cor características, além de auxiliar na preservação através da ação conservante (SANCHEZ, 1989).

A madeira empregada na produção da fumaça influencia significativamente as propriedades organolépticas do produto defumado. Devem ser evitadas as madeiras resinosas como pinho ou outras coníferas por conterem alto teor de resina, o que confere sabor desagradável ao produto. Espécies como o Carvalho, Olmo e o Bambu são consideradas excelentes madeiras, pois produzem uma fumaça levemente aromatizada e adocicada.(LANTZ & VAISEY, 1973)

Os componentes químicos da fumaça podem ser classificados em quatro grupos principais: compostos ácidos, fenólicos, carbonílicos e os hidrocarbonos. Os três primeiros grupos de compostos químicos contribuem com as reações que afetam cor, aroma e sabor, o quarto grupo, os hidrocarbonos, especialmente os componentes policíclicos (benzopireno e o dibenzoantraceno), não são desejáveis por serem cancerígenos (GILBERT & KNOWLES, 1975).

MAGA (1988) descreve os fenóis como os principais responsáveis pelo típico sabor defumado. Segundo o autor os fenóis são produzidos na pirólise de todas as madeiras, sendo que a enorme diferença de *flavor* entre as fumaças geradas por cada uma delas é resultante da quantidade relativa desse composto.

Segundo CUTTING (1965), o guaiacol é o principal agente antioxidante presente na fumaça gerada durante a pirólise da madeira, impedindo a oxidação dos ácidos graxos no músculo do pescado.

### **2.2.3. Defumação Líquida**

A defumação de pescado e outros produtos marinhos pelo contato destes, diretamente com vapores de fumaça natural gerados na pirólise da madeira, apresenta alguns fatores inconvenientes como: (i) falta de controle do sabor ou cor, devido a grande variação da fumaça gerada; (ii) constante manutenção e limpeza dos defumadores e geradores de fumaça; (iii) presença dos compostos carcinogênicos (benzopireno); e (iv) preocupação pela emissão de fumaça, como problemas de poluição ambiental (água e ar), (HOLLENBECK, 1972).

Esses problemas associados aos métodos tradicionais de defumação, tornaram o uso da solução de fumaça líquida atraente à indústria nos países mais desenvolvidos. Embora mais cara do que a madeira, a fumaça na forma líquida passa a ser vantajosa, pois proporciona um maior controle da cor e do sabor, maior uniformidade ao produto; permite utilizar equipamentos mais compactos e higiênicos, além de eliminar os elementos cancerígenos (LENGES, 1972).

O preparo da solução de fumaça líquida é realizado pela absorção em água da fumaça natural, gerada na pirólise da madeira, onde as variáveis do processo (temperatura, umidade da madeira e concentração de oxigênio), são rigorosamente controladas. O extrato obtido na coluna de adsorção é colocado em tanques de estocagem onde passam por um processo de envelhecimento, visando a formação de produtos de condensação ou polimerização, que fornecem uma cor fortemente escura

ao extrato. Após essa etapa o extrato é filtrado para que os compostos indesejáveis (alcatrão, resinas e os hidrocarbonetos polinucleados), sejam eliminados (SUBASINGHE, 1993)

A solução de fumaça líquida pode ser aplicada nos peixes inteiros ou nos filés de duas formas : adição direta no produto através do acréscimo do extrato na salmora ou por imersão do produto salgado numa solução de extrato, e por aplicação na superfície por atomização ou banho (ADICON, 1994).

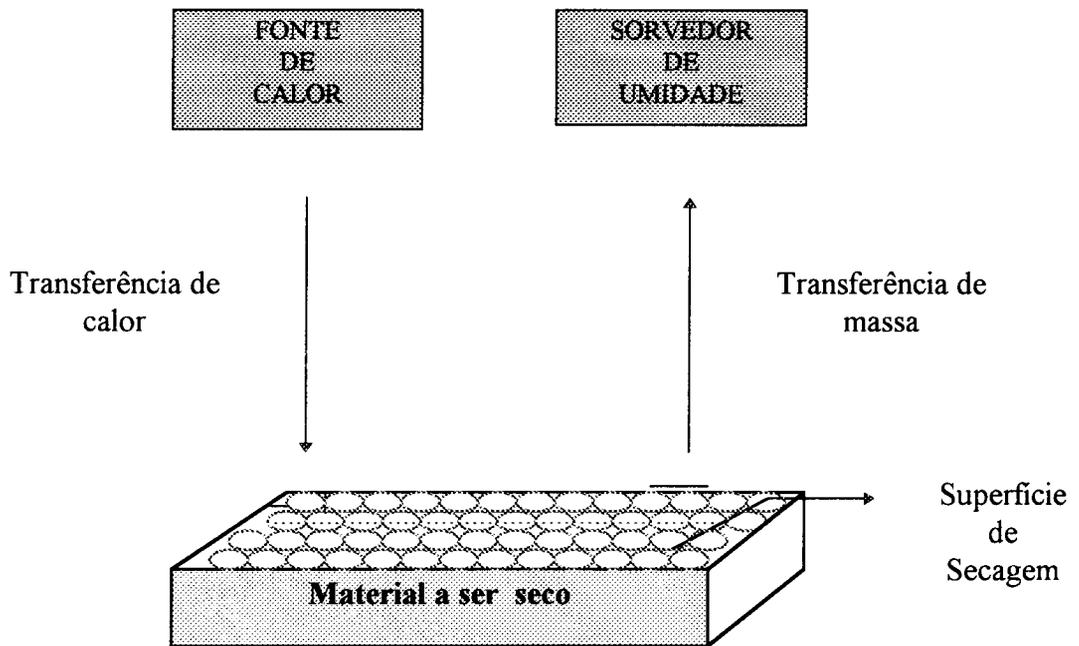
## **2.3.SECAGEM**

### **2.3.1. Fundamentos e Mecanismos**

A secagem de um sólido, é normalmente um processo que consiste na remoção de parte da umidade contida em seu interior por meio de evaporação, geralmente causada por convecção forçada de ar aquecido (ALVARENGA *et alii* 1980).

DINCER e DOST (1995) mencionam que quando um sólido é colocado em contato com o ar quente, devido a diferença de temperatura existente entre eles, dois

fenômenos físicos ocorrem simultaneamente : (i) transferência de calor do ar para o material, promovendo a evaporação da umidade (água) e (ii) transferência de massa do produto a ser seco para o ar, conforme o modelo físico de secagem de PARK, 1987, esquematizado na figura 2.1 :



**FIGURA 2.1** . Esquema de secagem segundo Park, 1987.

A evolução da transferência simultânea de calor e massa, no curso da operação de secagem de um sólido úmido mediante um gás a temperatura e umidade fixas, mantém sempre um certo tipo de comportamento. Imediatamente após o contato entre a amostra e o meio secante, a temperatura do sólido ajusta-se até atingir o equilíbrio (regime permanente). Neste período, tem-se que a quantidade de água disponível no interior do sólido é grande, logo o movimento de água em seu interior ocorre com velocidade suficiente para manter as condições de saturação na superfície. Desta forma, a superfície da amostra se mantém saturada e a transferência de umidade ocorre como se fosse a evaporação de uma massa líquida, sem haver influência direta do sólido na taxa de secagem. Neste período a pressão de vapor de água na superfície do material é constante e a temperatura do material é igual a de bulbo úmido do ar de

secagem, o que implica numa taxa constante de transferência de calor que resulta em uma velocidade de secagem constante. Essa fase do processo é denominada período de secagem a taxa constante. O fim deste período corresponde ao tempo em que a migração interna de água para a superfície não consegue mais compensar a taxa de evaporação da água livre da superfície. Neste ponto, o conteúdo de umidade é denominado ponto crítico ( $X_c$ ).

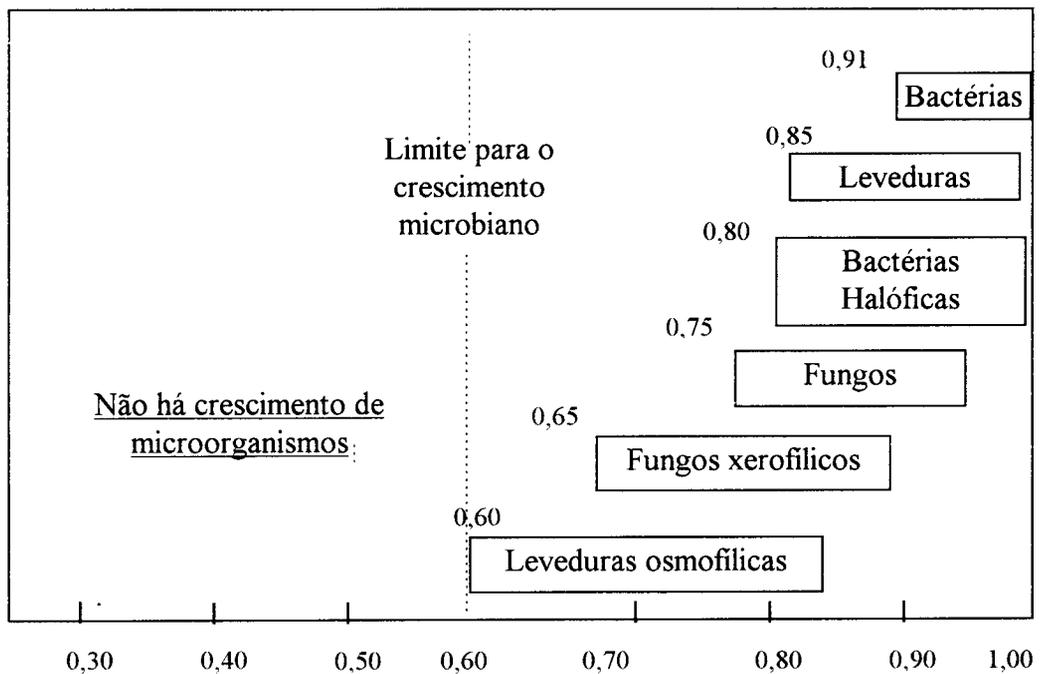
Após o período de secagem a taxa constante, a transferência de calor não é mais compensada pela transferência de massa, conseqüentemente ocorre uma elevação da temperatura da superfície que tende assintoticamente para a temperatura do ar de secagem, decrescendo continuamente a taxa de secagem. Essa fase do processo é denominada período de secagem a taxa decrescente e é dividida em duas fases (STRUMILLO & KUDRA, 1986):

- Primeira Fase : a água livre (fase líquida) presente no interior do produto é contínua, sem a presença de ar, e ocupa todos os poros do produto. O movimento de água do interior para a superfície ocorre por capilaridade e este mecanismo controla a velocidade de secagem.
- Segunda Fase : a remoção de água da superfície de evaporação provoca a entrada de ar no interior do produto, o que dá origem a bolsas de ar que ficam dispersas na fase líquida dentro dos poros. Nesta fase o escoamento capilar ocorre apenas em alguns pontos localizados.

O objetivo básico da secagem de produtos alimentícios é a remoção de umidade dos sólidos até níveis nos quais o crescimento de microorganismos deterioradores é minimizado. O metabolismo de crescimento dos microorganismos demanda da

presença de água em uma forma disponível. A água disponível se expressa como atividade de água ( $a_w$ ).

O crescimento da maioria das bactérias e fungos são limitados a uma atividade de água acima de 0,90, todavia, um grande número de microorganismos de importância na preservação dos alimentos são capazes de crescer a níveis muito mais baixos (HUSS e VALDIMARSSON, 1994).



**FIGURA 2.2.** Crescimento de microorganismos em função da atividade de água

### 2.3.2. Generalidades da Secagem de Materiais Alimentícios

Uma análise global dos trabalhos publicados referente ao processo de secagem, permite a distinção de duas formas de abordagem do tema : uma que se baseia principalmente nas condições externas como temperatura, umidade e velocidade do ar, correlacionando-as com a velocidade de secagem do sólido, e outra que considera não apenas as condições externas, mas também os mecanismos de migração interna de umidade e suas possíveis conseqüências sobre as alterações físicas, químicas e biológicas do produto. No último caso, deve-se ainda estabelecer os diferentes mecanismos de umidade no interior do produto, aquele que será considerado como determinante ( QUEIRÓZ, 1994 ).

Por outro lado, a secagem de gêneros alimentícios sólidos é um caso complexo de transferências acopladas de calor e massa através dos tecidos. Existem diversas teorias de secagem que tentam explicar os mecanismos de migração de umidade no interior de um sólido, como também um grande número de modelos matemáticos são utilizados para estimar as transferências simultâneas de calor e massa ali envolvidas.

Várias teorias de secagem para explicar os mecanismos de migração e umidade no interior de um sólido, foram citadas por MUJUMDAR (1980), mas somente as teorias capilares e de difusão líquida são geralmente adequadas para a secagem de gêneros alimentícios.

TOBINAGA & PINTO (1992), fizeram uma revisão das teorias mais importantes apresentadas em trabalhos de secagem de materiais sólidos, desde os mais simplificados, que levam em conta somente o mecanismo de difusão descrito em

termos da lei de Fick com a difusividade constante, até os mais elaborados que levam em conta as transferências simultâneas de calor e massa, as características celulares do tecido que compõe o material e os efeitos de encolhimento da amostra. Dentre elas citam as de HENRY (1939), PHILIPS e De VRIES (1957), KRISCHER (1963), LUIKOV (1966) e KING (1968), VIOLLAZ & SUAREZ (1994).

FORTES e OKOS (1980), destacam como problemas mais comuns apresentados pelos modelos existentes na literatura, a falta de dados para os parâmetros dos modelos (difusividade de massa, difusividade térmica, condutividade hidráulica, etc.), especialmente suas dependências com a umidade do material e a temperatura, e também a dificuldade matemática que envolve a resolução dos modelos não lineares.

### 2.3.3. Período de Taxa Constante de Secagem

O período de taxa constante de secagem é caracterizado por apresentar um comportamento similar ao de uma superfície líquida livre. Esta região, a qual foi bem estudada por JASON (1958), HANN (1964), MOYNE e DEGIOVANNI (1985), é comumente observado que a taxa de evaporação de água de superfície durante o período, é expressa como função das condições do ar, da geometria (forma), da área da superfície e da direção da corrente (fluxo) de ar.

Segundo JASON (1958), a taxa de evaporação de água da superfície durante o período de taxa constante está relacionado com a velocidade do ar ( $V_{ar}$ ) por uma lei de potência expressa pela equação 2.1:

$$N_c = A(T_{bs} - T_{bu})V_{ar}^n \quad (2.1)$$

Os valores das constantes da equação 2.1, foram comparados por JASON, apresentando uma variação pouco significativa na potência (n) que é elevada a velocidade, geralmente em torno de 0,8 , como mostra a tabela 2.6:

**TABELA 2.6**

Valores das Constantes da equação 1 obtidos por JASON, 1957

Superfície sujeita a secagem	n	A
Músculo de peixe	0,77	$1,65 \times 10^{-8}$
Lâmina de água pura	0,88	$1,67 \times 10^{-8}$

Este período raramente é observado na secagem de materiais biológicos e pode ser detectado apenas sob condições especiais de processo.

#### 2.3.4. Período de Taxa Decrescente de Secagem

Este período é reconhecido como o mais complexo e praticamente o único que se apresenta na secagem da maioria dos produtos de natureza biológica. Segundo MULET (1994), três formas de modelos são comumente usados no período de taxa decrescente : (i) um que se baseia no transporte difusional de água, (ii) outro baseado essencialmente no transporte capilar; (iii) e um último baseado na difusão de vapor (causado pelo gradiente de temperatura).

Neste aspecto, cabe ressaltar que de forma geral, os modelos de difusão líquida tem apresentado bons resultados em aplicações de secagem de cereais, frutas e grãos, provavelmente devido ao fato destes produtos não apresentarem um período de taxa constante nas curvas características de secagem, o que permite concluir que o processo é totalmente controlado pelas condições internas do material.

LEWIS (1921) e SHERWOOD (1929), foram os primeiros a fazerem referência explícita a teoria difusional, ao interpretarem a secagem como um fenômeno de difusão interna de água líquida. Sendo, o período de velocidade decrescente, fundamentado inteiramente na lei de difusão de Fick descrita de acordo com equação 2.2 segundo CRANK (1975):

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \nabla \cdot (D \nabla X) \quad (2.2)$$

Quando se trata de secagem de produtos biológicos, em especial os alimentos, este modelo é amplamente adotado por vários autores (JASON, 1965; VACCAREZZA & CHIRIFE, 1975; KUMAR *et alii*, 1982; RAMANSWAMY & LO, 1983; SARAVACOS & RAUZEOS, 1984; PARK, 1987; KARATHANOS *et alii*, 1990; PINTO, 1992; TEIXEIRA, 1994).

CRANK, (1975) apresentou diversas soluções analíticas para a equação de difusão, considerando diferentes condições iniciais e de contorno. Tratou também de casos onde a difusividade varia linearmente ou exponencialmente com a concentração de umidade. No entanto, estas soluções somente se aplicam a sólidos com formas

geométricas simples e regulares. Em sistemas de coordenadas retangulares ( x, y e z), a equação de difusão, pode ser escrita na seguinte forma:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D_{ef} \frac{\partial X}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( D_{ef} \frac{\partial X}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( D_{ef} \frac{\partial X}{\partial z} \right) \quad (2.3)$$

Assumindo a forma geométrica de uma placa infinita, onde a transferência interna de umidade durante a secagem é predominantemente unidirecional, a equação de difusão fica :

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial y} \left( D_{ef} \frac{\partial X}{\partial y} \right) \quad (2.4)$$

Quando o coeficiente de difusão  $D_{ef}$  , é considerado constante, o teor de umidade inicial  $X_0$  é distribuído uniformemente no interior do produto desprezando as resistências externas a transferência de massa. O teor de umidade na superfície da amostra permanece constante durante o processo, e seu valor corresponde ao termo de umidade de equilíbrio  $X_e$  do produto. Considerando o ar de secagem e o encolhimento do produto durante a secagem desprezíveis a equação 2.4 pode ser expressa matematicamente da seguinte forma :

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{ef} \frac{\partial^2 X}{\partial y^2} \quad (2.5)$$

Com as condições iniciais e de contorno :

$$X = X_0 \quad \text{em } t = 0 \quad 0 \leq y \leq L \quad (2.6)$$

$$X = X_e \quad \text{em } y = L \quad t > 0 \quad (2.7)$$

$$\frac{\partial X}{\partial y} = 0 \quad \text{em } y = 0 \quad t > 0 \quad (2.8)$$

A solução analítica da equação 2.5 em termos da umidade média, com a condição inicial 2.6 e as condições de contorno 2.7 e 2.8, é dada por CRANK (1975) como:

$$\frac{\bar{X} - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left[-(2n+1)^2 \frac{\pi^2 D_{ef} t}{4L^2}\right] \quad (2.9)$$

onde :

$$\bar{X} = \frac{1}{L} \int_0^L X dy \quad (2.10)$$

### 2.3.5. Fatores que Influenciam o Movimento de umidade

Em geral são muitos os fatores que afetam a difusividade efetiva da água durante o processo de secagem, mas a temperatura e a umidade são os mais relevantes, sem deixar de mencionar alguns como : a constituição química e física do produto, forma e tamanho as quais podem adequar-se ao modelo matemático que descreva o processo de difusão (BRENNAN *et alii*, 1980).

LUYBEN *et alii*,(1980) demonstraram que a difusividade é uma função da umidade média do sólido e que em geral decresce ao diminuir a umidade, exceto em purês de maçã onde sua funcionalidade é irregular, atribuindo isto a concentração do sólido durante a secagem.

JASON (1965) estudou o efeito do teor de gorduras sobre o coeficiente de difusividade efetiva da água em músculos de peixe, encontrando uma correlação inversamente proporcional entre estas duas variáveis. ALZAMORA & CHIRIFE (1980) estudando a desidratação de polpa de abacate, concluíram também que o aumento da concentração de gordura implica na redução do valor da difusividade efetiva. Este efeito foi atribuído ao caráter hidrofóbico da gordura que impõe uma resistência ao escoamento de água.

JASON (1965), analisando os efeitos do sal nos músculos de peixes, concluiu que a salga diminui a duração da primeira fase do período de taxa decrescente, conduzindo a amostra rapidamente a segunda fase onde a difusividade efetiva é menor, explicando o porque dos filés de peixe salgados, levarem um tempo bem maior para secar em comparação aos filés não salgados.

Alguns autores investigando a dependência da difusividade efetiva com a temperatura, concluíram que a temperatura exerce considerável influencia sobre a velocidade de desidratação afetando, conseqüentemente, o valor do coeficiente de difusão, e neste caso, é freqüente o uso de funções exponenciais do tipo de Arrhenius para expressar a dependência da difusividade efetiva com a temperatura ( HENDERSON & PABIS , 1961; CUTTING, 1965; VACCAREZZA *et alii*, 1974; SUARES *et alii*, 1980; VAGENAS & MARINOS-KOURIS, 1991).

$$D_{ef} = D_o \cdot \exp\left[-\frac{E_a}{RT_{bs}}\right] \quad (2.11)$$

A tabela 2.7. mostra alguns valores de Def (difusividade) e de E<sub>a</sub> (energia de ativação) para a primeira e a segunda fases para diferentes materiais.

**TABELA 2.7**

Valores de difusividade e energia de ativação para diferentes materiais

Material	Def (cm <sup>2</sup> /s)	T (°C)	E <sub>a</sub> (cal/gmol)	Fonte
Semente de Trigo	0,07 - 2.8 (10 <sup>-6</sup> )	20 - 79,5	12920 - 16800	Becker & Sallans (1955)
Amido Gel	1,8 - 2,4 (10 <sup>-7</sup> )	10 - 50	4500 - 9800	Fish (1958)
Músculo de Bacalhau	1,6 - 3,5 (10 <sup>-5</sup> )	15 - 100	7190 - 8780	Jason (1958)
Grão de Soja	0,9 - 2,6 (10 <sup>-6</sup> )	N.R.	6900 - 7200	Kitic & Viollez (1984)

### 2.3.6. Umidade de Equilíbrio

Quando um material biológico é exposto a uma determinada umidade, ele reage no sentido de ajustar sua própria umidade a uma condição de equilíbrio com o ambiente. Isto ocorre quando a pressão de vapor d'água na superfície do material se iguala a pressão de vapro de água do ar que o envolve (TREYBAL, 1968). A umidade do material biológico é então denominada de umidade de equilíbrio (X<sub>e</sub>). A umidade de equilíbrio é particularmente importante na secagem porque representa o valor limite para uma dada condição de umidade relativa e temperatura.

A disponibilidade de água nos alimentos, pode ser correlacionada com a propriedade termodinâmica, atividade de água ( $a_w$ ), definida como:

$$a_w = \frac{P_v}{P_{v0}} \quad (2.12)$$

A relação entre a atividade de água do alimento em equilíbrio com o ambiente ao qual é exposto, e seu conteúdo de umidade, é expresso graficamente através de isotermas de sorção (adsorção e desorção). O conhecimento do traçado das isotermas de sorção é de fundamental importância na estimativa e no tempo de secagem para um dado alimento e conseqüentemente conhecer com exatidão qual a proteção que ele requer para que suas características físicas, químicas e organolépticas sejam preservadas (QUAST & TEIXEIRA, 1976).

LOMAURO *et alii*, (1985) mencionaram que a isoterma de sorção de alimentos pode ser dividida em três regiões, as quais correspondem as diferentes formas de combinação da água com os elementos presentes no mesmo. A primeira região abrange uma faixa de atividade de água entre 0 e 0,35 e representa a adsorção de um filme de água monomolecular. A segunda região abrange uma faixa de 0,35 a 0,60 de atividade de água e representa a adsorção das camadas adicionais de água sobre a monocamada, a terceira região, acima de 0,60, representa a água condensada nos poros do material seguida pela dissolução do material solúvel.

Vários modelos matemáticos são apresentados na literatura para o ajuste das isotermas de sorção. VIDAL *et alii*(1986), indicam que existem mais de setenta modelos (empíricos, semi empíricos e teóricos), para representar o comportamento

higroscópico dos produtos alimentícios, assim como, estudos comparativos de sua capacidade de ajustar-se aos resultados experimentais.

Entre os modelos mais comuns encontrados na literatura para avaliar isotermas de sorção em alimentos estão os de BET (BRUNAUER, EMMETT & TELLER, 1938), OSWIN (1946), SMITH (1947), HALSEY (1948), simplificado por CHIRIFE & IGLESIAS, (1978), HENDERSON (1952), CHUNG & PFOST (1967), GAB (GUGGENHEIN, 1966; ANDERSON, 1946 e DE BOER 1953).

Entre os modelos citados, o de BET (BRUNAUER, EMMETT & TELLER, 1938) é o que apresenta maior popularidade. Quando o número de monocamadas tende a um valor infinito a equação geral pode ser representada através do modelo linearizado, como mostra a equação abaixo :

$$\frac{a_w}{(1 - a_w)X} = \frac{1}{X_m C_{BET}} + \frac{(C_{BET} - 1)}{X_m C_{BET}} a_w \quad (2.13)$$

onde o valor do parâmetro  $C_{BET}$  é definido como:

$$C_{BET} = C \cdot \exp\left(\frac{Q_s}{RT}\right) \quad (2.14)$$

Ao realizar uma análise da regressão linear simples de  $\left\{ a_w / [(1 - a_w)X] \right\}$  em função de  $a_w$ , obtém-se os valores dos dois parâmetros do modelo de BET ( $X_m$  e

$C_{\text{BET}}$ ). O modelo de BET apresenta uma grande limitação pois só ajusta bem os dados de sorção com  $a_w$  entre 0,05 a 0,5 (LABUZA *et alii*, 1968).

O modelo de GAB (GUGGENHEIM, 1966; ANDERSON, 1946 e DE BOER, 1953), é outra alternativa que vem ganhando destaque na área de alimentos . O modelo pode ser considerado uma extensão das teorias de adsorção física de LANGMUIR e BET. Resultando numa equação com três parâmetros, que permite um excelente ajuste de dados de sorção para quase todos os alimentos até atividades de água de 0,95. A equação abaixo descreve o modelo (LOMAURO *et alii*, 1985):

$$X = \frac{X_m C_{\text{GAB}} K_{\text{GAB}} a_w}{(1 - K_{\text{GAB}} a_w)(1 - K_{\text{GAB}} a_w + C_{\text{GAB}} K_{\text{GAB}} a_w)} \quad (2.15)$$

onde  $C_{\text{GAB}}$  e  $K_{\text{GAB}}$  são constantes de adsorção relacionadas com as interações energéticas entre as moléculas da monocamada e as subseqüentes, num dado sítio primário de sorção (TEIXEIRA, 1994). Quando  $K_{\text{GAB}} = 1$  a equação de GAB é reduzida a equação de BET.

XAVIER *et alii* (1983), determinaram experimentalmente as isotermas de adsorção, para blocos de pescados salgados e secos, nas temperaturas de 23 e 35 °C, num intervalo de atividade e água de 0,1 a 0,89. Os dados experimentais foram bem ajustados pela equação de BET apenas na faixa de atividade de água entre 0,11 e 0,52.

### 2.3.7. Propriedades Físicas

A taxa de encolhimento e a massa específica, são propriedades físicas importantes em projetos e modelagem de processos, onde fenômenos de transporte mássicos e térmicos estejam envolvidos como na secagem, cozimento e extração de alimentos (WANG & BRENNAN, 1995).

LOZANO *et alii* (1983), estudaram experimentalmente a variação da massa específica com a umidade utilizando vários vegetais como cenoura, ervilha, batata doce e alho, resultando numa correlação geral do tipo :

$$\rho_1 = \mu + \alpha \left( \frac{X}{X_0} \right) + \xi \exp \left( -\omega \frac{X}{X_0} \right) \quad (2.16)$$

PINTO (1992), estudou a variação de massa específica de filés de peixes durante a secagem em ar com circulação forçada ( $T_{bs} = 30^\circ\text{C}$ ,  $T_{bu} = 20^\circ\text{C}$  e  $V_{ar} = 1,0$  m/s). Os dados experimentais obtidos para peixes magros não salgados, foram bem representados por uma correlação logarítmica do tipo :

$$\rho_b = \theta + \phi \left[ \ln \left( \frac{X}{X_0} \right) \right]^2 \quad (2.17)$$

LOZANO *et alii* (1983), descreveram o encolhimento de um dado material através do seu coeficiente volumétrico ( $S_b$ ), que relaciona o volume do material num dado instante com o volume inicial do material, a relação é definida como :

$$S_b = \frac{V_b(X)}{V_{b0}} \quad (2.18)$$

PINTO (1992), trabalhando com filés de peixe verificou que o modelo de secagem central de Suzuki foi o que melhor se ajustava aos dados experimentais para a determinação do coeficiente volumétrico :

$$S_b = \delta \left( \frac{X}{X_0} \right) + \tau \quad (2.19)$$

sendo

$$\delta = \frac{(1 + \nu)X_0}{(X_0 - X_e)} \quad (2.20)$$

$$\tau = \frac{(\nu X_0 - X_e)}{(X_0 - X_e)} \quad (2.21)$$

$$\nu = \frac{(X_e + 1) \rho_{bo}}{(X_0 + 1) \rho_{be}} \quad (2.22)$$

VIOLLAZ & SUAREZ (1994), apresentaram uma solução analítica para a equação de difusão de Fick utilizando o método de Fujita. Este modelo foi destinado à problemas de difusão com encolhimento do material, sendo tomado apenas na espessura . Para placa plana com espessura finita , o perfil de umidade é dado como:

$$\frac{\bar{X} - X_e}{X_0 - X_e} = 1 - \frac{2t^{1/2}D^{1/2}\beta}{(L_0 - L_e)} \quad (2.23)$$

PINTO & TOBINAGA (1994), determinaram experimentalmente o valor da difusividade efetiva em filés de peixe, durante a secagem em ar com circulação forçada. Estes autores observaram que durante a primeira fase do período de taxa decrescente o valor da difusividade para as amostras magras e gordas foi, respectivamente  $2,4 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$  e  $1,1 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$  . O valor deste parâmetro para a segunda fase foi aproximadamente 2,5 vezes menor do que para a primeira

## Capítulo 3 . MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo far-se-á uma descrição dos materiais e métodos adotados no desenvolvimento experimental de nosso trabalho, realizado no Laboratório de Medidas Físicas do Departamento de Engenharia de Alimentos desta Faculdade.

### 3.1. MATERIAIS

#### 3.1.1. Matéria - Prima

Foram utilizados filés de peixe da espécie híbrida tambacu (*Colossoma macropomum* vs *Colossoma mitrei*), os animais foram capturados na estação de aquicultura do CEPTA/IBAMA, Pirassununga-SP e transportados à Campinas-SP devidamente acondicionados em gelo moído a +1 °C em recipientes termicamente isolados, segundo recomendações de PRADO FILHO (1984).

Em um intervalo menor do que 12 horas após a captura, os peixes foram filetados manualmente e os filés armazenados em um freezer à temperatura aproximada de -18 °C.

#### 3.1.2. Equipamento

Os experimentos de secagem foram realizados em um secador com formato retangular, em ciclo fechado, a pressão atmosférica, com um leito fixo de sílica-gel instalado em série . O equipamento utilizado para secagem das amostras, constituiu-se das seguintes partes, que serão detalhadas a seguir :

- Câmara de secagem do material;
- Leito de secagem do ar;
- Sistema de ventilação;
- Sistema de medida.

### 3.1.2.1. Camara de secagem do material

No compartimento de secagem, a amostra foi colocada sobre uma placa plana de alumínio maciça de 2 mm de espessura e pendurada através de um fio metálico plastificado com diâmetro de 0,45 mm onde foi submetida à secagem. A estrutura da câmara de secagem foi feita com perfis de madeira do tipo cantoneira e as paredes com chapas de compensado de 5 mm de espessura. A câmara é dotada de visores de acrílico instalados nas partes laterais, na altura correspondente à localização da amostra, para permitir o manuseio da mesma, principalmente no início e final da operação. A saída da câmara foi projetada na forma de uma contração piramidal suave, para se evitar efeitos de turbulência no escoamento de ar neste ponto.

### 3.1.2.2. Leito de secagem do ar

O sistema de desumidificação do ar consistiu de um leito de partículas de sílica-gel com capacidade de adsorção de água de 0,28g água/g sílica-gel ( $T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) e diâmetro característico de 6 mm, acondicionadas em uma estrutura retangular feita com tela metálica de 16 mesh. O leito foi instalado próximo à sucção do ventilador e transversalmente ao escoamento de ar, preenchendo toda a área disponível para circulação. A espessura do leito é de 30 mm com área total de  $400\text{ cm}^2$  e massa de 3 Kg, quantidade 8,5 vezes superior à necessária para a adsorção de toda a água contida em 100 g de filé de peixe.

### 3.1.2.3. Sistema de ventilação

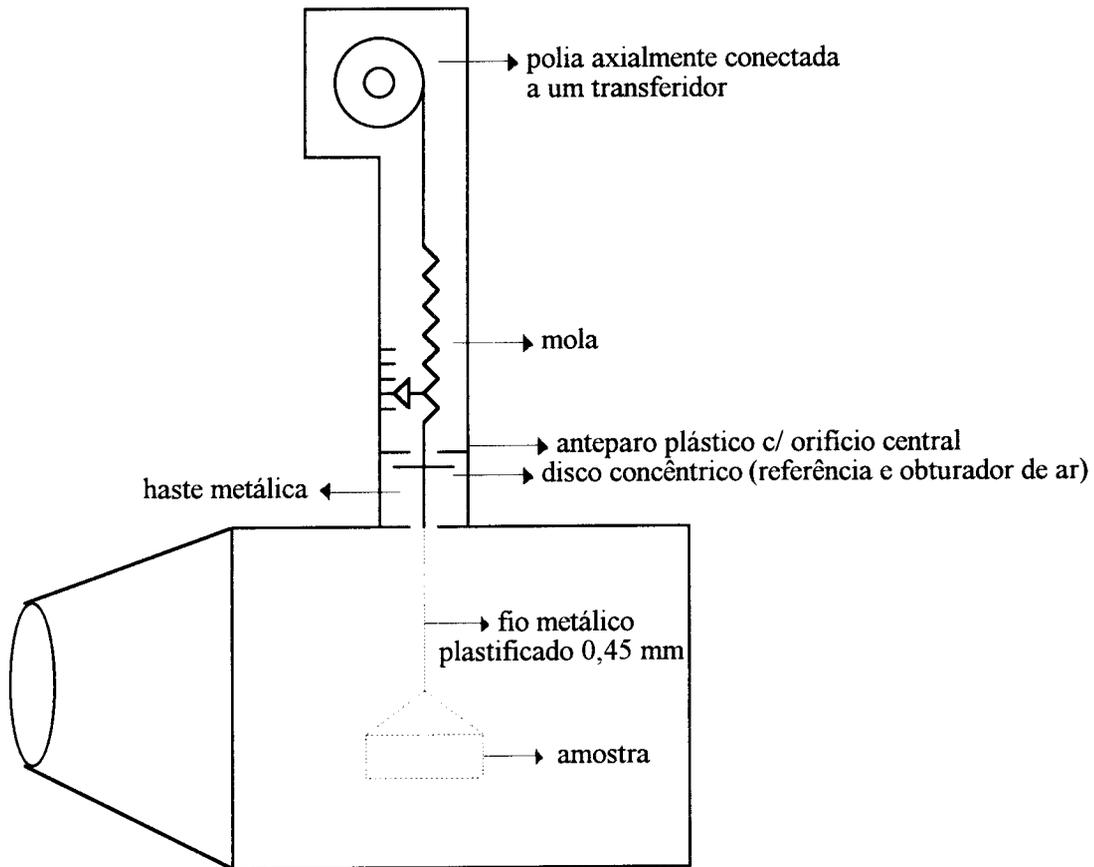
O ar foi fornecido por um ventilador centrífugo colocado no interior do secador, acoplado a um motor ARNO (Modelo 1030, 120V / 60HZ). Este sistema proporcionou uma velocidade de 1,5 m/s, medida por meio de anemômetro digital (Modelo LCA 6000 AIR FLOW Co).

### **3.1.2.4. Sistema de Medida**

#### **3.1.2.4.1. Massa da Amostra**

Durante todo o processo de secagem, foram feitas leituras periódicas da massa da amostra através de um dinamômetro previamente calibrado (curva de calibração no anexo A). Este sistema consta de uma mola (tratada termicamente), cuja a extremidade superior encontra-se conectada a um fio metálico plastificado com diâmetro de 0,45 mm, ligada diretamente a uma polia de 9 cm de diâmetro que permite o armazenamento do fio de forma semelhante a um carretel. A extremidade inferior da mola encontra-se conectada a uma haste metálica dotada de um disco concêntrico, onde se pode deslocar deste, o anteparo plástico instalado na estrutura metálica do dinamômetro, até o orifício de entrada localizado na parte superior do secador (ver figura 3.1). A parte inferior da haste metálica está ligada a um fio metálico plastificado, que tem a função de conectar a amostra ao dinamômetro.

A leitura da massa foi feita girando a polia manualmente no sentido horário com objetivo do disco concêntrico se desprender do anteparo e a extremidade inferior da mola coincidir com o zero da escala fixada na estrutura metálica do dinamômetro. Este foi o ponto de leitura realizado através do ângulo registrado em um transferidor fixado co-axialmente à polia. Durante a operação de leitura, o ventilador foi desligado, para se evitar efeitos de oscilação da mola.



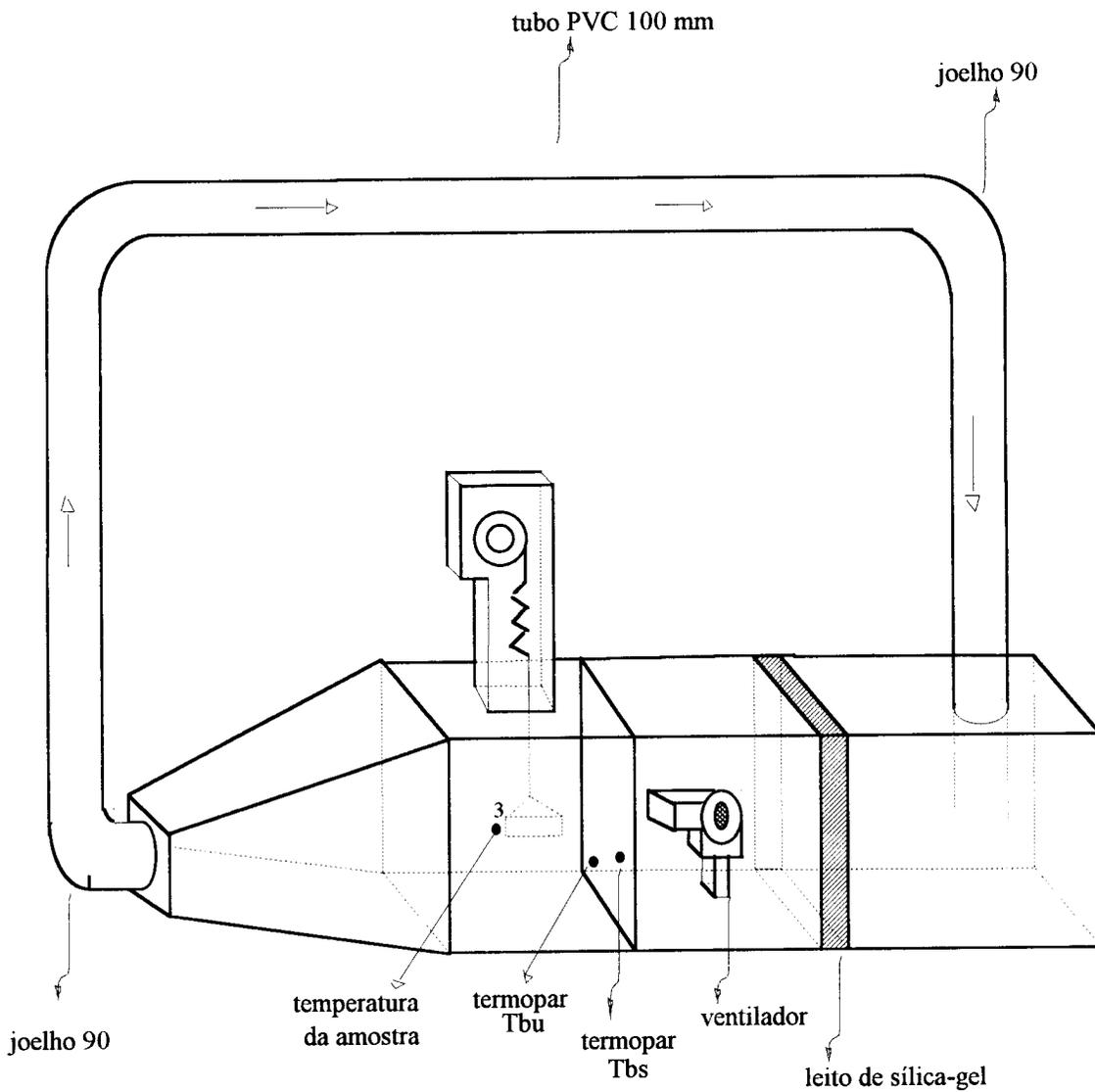
**FIGURA 3.1.** Desenho esquemático do Dinamômetro

### 3.1.2.1.2. Medida de Temperatura

A medidas de temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido, do ar no interior do secador e do músculo do peixe durante a secagem, foram realizadas com termopares do tipo T.

Os termopares foram calibrados para uma faixa de temperatura de 10 a 60 °C, de 5 em 5 °C utilizando-se um banho ultratermostático (Modelo 111) com precisão de 0,05°C, com a

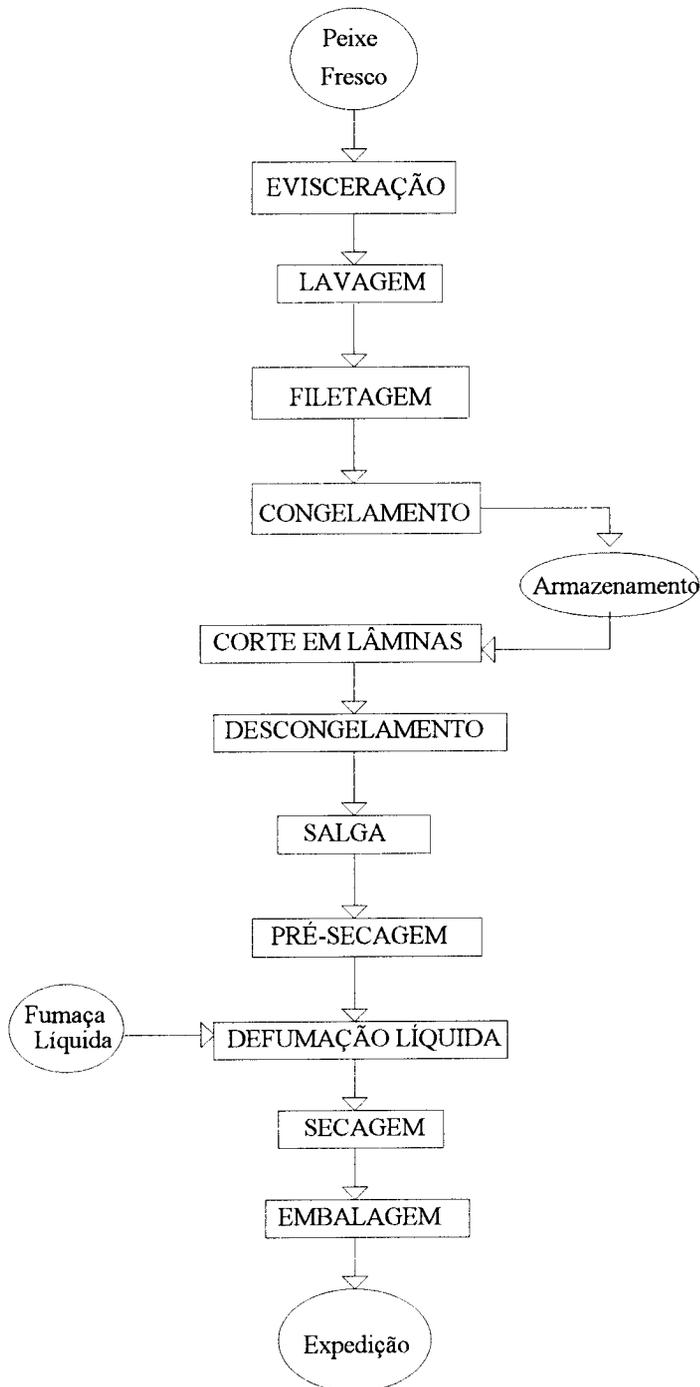
utilização de um termômetro digital com precisão de 0,1 °C. Com os dados resultantes foram calculadas as curvas de calibração, por regressão linear, sendo que o menor coeficiente de correlação foi de 0,99986. A figura 3.2 apresenta um desenho esquemático do secador utilizado.



**FIGURA 3.2.** Desenho esquemático de Secador

### 3.2. METODOLOGIA

A seqüência experimental adotada nesse trabalho, desde a coleta das amostras até sua secagem é apresentada no fluxograma de processamento na figura 3.3



**FIGURA 3.3.** Fluxograma do Processamento experimental utilizado

### **3.2.1. Processamento**

#### **3.2.1.1. Preparo da matéria-prima**

As vísceras foram eliminadas manualmente através de um corte na região abdominal, desde a calda até a cabeça, que por sua vez foi removida através de um corte na forma de “V” (aproveitando toda porção muscular). Em seguida, foi realizada uma redução do tamanho dos peixes, obtendo-se filés que foram lavados com água clorada, acondicionados em filmes plásticos e submetidos a um congelamento e estocagem em freezer a -18 °C.

As amostras congeladas eram cortadas em dimensões aproximadas de: 7 - 9 cm de comprimento; 5 -6 cm de largura; 0,9 - 1,5 cm de espessura. Após o corte as amostras eram descongeladas durante um período de 10 horas em ar na temperatura de 10 °C segundo recomendações de ( BERAQUET & MORI,1984).

#### **3.2.2. Salga**

As amostras descongeladas foram imersas em solução de salmoura a 21% de NaCl antes do proceso de defumação

Com o objetivo de conferir ao produto final um teor de NaCl de aproximadamente 4% p/p, valor considerado sensorialmente agradável para pescado seco e defumado, as amostras foram submetidas a três diferentes períodos de salga (10, 20 e 60 minutos) a 25°C, sendo a razão entre as massas de amostra e solução de salmoura mantidas 1:4. A análise quantitativa de NaCl nas amostras foi realizado pelo método de Mohr ( descrito no anexo A).

### 3.2.3. Defumação Líquida

As amostras salgadas foram submetidas a uma pré-secagem em estufa a 60 °C durante 20 minutos. Este procedimento visa a obtenção de uma superfície insaturada possibilitando uma maior velocidade de difusão da fumaça líquida no músculo do peixe.

A defumação líquida foi realizada por imersão do filé em um bécker contendo a solução do extrato de fumaça líquida a 40% (p/p) durante 30 segundos. Em seguida, as amostras defumadas foram submetidas a um tratamento térmico a 60 °C durante 30 minutos em estufa Fanen (modelo 320) com circulação de ar.

### 3.2.4. Secagem

As amostras defumadas e tratadas termicamente foram submetidas à secagem em ciclo fechado.

Os filés com formato de placa plana foram colocados na câmara de secagem sobre um prato de alumínio maciço que assegura a condição de secagem por apenas um lado.

A secagem foi realizada, mantendo-se aproximadamente constante a temperatura de bulbo seco ( $T_{bs} = 28 \text{ °C}$ ) e de bulbo úmido ( $T_{bu} = 17 \text{ °C}$ ). A velocidade do ar no interior da câmara de secagem foi mantida em 1,5 m/s, valor suficiente para considerar desprezível a resistência da película externa à transferência de massa (TOBINAGA & PINTO 1992)

## Capítulo 4 . RESULTADOS

### 4.1. TRATAMENTO MATEMÁTICO

#### 4.1.1. Curva de Secagem

É expressa através da umidade adimensional ( $X/X_0$ ) em função do tempo.

#### 4.1.2. Período de Taxa constante

Pode ser determinado através da curva de taxa de secagem ( $dX/dt$ ) em função do tempo. A ocorrência de uma função linear indica a existência deste período.

#### 4.1.3. Período de Taxa Decrescente

A equação 2.5 (capítulo 2), foi resolvida analiticamente para o caso em que a secagem ocorre apenas de um lado do filé de peixe, geometria de placa infinita. Neste caso, o perfil interno de umidade que satisfaz as condições :

$$\text{C.I.} \quad t = 0 \quad X = X_0 \quad (4.1)$$

$$\text{C.C. 1} \quad y = 0 \quad \frac{\partial X}{\partial t} = 0 \quad t > 0 \quad (4.2)$$

$$\text{C.C. 2} \quad y = L_0 \quad X = X_e \quad t > 0 \quad (4.3)$$

Resulta como sendo :

$$\frac{\bar{X} - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{4}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{(2n+1)\pi} \cos\left(n + \frac{1}{2}\right) \pi \eta \exp(\lambda_n^2 \psi) \quad (4.4)$$

onde  $\lambda_n = \left(\frac{2n+1}{2}\right) \pi$   $n = 0, 1, 2, 3 \dots$

$$\eta = \frac{y}{L_0}$$

$$\psi = \frac{D_{ef} t}{L_0^2}$$

A umidade média no volume da amostra calculada por meio de integração da equação 4.4, resulta como sendo :

$$\frac{\bar{X} - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left[-\lambda_n^2 \frac{D_{ef} t}{4L_0^2}\right] \quad (4.5)$$

Para tempos de secagem longos, a equação 4.5 pode ser reescrita considerando-se apenas o primeiro termo da série, pois o valor de  $(\lambda_n^2 D_{ef} / L_0^2)$  para o segundo termo em diante é sempre muito maior do que o valor de  $(\lambda_0^2 D_{ef} / L_0^2)$ , permitindo

assim, desprezar a contribuição do segundo termo em diante. O erro contido no uso destas simplificações é menor que 2% no valor adimensional de umidade e permite que a equação 4.5 seja escrita na forma :

$$\frac{\bar{X} - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \exp\left[\frac{-\pi^2 D_{ef} t}{4L_0^2}\right] \quad (4.6)$$

Segundo a equação 4.6, os dados experimentais de secagem devem se ajustar à equação do tipo

$$\frac{\bar{X} - X_e}{X_0 - X_e} = v \exp(-\kappa t) \quad (4.7)$$

onde o parâmetro  $v$  funciona como um fator de correção dos demais termos da série quando o parâmetro  $\kappa$  for forçado a obedecer à equação :

$$\kappa = \frac{\pi^2 D_{ef}}{4L_0^2} \quad (4.8)$$

Os parâmetros  $v$  e  $\kappa$  foram obtidos pelo ajuste da equação 4.7 aos dados experimentais, através da minimização da função erro padrão, dada pela equação 4.9.

$$E = \left[ \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \left( \frac{\theta_{\text{exp}} - \theta_{\text{calc}}}{\theta_{\text{exp}}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.9)$$

Os valores dos parâmetros calculados pela equação 4.7, permitem o cálculo da difusividade efetiva a partir da equação 4.8.

Com os valores de Def calcula-se a umidade adimensional, através da equação 4.5 resultante da solução analítica, utilizando os dez primeiros termos da série.

Os valores de umidade adimensional, calculados através da equação 4.5, que melhor se ajustaram aos dados experimentais foram comparados através da equação 4.9.

Plotando  $\left[ \frac{\bar{X} - X_e}{X_0 - X_e} \right]$  em função do tempo, é possível fazer a análise de todo o

período de taxa decrescente segundo um comportamento exponencial. Se construirmos a mesma função na forma logarítmica, podemos determinar o ponto de transição entre as duas fases do período de taxa decrescente, e a difusividade de ambas as fases.

## **4.2.RESULTADOS**

Os resultados obtidos neste trabalho serão discutidos a seguir, em ítems, e apresentados na forma de tabelas e gráficos no final deste capítulo.

**4.2.1.Descongelamento** : a redução de massa ocorrida nas amostras após o descongelamento, está apresentada na tabela 4.1.

**4.2.2. Salga e Defumação** : o teor de sal das amostras submetidas a salmoura, em diferentes períodos de tempo antes da defumação, estão apresentados na tabela 4.2 e o aumento de massa das amostras após a salga por 20 minutos, na tabela 4.3.

### **4.2.3. Secagem**

#### **4.2.3.1. Curva de Secagem**

Foram realizadas doze corridas experimentais de secagem com duração de trinta e três horas cada, monitoradas em intervalos de sessenta minutos. Para melhor entendimento das variações experimentais realizadas neste trabalho, dividimos as corridas em quatro grupos de acordo com o tipo de amostra utilizado :

- Grupo 1 : corridas A, B e C, realizadas com filés com a pele voltada para cima;
- Grupo 2 : corridas G, H e I , realizadas com filés com a pele voltada para baixo;

- Grupo 3 : corridas D, E e F , realizadas com filés com espinha, e a pele voltada para baixo;
- Grupo 4 : corridas J, L e M , realizadas com filés com espinha, e a pele voltada para cima.

A tabela 4.4, apresenta os valores de umidade inicial e de equilíbrio dos filés utilizados nos experimentos. O valor da umidade de equilíbrio foi obtido através da determinação da umidade da amostra, mantida no secador, até massa constante (aproximadamente 100 horas).

Os resultados relativos à secagem não são acompanhados de desvio padrão, já que o equipamento utilizado permite apenas a realização de um experimento por vez. As figuras 4.1 a 4.4 ilustram as curvas experimentais de secagem obtidas, expressas pela umidade adimensional  $(X-X_e)/(X_o-X_e)$  em função do tempo.

Através das figuras 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4 , é possível observar que cada grupo exibe um comportamento bastante similar bem representado através de uma regressão polinomial de quinto grau, onde o menor valor obtido para o coeficiente de correlação foi superior a 0,995. Desta forma, todos os dados apresentados nas seções e capítulos seguintes, relativos as corridas experimentais de cada grupo, referem-se a corrida que obteve maior coeficiente de correlação no seu grupo.

As figuras 4.5 e 4.6 mostram as curvas experimentais da secagem dos filés salgados e defumados, onde a umidade, ordenada do gráfico, é expressa na forma  $(X/X_0)$ .

#### 4.2.3.2 Período de Taxa Constante

As figuras 4.7 e 4.8 exibem as curvas da taxa de secagem  $(dX/dt)$  em função do tempo, calculadas a partir da derivada da equação 4.6 e ajustada aos dados experimentais. A inexistência de um trecho constante, indica que os filés não apresentaram período de taxa constante.

#### 4.2.3.3. Período de Taxa Decrescente

As figuras 4.9 e 4.10 apresentam as curvas experimentais de secagem, cuja

ordenada expressa a umidade na forma  $\frac{X - X_e}{X_0 - X_e}$ .

O ponto de transição entre a primeira e segunda fases do período de taxa decrescente não foi possível ser localizado através das figuras 4.11 a 4.14.

A tabela 4.5 apresenta os valores dos parâmetros envolvidos no ajuste exponencial da equação 4.7, que considera a difusividade como sendo constante.

As figuras 4.15 a 4.16 apresentam as curvas de secagem calculadas através da equação 4.7 utilizando os parâmetros da tabela 4.5.

Na tabela 4.6 estão os valores da difusividade efetiva no músculo de peixe (salgado e defumado), calculados através da equação 4.8, utilizando o parâmetro (obtido pelo ajuste exponencial da equação 4.7). Com os valores de Def assim calculados, obteve-se  $(X - X_e)/(X_o - X_e)$  calculados e comparados com os valores experimentais através do cálculo do erro da equação 4.9.

As figuras 4.17 e 4.18 exibem as curvas de secagem calculadas através da equação 4.5 utilizando os valores da difusividade efetiva da tabela 4.6.

#### 4.2.3.4 Comportamento do ar durante a Secagem

A figura 4.19 exhibe o comportamento do ar seco por adsorção em leito de sílica - gel no interior do secador frente as flutuações do ar ambiente durante o processo de secagem.

#### 4.2.3.5. Anisotropia do Material

A tabela 4.7 apresenta os resultados da redução percentual nas dimensões dos filés após o processo de secagem nas diferentes amostras.

**TABELA 4.1.** Valor médio da redução percentual de massa após o descongelamento

Amostra	Redução média (%)	Desvio padrão*
Filé sem espinha	12,55	3,19
Filé com espinha	10,60	2,18

\*Relativo a cinco observações para cada amostra

**TABELA 4.2.** Teor de sal contido nas amostras após a salga

Tempo de salga (min)	Umidade* (bu) %	Umidade (bs) g <sub>água</sub> /g <sub>sólido seco</sub>	Teor de NaCl	Cinzas** (%)
10	29,31 ± 0,19	0,4146 ± 0,020	3,8 ± 0,11	7,56 ± 0,17
20	30,52 ± 0,17	0,4392 ± 0,024	4,1 ± 0,19	8,79 ± 0,13
60	30,84 ± 0,22	0,4459 ± 0,043	4,9 ± 0,16	11,12 ± 0,15

Obs.: a umidade da amostra “in natura” 75,15 ± 0,45 % (bu) e 3,0274 ± 0,0631 g<sub>água</sub>/g<sub>sólido seco</sub>.

\*Amostras defumadas e secas em estufa com circulação forçada.

\*\*Obtido das amostras defumadas e secas.

**TABELA 4.3.** Valor médio do aumento de massa após a salga

Amostra	Aumento médio (%)	Desvio padrão*
Filé sem espinha	2.40	0,68
Filé com espinha	1.93	0,35

\*Relativo a cinco observações para cada amostra

**TABELA 4.4.** Valores das umidades inicial e de equilíbrio de filés de peixe salgados e defumados

Amostra	Umidade Inicial ( $X_0$ )*		Umidade de Equilíbrio ( $X_e$ )	
	b.s.	b.u.	b.s.	b.u.
	(g <sub>água</sub> /g <sub>sólido seco</sub> )	(%)	(g <sub>água</sub> /g <sub>sólido seco</sub> )	(%)
Filé pele para cima	2,8835	74,25	0,1653	14,18
Filé pele para baixo	1,9308	65,88	0,1103	9,93
Filé com espinha e pele para cima	2,2478	69,21	0,1086	9,80
Filé com espinha e pele para baixo	1,2492	55,54	0,0880	8,09

\*umidade das amostras obtida após o processo de salga e defumação

**TABELA 4.5.** Valores dos parâmetros envolvidos no ajuste exponencial da equação 4.6

Amostra	$v$	$\psi$	$r$
Filé pele para cima	0,8105	$1,88071 \times 10^{-2}$	0.9469
Filé pele para baixo	0,8210	$1,99465 \times 10^{-2}$	0.9654
Filé com espinha e pele para cima	0,8125	$1,934798 \times 10^{-2}$	0.9449
Filé com espinha com pele para baixo	0,8274	$1,632426 \times 10^{-2}$	0.9732

**TABELA 4.6.** Valor da difusividade efetiva calculada através da equação 4.8

Amostra	Difusividade (cm <sup>2</sup> /s)
Filé pele para cima	4,76389 x 10 <sup>-6</sup>
Filé pele para baixo	5,4647 x 10 <sup>-6</sup>
Filé com espinha e pele para cima	1,8436 x 10 <sup>-6</sup>
Filé com espinha e pele para baixo	3,1058 x 10 <sup>-6</sup>

**TABELA 4.7.** Redução das dimensões dos filés de peixe durante o processo de secagem

Amostra	Redução média percentual (%)*		
	Comprimento	Espessura	Largura
Filé pele para cima	3,49 ± 0,56	24,53 ± 1,31	6,90 ± 0,81
Filé pele para baixo	2,00 ± 0,31	18,59 ± 1,08	5,13 ± 0,75
Filé com espinha e pele para cima	3,65 ± 0,61	20,89 ± 1,71	7,57 ± 0,57
Filé com espinha e pele para baixo	2,12 ± 0,47	21,20 ± 1,12	7,50 ± 0,49

\*Relativo a três amostras.

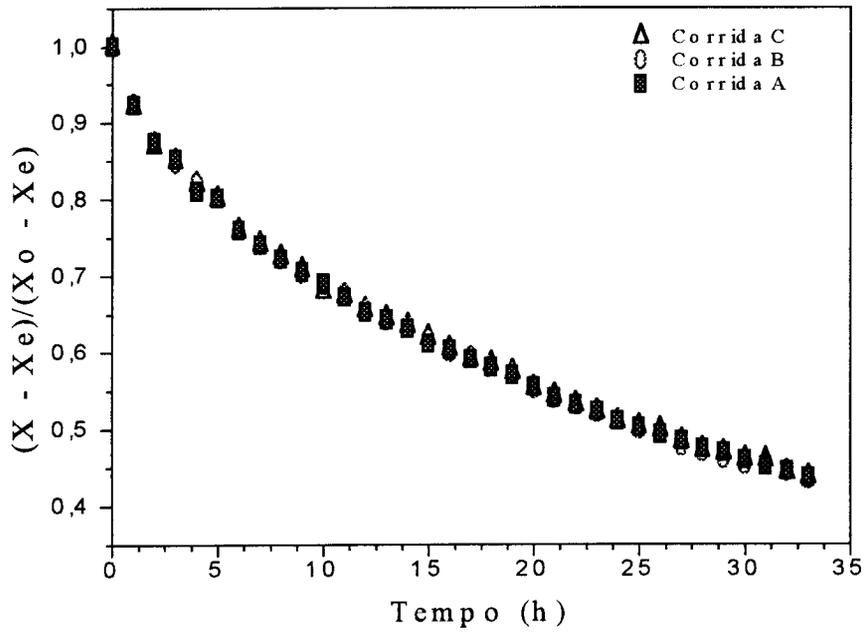


FIGURA 4.1 - Umidade adimensional em função do tempo para secagem de filé de peixe salgado e defumado, com a pele voltada para cima.

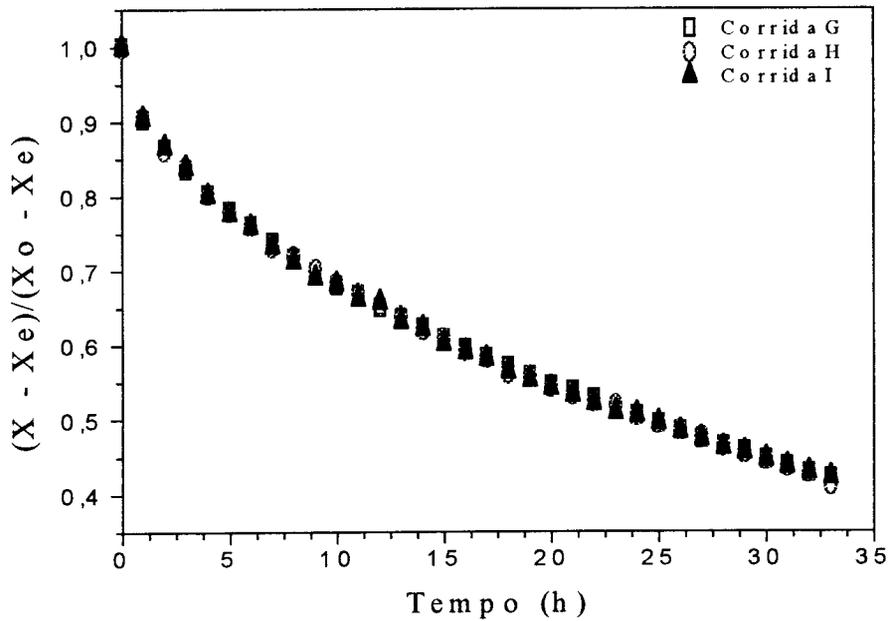


FIGURA 4.2. Umidade adimensional em função do tempo para secagem de filé de peixe salgado e defumado, com a pele voltada para baixo.

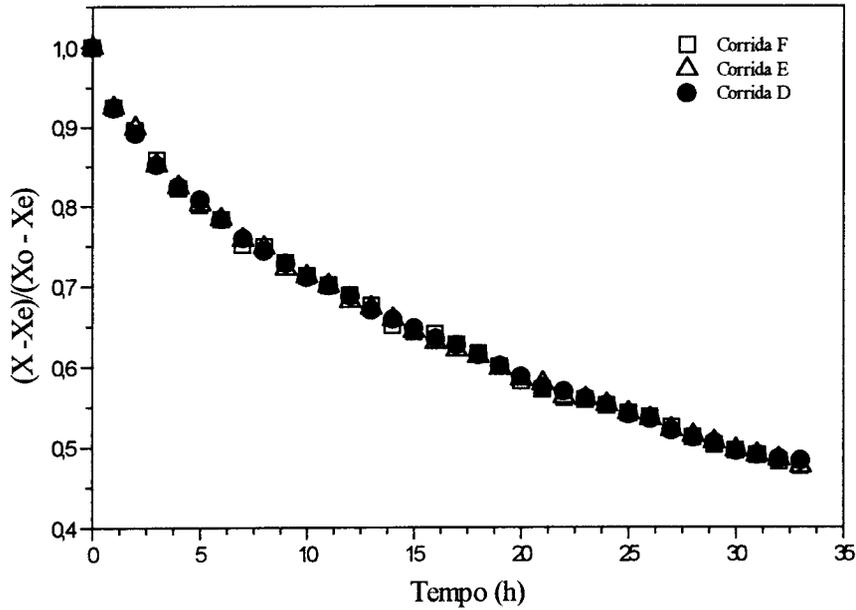


FIGURA 4 - 3 Umidade adimensional em função do tempo para secagem de filé de peixe salgado e defumado, com espinha e a pele voltada para baixo.

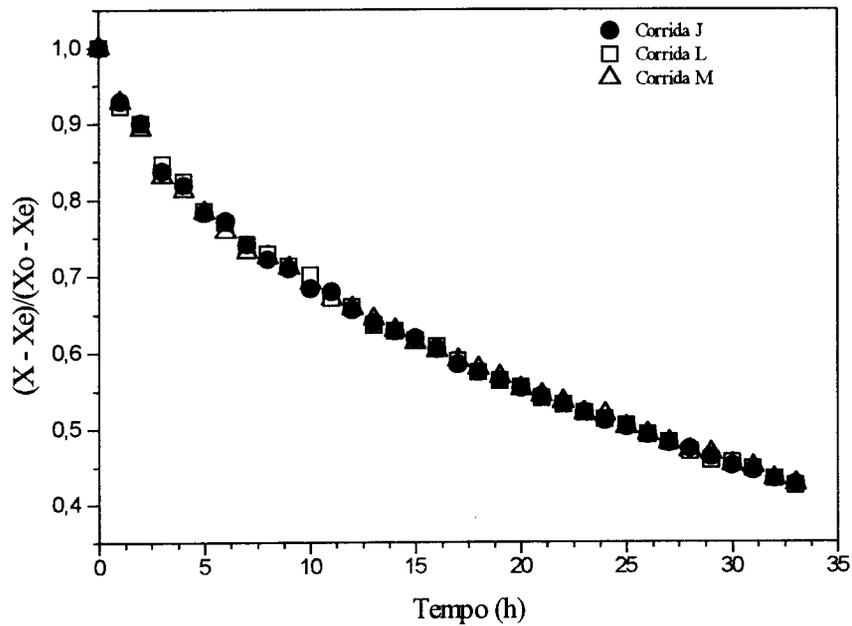


FIGURA 4-4 Umidade adimensional em função do tempo para secagem de filé de peixe salgado e defumado, com espinha e a pele voltada para cima

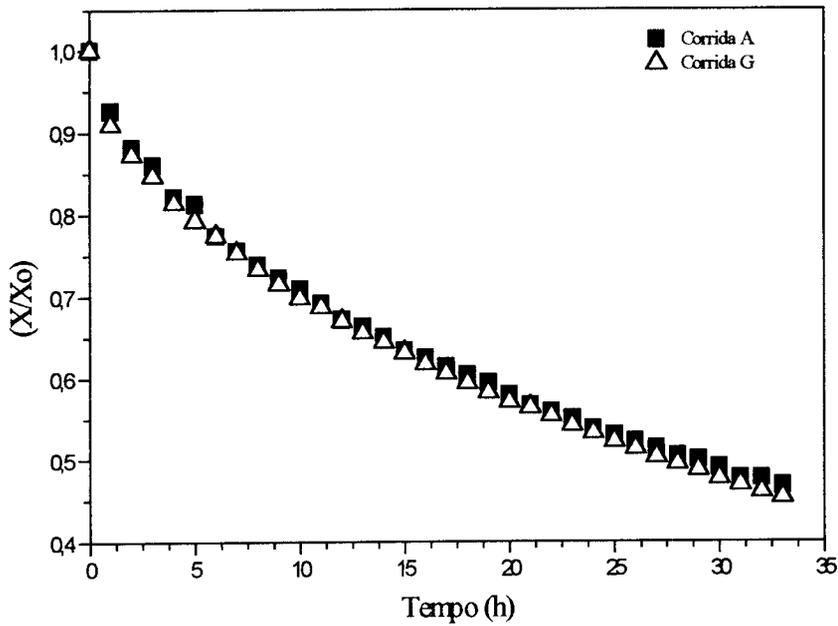


FIGURA 4 - .5 Umidade adimensional em função do tempo para secagem de filés de peixe salgado e defumado (sem espinha)

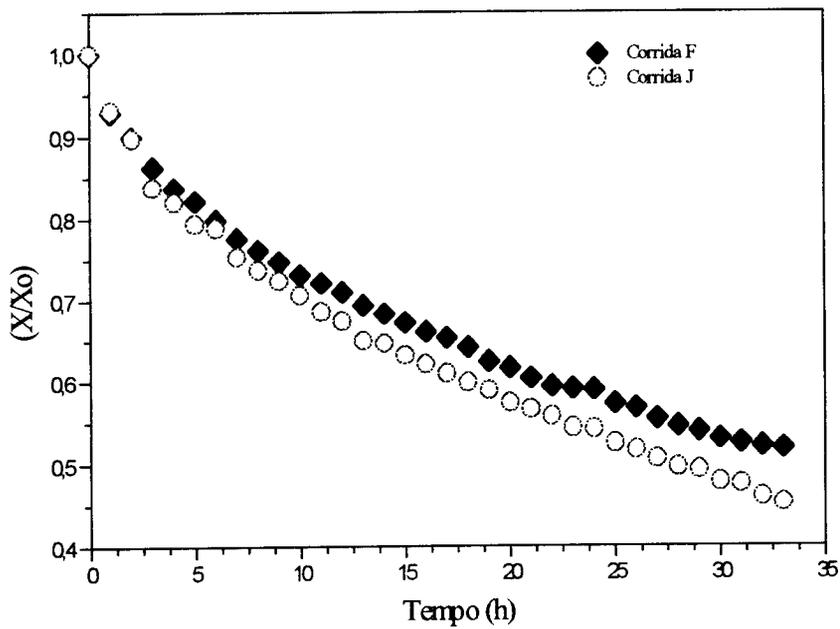


FIGURA 4 - .6 Umidade adimensional em função do tempo para secagem de filés de peixe salgado e defumado (com espinha)

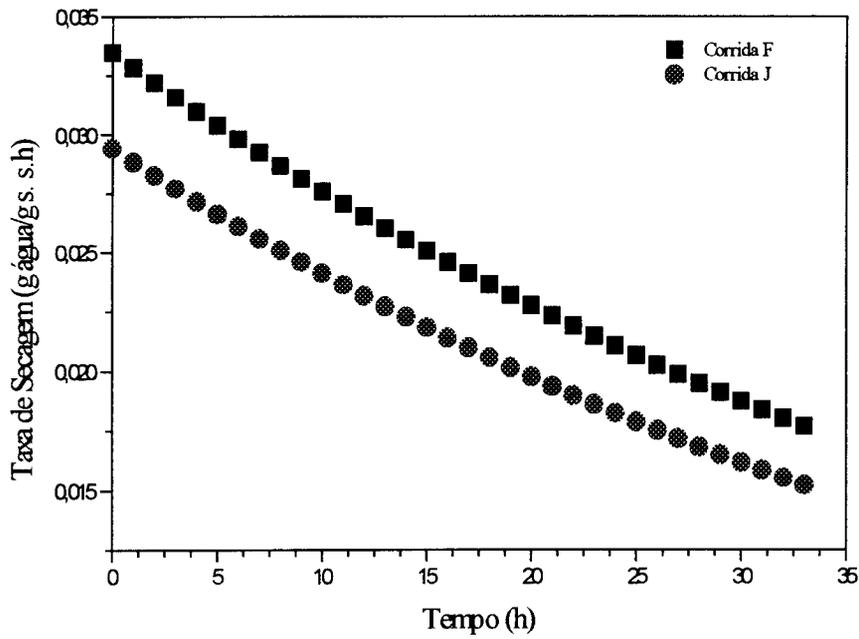


FIGURA 4 - 7 Taxa de secagem para filé seco e defumado (com espinha)

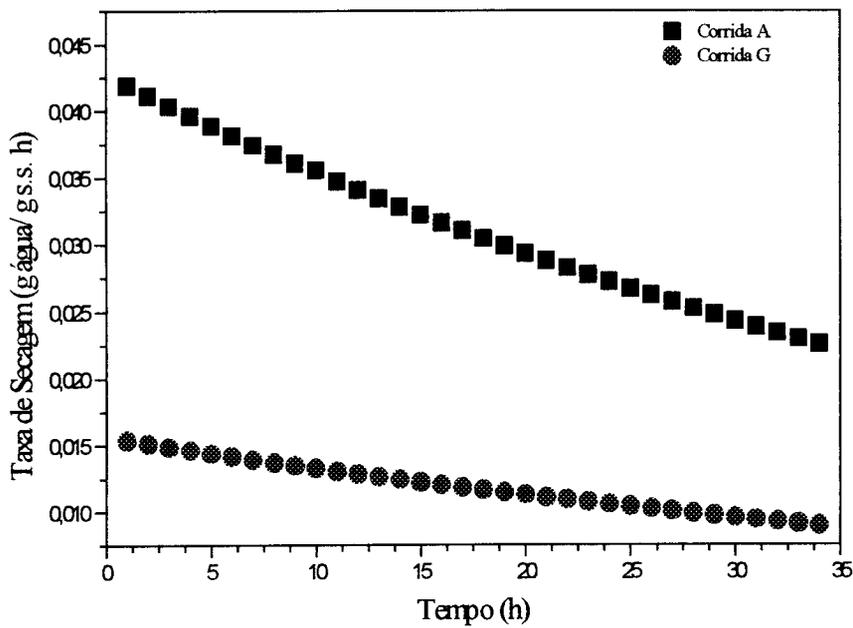


FIGURA 4 - 8 Taxa de secagem para filé seco e defumado (sem espinha)

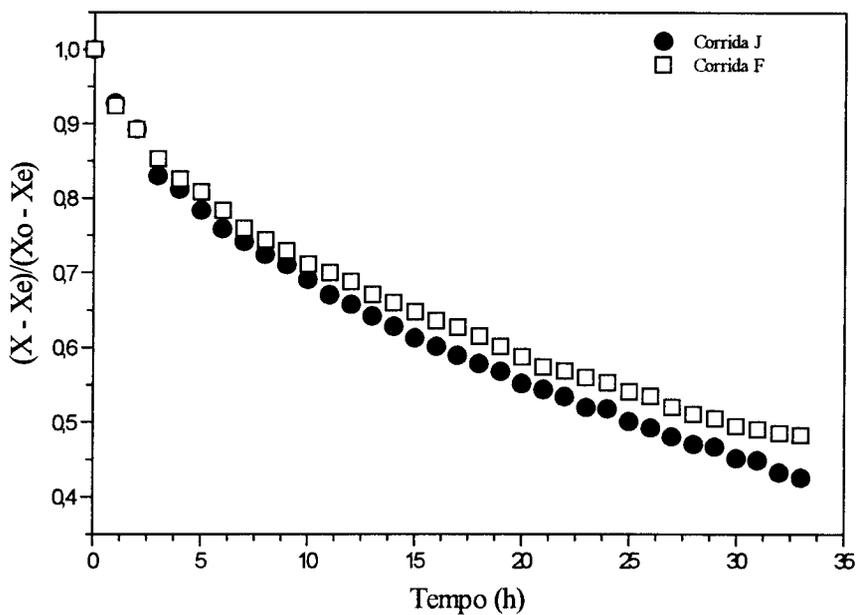


FIGURA 4 - 9 Umidade adimensional em função do tempo para filés de peixe salgado e defumado (com espinha)

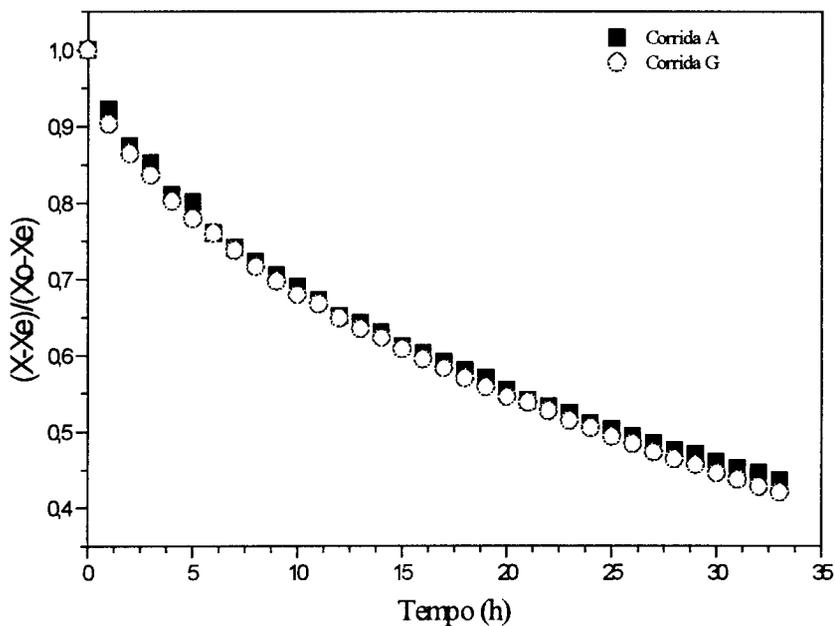


FIGURA 4 - 10 Umidade adimensional em função do tempo para filés de peixe salgado e defumado (sem espinha)

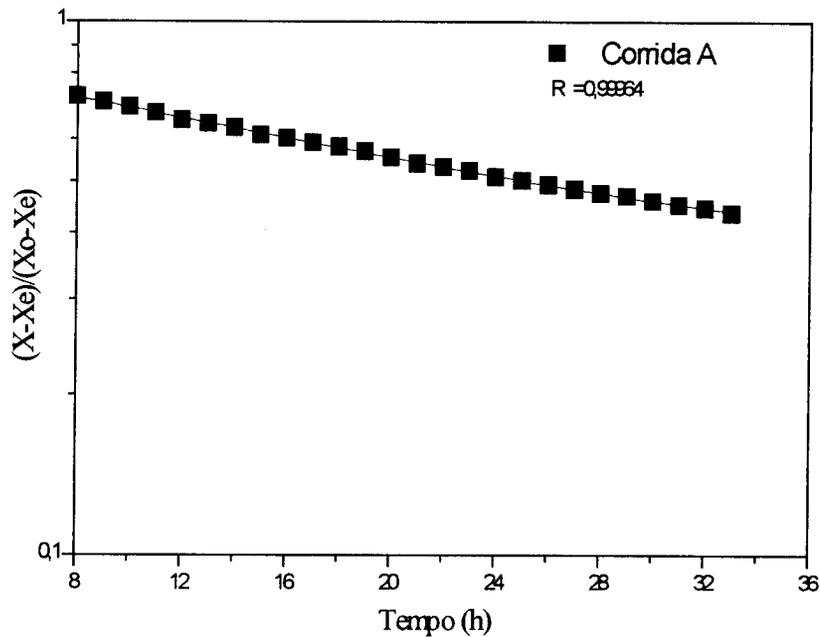


FIGURA 4- 11 Umidade adimensional (logarítmica) em função do tempo para filés de peixe salgado e defumado (sem espinha)

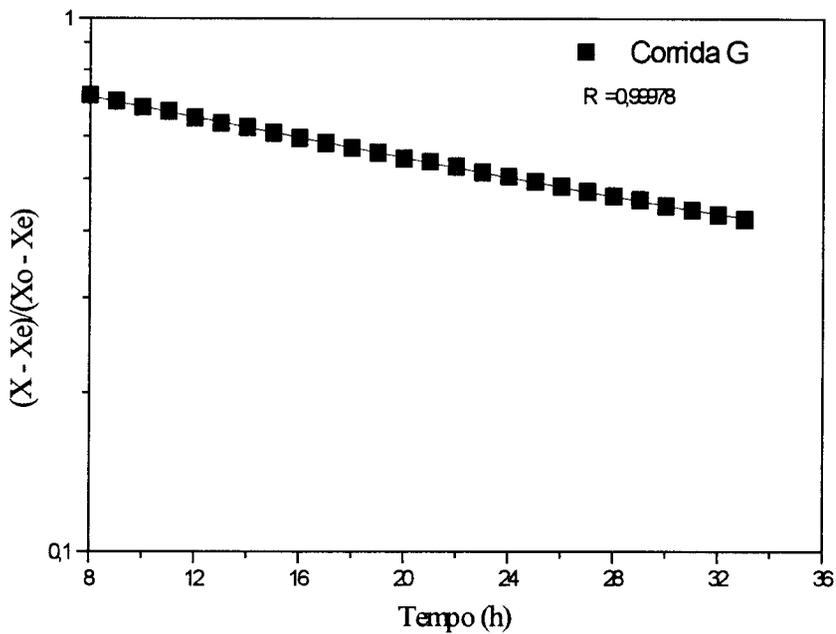


FIGURA 4- 12 Umidade adimensional (logarítmica) em função do tempo para filés de peixe salgado e defumado (sem espinha)

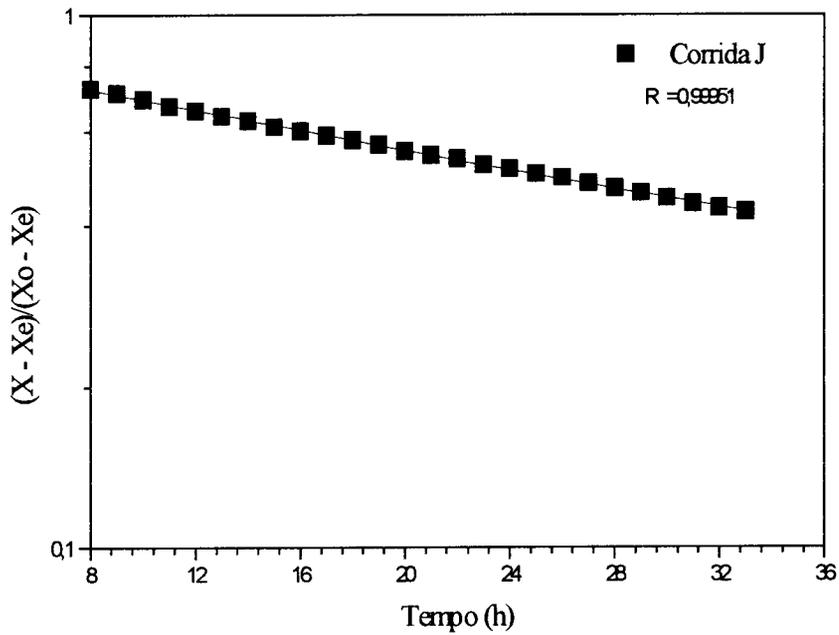


FIGURA 4 - 13 Umidade adimensional (logarítmica) em função do tempo para filés de peixe salgado e defumado (com espinha)

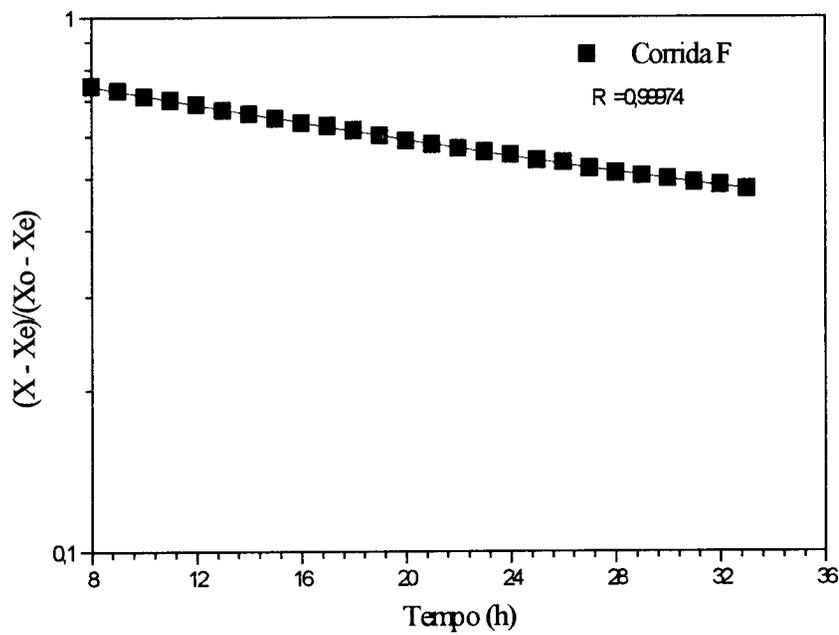


FIGURA 4 - 14 Umidade adimensional (logarítmica) em função do tempo para filés de peixe salgado e defumado (com espinha)

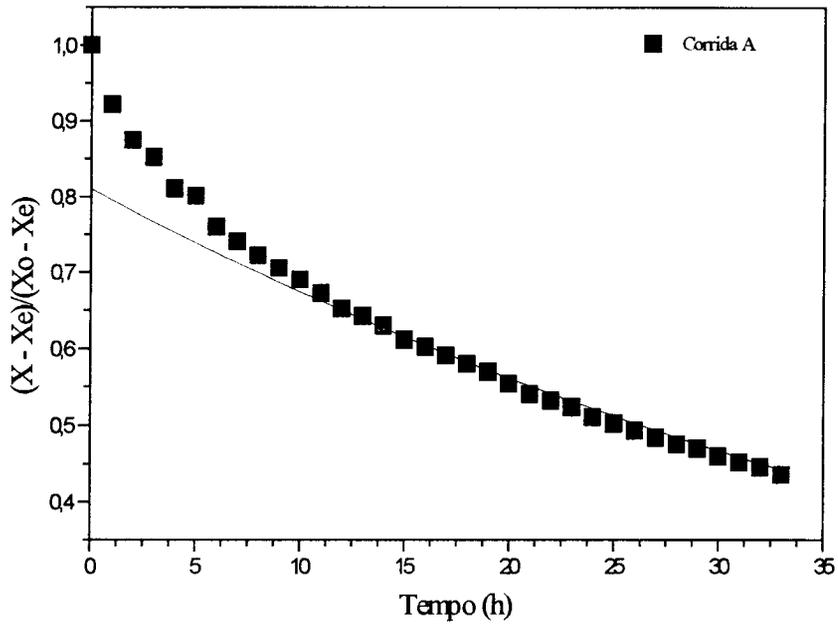


FIGURA 4 - 15 Ajuste da equação 4.7 resultante da correlação exponencial.

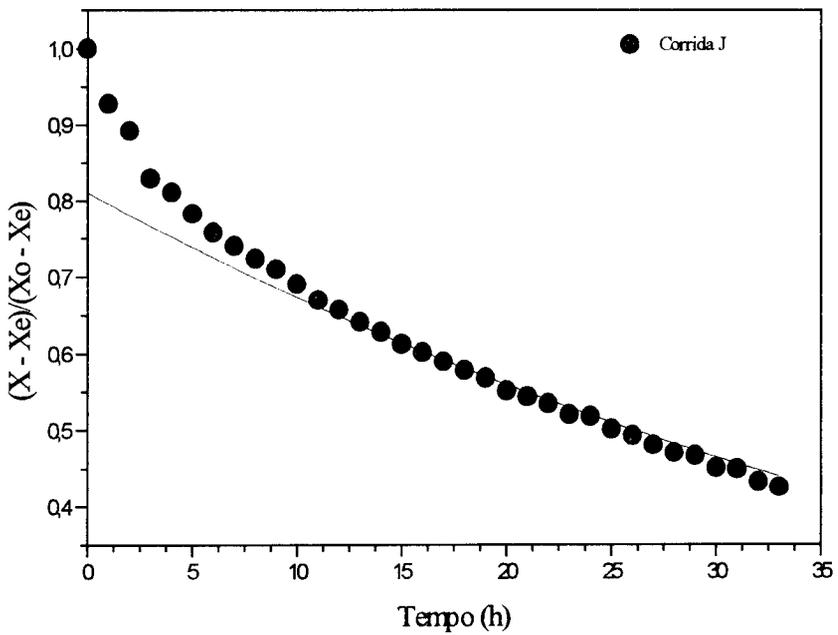


FIGURA 4 - 16 Ajuste da equação 4.7 resultante da correlação exponencial.

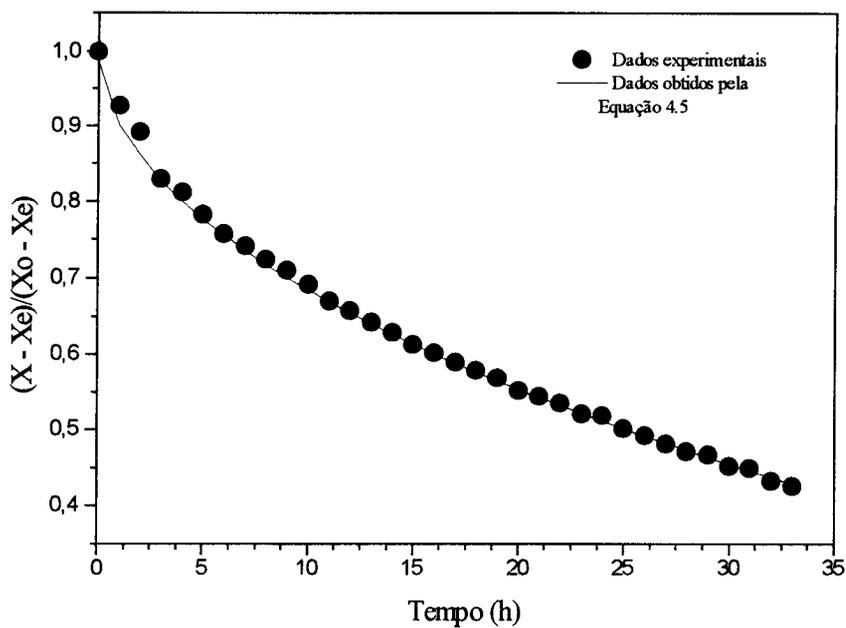


FIGURA 4- 17 Ajuste da equação 4.5 resultante da solução analítica  $Def = \text{constante}$  aos dados experimentais de secagem (Corrida J)

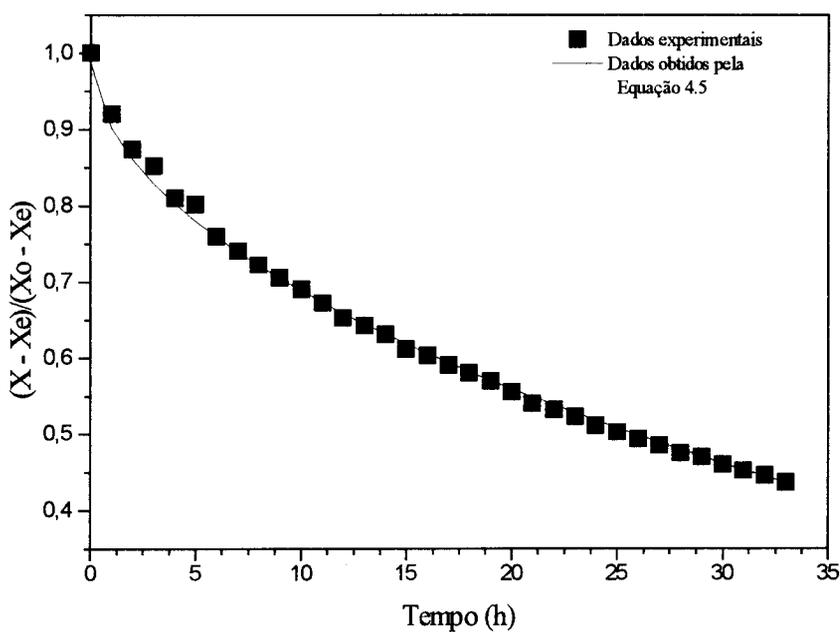


FIGURA 4- 18 Ajuste da equação 4.5 resultante da solução analítica  $Def = \text{constante}$  aos dados experimentais de secagem (Corrida A)

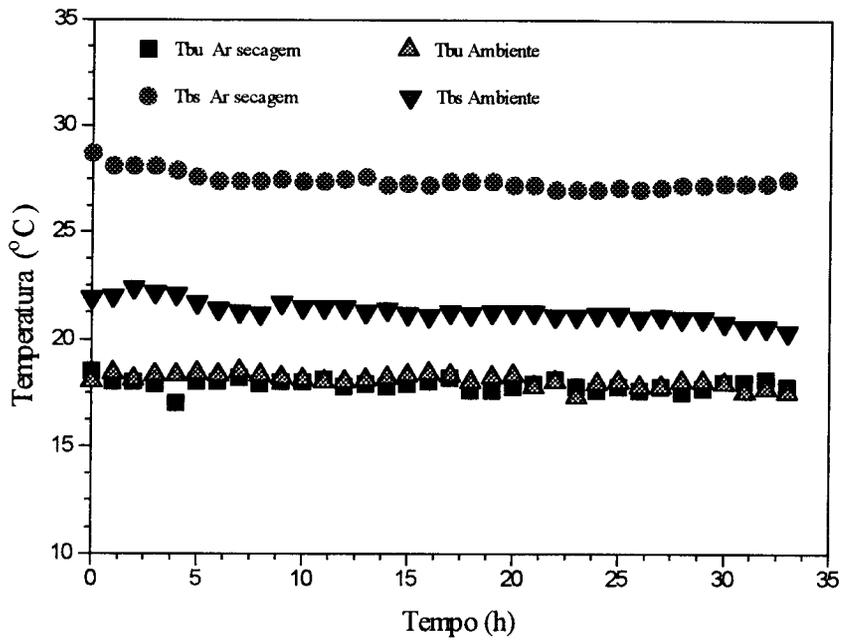


FIGURA 4 - 19 Temperatura de bulbo seco e úmido durante o processo de secagem

## Capítulo 5 . DISCUSSÃO

### 5.1. Descongelamento

A perda de água durante o processo de descongelamento causou uma redução média de 12,55 ; 3,19% e 10,60 ; 2,16% na massa dos filés sem espinha e dos filés com espinha, respectivamente.

### 5.2. Salga e Defumação

De acordo com os dados apresentados na tabela 4.2, o tempo de acondicionamento de 20 minutos das amostras em salmoura, mostrou ser adequado para a obtenção de um produto defumado e seco, com teor de Na Cl em torno 4% p/p. O aumento de massa causado por esta operação foi de  $2,40 \pm 0,68\%$  nas amostras de filés sem espinha e  $1,93$  ,  $0,35\%$  nas amostras com espinha.

### 5.3. Secagem

Pode ser observado nas figuras 4.7 e 4.8 a inexistência de uma fase constante, mostrando que não houve período de taxa constante durante a secagem das amostras salgadas e defumadas. A incorporação de sólidos solúveis durante a salga e o tratamento térmico em estufa, aplicado durante a defumação, com o objetivo de promover à insaturação da superfície do músculo, pode ter conduzido a este

comportamento, assim, o período de taxa constante pode ter ocorrido, durante esta operação, no interior da estufa.

Pela análise das curvas 4.11 a 4.14 não foi possível localizar o ponto de transição entre as duas fases do período de taxa decrescente. As curvas apresentaram coeficientes de correlação em média maiores que 97%, entre o logaritmo da umidade adimensional e o tempo de secagem, determinando um valor constante para o coeficiente angular das retas.

A tabela 4.4 mostra que, os filés salgados e defumados apresentaram uma umidade em torno de 55,0 a 74,0% (bu) antes do processo de secagem. As umidades de equilíbrio, após as cem horas de secagem, foram de 14,18; 9,93; 9,80 e 8,09% (bu) nas amostras B, I, J e F respectivamente.

O ajuste exponencial da equação 4.7 aos dados experimentais, apresentou coeficiente de correlação médio de 95,76% ( tabela 4.5), mostrando ser adequado ao caso.

As curvas de secagem ( figuras 4.15 a 4.16 ) obtidas através da equação 4.7 utilizando os parâmetros obtidos no ajuste exponencial ( tabela 4.5 ), apresentaram erros inferiores a 0,084 em relação as curvas experimentais.

As curvas de secagem ( figuras 4.17 a 4.18 ), calculadas através da equação 4.5, utilizando as difusividades apresentadas na tabela 4.6, apresentaram erros inferiores a

0,03285 em relação as curvas experimentais. Este ajuste forneceu um desvio negativo no início do processo, o que era esperado, já que a suposição de equilíbrio instantâneo da umidade na superfície externa do peixe ( $X_o$  para  $X_e$ ) está longe da situação real.

#### 5.4 . Comportamento do ar durante a Secagem

O proceso de secagem foi realizado com temperaturas de bulbo seco no interior do secador de  $27,5 \pm 1,0^\circ\text{C}$  e temperatura de bulbo úmido de  $18,3 \pm 1,5^\circ\text{C}$  ( umidade relativa - 26%). Valores praticamente constantes com pequenas flutuações ocorridas devido ao ar do Laboratório, figura 4.19.

A temperatura no interior da amostra apresentou valores próximos à temperatura de bulbo úmido do ar, nos estágios iniciais da secagem, elevando-se gradativamente até atingir a temperatura de bulbo seco do ar.

#### 5.5. Anisotropia do Material

As amostras de filés de peixe na forma de lâminas, apresentaram uma anisotropia moderada no encolhimento durante o processo de secagem ( $X_f/X_o > 0,07$ ), sendo que a espessura da lâmina exibiu uma redução de  $24,53 \pm 1,3$  e  $18,59 \pm 1,08\%$  para os filés com a pele voltada para cima e filés com a pele voltada para baixo, respectivamente. Enquanto o comprimento e a largura para filés com a pele voltada para cima, apresentaram reduções de  $3,49 \pm 0,56$  e  $6,90 \pm 0,81$  respectivamente. Já

para filés com a pele voltada para baixo os valores obtidos são  $2,0 \pm 0,31$  e  $5,13 \pm 0,75$  % para comprimento e largura respectivamente.

No caso das amostras com espinha o comportamento anisotrópico no comprimento, largura e espessura apresentaram valores próximos tanto para filés com pele e sem pele. Em média os valores obtidos foram  $21,05 \pm 1,42$ ,  $7,54 \pm 0,53$  e  $2,88 \pm 0,54$  % para espessura, largura e comprimento, respectivamente.

## Capítulo 6 . CONCLUSÕES

Com base nos resultados experimentais, já discutidos no capítulo anterior, podemos destacar as seguintes conclusões :

- O sistema desenvolvido para o estudo da secagem, apresentou um bom desempenho com relação ao controle de temperatura e ao registro dos dados experimentais ( massa das amostras ).
- O processo de descongelamento causou uma redução de 12,55 , 3,19% e 10,60 , 2,16% na massa das amostras sem espinha e com espinha respectivamente. Já o processo de salga causou um aumento de 2,40 , 0,60% nas amostras sem espinha e 1,93 , 0,35% nas amostras com espinha. O tempo de condicionamento de 20 minutos das amostras em salmoura, mostrou ser adequado na obtenção de um produto seco e defumado com teor de NaCl de 4% p/p.
- O processo de defumação com fumaça líquida, se mostrou bastante simples, higiênico e eficiente quanto a aparência final do produto seco.
- Não foi possível identificar o ponto de transição entre a primeira e segunda fases do período de taxa decrescente ( figuras 4.11 a 4.14 ), possivelmente devido ao

tratamento térmico efetuado no processo de defumação que pode ter promovido a formação de poros no músculo do peixe .

- Os filés com pele voltada para cima apresentaram maior taxa de secagem do que os files com a pele voltada para baixo sendo que, o conteúdo de umidade de equilíbrio é maior para o primeiro.
- O modelo difusivo de secagem utilizado, considerando a difusividade efetiva constante, obtido analiticamente, ajustou-se aos dados experimentais com um coeficiente de correlação de 0,97, mostrando se adequar bem ao caso estudado.
- Observou-se um comportamento anisotrópico do músculo de peixe com respeito ao encolhimento das dimensões durante a secagem, sendo que a espessura foi a variável que apresentou maior redução.

## Capítulo 7 . BIBLIOGRAFIA

ADICON, Boletim Técnico de Pescado Defumado, São Paulo. Editado por ADICON Indústria e Comércio de aditivos Ltda, 1994. 25P.

ANDERSON, R. B. Modifications of the BET equation. J. Am. Chem. Soc., V. 68, P. 686, 1946.

ALVARENGA, L.C.; FORTES, M. FILHO, J.B.P.; HARA, T. Transporte de Umidade no Interior de Grãos de Feijão-Preto sob Condições de Secagem. Revista Brasileira de Armazenamento ,Viçosa. v. 5, n. 1, p.5-18, 1980.

ALZAMORA, S.M. e CHIRIFE, J. Some factors controlling the kinetics of moisture movement during avocado dehydration. Journal of Food Science, v. 45, p.1649-1657, 1980.

BECKER, H.A. and SALLANS, H.R. A Study of internal moisture movement in the drying of the Wheat Kernel. Cereal Chemistry, v. 32, p.212-226, 1955.

BERAQUET, N.J.; MORI, E.E. Influência de Diferentes Métodos de Defumação na Aceitabilidade de Cavalinha (*scomber Japonicus houtt*) Defumada. Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos. n. 14, p. 1-25, 1984.

BOER, C. G. Agriculture Engineering v. 33, p.29-32, 1953.

- BRENNAN, J.G. e 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.
- BRUNAUER, S. EMMETT, P. H., TELLER, E. Adsorption layers. J. Am. Chem. Soc. V. 60. P. 309, 1938.
- BURGES, G. H. O.; CUTTING, C. L.; LOVERN, J. A. & WATERMAN, J.J El pescado y las industrias derivadas de la pesca. Zaragoza, Ed. Acribia, 1971. 392 p.
- CHILDS, E.A.; DABBAGH, F.A.; SANDERS, O.G.; SHEDDAN, T.L. Techniques for smoking Rough Fish. Tennessee Farm. and Home Science. p. 21-23, 1976.
- CRANK, J. The Mathematics of Diffusion. 2 ed. Claredon Press Oxford, 1975. 414P.
- CHIRIFE, J. e IGLESIAS, H.A. "Equations for fitting water sorption isotherms of foods. Part I - A Review". Journal of Food Technology, n. 13, p. 159-174, 1978.
- CHUNG, D.S.; PFOST, H.B. Adsorption and desorption of water vapour by cereal grains and their Products. Trans. Am. Soc. Agric. Engrs., 10 (4), p. 549-557, 1967.
- CUTTING, C.L. In : BORGSTROM, G. (ed). Fish as Food. New York : Academic Press, 1965. v.3, p.55-105.( Smoking).
- DINCER, I; DOST, S. An Analytical Model for Moisture Diffusion in Solid Objects during Drying. Drying Technology. 13 (1&2), p.425-435, 1995.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations - Fisheries Circular n.815, Revision 6 - Production de Acuicultura 1986-1992 Rome, junho 1994.

FISH, B.P. “Diffusion and thermodynamics of water in potato starch gel. “ In : Fundamental Aspects of the Dehidration of Foodstuffs. Soc. Chem. In. p. 143-157, 1958

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

FOSTER, W.W.; SIMPSON, T.H.; CAMBELL, D. Studies of the smoking process for foods . II The role of smoke Particles . Journal Science of Food Agriculture v.12, n.19, p. 41-50, 1961.

GILBERT, J. e KMOWLES, M.E. The Chemistry of Smoked Foods : a review. Journal of Food Technology . v. 10, p.245-256, 1975.

GUGGENHEIM, E.A. Applications of Statistical Mechanics , Claredon Press, Oxford, 1966. 86P.

GURGEL, J.J.S. e FREITAS, J.V.F. Composição Química de doze Espécies de Peixe de Valor Comercial de Açudes do Nordeste Brasileiro. Boletim Técnico DNOCS, 30 (1) : 49-57, 1972.

- HALSEY, G. Physical adsorption on new-uniform surfaces, Journal Chemical Physical, p. 931-936, 1948.
- HANN, R.A. Drying of Yellow-Poplar at temperatures above 100°C. For. Prod. J. . v. 6, p. 215-20, 1964.
- HENDERSON, S.M. A basic concept of equilibrium moisture. Agric. Engng., v.33, p. 20-32 . 1952.
- HENDERSON, S.M. e PABIS, S. Grain drying theory II. A critical analysis of the drying curve for shelled maize. Journal Agricultural Engineering Res., 6(3), p. 272-277. 1961.
- HENRY, P.S.H. Difusion in absorbing media . Proc. Royal Society. 171 - A, p.215-241, 1939.
- HOLLENBECK, C.M. Liquid Smoke - "up date". National Provisioner. v.167, n.13, p. 60-63 / 69-70, 1972.
- HUSS, H.H.; VALDIMARSSO, G. Microbiologia de Pescado Salgado. Fishe. Tech. New, n 15 , p. 3-5, 1994.
- IGLESIAS, H. & CHIRIFE, J. B.E.T. monolayer in dehydrated foods and food components. Lebensm. Wiss. U. Technol. 9(2), 107 - 13, 1976.

- JASON, A.C. A study of evaporation and diffusion Process in the drying of fish muscle. In : Fundamentals Aspects of the Dehydration of Foodstuffs . The Society of Chemical Industry. New York, p.103-135, 1958.
- JASON, A.C. In : BORGSTROM, G. (ed). Fish as Food . New York : Academic Press, 1965. v. 3 , p. 1-54. (Drying and dehydration).
- KARATHANOS, V.T.; VILLALOBOS,G.; SARAVACOS, G.D. Comparison of Two Methods of Estimation of the Effective Moisture Diffusivity from Drying Data. J. Food Science . v. 55, n. 1, p.218-233, 1990.
- KING, C.J. Rates of Moisture Sorption and Desorption in Porous, dried Foodstuffs. Food Technology . v.2, p. 165-171, 1968.
- KITIC, D. and VIOLLEZ, P.E. “Comparison of drying kinetic of soybeans in thin layer and fluidised beds”. Journal of Food Technology, v. 19, p.399-408, 1984
- KRISCHER, G. Drying theories : Their bases and limitation applied the food and grain. In : Advances in drying, Ed. Arum S. Mujundar, Hemisphere Publishing Corporation. Washington, 1963 v. 1 , p. 119-154.
- KUMAR, A.; BLAISDELL, J.L.; HERUM, F.L. Generalized analytical model for moisture diffusion in a composite cylindrical body. Trans. ASAE 25 (3), 752-758, 1982.

- LABUZA, T.P. Sorption phenomena in foods. Food Technology, 22 (3) : 263-272, 1968.
- LANTZ, A.; VAISEY, M. Flavor Effects of Different Woods on White-fish smoked. In a Kiln with Controlled Temperature humidity and air velocity. Journal Fish Res. Bd Can. v. 27, p.1201-1207, 1973.
- LENGES, J. Quelques consirations sur la fumasion de produits de viand. Rev. Fermentation Ind. Alim. v. 27, n. 2, p. 53-60, 1972.
- LEWIS, W.K. The rate of drying of solids materials. The Journal of Industrial and Engineering Chemistry, v. 13, n. 5, p. 427-432, 1921.
- LOMAURO, C.J.; BASKSHI, A.S.; LABUZA, T.P. International Journal for Food Chemistry Biochemistry Microbiology, Technology and Engineering v. 18, p. 111-124, 1985.
- LOZANO, J.E.; ROTSTEIN, E. e URBICAIN, M.J. Shinkage, porosity and bulk density of foodstuffs at changing moisture content . Journal Food Science, n. 48, 1497-1502, 1553. 1983.
- LUIKOV, A.V. Heat and Mass Transfer In Capillary Porous Bodies . Pergamos Oxford., 1966. 392P.
- LUYBEN, K.Ch.A.M.; OLIEMAN, J.J. e BRUIN, S. Concentration dependent diffusion coefficients derived from experimental drying curves. In Drying'80 v. 2, Hemisphere, New York. 1980.

- MACHADO, C. e SGARBIERI, P. Partial Characterization and Nutritive Value of Proteins from Pacu (*Colossoma mitrei*, Berg 1895). Journal Agric. Foods Chemical, 1991. v. 39, p.1715-1718.
- MAGA, J.A. Smoke in food Processing. 1 ed. Boca Raton : CRC Press Inc., 1988. 160p.
- MARRAKCHI, A. E.; BENNOUR, M.; BOUCHRTI, N., HAMANA,A.; TAGAFAIT, H. Sensory, Chemical and Microbiological Assements of Moroccan Sardines (*Sardina Plichardus*) Stored in Ice. Journal of Food Protection , v. 53, n 7 , p. 600-605, 1990.
- MOYNE, C.; DEGIOVANNI, A. Importance of gas Phase momentum equation in drying above the boiling point of water. Drying '85 . Hemisphere publishing corp. Washington, DC. , p. 109-115, 1985.
- MULET, A. Drying Modelling and Water Diffusivity in Carrots and Potatoes. Journal of Food Engineering. v. 22, p. 329-348, 1994.
- NISHIMOTO, J. & MIKI, H. Mem. Fish. Kagoshima Univ. v. 34, n. 1, p. 89-96. 1985.
- PARK, K.J. Estudo comparativo de coeficiente de difusão sem e com encolhimento durante a secagem. Campinas,1987. 54p. Tese (Mestre em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

- PHILIPS, J.R; De VRIES, D.A. Moisture Moviment In Porous Materials Under Temperature Gradient. Trans. Am. Geophys. Union, v. 38, n. 2, p. 222-232 - 594, 1957.
- PINTO, L.A. Secagem de Materiais Fibrosos : músculos de Peixes. São Carlos, 1992. 104 p. Tese (Mestre em Engenharia Química) - Universidade Federal de São Carlos.
- PINTO, L.A. & TOBINAGA,S. A Diffusional Model With Shrinkage during drying of Fish muscles. Drying'94 , v. B, p.1069-1076. 1994.
- PRADO FILHO, A. Defumação : um valor a mais para seus peixes. Panorama da Aqüicultura. v.2, n.10 março/abril. 1984.
- QUAST, D.G. e TEIXEIRA NETO, R.O. Moisture problems of foods in tropical climates. Food Technology, Chicago, v.30(5) , p. 98 - 105, 1976.
- QUEIROZ, J.S., Sobre o Pescado salgado e seco vendido no estado do Ceará, Boletim Técnico DNOCS, 29 (1) : p. 9-21, 1977)
- QUEIROZ, M.R. Estudo Teórico-experimental da cinética de secagem de bananas. Campinas, 1994. 172P. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas.
- RAMASWAMY, H.S.; LO, K.V. Simplified mass transfer relationships for diffusion controlled air dehydration of regular solids. Canadian Agricultural Eng. 25 (1) 143-148, 1983.

- SANCHEZ, L. Pescado Matéria -Prima e Processamento. Fundação Cargil, Campinas, 1989. 61P.
- SANCHEZ, L.; GOMES, M.I.; SASE, L.E. Armazenamento da Pescada do Piauí (*Plagioscion Squamosissimus*), Resfriada. I Evolução da Composição Química e Alguns indicadores de Frescor. Alim. Nutr., n.2, p. 73-82, 1990.
- SARAVACOS, G.D.; RAUZEOS, G.S. Diffusivity of Moisture in Air Drying of Starch Gels. In Engineering and Food . v. 1, B.M. McKenna (ed), Elsevier. London, p.499-507, 1984.
- SHERWOOD, T.K. The drying of solids II . Industrial and Engineering Chemistry, v. 21, n 10, p. 12-16 / 976-980, 1929.
- SMITH, P. B. Sorption phenomena in foods. Journal Science of Food Agriculture, 22 (3) : 263-272, 1947.
- STRUMILLO, C.; KUDRA, T. Drying: Principles, Applications and Design, Gordon and Breach, NY,1986.
- SUAREZ, C.; VIOLLAZ, P. ; CHIRIFE, J. Diffusional analysis of air drying of grain sorghum, Journal of Food Technology, v. 15, p.523-531, 1980.
- SUBASINGHE, S. Smoking and drying - New Technology for olde Worlde products. INFOFISH International, v.3 , 1993.

TEIXEIRA, M.B.F. Secagem de manta de lula (*Loligo brasiliensis*). Campinas, 1995.  
Tese (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Estadual de Campinas.

TOBINAGA, S.; PINTO, L.A.A. Secagem de Materiais Fibrosos : Músculos de Peixe.  
In : Tópicos Especiais em Secagem, editado por J.T. FREIRE e D.J. SARTORI,  
v. 1, p. 211-251. UFSCAR, 1992.

TOLEDO, R. Factors Affecting Smoke Penetration Rates. Meat Industry, v. 21, n.10,  
p. 53-56, 1975.

TREYBAL, R.E. Mass Transfer Operation . 3 ed. Mc Graw-Hill, New York, 1980.

VACAREZZA, L.M.; LOMBARDI, J.L.; CHIRIFE, J. Heat transfer effects on drying  
rate of food dehydration, The Canadian journal of Chemical Engineering, v. 52 ,  
October, 1974.

VACAREZZA, L.; CHIRIFE, J. On the mechanism of moisture transport during air  
drying of sugar beet root. Journal of Food Science. v. 40, p.1286-1289,1975.

VAGENAS,G.K.; MARINOUS-KOURIS,D. Drying kinetics of apricots Drying  
Technol. 9 (3) 735-752, 1991.

VENUGOPAL , V. Methods for processing and utilization of low costs fishes : A  
critical appraisal, Journal of Food Science Technology, v. 32, n.1, p. 1-12, 1995.

VIDAL, D.; AÑO, V. G.; MAUPEY, P. F. e TARRAZO, J. La actividade pela agua en  
alimento. Alimentación equipos y tecnologia. v. 5: 37, 1986.

VIOLLAZ, P.E. & SUAREZ, C. An exact solution of diffusion equation with shrinking . The chemical Engineering Journal, n. 55, p. 135-138, 1994.

WANG, N. & BRENNAN, J.G. Changes in Structure, Density and Porosity of Potato during Dehydration. Journal of Food Engineering, v. 24, p. 61-76, 1995.

XAVIER, R.L.; ARDITO, E.F. e MORAIS, C. Isoterma de adsorção de umidade de bloco salgado, prensado e seco de pescado. Coleção do ITAL, Campinas, v.16 : p.81- 92, 1986.

## **ANEXO A**

## **A.1. Cloretos**

A determinação de cloretos é realizada pelo método de Mohr. Esta marcha fundamenta-se na precipitação dos cloretos sob a forma de cloreto de prata utilizando cromato de potássio como indicador em pH 8,3. A titulação é realizada com nitrato de prata e no ponto de viragem ocorre a formação de um precipitado vermelho tijolo de cromato de potássio.

## **A.2. Normas e Procedimentos para avaliação da qualidade de Peixes Frescos e Resfriados**

A morte do peixe conduz o animal a um estado não controlado de degradação proteica por enzimas, promovendo um aumento rápido dos níveis de amônia e amins. A dosagem desses produtos de degradação pelo método BVT (Base Voláteis Totais) se constitui no indicador de qualidade mais objetivo para a prática industrial (SANCHES *et alii*, 1990).

A qualidade do peixe fresco e resfriado deve ser avaliada por inspeção visual e por análises organolépticas e químicas (SANCHES *et alii*, 1990).

A análise visual consiste na avaliação quanto a cor da pele, textura, condições das gelras e odor. A tabela A.1 fornece a avaliação da qualidade do peixe fresco e resfriado (SANCHES *et alii*, 1989).

**TABELA A.1**

Guia para avaliação da qualidade do peixe fresco e resfriado baseado em inspeção visual

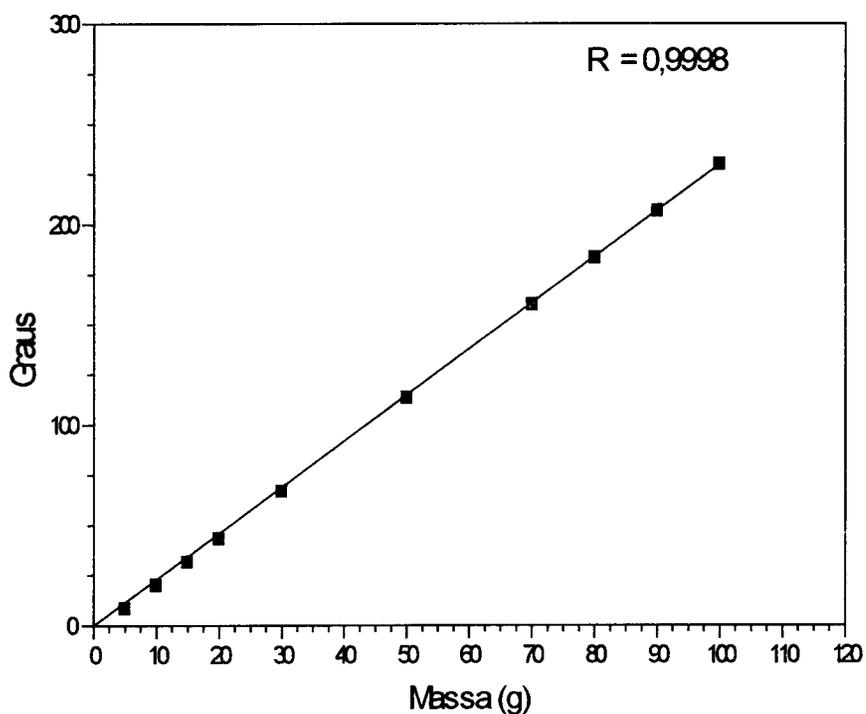
Grau	Nota	Qualidade Global	Referência Padrão
A	5	Excelente	<ul style="list-style-type: none"><li>-Superfície úmida, brilhante, nenhum descoloramento</li><li>-Olhos brilhantes com pupilas negras convexas</li><li>-Guelras vermelhas e sem micosidade visível</li><li>-Textura firme e elástica</li><li>-Odor marinho para peixes marinhos e lacustre para peixes de rio</li></ul>
A	4	Boa	<ul style="list-style-type: none"><li>-Superfície semi-úmida, brilhante, ligeira descoloração</li><li>-Olhos com pupilas negras convexas e córneas transparentes</li><li>-Guelras ligeiramente descoradas</li><li>-Textura firme e elástica</li><li>- Odor marinho para peixes marinhos e lacustre para peixes de rio</li></ul>
B	3	Aceitável	<ul style="list-style-type: none"><li>-Superfície semi-úmida e alguma descoloração</li><li>-Olhos ligeiramente fundos, pupila cinzenta e córnea ligeiramente opaca</li><li>-Guelras ligeiramente descoradas e algumas mucosas</li><li>-Textura razoavelmente firme</li><li>-Odor neutro</li></ul>

---

			-Superfície sem brilho e cor, coberta por um muco amarelo-marron
C	2	Inaceitável	-Olhos fundos, pupilas branco-leitosas e córnea opaca -Guelras marron-acinzentadas e com muco gosmento -Textura flácida, retém as impressões dos dedos -Odor pútrido

---

### A.3. Curva de Calibração



**FIGURA A.1.** Curva de Calibração da mola

## **ANEXO B**

### **MÉTODOS DE ANÁLISE**

### **B.1. Proteína**

Esta análise é realizada pelo método de Kjeldahl. O teor de proteína no filé de peixe, pode ser obtido indiretamente estimando a quantidade de nitrogênio presente e multiplicando pelo fator 6,25.

### **B.2. Lipídeos**

A análise de gordura é realizada através do método de extração em Soxhlet usando éter de petróleo como solvente .

### **B.3. Umidade**

A umidade corresponde a perda em peso sofrida pelo produto quando aquecido em condições nas quais a água é removida. A umidade das amostras é determinada em estufa a 105<sup>0</sup>C até massa constante.

### **B.4. Cinzas**

Representa quase toda substância inorgânica presente na amostra, já que alguns sais podem sofrer redução ou volatilização quando aquecido. Em pescados o componente majoritário nas cinzas, é o cloreto de sódio. Resíduo obtido por aquecimento de um produto em temperatura de 550 - 570<sup>0</sup>C.