

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE**  
**PRODUÇÃO**

**QUALIPESC – SISTEMA INTELIGENTE PARA**  
**AUXÍLIO NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE**  
**PESCADOS**

por

Elizabeth Soares Fernandes

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do grau de  
Mestre em Engenharia de Produção

Prof<sup>a</sup> Lia Caetano Bastos, Dr<sup>a</sup>.

Orientadora

Florianópolis, 23 de Fevereiro de 2000

# QUALIPESC – SISTEMA INTELIGENTE PARA AUXÍLIO NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE PESCADOS

**Elizabeth Soares Fernandes**

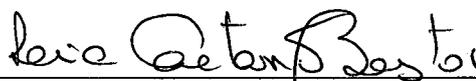
Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de "Mestre em Engenharia", especialidade Engenharia de Produção, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina.



---

Professor Ricardo Miranda Barcia, Ph.D  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia de Produção

## **Banca Examinadora**



---

Lia Caetano Bastos, Dra. Orientadora



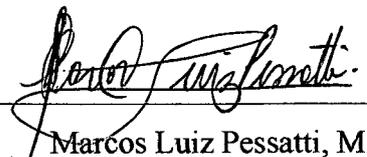
---

Fernando Álvaro Ostuni Gauthier, Dr.



---

Álvaro Rojas Lezana, Dr.



---

Marcos Luiz Pessatti, M.Sc

*Aos meus pais, por todo apoio, dedicação,  
carinho, paciência e compreensão durante esta  
caminhada.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pelo dom da vida, por me dar forças nesta caminhada.

A minha família – meus pais Luiz e Dilma, que nunca mediram esforços para que eu pudesse alcançar meus objetivos, que compreenderam a distância e a ausência, mas nunca me deixaram desistir; minha avó Anita, que na sabedoria dos seus 90 anos, sempre me incentivou; a tia Beth, que sempre acreditou que eu fosse capaz; as minhas irmãs Anita, Ana e Luciana, que compreenderam meus momentos de fúria, angústia, incertezas e me deram momentos de alegria, companheirismo, compreensão, amizade e acima de tudo tiveram muita paciência.

A minha orientadora, Lia, por ter acreditado que eu seria capaz, pela amizade, carinho, paciência e compreensão.

A Priscila, pela amizade e por toda a ajuda que em deu durante a implementação do sistema, pela paciência e compreensão.

Ao Masanao, que sempre tinha uma palavra de incentivo, um puxão de orelha quando eu estava errada e uma piada para me alegrar nas horas de pânico.

Ao pessoal do LEA (Laboratório de Estatística Aplicada), Angelita, André, Marcos, Merisandra, Tereza e Adhemar, pela amizade e companheirismo.

A Marinês e o pessoal da EPAGRI, que me auxiliaram no início deste trabalho, me dando sugestões, idéias e incentivo.

A direção do CTTMar – Centro de Educação Superior em Ciências Tecnológicas, da Terra e do Mar, da UNIVALI – por ter cedido pessoal, material e laboratório para a coleta dos dados deste trabalho.

Ao Pessatti, pela paciência e boa vontade em me co-orientar.

Ao pessoal do Laboratório de Oceanografia Biológica da UNIVALI e do Campus de Penha, pela ajuda na degustação dos mexilhões.

Ao Adriano, Gilberto, Robson, Luca e Marlei por toda a força e incentivo.

## RESUMO

A indústria alimentícia está constantemente desenvolvendo novos produtos para o consumo. Deste modo, existe uma preocupação por parte dos produtores, em avaliar a aceitação de seus produtos pelo mercado consumidor. Assim, o desenvolvimento de técnicas e metodologias que possam contribuir para esta avaliação são de grande interesse. Segundo estimativas da O.N.U., nos próximos 30 anos, o consumo “per capita” de pescados estará em torno de 14 Kg, e a demanda por estes produtos será de 115 milhões de toneladas, chegando a um aumento de 75% nos próximos anos. Considerando esta demanda pela produção de pescados, a boa qualidade destes produtos, é fator fundamental para sua aceitação no mercado consumidor. Sendo assim, se torna imprescindível que a avaliação dos processos de análise sensorial, bioquímica e microbiológica, importantes na determinação da qualidade de um produto, seja realizada de modo rápido e eficiente. Para isto, propõe-se a utilização de ferramentas computacionais, mais especificamente, um sistema híbrido, como instrumento de auxílio na avaliação de tais processos. O QUALIPESC consta de um sistema especialista difuso para auxiliar a avaliação da qualidade sensorial do pescado, e duas redes neurais artificiais, uma para auxiliar a avaliação da qualidade microbiológica e outra para auxiliar a avaliação da qualidade bioquímica do produto. As redes neurais artificiais foram implementadas utilizando a ferramenta *MATLab for Windows 4.0*, o sistema especialista difuso foi desenvolvido sob a *shell Expert Sinta 1.1b* e a interface do usuário foi implementada utilizando-se o *Delphi 3.0*.

## **ABSTRACT**

Food industry is constantly developing new products to consumption. So, the producers have a preoccupation related to the valuation of products acceptance by consumer market. Thus, the development of techniques and methodologies that can contribute to this valuation are very interesting and important. According to O.N.U.'s estimation, in the next 30 years, fisheries "per capita" consumption will be closed to 14 Kg, and these products prosecution will be 115 millions tons, increasing 75% in the next years. Considering the real fisheries production prosecution, the good quality of these products is a fundamental factor to the acceptance in consumer market. So, it is vital that the valuation of microbiological, biochemical and sensorial analysis process, very important in product quality determination, be done in a quickly and efficient way. To do this, it is proposed the use of computational tools, more specifically, a hybrid system as an instrument to aid the valuation of these process. QUALIPESC system is composed by a fuzzy expert system to aid sensorial analysis, and two neural networks: one to aid microbiological analysis, and other to aid biochemical analysis. The artificial neural networks were developed using MATLab for Windows 4.0, and the expert system was implemented under Expert Sinta shell 1.1b. The user interface was developed using Delphi 3.0.

# SUMÁRIO

|   |      |
|---|------|
| <b>LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS</b>   | viii |
| <b>LISTA DE FIGURAS</b>   | ix   |
| <b>LISTA DE TABELAS</b>   | x    |
| <b>CAPÍTULO I - Introdução</b>  |      |
| 1.1 Apresentação  | 01   |
| 1.2 Definição do Problema   | 02   |
| 1.3 Objetivos   | 04   |
| 1.3.1 Objetivo Geral  | 04   |
| 1.3.2 Objetivos Específicos   | 04   |
| 1.4 Importância do Trabalho   | 05   |
| 1.5 Estrutura do Trabalho   | 06   |
| <b>CAPÍTULO II - O Pescado como Fonte de Nutrientes e a Importância de sua<br/>Qualidade como Produto Alimentício</b> |      |
| 2.1. Introdução   | 07   |
| 2.2 Microbiologia, Química e Análise Sensorial de Pescados  | 08   |
| 2.2.1 Microbiologia   | 09   |
| 2.2.1.1. Microbiologia de Pescados  | 10   |
| 2.2.2 Química dos Alimentos   | 13   |
| 2.2.2.1 Química de Pescados   | 14   |
| 2.2.3 Análise Sensorial   | 19   |
| 2.2.3.1 Fatores que Influenciam a Análise Sensorial   | 22   |
| 2.2.3.2 O Futuro da Análise Sensorial na Indústria Alimentícia  | 23   |

## **CAPÍTULO III - Inteligência Artificial**

|  |    |
|--|----|
| 3.1 Introdução   | 25 |
| 3.2 Sistemas Especialistas   | 26 |
| 3.2.1 Estrutura de um Sistema Especialista   | 27 |
| 3.2.2 Fases de Desenvolvimento de um Sistema Especialista                            | 29 |
| 3.2.2.1 Aquisição do Conhecimento  | 30 |
| 3.2.3 Benefícios, Problemas e Limitações Trazidos pelo Uso de Sistemas Especialistas | 31 |
| 3.2.4 Análise de Desempenho de um Sistema Especialista                               | 32 |
| 3.2.5 Sistemas Especialistas Difusos   | 32 |
| 3.2.6 Utilização dos Sistemas Especialistas  | 33 |
| 3.3 Redes Neurais Artificiais  | 34 |
| 3.3.1 Estrutura Básica de uma Rede Neural Artificial                                 | 37 |
| 3.3.2 Arquiteturas de Redes Neurais Artificiais                                      | 38 |
| 3.3.3 Redes Neurais Artificiais para Classificação de Dados                          | 38 |
| 3.3.3.1 O Perceptron Multicamadas (MLP)  | 39 |
| 3.3.4 Utilização de Redes Neurais Artificiais  | 41 |
| 3.4 Sistemas Híbridos  | 42 |

## **CAPÍTULO IV – Descrição do Sistema Proposto e sua Validação**

|   |    |
|---|----|
| 4.1 Introdução                                    | 45 |
| 4.2 Descrição do QUALIPESC                        | 47 |
| 4.2.1 Módulo de Cadastro                          | 48 |
| 4.2.1.1 Sub Módulo Cadastro do Produtor           | 48 |
| 4.2.1.2 Sub Módulo Cadastro do Produto            | 49 |
| 4.2.1.3 Sub Módulo Cadastro de Análises           | 50 |
| 4.2.2 Módulo Relacionado à Análise Microbiológica | 51 |
| 4.2.3 Módulo Relacionado à Análise Bioquímica     | 54 |
| 4.2.4 Módulo Relacionado à Análise Sensorial      | 58 |
| 4.2.4.1 Perfil de Características                 | 59 |
| 4.2.4.2 Escala Hedônica                           | 61 |
| 4.2.5 Módulo de Resultados                        | 61 |
| 4.2.5.1 Gráficos                                  | 62 |

|   |    |
|---|----|
| 4.2.5.2 Relatórios  | 63 |
| 4.3 Validação do Sistema                                  | 63 |
| 4.3.1 Validação do Módulo de Análise Microbiológica       | 64 |
| 4.3.2 Validação do Módulo de Análise Bioquímica           | 64 |
| 4.3.3 Validação do Módulo de Análise Sensorial            | 65 |
| 4.3.3.1 Validação do sub Módulo Perfil de Características | 65 |
| 4.3.3.2 Validação do Sub Módulo Escala Hedônica           | 66 |
| <br>  |    |
| <b>CAPÍTULO V - Conclusões e Recomendações</b>            |    |
| 5.1 Conclusões  | 67 |
| 5.2 Recomendações   | 68 |
| <br>  |    |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>                         | 70 |
| <br>  |    |
| <b>ANEXOS</b>   | 82 |

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

|     |                               |
|-----|-------------------------------|
| Ca  | Cálcio                        |
| I   | Iodo                          |
| IA  | Inteligência Artificial       |
| K   | Potássio                      |
| LVQ | Learning Vector Quantization  |
| Mg  | Magnésio                      |
| MLP | Multilayer Perceptron         |
| Na  | Sódio                         |
| ONU | Organização das Nações Unidas |
| P   | Fósforo                       |
| RBF | Radial Basis Function         |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 3.1 Componentes básicos de um sistema especialista   | 29 |
| Figura 3.2 Estrutura básica de um neurônio humano   | 36 |
| Figura 3.3 Esquema básico de uma rede neural artificial   | 39 |
| Figura 3.4 Perceptron de uma única camada   | 41 |
| Figura 3.5 Perceptron de três camadas   | 42 |
| Figura 3.6 Esquema de um Sistema Híbrido com Arquitetura de Integração Completa   | 45 |
| Figura 3.7 Esquema de um Sistema Híbrido com Arquitetura de Forte Acoplamento   | 46 |
| Figura 3.8 Esquema de um Sistema Híbrido com Arquitetura de Fraco Acoplamento   | 46 |
| Figura 3.9 Esquema de um Sistema Híbrido com Arquitetura Transformacional   | 46 |
| Figura 3.10 Esquema de um Sistema Híbrido com Arquitetura <i>Stand Alone</i>  | 46 |
| Figura 4.1 Tela de Abertura do Sistema  | 48 |
| Figura 4.2 Estrutura do Sistema QULAIPESC   | 50 |
| Figura 4.3 Tela de Cadastro do Produtor   | 51 |
| Figura 4.4 Tela de Cadastro do Produto  | 52 |
| Figura 4.5 Tela de Cadastro de Análises   | 53 |
| Figura 4.6 Número de Épocas de Treinamento da Rede Neural Artificial para Análise Microbiológica em Função do Erro Quadrático | 55 |
| Figura 4.7 Tela da Análise Microbiológica   | 56 |
| Figura 4.8 Número de Épocas de Treinamento da Rede Neural Artificial para Análise Bioquímica em Função do Erro Quadrático     | 59 |
| Figura 4.9 Tela da Análise Bioquímica   | 60 |
| Figura 4.10 Tela da Análise Sensorial   | 61 |
| Figura 4.11 Tela do Sub Módulo de Gráficos  | 65 |
| Figura 4.12 Exemplo de gráfico  | 66 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 Faixas de variação para as variáveis relacionadas a análise microbiológica | 54 |
| Tabela 2 Faixas de variação para as variáveis relacionadas a análise bioquímica     | 57 |
| Tabela 3 Funções de Pertinência   | 62 |
| Tabela 4. Matriz Confusa  | 69 |

# CAPÍTULO I

## INTRODUÇÃO

### 1.1 APRESENTAÇÃO

O alimento é fundamental para a existência humana. A indústria alimentícia está constantemente desenvolvendo novos produtos para o consumo. Deste modo existe uma preocupação por parte dos produtores, em avaliar a aceitação de seus produtos no mercado consumidor. Assim, o desenvolvimento de técnicas e metodologias, que possam contribuir para esta avaliação são de grande interesse.

O cultivo de organismos (aquicultura) consolida-se atualmente como importante fonte de alimentos e de matéria-prima para uma variada gama de produtos, além de contribuir, quando conduzido de forma racional, para a conservação e o uso sustentável dos estoques naturais (MANZONI et al, 1998).

Segundo estimativas da O.N.U., a população humana de 5 bilhões em 1990, aumentará para 8 bilhões em 2025 (EPAGRI, 1994). Assumindo que nos próximos 30 anos, o consumo anual “per capita” de produtos de origem marinha continuará em torno de 14 Kg, a demanda por estes produtos será de 115 milhões de toneladas, chegando a um aumento de 75% nos próximos 35 anos (COLWELL, 1999).

Analisando a produção mundial de pescados, o ambiente de água doce predomina com 63% da produção total de peixes, crustáceos e moluscos; o cultivo em água salobra contribui com 7% e em ambiente marinho, 30% (NEIVA, 1998).

Considerando a demanda atual de produção de pescados, a boa qualidade destes produtos, é fator fundamental para sua aceitação no mercado consumidor. Sendo assim, se torna

imprescindível que a avaliação dos processos de análises microbiológica, bioquímica e sensorial, sejam rápidas e precisas. Para isto, propõe-se o uso de ferramentas computacionais, mais especificamente um sistema híbrido, como instrumento de auxílio na avaliação de tais processos.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema híbrido para auxiliar aos produtores de pescados, no que diz respeito à qualidade do produto e sua aceitação no mercado de consumo, levando em conta as análises microbiológica, bioquímica e sensorial, fornecendo um indicativo da qualidade do produto produzido.

O sistema híbrido compõe-se de duas Redes Neurais Artificiais sendo uma construída para auxiliar o processo de análise microbiológica e a outra para auxiliar o processo de análise bioquímica; além de um Sistema Especialista Difuso para auxiliar o processo de análise sensorial. Os resultados obtidos pelas duas Redes Neurais Artificiais interagem com o Sistema Especialista Difuso, fornecendo um parecer sobre a qualidade do produto analisado.

## 1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A qualidade microbiológica e bioquímica do pescado processado, fornece uma real perspectiva para a utilização do mesmo como fonte de alimentação.

A análise microbiológica é essencialmente importante para o fornecimento de um parecer quanto à qualidade do pescado, uma vez que monitora sua qualidade bacteriológica nas diferentes etapas de sua produção (SUPLICY, 1998). As variáveis envolvidas na classificação de um produto de origem marinha como ideal ou não para o consumo humano de acordo com a sua qualidade microbiológica, dizem respeito aos índices de coliformes fecais, contagem total de mesófilos, contagem total de psicotrófilos, *Vibrio parahaemolyticus*, *Staphylococcus aureus*, *Listeria* sp e *Salmonella* principalmente.

As análises químicas quantitativas de compostos químicos tais como proteínas, lipídios, carboidratos, bem como os teores de umidade e de resíduo mineral encontrados no pescado; são

de grande importância para se conhecer seu valor nutricional. Outras variáveis normalmente avaliadas na análise bioquímica de pescados são os teores de cálcio, fósforo, iodo, magnésio, hipoxantina, histamina, indol e uréia. Os resultados destas análises permitem determinar se o pescado constitui-se ou não em uma boa fonte de nutrientes para o homem, além de fornecer um indicativo da deterioração do pescado.

O tipo de processo pelo qual o mexilhão passa para chegar ao mercado consumidor, interfere diretamente no teor dos compostos químicos do pescado, bem como nas variáveis envolvidas nas análises microbiológica e sensorial.

Pelo fato de ambas as análises, microbiológica e bioquímica, resultarem em um processo classificatório que determina a adequação ou não do produto para o consumo, propõe-se o uso de Redes Neurais Artificiais para auxílio destas análises, uma vez que se mostram uma ótima opção para a resolução de problemas deste tipo.

A análise sensorial é uma técnica de avaliação que permite analisar a qualidade sensorial de um alimento, como resultado das sensações que um julgador experimenta ao ingeri-lo (SCHRAMM, 1993).

Boas medidas sensoriais requerem que os provadores sejam observados como medidas instrumentais, algumas vezes variáveis com o tempo e muito propensos a erros (EMBRAPA, 1991).

As características sensoriais medidas na análise sensorial são: aparência, odor, cor, textura e sabor, as quais são avaliadas através de variáveis linguísticas que são descritas pelos julgadores nos diversos testes sensoriais existentes.

Pela natureza desta avaliação que depende não só da classe e intensidade do estímulo provocado pelo contato com o alimento, mas também das condições fisiológicas e psicológicas do julgador ou grupo de julgadores, observa-se a imprecisão da análise sensorial. Tal fato leva à proposição de um Sistema Especialista Difuso a fim de minimizar os erros que podem ocorrer durante a análise sensorial, o qual contém regras utilizadas na análise, estruturadas com base na lógica difusa.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um sistema híbrido a fim de auxiliar os processos de análises microbiológica, bioquímica e sensorial do pescado, com a finalidade de melhorar a qualidade do produto produzido.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

São objetivos específicos deste trabalho:

- Estudar as análises microbiológica, bioquímica e sensorial dos pescados processados de diversas formas;
- Determinar as variáveis que correspondem às análises microbiológica, bioquímica e sensorial, que sejam relevantes para a avaliação da qualidade do pescado;
- Desenvolver Redes Neurais Artificiais para auxiliar na interpretação dos dados obtidos nas análises microbiológica e bioquímica;
- Desenvolver um Sistema Especialista Difuso para avaliar os dados obtidos na análise sensorial;
- Estudar a melhor forma de interação entre as Redes Neurais Artificiais e o Sistema Especialista Difuso;
- Implementação do Sistema Híbrido.

## 1.4 IMPORTÂNCIA DO TRABALHO

Fontes alternativas de produção de alimentos são incessantemente procuradas e testadas. Isto se deve principalmente, à necessidade de incrementar a produção de alimentos para suprir a crescente demanda, observada a nível mundial. Uma das fontes de alimentos que surge como uma forte tendência para suprir esta demanda, é o campo da aquicultura.

Os pescados representam um dos grupos mais importantes na alimentação humana, tanto do ponto de vista produtivo, quanto econômico.

No Brasil, a aquicultura marinha limita-se à produção de camarões, mexilhões e ostras, sendo que os maiores estados produtores são a Bahia, Rio Grande do Norte, Piauí, Santa Catarina e São Paulo. Quanto a aquicultura de água doce, a produção refere-se a peixes e camarões, sendo que dentre os estados produtores destacam-se o Paraná, Santa Catarina, São Paulo, Mato Grosso, Minas Gerais, Bahia, Sergipe e Acre (IBAMA, 1996).

A análise microbiológica é essencialmente importante para o fornecimento de um parecer quanto à qualidade do pescado, uma que vez monitora a qualidade bacteriológica da carne nas diferentes etapas de sua produção, desde o cultivo até sua comercialização (SUPLICY, 1998).

As determinações quantitativas de compostos químicos como proteínas, lipídeos, carboidratos, umidade, resíduos minerais, teores de cálcio, magnésio, fósforo, iodo e uréia são de grande importância para se conhecer algumas características nutricionais. Também são observados os teores de histamina, indol e hipoxantina, relacionados com a deterioração do produto.

Atualmente, a análise sensorial tem representado um papel importante quando se deseja medir as necessidades do consumidor e traduzir essa demanda em produtos novos e/ou melhorados. Isso surge como consequência do aumento da competição entre os fornecedores de alimentos. Assim, a análise sensorial tem se constituído no pilar fundamental do

desenvolvimento de novos produtos, pois ela pode medir no laboratório e a nível piloto um determinado produto, antecipando sua aceitabilidade pelos consumidores (EMBRAPA, 1991).

Mediante ao exposto anteriormente, observa-se a necessidade de se utilizar tecnologias computacionais, mais especificamente Redes Neurais Artificiais e Sistemas Especialistas Difusos, que juntos compõem um Sistema Híbrido, para acelerar o processo de tomada de decisão no que diz respeito à qualidade do pescado.

## **1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO**

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos.

No primeiro capítulo são apresentados a definição, os objetivos, importância e estrutura do trabalho.

O capítulo 2 apresenta uma visão geral à respeito da utilização do pescado como alimento bem como das análises microbiológica, bioquímica e sensorial, necessárias para a determinação da qualidade do produto.

No capítulo 3, é feita uma breve revisão conceitual referente a Inteligência Artificial, Sistemas Especialistas, Sistemas Especialistas Difusos, Redes Neurais Artificiais e Sistemas Híbridos.

No capítulo 4, são descritas as todas as etapas de desenvolvimento do sistema implementado.

As conclusões e considerações finais do trabalho desenvolvido são apresentadas no quinto capítulo.

Por último é apresentada a bibliografia utilizada no desenvolvimento deste trabalho.

## **CAPÍTULO II**

### **O PESCADO COMO FONTE DE NUTRIENTES E A IMPORTÂNCIA DE SUA QUALIDADE COMO PRODUTO ALIMENTÍCIO**

#### **2.1 INTRODUÇÃO**

A indústria alimentícia está constantemente desenvolvendo novos produtos para o consumo. Deste modo, existe uma preocupação por parte dos produtores, em avaliar a aceitação de seus produtos pelo mercado consumidor.

Há milhares de anos atrás, a terra começou a ser utilizada para a agricultura e pouco a pouco, os ecossistemas aquáticos tornaram-se uma importante fonte de alimentos ricos em proteínas (WATTS, 1999).

O cultivo de organismos aquáticos – aquicultura, tornou-se um excelente negócio na Ásia, América Latina, América do Norte e Europa, principalmente por propiciar importantes benefícios econômicos e nutricionais para muitos países em desenvolvimento (NEIVA, 1998).

Segundo a FAO (1997), o potencial da aquicultura para produzir alimentos de qualidade, tem sido demonstrado pela rápida expansão do setor que vem crescendo a uma taxa de 10% ao ano, comparado com 3% da pecuária de corte.

De acordo com estimativas da ONU, a população humana de 5 bilhões em 1990, aumentará para 8 bilhões em 2025 (EPAGRI, 1994). Assumindo que nos próximos 30 anos, o consumo “per capita” de pescados continuará em torno de 14 Kg, a demanda por estes produtos será 115 milhões de toneladas, chegando a um aumento de 75% nos próximos 35 anos (COLWELL, 1999).

Face ao estímulo governamental, a aqüicultura vem constituindo-se em uma atividade econômica de destaque (FAO, 1997). Analisando a produção mundial de pescados, o ambiente de água doce predomina com 63% da produção total de peixes, crustáceos e moluscos; o cultivo em água salobra contribui com 7% e o cultivo em ambiente marinho contribui com 30% (NEIVA, 1998). Com relação à maricultura, 81% da produção está representada por moluscos com valvas, 17% por peixes carnívoros e 2% por crustáceos. Quanto a produção mundial em ambientes estuarinos, destacam-se os crustáceos responsáveis por 55% da produção, os peixes com 34% e os moluscos com 11%. Já em ambientes de água doce, a produção mundial de peixes é de 99% e a de crustáceos é de 1% (FAO, 1998).

No Brasil, a aqüicultura marinha limita-se à produção de camarões, mexilhões e ostras, sendo que os maiores estados produtores são a Bahia, Rio Grande do Norte, Piauí, Santa Catarina e São Paulo. Quanto a aqüicultura de água doce, a produção refere-se a peixes e camarões, sendo que dentre os estados produtores destacam-se o Paraná, Santa Catarina, São Paulo, Mato Grosso, Minas Gerais, Bahia, Sergipe e o Acre (IBAMA, 1996).

Considerando a demanda atual de produção de pescados, a boa qualidade destes produtos, é fator fundamental para sua aceitação no mercado consumidor. Sendo assim, se torna imprescindível a importância da avaliação dos processos de análise sensorial, bioquímica e microbiológica na determinação da qualidade de um produto.

## **2.2 MICROBIOLOGIA, QUÍMICA E ANÁLISE SENSORIAL DE PESCADOS**

À seguir, será feita uma breve descrição sobre microbiologia, bioquímica e análise sensorial de alimentos, dando ênfase aos alimentos de origem aquática - pescados.

### 2.2.1 Microbiologia

A microbiologia é o ramo da biologia que estuda os seres microscópicos (microrganismos), constituindo um vasto campo onde se estuda a morfologia, reprodução, fisiologia e taxonomia dos microrganismos e também a sua interação com outros seres vivos (homens, animais e plantas) e com o meio ambiente (TRABULSI, 1991).

Os microrganismos foram observados pela primeira vez por Leeuwenhoec em 1684, mas foi só em 1837 que Pasteur fez a analogia entre bactérias e deterioração de alimentos. A demonstração de que enfermidades são transmitidas por alimentos também foi realizada no século 19. Assim, historicamente, a maioria dos problemas do homem com relação a perda de alimentos e transmissão de doenças, está relacionada com o desconhecimento dos agentes responsáveis (ICMSF, 1997).

Produtos agrícolas e de origem animal possuem uma variedade de microrganismos. Alguns destes microrganismos podem se multiplicar no alimento causando deterioração; outros constituem um perigo à saúde por causarem doenças tanto por infecções como por intoxicações. Estas podem causar desde um leve desconforto a reações severas, levando até mesmo a morte (DAVEY, 1985).

Os microrganismos precisam de água, nutrientes e condições apropriadas de temperatura e pH para se multiplicarem (GIBSON & ROBERTS, 1986). As propriedades inerentes ao alimento com relação ao pH, atividade de água e temperatura, determinam quase que definitivamente, quais os microrganismos que irão se desenvolver e constituir a "microbiota deteriorante" do alimento (ICMSF, 1988).

Durante a produção, processamento, embalagem, transporte, preparação, manutenção e consumo, qualquer alimento pode ser exposto à contaminação por substâncias tóxicas ou por microrganismos infecciosos ou toxigênicos (DAVEY, 1985). Falhas de processamento podem permitir a sobrevivência de tais microrganismos ou toxinas, assim como o abuso de tempo e temperatura, podem favorecer a proliferação de bactérias patogênicas e fungos.

Doenças veiculadas por alimentos compreendem várias síndromes que resultam da sua ingestão e são classificadas da seguinte forma (WHO, 1984):

- intoxicações causadas pela ingestão de alimentos que contêm substâncias químicas tóxicas e de toxinas produzidas por microrganismos;
- infecções mediadas por toxinas produzidas por microrganismos que produzem enterotoxinas durante a colonização e multiplicação no trato intestinal;
- infecções causadas por microrganismos que invadem e multiplicam-se na mucosa intestinal ou outro tecido.

A colonização dos alimentos por microrganismos pode provocar problemas econômicos e sociais (TODD, 1985b). A maior causa de perda econômica são a deterioração microbiana e o gasto com as enfermidades transmitidas por alimentos contaminados (ICMSF, 1997). O custo real da deterioração, raramente é quantificado, mas é considerável e adicionado ao custo final do produto (ARCHER & KVENBERG, 1985). Já o custo real com enfermidades transmitidas por alimentos, também é raramente quantificado por causa da não notificação, exceto em casos de surtos extensos e/ou graves. Como problema social, as enfermidades podem resultar em incapacidade para o trabalho ou para cuidar da casa e da família; além de portadores assintomáticos poderem contaminar inadvertidamente, alimentos e pessoas (TODD, 1985a).

### **2.2.1.1 Microbiologia de Pescados**

O termo pescado é utilizado para se referir tanto a classes específicas tais como a *Piscis* e *Elasmobranchia*, como também para designar de forma genérica, os alimentos de origem marinha nos quais se incluem invertebrados tais como crustáceos e moluscos (ICMSF, 1980).

As fontes de pescados são a piscicultura (animais selvagens, principalmente marinhos) e a aquicultura (peixes, crustáceos e moluscos cultivados) (ICMSF, 1988).

A microbiota do pescado depende diretamente do seu habitat, sendo a temperatura um dos principais fatores de seleção de microrganismos (FRANCO & LANDGRAF, 1996). A incidência destes microrganismos em alimentos de origem aquática, depende em grande parte da qualidade microbiológica da água em que os animais se encontram (SUPLICY, 1998).

Tipicamente a população bacteriana de peixes de águas temperadas é predominantemente psicrófila, ou seja, capaz de crescer a uma temperatura de 0° a 7°C (JAY, 1994), enquanto que a de peixes de zonas tropicais é mesófila - capaz de crescer em temperaturas médias de 25° a 40°C (BRYAN, 1980).

As espécies de crustáceos importantes comercialmente incluem caranguejos, lagostas, camarões e pitus (ICMSF, 1980). Uma vez que os crustáceos são apanhados perto da costa, é de se esperar que alguns deles provenham de águas poluídas e apresentem microrganismos veiculados por água de esgoto, tais como *Staphylococcus aureus*, *Salmonella*, *Shigella* e *Vibrio parahaemolyticus* (ICMSF, 1986).

Os moluscos incluem bivalvos como ostras, mexilhões, berbigões, vieiras e gastrópodes como a lula. Com exceção de algumas ostras e vieiras capturadas em águas mais profundas, a maioria dos moluscos cresce em águas de estuários e das costas marinhas onde deve-se levar em conta a exposição à contaminação fecal (ICMSF, 1980).

Os principais agentes causadores de doenças veiculadas por pescados e normalmente analisados no que diz respeito à qualidade dos alimentos de origem marinha são coliformes totais e fecais, *Salmonella*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Listeria*, *Staphylococcus aureus*, microrganismos mesófilos e psicrótrófilos (SUPLICY, 1998).

Em primeira instância, os microrganismos do grupo coliforme são analisados. O grupo coliforme inclui aeróbios e anaeróbios facultativos, Gram - negativos, não esporulados e que em meio de cultura, fermentam lactose gás, dentro de 48 horas a 35°C (APHA, 1992). Cerca de vinte espécies estão incluídas no grupo coliforme. O grupo coliforme fecal está restrito a

microrganismos que crescem no trato gastrointestinal de humanos e de animais de sangue quente, anaeróbios, Gram - negativos, não esporulados e que em meio de cultura, fermentam lactose formando gás, dentro de 48 horas a 44,5°C (JAY, 1994). Estão incluídos no grupo coliforme fecal, pelo menos três gêneros: *Scherichia*, *Klebsiella* e *Enterobacter* (TRABULSI, 1991).

Apesar de não ser isolada normalmente em pescados, a *Salmonella* pode ser isolada de alimentos marinhos coletados de águas contaminadas. Sua presença indica contaminação direta ou indireta de fezes humanas ou de animais (APHA, 1992). Apesar do cozimento destruir este microrganismo, quando este não for suficiente, a *Salmonella* pode ser ingerida junto ao alimento ocasionando as seguintes enfermidades: a febre tifóide, cujos sintomas são bastante graves e incluem septicemia, febre alta, diarreia e vômito (FRANCO & LANDGRAF, 1996); a febre entérica que apresenta sintomas muito semelhantes à febre tifóide (FRANCO & LANDGRAF, 1996); e a salmonelose que caracteriza-se por sintomas mais brandos, que incluem diarreia, febre, dores abdominais e vômito (TRABULSI, 1991).

Outro patógeno freqüentemente pesquisado em alimentos processados é o *Staphylococcus aureus*. Os alimentos que em geral estão envolvidos em intoxicações estafilocócicas são produtos que apresentam grande valor protéico, altas concentrações de sal ou foram termicamente processados, e posteriormente contaminados por manipuladores (BRYAN, 1973). Na maior parte dos casos, a contaminação de pescados por *S. aureus* deve-se à falta de higiene durante o preparo do alimento (manipulação). Frequentemente, os manipuladores acabam por contaminar o pescado com secreção nasal, saliva e até mesmo pus proveniente de machucados e furúnculos (ICMSF, 1997). O crescimento de *Staphylococcus aureus* em alimentos, representa um risco potencial à saúde pública, uma vez que produz toxinas que causam vômitos e diarreias se ingeridas (APHA, 1992). As toxinas estafilocócicas são termoestáveis, ou seja, resistentes ao calor, e assim, a intoxicação alimentar pode ser veiculada mesmo por alimentos cozidos (TRABULSI, 1991).

O *Vibrio parahaemolyticus* é encontrado na água do mar e em animais marinhos, em todos os continentes (MIWATANI & TAKEDA, 1976). É um microrganismo mesófilo e halofílico, Gram - negativo, ligeiramente encurvado e fermenta a glicose produzindo oxidase e catalase, sem produzir gás (ICMSF, 1997). O *V. parahaemolyticus* pode ser isolado de vários

alimentos marinhos e na maioria das vezes, a infecção causada por ele, está associada ao consumo de pescados que não passaram por um tratamento térmico adequado (ICMSF, 1980) (TRABULSI, 1991) (APHA, 1992).

A *Listeria* é um microrganismo Gram-positivo, que cresce em condições anaeróbias ou microaerófilas. Multiplica-se em uma ampla faixa de temperatura, com uma temperatura ótima entre 30° e 37°C e pH entre 5.0 e 9.6, podendo ser isolado de produtos alimentícios de origem marinha, com uma certa frequência (APHA, 1992). A listeriose pode ser facilmente confundida com outras doenças por não apresentar sintomas específicos (NIEMAN & LORBER, 1980). A infecção ocorre em qualquer faixa etária, sendo sua incidência maior em recém-nascidos, crianças e pessoas idosas (TRABULSI, 1991).

Os produtos alimentícios de origem aquática, pelo fato de serem responsáveis pela veiculação de diversas doenças (WHO, 1984), devem ter sua qualidade bacteriológica frequentemente monitorada nas diferentes etapas da sua produção, desde o cultivo e captura de seu ambiente, até a sua comercialização (HUNT et al, 1984); onde devem ser observados cuidados principalmente com a sua manipulação e o seu armazenamento (ICMSF, 1997).

O método convencional para observação e contagem de microrganismos consiste no plaqueamento, de alíquotas do alimento homogeneizado e de suas diluições, em meios de cultura sólidos adequadamente selecionados em função do microrganismo a ser analisado (FRANCO & LANDGRAF, 1996).

### **2.2.2 Química dos Alimentos**

A origem da química dos alimentos é obscura e sua história ainda não foi devidamente analisada nem registrada. As descobertas mais significativas ocorreram principalmente entre 1780 e 1850 (SUZUKI, 1981). Desde então, a química dos alimentos vem crescendo em ritmo acelerado e sofrendo grandes avanços tecnológicos (FENNEMA, 1993).

### 2.2.2.1 Química de Pescados

Os pescados de modo geral, constituem de forma substancial a dieta humana (UNKLESBAY, 1992). Os pescados são altamente apreciados pelo seu sabor e principalmente por serem fonte barata de proteína, lipídios e outros nutrientes valiosos para todas as classes sociais (NASH, 1988).

Cada dia se sabe mais sobre o papel nutritivo dos pescados na dieta humana. Desde as descobertas, durante as primeiras décadas do século XX, quando se supunha que o óleo de fígado de bacalhau exercia ações preventivas e terapêuticas na deficiência das vitaminas A e D (STANSBY & HALL, 1967).

O peixe também representa a fonte mais rica em ácidos graxos, importantes na prevenção de enfermidades e ataques cardíacos (SIKORSKI, 1994). Além disso, apresenta proteínas de alto valor biológico, assim como uma ampla variedade de sais minerais e outros elementos (FENNEMA, 1993), (SIKORSKI, 1994).

Os pescados, assim como todos os alimentos, estão sujeitos à deterioração de seus componentes ( proteínas, lipídios, compostos minerais, etc.), sendo essencial se conhecer a relação destes componentes com a quantidade de água contida em seus tecidos, e de outros compostos, tais como a histamina, hipoxantina e o indol. As substâncias contidas nos tecidos dos pescados são importantes no aspecto nutricional, uma vez que são importantíssimas na dieta humana.

A água é essencial para a vida, como estabilizadora da temperatura corporal, transportadora de nutrientes e resíduos, como reativo e meio de reação, como estabilizadora da conformação de biopolímeros, etc. (FENNEMA, 1993). A água é o principal elemento, em termos quantitativos, da maioria dos alimentos (BELITZ & GROSH, 1988). Os músculos dos pescados de água doce apresentam de 29 a 84% de água em sua composição enquanto que os pescados de água salgada apresentam de 64 a 90% de água (SIKORSKI, 1994).

A quantidade de água - umidade - existente nos pescados que sofreram algum processo de industrialização, é extremamente importante, uma vez que possui influência no crescimento de microrganismos e conseqüentemente na oxidação e outras reações bioquímicas (FENNEMA, 1993). A quantidade de água, portanto, apresenta relação direta sobre a qualidade do pescado, por causar alterações sobre as propriedades sensoriais do produto, provocando mudanças na coloração, sabor, textura e odores estranhos (BELITZ & GROSH, 1988).

Os carboidratos abrangem um dos maiores grupos de compostos orgânicos encontrados na natureza e são um dos principais constituintes do organismo vivo (BOBBIO & BOBBIO, 1992). Os carboidratos fornecem a maior parte das calorias da dieta humana, além disso, fazem bem à saúde e proporcionam uma importante ajuda à motilidade intestinal (FENNEMA, 1993). Por sua capacidade de ligar-se à água contida nos alimentos, os carboidratos podem limitar a entrada e a saída de água dos tecidos (LASZLO et al., 1986). Os carboidratos constituem até 12% do peso seco dos pescados industrializados (SIKORSKI, 1994). Exercem importantes efeitos sobre a consistência, textura e palatabilidade, além de influenciarem na cor, sabor e aroma do produto (FENNEMA, 1993).

Os lipídios formam juntamente com os carboidratos e as proteínas, o grupo de compostos mais importante encontrado na natureza, tanto em vegetais como em animais (BOBBIO & BOBBIO, 1992). A quantidade de lipídios presente em pescados de água salgada pode chegar a 24% do seu peso, enquanto que em pescados de água doce, pode atingir a 64% (GUNSTONE & NORRIS, 1983). Durante a estocagem, os pescados e seus derivados podem sofrer oxidação dos lipídios presentes em seus tecidos, levando a alterações de odor e sabor, que os tornam, inaptos para o consumo, sem contudo, serem nocivos à saúde do consumidor (LASZLO et al., 1986).

As proteínas são macromoléculas complexas que constituem papel fundamental na dieta, por proporcionarem aminoácidos para a síntese de proteínas e outras substâncias nitrogenadas importantes na composição corporal (ROBINSON, 1991) (FENNEMA, 1993). O teor de proteína geralmente encontrado em pescados varia de 6 a 30%, como por exemplo a carne de caranguejo (21%) e a de lagosta (22%) (BOBBIO & BOBBIO, 1992). As proteínas quando submetidas a temperaturas bruscas (aquecimento ou liofilização), sofrem desnaturação, fazendo com que a carne, inclusive pescados, contenha menos água, seja menos suculenta e mais rígida

(LASZLO et al., 1986). Além disso, a perda de água, faz com que conseqüentemente, ocorra perda dos componentes solúveis na água (sais minerais, proteínas solúveis, etc.) (SUZUKI, 1981). A degradação protéica do pescado é caracterizada pelo aparecimento de odor repugnante e de textura e sabor alterados, ou seja, esta alteração pode dar margem a produtos com propriedades organolépticas desagradáveis (LAZSLO et al., 1986).

Todos os alimentos contêm elementos minerais, formando compostos orgânicos e inorgânicos (CONSIDINE & CONSIDINE, 1982). O teor de cinzas ou resíduo mineral de um alimento, fornece de modo direto, a quantidade de minerais existente na amostra, ou seja, se ela é rica ou pobre em minerais (HART & FISHER, 1971).

Os pescados, principalmente marinhos, são fontes bastante ricas de minerais, importantes na dieta humana (SIROSKI, 1994). Os elementos minerais constituem 4% da composição elementar do organismo humano, dos quais 2,5% são representados pelo magnésio, cloro, potássio, sódio, manganês, enxofre, zinco, flúor, iodo, e outros minerais (FRANCO, 1997). Dentre os minerais encontrados na carne de pescados, estão o cálcio (Ca), o fósforo (P), iodo (I), magnésio (Mg), sódio (Na) e o potássio (K).

O cálcio encontra-se quase na totalidade, cerca de 99%, no tecido ósseo e nos dentes e o restante (1%), no sangue e tecidos moles. O cálcio é um constituinte do cimento intercelular, sendo muito importante na coagulação sanguínea (KRAUSE & MAHAN, 1985), além de exercer papel vital na contração e relaxamento muscular e ser importante ativador de várias enzimas (FRANCO, 1997). A quantidade de cálcio contida nos tecidos dos pescados pode chegar a 45 mg/kg, sendo que as necessidades diárias variam de 0,8 a 1,0 g/dia. (BELITZ & GROSCH, 1988).

O metabolismo do fósforo acha-se intimamente ligado ao do cálcio, sendo um mineral amplamente distribuído em todas as células, fluidos orgânicos e alimentos naturais (WAITZBERG et al., 1990). Seu teor no organismo humano corresponde a cerca de 1% do peso corporal, sendo que 80% desse teor encontram-se associados ao cálcio no esqueleto e nos dentes, 9% dos músculos e 1% no sistema nervoso (FRANCO, 1997). O teor de fósforo presente na carne de pescado, pode alcançar 1700 mg/kg (BELITZ & GROSCH, 1988). As necessidades diárias de fósforo no organismo está entre 0,8 a 1,2 g/dia (FRANCO, 1997).

Apesar de ser pequeno o teor de iodo no organismo humano, ele é um elemento essencial a diversas funções bioquímicas, achando-se intimamente associado à glândula tireóide (KRAUSE & MAHAN, 1985). O total de iodo no organismo humano é de cerca de 20 a 50 mg, estando distribuído no organismo da seguinte forma: 50% nos músculos; 20% na tireóide; 10% na pele, 6% no esqueleto e 14% espalhados em outros tecidos endócrinos e no sistema nervoso central (FRANCO, 1997). São relativamente ricos em iodo as algas, os peixes, crustáceos e moluscos marinhos (FRANCO, 1997). A necessidade diária do iodo na dieta humana é de 100 a 200 µg/dia (BELITZ & GROSCH, 1988).

O magnésio é abundante nas células, sendo um importante ativador de muitos sistemas enzimáticos, na transferência do fósforo, na contração muscular e na transmissão nervosa, sendo essencial para a estabilidade estrutural dos ácidos nucleicos (DAN et al, 1990). Como componente e ativador de numerosas enzimas, o magnésio é um elemento vital, sendo assim, sua deficiência produz graves alterações (FRANCO, 1997). A necessidade diária de magnésio é de 300 a 350 mg/dia e a quantidade de magnésio na carne de pescados pode alcançar até 240 mg/kg (BELITZ & GROSCH, 1988).

O sódio é um elemento muito importante para as funções orgânicas. Seu principal papel está em regular a pressão osmótica dos líquidos extracelulares, além de ativar enzimas (WAITZBERG et al., 1990). O consumo de sódio varia de 1,7 a 6,9 g/dia e a necessidade diária de um adulto pode alcançar o valor médio de 460 mg/dia (BELITZ & GROSCH, 1988). Os alimentos de origem animal são ricos em sódio. Em pescados, a quantidade de sódio pode variar de 300 a 2000 mg/kg (FRANCO, 1997).

O potássio é um elemento mineral importante, exercendo papel relevante como catalisador no metabolismo energético, no metabolismo de carboidratos e no armazenamento do glicogênio e das proteínas. O potássio é encontrado em quase todos os alimentos, sendo os mais ricos e utilizados a batata-inglesa, a banana, aves, carnes e peixes e os menos ricos o arroz, leite, ovos e pêra (FRANCO, 1997). A necessidade média de potássio é da ordem de 782 mg/dia (BELITZ & GROSCH, 1988).

A observação dos teores de indol, histamina e hipoxantina na carne dos pescados é extremamente importante, uma vez que estas substâncias são indicadoras da decomposição ou "apodrecimento" do alimento (JAY, 1994) (SIKORSKI, 1994).

Durante a degradação das proteínas, provocada por enzimas do próprio substrato (alimento) ou microbianas, a molécula protéica é quebrada em peptonas, polipeptídios e ácidos aminados. Os ácidos aminados podem sofrer degradação, sobretudo microbiana, fornecendo metabólitos tais como  $H_2O$ ,  $NH_3$ , indol e a cadaverina, que caracterizam o processo de putrefação (LASZLO et al., 1986).

A hipoxantina é um dos mais úteis indicadores da perda do frescor do alimento e o aumento da sua quantidade na amostra de pescado, se deve tanto à degradação enzimática, quanto à atividade microbiana (SIKORSKI, 1994).

A conservação da carne dos pescados tem sido monitorada através dos conteúdos de aminas biogênicas, os quais podem estar relacionados à decomposição do alimento (STARUSZKIEWICZ, 1977). As aminas biogênicas são bases orgânicas de baixo peso molecular que possuem atividade biológica, algumas delas com importantes papéis fisiológicos em animais e humanos. No entanto, quando ingeridas em grandes quantidades podem levar à uma intoxicação (HALÁSZ et al, 1994).

A histamina é a mais importante das aminas (BARANOWSKI et al, 1990) (HALÁSZ et al, 1994) (BARBOSA et al, 1995) e é formada pela degradação microbiana da histidina (MIDDLEBROOKS et al, 1988) (VIDAL-CAROU et al, 1990) (HALÁSZ, 1994).

A presença de quantidades significativas de histamina, é prova evidente da decomposição do pescado. O pescado fresco adequadamente refrigerado, contém baixa quantidade de histamina (SIKORSKI, 1994), ou seja, dentro do limite de 10 a 20 mg/100 g de amostra (GLÓRIA & SOARES, 1993).

A uréia é um composto orgânico simples contendo nitrogênio. Altas ingestões de uréia podem causar intoxicação, cujas manifestações são falta de coordenação muscular, convulsões,

etc. A uréia também provoca alterações no que diz respeito à palatabilidade dos alimentos, inclusive pescados (CONSIDINE & CONSIDINE, 1982)

### **2.2.3 Análise Sensorial**

A análise sensorial é uma ciência multidisciplinar, na qual são utilizados julgadores humanos que fazem uso dos sentidos da visão, olfato, gosto, tato e audição para medir as características sensoriais e a aceitação dos produtos alimentícios (MORI, 1988) (WATTS et al, 1992).

As propriedades sensoriais, tais como a cor, odor, sabor, textura e aparência, são atributos dos alimentos detectados por meio dos cinco sentidos humanos (ANZALDUÁ-MORALES, 1994).

A avaliação sensorial foi desenvolvida durante a 2<sup>a</sup> Guerra Mundial diante da necessidade de estabelecer as razões que faziam as tropas rejeitarem um grande volume de ração de campanha. O fato parecia insólito e inesperado pois as dietas estavam perfeitamente balanceadas e cumpriam as necessidades nutricionais dos usuários. Para descobrir o motivo dessa rejeição, foram realizadas entrevistas que, analisadas cuidadosamente, permitiram concluir que essa rejeição ocorreu em função de uma deterioração em maior ou menor grau, de algumas ou de todas as características ou atributos de qualidade. Com isso, foi possível postular hipóteses para determinar as causas que produziram a deterioração, observando-se que estas poderiam vir da matéria-prima, ou do processo de elaboração, ou ainda do enlatamento, ou do armazenamento (EMBRAPA, 1991).

Na Europa, a avaliação sensorial é uma prática milenar nas indústrias de bebidas - cervejas, vinhos e destilados. No Brasil, a análise sensorial iniciou-se em 1954 nos laboratórios de degustação do Instituto Agrônomo de Campinas, devido à necessidade de classificar a qualidade do café brasileiro (TEIXEIRA, 1997).

A análise sensorial é utilizada para (TEIXEIRA, 1997):

- avaliar e selecionar matérias primas;
- estudar os efeitos de diferentes tipos de processos tecnológicos;
- estudar a estabilidade durante a armazenagem;
- avaliar a qualidade do produto;
- correlacionar análise física x química;
- estudar a percepção humana frente aos atributos de um alimento;
- determinar a reação dos consumidores;
- inspecionar o produto terminado, antes, durante e depois do envase ou acondicionamento;
- determinar a vida útil de um produto;
- avaliar os testes de envelhecimento acelerado, ou em condições adversas, prever as consequências que estas situações podem ocasionar à qualidade organolética do produto.

De acordo com a Sensory Evaluation Division (IFT, 1981), a análise sensorial pode ser aplicada ainda para:

- desenvolver novos produtos;
- melhorar produtos já existentes;
- reduzir custos de produtos;

- seleção de provadores e treinamento.

A complexidade do estudo sensorial em alimentos, está relacionada às variações existentes entre cada provador, assim como entre os produtos alimentícios a serem avaliados (TEIXEIRA et al, 1987).

Existem vários métodos ou testes sensoriais baseados nas respostas aos estímulos sensoriais do "painel de avaliação sensorial" (EMBRAPA, 1991). Dentre estes métodos encontram-se os testes de escala e categorias e os testes analíticos (TEIXEIRA et al, 1987).

Os testes de escala e categorias são utilizados principalmente em testes laboratoriais nas fases iniciais de desenvolvimento de novos produtos, modificações de formulações ou alterações de processos, bem como, em testes de aceitação de produtos por consumidores. Um exemplo deste método são as escalas hedônicas, onde são estabelecidas categorias sucessivas de respostas em termos de "gostar" e "não gostar" da amostra (IFT, 1981).

Os testes analíticos são assim denominados porque discriminam, descrevem e quantificam as informações à respeito da característica sensorial que está sendo avaliada (TEIXEIRA et al, 1987). Dentre os testes analíticos encontra-se o teste de análise descritiva quantitativa - Perfil de Características (ABNT, 1998). Com a utilização do método de perfil de características, é possível determinar pequenos graus de similaridades ou diferenças, assim como obter informações acerca da impressão geral do produto (MONTEIRO, 1984) (POWERS, 1984). Este método, através de pontuação, identifica e quantifica nos alimentos, as propriedades sensoriais de aparência, cor, odor, sabor e textura (ABNT, 1998). Para a construção do perfil de características, TEIXEIRA et al (1987), recomenda o uso de uma escala cuja pontuação varia de 1 a 5, onde 1 representa péssimo, 2 = ruim, 3 = bom, 4 = muito bom e 5 = excelente. Nesta escala, o atributo sensorial para o qual são conferidas notas abaixo de 3, encontra-se na região de rejeição do teste.

### **2.2.3.1 Fatores que Influenciam a Análise Sensorial**

Boas medidas sensoriais requerem que os provadores sejam observados como medidas instrumentais, algumas vezes variáveis com o tempo e muito propensos a erros. Para minimizar a variabilidade e os erros, deve-se entender que fatores fisiológicos e psicológicos podem influenciar a percepção sensorial (EMBRAPA, 1991).

Os fatores fisiológicos são:

- Adaptação - é um decréscimo ou mudança de sensibilidade a um determinado estímulo como resultado de uma exposição contínua a um determinado estímulo ou a um similar.
- Intensificação ou supressão - envolve a interação do estímulo apresentado simultaneamente como misturas. Na intensificação, o efeito da presença de uma substância aumenta a intensidade de percepção de uma segunda substância. No sinergismo, a intensidade percebida da mistura é maior do que a soma das intensidades dos componentes. Na supressão, o efeito da presença de uma substância diminui a intensidade percebida de duas ou mais substâncias.

Os fatores psicológicos são:

- Erro de expectativa - acontece quando se fornece uma informação junto à amostra, disparando uma idéia pré-concebida. Este tipo de erro pode destruir a validade do teste sensorial e pode ser evitado mantendo secreta a fonte das amostras e não dando aos provadores qualquer informação detalhada durante os testes.
- Erro de hábito - resulta da tendência que os provadores têm de dar a mesma resposta quando uma série de estímulos aumentam ou decrescem lentamente. Isso pode ser evitado variando os tipos de produtos ou apresentando na série de testes, amostras monitoras.
- Erro de estímulo - esse tipo de erro acontece quando não se toma cuidado com efeitos como a cor do recipiente que pode influenciar o provador, ou mesmo quando os alimentos ou bebidas não são servidos em recipientes adequados.

- Erro lógico - ocorre quando duas ou mais características das amostras estão associadas na mente dos provadores. Um exemplo é o da cerveja escura, caracterizada por um sabor mais forte. Para minimizar esse erro, manter as amostras uniformes e mascarar as diferenças através do uso de recipientes e lâmpadas coloridas, etc.
- Efeito halo - é observado quando mais do que um atributo de uma amostra é avaliado, sendo que as avaliações tendem a influenciar uma à outra. Por exemplo, quando vários aspectos do sabor estão sendo avaliados uma avaliação geral da amostra pode produzir resultados diferentes do que quando cada atributo é avaliado separadamente.
- Efeito de contraste - a apresentação de uma amostra de boa qualidade antes de uma de má qualidade, pode fazer com que a amostra receba uma nota mais baixa do que se tivesse sido apresentada monadicamente.
- Efeito de contaminação - consiste em graduar uma amostra de qualidade média com a qualidade daquelas que a acompanham.
- Efeito de posição - graduar a primeira amostra como melhor e a última como pior.
- Efeito de convergência - graduar uma amostra “boa” como mais baixa, quando precedida por uma ruim, do que quando precedida por outra boa amostra.
- Erro de tendência central - amostras colocadas perto do centro de uma série de amostras tendem a serem preferencial do que as últimas.

### **2.2.3.2 O Futuro da Análise Sensorial na Indústria Alimentícia**

Para prever o futuro da análise sensorial na indústria de alimentos, é preciso olhar para as tendências de hoje e avaliar seu impacto no futuro. Mudanças demográficas, na tecnologia e no ambiente industrial, induzirão a alterações na avaliação sensorial e no trabalho dos

profissionais desta área. Algumas previsões a cerca do futuro da análise sensorial são descritas à seguir (TEIXEIRA, 1997).

- 1) Fragmentação dos consumidores: fatores populacionais, influências étnicas, envelhecimento, novos hábitos alimentares;
- 2) Possibilidade de novos alimentos;
- 3) Desenvolvimento de fragâncias;
- 4) Tecnologias a curto prazo: uso de robôs inteligentes como simuladores de mastigação, uso da Inteligência Artificial para melhor aproveitar os dados sensoriais;
- 5) Fornecedores externos: aumento de consultores sensoriais.

# CAPÍTULO III

## INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

### 3.1 INTRODUÇÃO

Inteligência Artificial (IA) é uma área da ciência da computação que une técnicas de programação na tentativa de imitar o raciocínio humano (BONABEAU et al, 1999).

A inteligência artificial é um campo multidisciplinar que encontra os seus fundamentos em diversas áreas, incluindo a filosofia, a psicologia, a linguística e naturalmente, a ciência da computação (COELLO, 1997). Da mesma forma que a filosofia e a psicologia, a inteligência artificial procura entender a inteligência, porém em adição a isso, procura também construir entidades inteligentes.

Existem diversas definições para inteligência artificial. RUSSEL & NORVIG (1995) enquadram as diversas definições de IA em quatro categorias relacionadas à construção de:

- sistemas que pensam como humanos,
- sistemas que agem como humanos,
- sistemas que pensam racionalmente;
- sistemas que agem racionalmente.

Embora às vezes conflitantes, todas as categorias citadas acima ofereceram importantes contribuições para a área da IA.

A inteligência artificial possui três objetivos principais (DE RÉ, 1995):

- a análise teórica de possíveis explicações eficazes de comportamento inteligente;
- a explicação das capacidades humanas;
- a construção de máquinas inteligentes.

A área da inteligência artificial engloba diversas técnicas computacionais, ou paradigmas tais como sistemas especialistas, raciocínio baseado em casos, redes neurais artificiais, algoritmos genéticos, programação evolutiva, lógica difusa e agentes inteligentes, dentre outros.

Neste capítulo, serão abordadas as técnicas de Sistemas Especialistas, Redes Neurais e como elas podem ser utilizadas em conjunto, formando os chamados Sistemas Híbridos.

### **3.2 SISTEMAS ESPECIALISTAS**

Nos início dos anos 70, pesquisadores em IA notaram que para resolver determinados problemas complexos era requerido conhecimento específico sobre o domínio de aplicação de interesse, em lugar do conhecimento amplo e geral que se aplica a inúmeros domínios (COELLO, 1997). Surgem então, os primeiros sistemas especialistas.

Sistemas especialistas são sistemas de informação que contêm dados ou sentenças descritivas sobre determinado ramo da atividade humana como por exemplo, diagnóstico médico, previsão financeira, previsão do tempo, consultas sobre arqueologia, línguas, etc. (COELLO, 1997). Um sistema especialista engloba o conhecimento de um ou mais especialistas humanos, em forma de um *software* que pode ser operado em uma variedade de computadores desde o de grande porte até os PC's (JACKSON, 1999).

As informações são armazenadas em forma de regras ou predicados da lógica simbólica ou em forma de sentenças descritivas do tipo *IF, THEN, ELSE*; formando uma base de dados do conhecimento e são escolhidas e usadas para a resolução de um problema (COELLO, 1997).

É possível incorporar novas informações ao sistema especialista e, através do cruzamento e combinações das informações existentes, consegue-se responder a perguntas ou analisar situações cada vez mais complexas (GIARRATANO & RILEY, 1998).

A essência de um sistema especialista pode se tornar mais aparente se alguns atributos básicos se fizerem presentes tais como (CASTILHO, 1998):

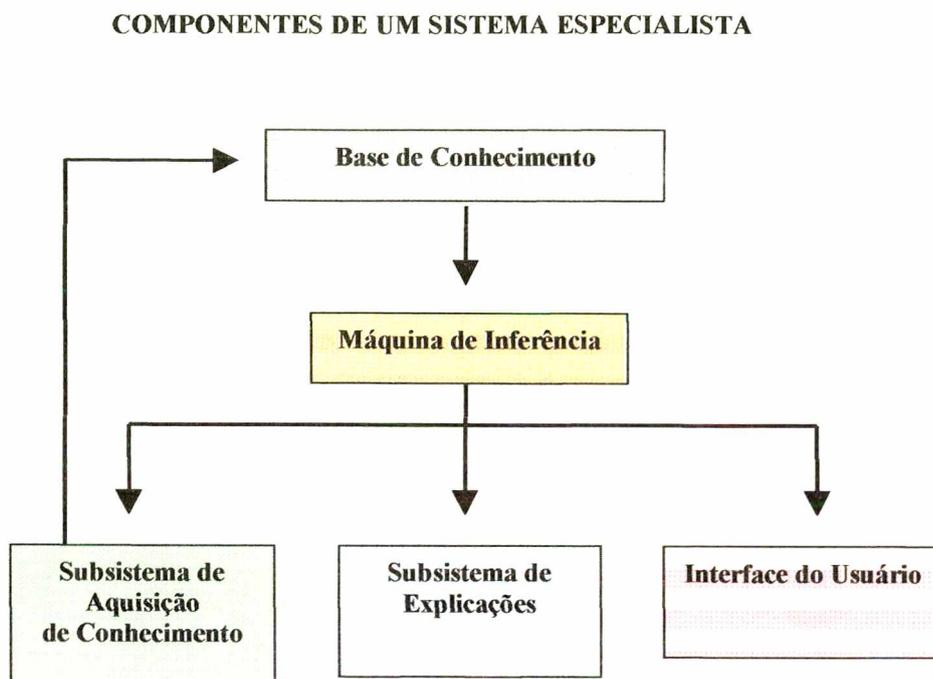
- ter separado o conhecimento específico do especialista e a metodologia de solução de problemas;
- a transferência interativa de conhecimentos pode minimizar o tempo necessário para transferir o conhecimento do especialista para uma base de conhecimento;
- a estratégia de controle pode ser simples e transparente ao usuário, isto é, o usuário é capaz de compreender e prever os efeitos de adição, alteração e deleção de itens na base de conhecimento.

### **3.2.1 Estrutura de um Sistema Especialista**

A estrutura de um sistema especialista é representada na figura 3.1 e consta de cinco componentes básicos:

- base de conhecimento;
- máquina de inferência;
- subsistema de aquisição de conhecimento;
- subsistema de explicações;

- interface do usuário.



**Figura 3.1** Componentes básicos de um sistema especialista

A base de conhecimento contém o conhecimento necessário ao entendimento, formulação e solução de problemas. A base de conhecimento é incorporada a um programa de computador através de técnicas para a representação de conhecimento (GIARRATANO & RILEY, 1998).

A máquina de inferência é o mecanismo que procura as respostas na base de conhecimento. Busca as regras necessárias a serem avaliadas e ordena-as de uma maneira lógica. Funciona como um “supervisor”, que dirige as operações sobre o conhecimento contido no sistema especialista. Uma máquina de inferência toma decisões e faz julgamentos baseada em dados simbólicos contidos na base de conhecimento (FERNANDES, 1997).

O subsistema de aquisição de conhecimento é usado para alimentar a base de conhecimento. Nele podem ser introduzidos novos conhecimentos e antigos conhecimentos podem ser alterados ou eliminados (JACKSON, 1999).

O subsistema de explicações é responsável por justificar as conclusões tiradas pelo sistema especialista. Ele permite explicar ao usuário, porque determinada questão foi formulada pelo sistema especialista, como uma conclusão foi obtida, porque determinada alternativa foi rejeitada e qual é o plano a ser seguido para alcançar a solução, indicando por exemplo, o que falta ser estabelecido antes que um diagnóstico final seja determinado (COELLO, 1997).

A interface do usuário exibe toda a transação de informações que ocorrem durante a consulta. Pode ser em forma de *memus*, perguntas ou até mesmo ícones. Esta interface também exibe todas as respostas, perguntas e resultados das consultas (FERNANDES, 1996).

### **3.2.2 Fases de Desenvolvimento de um Sistema Especialista**

As fases de desenvolvimento de um sistema especialista são:

- Definição do problema: nesta fase é estabelecido o escopo do sistema, ou seja, qual a área de abrangência do mesmo;
- Aquisição do conhecimento, uma fase fundamental na construção do sistema especialista. Esta fase depende do engenheiro do conhecimento e do especialista;
- Motor ou máquina de inferência, que representa a forma de manipulação do conhecimento;
- Implementação, que é a fase na qual formula-se as regras que englobam o conhecimento;
- Aprendizagem.

### 3.2.2.1 Aquisição do Conhecimento

A tarefa mais crítica e que mais consome tempo durante o processo de desenvolvimento de um sistema especialista, é a aquisição de conhecimento. Este é um processo realizado entre o engenheiro do conhecimento e o especialista; podendo ser um processo complicado até se chegar a uma interação satisfatória entre o engenheiro do conhecimento e o especialista.

O especialista consultado deverá ter experiência prática e, principalmente, estar comprometido e motivado com o projeto. Algumas características particularmente desejáveis ao especialista são: capacidade de expressar e transmitir seus conhecimentos a um não-especialista, paciência, disciplina, dentre outras (DEBENHAM, 1998).

O engenheiro do conhecimento, responsável pela extração do conhecimento e transformação deste em base de regras, segundo FERNANDES (1996), deve ter uma educação ampla e ser, de forma geral, bem informado.

A aquisição de conhecimento compreende duas atividades principais: (i) elicitación, ou extração propriamente dita do conhecimento e (ii) a representação do conhecimento.

O principal mecanismo empregado na extração do conhecimento é a discussão face a face entre o especialista e o engenheiro do conhecimento que lhe faz perguntas e o observa resolvendo problemas.

Em alguns Sistemas Especialistas, a representação do conhecimento é feita através de regras, sendo chamados sistemas baseados em regras. Em outros sistemas, o conhecimento pode estar representado através de outros esquemas de representação, como as redes semânticas ou *frames* (FERNANDES, 1997).

A representação do conhecimento através de regras, é bastante utilizada nos diversos Sistemas Especialistas existentes, onde o conhecimento é representado por pares condição-ação, na forma de regras *IF – THEN* (JACKSON, 1999).

### 3.2.3 Benefícios, Problemas e Limitações Trazidos pelo Uso de Sistemas Especialistas

Da mesma forma que outras aplicações computacionais, os sistemas especialistas costumam estar associados a aumento de produtividade, na medida em que são mais rápidos que seres humanos na tomada de decisão e a um padrão de qualidade uniforme, pois fornecem sugestões consistentes e baixa taxa de erros (COELLO, 1997).

Um benefício normalmente destacado pelo uso de sistemas especialistas é a captura e retenção da experiência do especialista. Capturando experiência, reduz-se a dependência de um especialista para a resolução de problemas (FERNANDES, 1997).

Entre as promessas futuras dos sistemas especialistas, está a capacidade de resolver problemas cuja complexidade excede as habilidades humanas, particularmente quando o escopo do conhecimento necessário é muito maior do que aquele detido por qualquer indivíduo (COELLO, 1997).

Se os sistemas especialistas oferecem diversas vantagens, seu uso esbarra também em algumas dificuldades e limitações. Entre elas, pode-se destacar (COELLO, 1997):

- A perícia/conhecimento, é difícil de ser extraída do especialista;
- Diferentes especialistas podem ter visões diferentes de uma mesma situação;
- Sistemas especialistas funcionam bem apenas em problemas específicos;
- A maioria dos especialistas não têm meios independentes de verificar se as conclusões fornecidas pelo sistema especialistas são razoáveis;
- Sistemas especialistas podem não ser capazes de chegar a uma conclusão;

- Sistemas Especialistas, assim como especialistas humanos, podem fazer recomendações erradas.

### **3.2.4 Análise de Desempenho de um Sistema Especialista**

Uma vez concluída a implementação de um sistema especialista, inicia-se a fase de testes e análise de desempenho. O sistema é testado para determinar se as regras e objetos estão encadeados apropriadamente e, se de fato, todas as regras presentes na base de conhecimento são realmente necessárias. Concluídos os testes, analisa-se o desempenho do sistema. Uma das principais formas de se avaliar um sistema especialista é feita com base em uma “Matriz Confusão” (JACKSON, 1999)

Originária da psicologia, a “Matriz Confusão” é construída para se determinar a relação entre as respostas corretas e aquelas que chegaram próximas ao acerto. No caso dos sistemas especialistas, determina-se a relação entre as respostas do especialista e as do sistema, fornecendo um limiar de erro através do qual verifica-se o desempenho geral do sistema, considerando-o eficiente ou não (FERNANDES, 1997).

### **3.2.5 Sistemas Especialistas Difusos**

Os fatos, relações, julgamentos, opiniões e regras de inferência contidos dentro da base de conhecimento do Sistema Especialista, usualmente possuem graus de imprecisão e incerteza. Então, é desejável ao Sistema Especialista ser capaz de como o especialista humano, lidar com inferências de um dado impreciso e heurísticas vagas (FERNANDES, 1996). Sendo assim, o gerenciamento da incerteza no projeto de um Sistema Especialista é a chave para o sucesso da

modelagem do processo de raciocínio, e a utilidade da teoria dos conjuntos difusos para este propósito tem sido e continua sendo extensivamente estudada (LEONDES, 1998).

Um benefício muito importante do uso de Sistemas Especialistas Difusos é a habilidade de codificar o conhecimento diretamente em uma forma muito próxima da maneira como os especialistas pensam à respeito de um problema. Os sistemas convencionais forçam os especialistas a fornecerem valores SIM/NÃO para as variáveis, levando a uma multiplicação desnecessária de regras. Além disso, esta abordagem convencional inibe a capacidade do especialista em articular uma solução para um problema complexo. Já que o Sistema Difuso captura o conhecimento de maneira muito próxima da realidade, o processo de aquisição do conhecimento é mais fácil e menos ambíguo (TURKSEN, 1991).

Os modelos difusos requerem menos regras do que os sistemas convencionais e estas regras estão bem próximas da maneira como o conhecimento é expresso em linguagem natural. Isto traz dois importantes benefícios: (i) um modelo pode ser modificado com pouca margem de erro, (ii) a relativa simplicidade de um modelo difuso significa que os problemas lógicos e estruturais podem ser localizados e solucionados em pouco tempo (FERNANDES, 1996).

### **3.2.6 Utilização dos Sistemas Especialistas**

Segundo PEREIRA (1995), os sistemas especialistas podem ser utilizados com as seguintes finalidades:

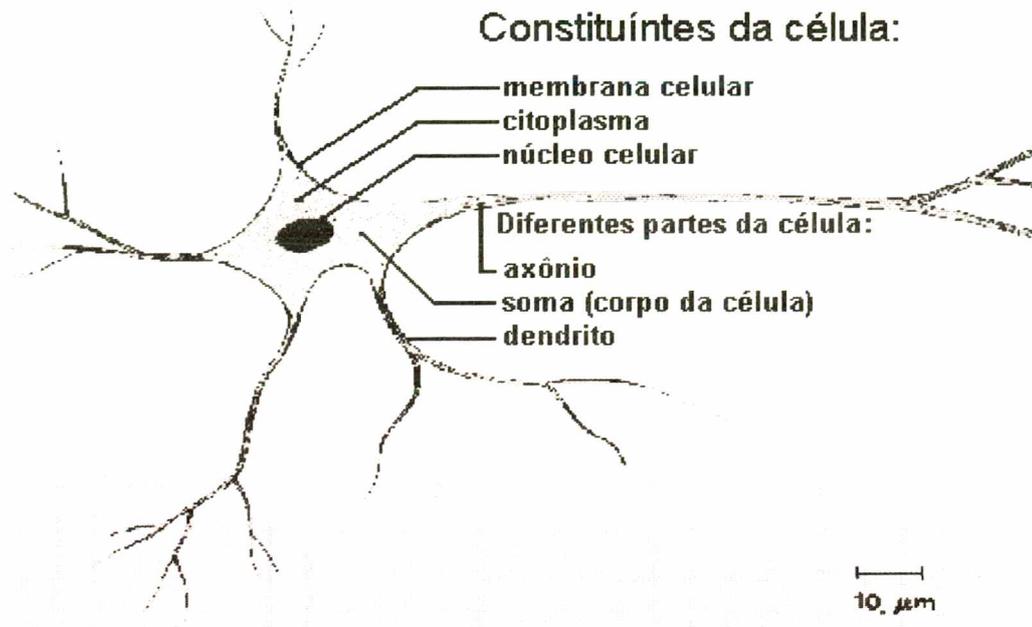
- Interpretação: analisar e interpretar certas informações (por exemplo, imagens de satélites em sensoriamento remoto);
- Predição ou diagnóstico: inferir as consequências de uma dada situação inicial (por exemplo, previsão do tempo);

- Síntese: configurar sistemas ou objetos à partir de um conjunto de especificações (como por exemplo, configuração de aparelhos utilizados em cromatografia iônica);
- Planejamento: estabelecer uma sequência de ações que atinja determinada meta (por exemplo, planejamento de trajetórias para robôs);
- Monitoramento: acompanhar a evolução de determinado sistema (por exemplo, supervisão de processos industriais);
- Correção de falhas: propor medidas corretivas para falhas em sistemas (por exemplo, manutenção de aeronaves);
- Instrução: propor problemas e acompanhar sua solução pelo treinamento (por exemplo, o treinamento de operadores de processos);
- Controle: impor ao sistema certo comportamento desejado (por exemplo, controle de processos industriais).

Existem muitas aplicações de sistemas especialistas nas mais diversas áreas, tais como: Agricultura (MODENENSE et al, 1995) (JONH, 1996), Medicina (AMO et al, 1995) (DA SILVA & OLIVEIRA, 1996), Odontologia (SWIATNICKI, 1996) (FERNANDES, 1997), Química (MULHOLLAND et al, 1994) (FERNANDES, 1996), dentre outras.

### **3.3 REDES NEURAIAS ARTIFICIAS**

O sistema nervoso é formado por um conjunto extremamente complexo de células, os neurônios. Eles têm um papel fundamental na determinação do funcionamento e comportamento do corpo humano e do raciocínio. Os neurônios são formados pelos dendritos, que são um conjunto de terminais de entrada; pelo corpo central e pelo axônio, que é um longo terminal de saída (GORNI, 1996) (Figura 3.2).



**Figura 3.2** Estrutura básica de um neurônio humano

O vasto poder de processamento inerente aos neurônios biológicos inspiraram o estudo de sua estrutura, na busca para organizar modelos de computação artificial semelhantes a eles (RAO, 1995). Redes Neurais Artificiais, modelos conexionistas, processadores distribuídos paralelos e neuro-computadores (HAYKIN, 1999), são sinônimos para uma área que cobre o modo de criar e organizar neurônios sintéticos para resolver problemas de mesmo grau de dificuldade como os encontrados pelo cérebro humano, tais como características não-algorítmicas, informações incompletas, complexas ou com ruído (RAO, 1995).

Redes neurais artificiais são técnicas computacionais que apresentam um modelo matemático inspirado na estrutura neural de organismos inteligentes e que adquirem conhecimento através da experiência (CABRAL, 1996).

Na década de 50, surgiu um dos principais modelos de redes neurais artificiais, o Perceptron, que despertou grande interesse devido à sua capacidade de aprendizado e adaptação. Porém, nessa época, não havia tecnologia de *hardware* disponível para dar continuidade ao desenvolvimento dos computadores e dos próprios modelos de redes neurais (FILHO, 1996).

O propósito de uma rede neural artificial é resolver problemas cuja natureza possui duas importantes características (RAO, 1995):

- a solução destes problemas é não-algorítmica;
- os dados fornecidos são complexos, incompletos ou sofreram algum tipo de interferência (ruído).

Estes tipos de problemas são resolvidos tradicionalmente pelo cérebro humano, até mesmo com uma certa facilidade, como por exemplo, o reconhecimento de um objeto em uma estante, ou a associação de um tom de voz a uma pessoa (CABRAL, 1996).

Uma rede neural artificial se parece com a mente humana em dois aspectos (HAYKIN, 1999):

- conhecimento é adquirido pela rede através do processo de aprendizagem;
- os pesos das conexões entre os neurônios, conhecidos como sinapses, são usados para armazenar o conhecimento.

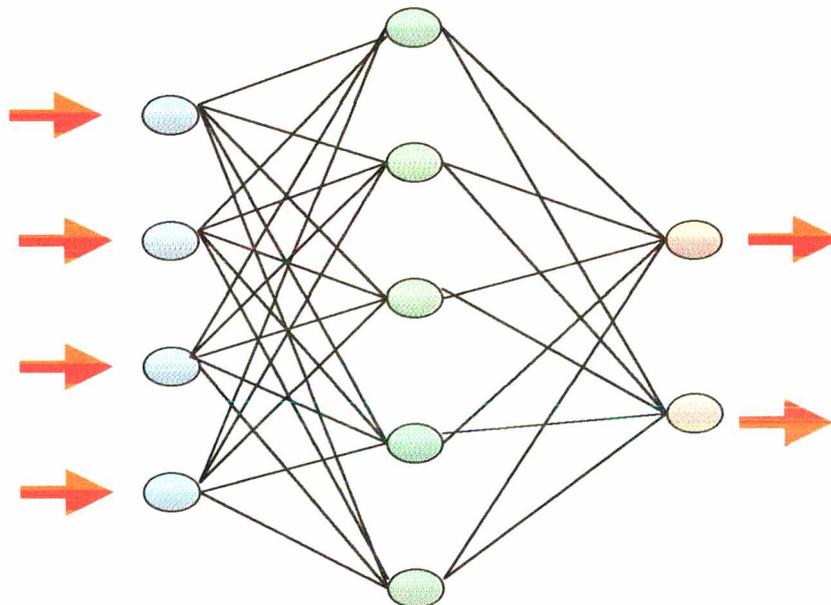
O procedimento utilizado para representar o processo de aprendizagem, comumente chamado algoritmo de aprendizagem, tem a função de modificar os pesos das conexões da rede buscando alcançar um objetivo inicial projetado (TODESCO, 1995).

O processo de aprendizado de uma rede neural pode ser supervisionado ou não supervisionado (FAUSETT, 1995) (HAYKIN, 1999):

- aprendizado supervisionado, quando é utilizado um agente externo que indica à rede, durante a fase de treinamento, a resposta desejada para determinado padrão de entrada;
- aprendizado não –supervisionado, quando não existe um agente externo indicando a resposta desejada para os padrões de entrada.

### 3.3.1 Estrutura Básica de uma Rede Neural

Um modelo de rede neural artificial consiste de uma rede de neurônios interconectados, relativamente autônomos, dotados de capacidade de processamento. Os modelos normalmente apresentam um conjunto de neurônios de entrada, por onde são passadas as informações para a rede; um conjunto de neurônios de saída, que representam os sinais de saída da rede neural e um conjunto de neurônios intermediários (Figura 3.3) (FAUSETT, 1995).



**Figura 3.3** Esquema básico de uma rede neural artificial

Os neurônios são ligados entre si por conexões, cada um com um peso ( $P$ ) associado, que corresponde à influência do neurônio no processamento do sinal de saída. Pesos positivos correspondem a fatores de reforço do sinal de entrada, e pesos negativos correspondem a fatores de inibição (HYCONES IT, 1999).

Cada neurônio é capaz de processar um sinal de entrada e transformá-lo em um sinal de saída. Este cálculo é efetuado com base nos sinais conduzidos pelas conexões que chegam até os neurônios e seus pesos (HYCONES IT, 1999).

### 3.3.2 Arquiteturas de Redes Neurais Artificiais

Diversos modelos de redes neurais artificiais foram desenvolvidos para utilização em vários tipos de tarefas tais como classificação de dados, processamento de sinais, reconhecimento de padrões, processamento de imagens, processamento de conhecimento, dentre outros.

Redes neurais artificiais podem ser completamente conectadas, nas quais os neurônios de todas as camadas estão conectadas a todos os neurônios da camada adjacente; ou parcialmente conectadas (TAFNER et al, 1996).

Existem quatro tipos de arquiteturas de redes neurais artificiais (PACHECO, 1996):

- redes *feedforward* de uma única camada;
- redes *feedforward* multicamadas;
- redes recorrentes;
- redes aproximadoras de funções.

### 3.3.3 Redes Neurais Artificiais para Classificação de Dados

Muitas arquiteturas de redes neurais artificiais foram desenvolvidas para solucionar problemas de classificação de dados. Segundo DAYHOHH & OMIDVAR (1997), o reconhecimento de padrões, pode ser visto como o particionamento dos dados representados por pontos em um espaço multidimensional, em regiões indicativas de classes.

Entre as redes neurais com apenas uma camada de neurônio, o Perceptron é o mais empregado. Arquiteturas constituídas de várias camadas, também são bastante utilizadas em processos de classificação, como o Perceptron Multicamadas (SKAPURA, 1996).

Outra arquitetura bastante utilizada, é a do Mapa Auto-organizável de Kohonen (BISHOP, 1995). Com o objetivo particular de classificação de dados, uma extensão dos Mapas Auto-organizáveis de Kohonen, foi desenvolvida: as redes LVQ (*Learning Vector Quantization*) (DANDOLINI, 1997).

As arquiteturas mais utilizadas em problemas de classificação de dados são o Perceptron Multicamadas e a rede RBF (*Radial Basis Function*).

### 3.3.3.1 O Perceptron e o Perceptron Multicamadas (MLP)

No final da década de 50, Rosenblatt, criou uma genuína rede neural artificial de múltiplos neurônios com um simples nível de conexão, capaz de separar linearmente vetores de entrada em classes de padrões através de hiperplanos; e a chamou de Perceptron (KÓVACS, 1996). A figura 3.4 mostra a estrutura de um Perceptron de uma simples camada.

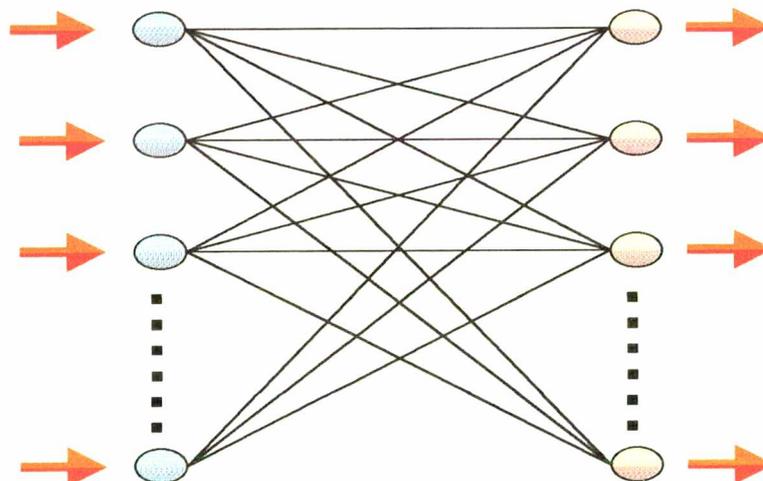
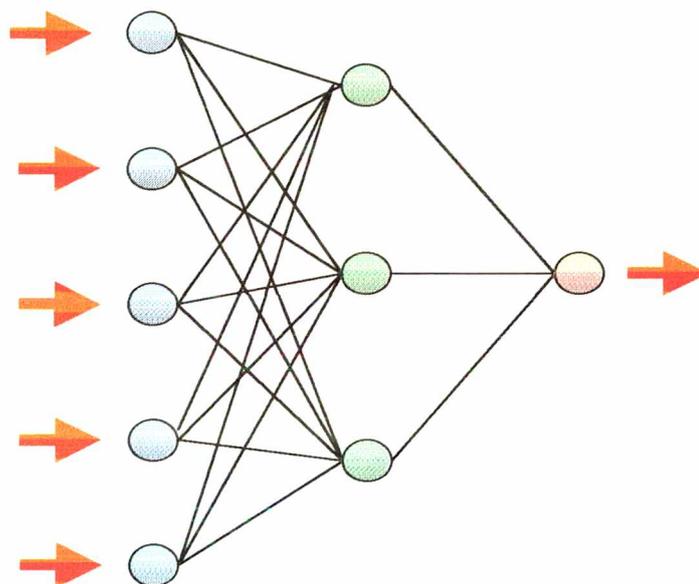


Figura 3.4 Perceptron de uma única camada

O Perceptron representou um grande passo na aplicação de redes neurais artificiais, porém, muitos problemas não podem ser resolvidos com o Perceptron de uma única camada (TODESCO, 1995).

As limitações do Perceptron de uma só camada, na resolução de problemas, levaram ao desenvolvimento do Perceptron Multicamadas (MLP), que em geral, consiste de uma camada de neurônios de entrada, uma ou mais camadas intermediárias de neurônios e uma camada de neurônios de saída. A figura 3.5 ilustra um Perceptron de três camadas.



**Figura 3.5** Perceptron de 3 camadas

O algoritmo *backpropagation* é geralmente usado para treinar um Perceptron multicamadas. Conforme PRINCIPE et al. (1999), o *backpropagation* pode ser visto como uma generalização do método Delta para as redes neurais de múltiplas camadas. O *backpropagation* emprega um método iterativo de gradiente-descendente que busca minimizar o erro quadrado entre a saída desejada e a saída obtida pela rede (FAUSETT, 1995).

Ao se apresentar um determinado padrão de entrada a uma rede neural artificial com algoritmo *backpropagation* não treinada e o seu respectivo padrão de saída, uma saída aleatória é produzida. À partir da saída produzida pela rede, é calculado um erro, representando a diferença entre o valor obtido e o desejado. O objetivo consiste então, em reduzir continuamente o erro, até um determinado valor aceitável. Isto é alcançado pelo ajuste dos pesos entre as conexões dos neurônios, pela aplicação da regra Delta generalizada, que calcula o erro para a camada anterior.

Cada unidade tem seus pesos ajustados de modo a minimizar o erro da rede (FAUSETT, 1995) (MUELLER, 1996).

Assim, é possível identificar duas fases distintas no processo de aprendizagem do algoritmo de treinamento *backpropagation* (FAUSETT, 1995): (i) aquela onde as entradas se propagam entre as camadas da rede, da camada de entrada até a camada de saída e; (ii) aquela em que os erros são propagados na direção contrária ao fluxo de entrada.

Depois que a rede estiver treinada e o erro estiver em um nível satisfatório, ela poderá ser utilizada como instrumento para a classificação de novos dados (CABRAL, 1996). Para isto, a rede deverá ser utilizada apenas no modo progressivo. Ou seja, novas entradas são apresentadas à camada de entrada, são processadas nas camadas intermediárias e os resultados são apresentados na camada de saída, como no treinamento, mas sem retropropagação (HAYKIN, 1999).

Uma limitação do uso do Perceptron multicamadas com algoritmo *backpropagation*, refere-se ao seu tempo de treinamento, que tende a ser muito lento. Algumas vezes, são necessários milhares de ciclos para que a rede convergir a níveis de erros aceitáveis (HYCONES IT, 1999).

É muito difícil definir a arquitetura ideal da rede de forma que ela seja tão grande quanto o necessário para conseguir obter as classificações adequadas, e ao mesmo tempo pequena o suficiente para se ter um treinamento mais rápido (TODESCO, 1995). Não existem regras claras para se definir quantas unidades de processamento (neurônios) devem existir nas camadas intermediárias, ou quantas camadas, ou como devem ser as conexões entre estas unidades.

### **3.3.4 Utilização de Redes Neurais Artificiais**

Existem inúmeras aplicações de Redes Neurais Artificiais, podendo estas terem vários propósitos, tais como:

- análise e processamento de sinais;
- controle de processos;
- robótica;
- classificação de padrões;
- processamento de imagens;
- reconhecimento óptico de caracteres;
- avaliação de créditos, dentre outros.

As Redes Neurais Artificiais têm sido aplicadas em diversas áreas, como por exemplo: Economia (ALMEIDA, 1997), Biologia (TODESCO, 1995)(CABRAL, 1996), Medicina (LEE et al., 1999), (RODRIGUES et al, 1999), Educação Física (FERNANDES et al, 1999), etc.

### **3.4 SISTEMAS HÍBRIDOS**

Nos últimos anos, pesquisadores de IA vêm propondo modelos computacionais baseados em dois ou mais paradigmas, ao invés de apenas um. Estes modelos são chamados sistemas híbridos.

De modo geral, sistemas híbridos inteligentes, são arquiteturas que usam diferentes técnicas de inteligência artificial e seu objetivo principal, é criar uma sinergia pela combinação das vantagens oferecidas por cada uma das técnicas formadoras do sistema híbrido (RODRIGUEZ, 1996).

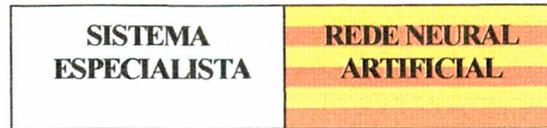
Sistemas híbridos que integram modelos neurais e simbólicos visam duas coisas (PACHECO, 1996):

- conciliar as vantagens de ambas as técnicas em um modelo integrado mais potente do que uma delas sozinha;
- superar as deficiências de uma abordagem com os poderes da outra.

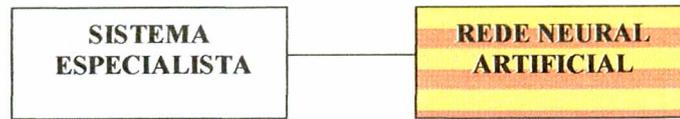
Existem muitas formas de se integrar modelos neurais e simbólicos. Elas são classificadas de acordo com a tarefa executada por cada módulo, sua funcionalidade, arquitetura de processamento e necessidades de comunicação (GOONATILAKE & KHEBBAL, 1995), ou de acordo com a arquitetura usada para implementar o sistema (MEDSKER, 1995) (MEDSKER, 1994).

As diferentes maneiras de se integrar sistemas híbridos estão descritas à seguir (MEDSKER, 1994):

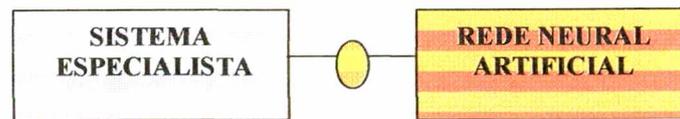
- integração completa, que descreve uma única estrutura que compartilha dados e representação do conhecimento (Figura 3.6);
- forte acoplamento, onde os módulos se comunicam através de uma estrutura de dados existentes na memória dos sistema (Figura 3.7);
- fraco acoplamento, onde módulos separados se comunicam através de arquivos (Figura 3.8);
- transformacional, na qual módulos independentes que não interagem um com o outro, sendo que o sistema inicia-se em um módulo e termina em outro (Figura 3.9);
- *stand alone*, onde não existe integração, ou seja, os módulos agem independentemente um do outro (Figura 3.10).



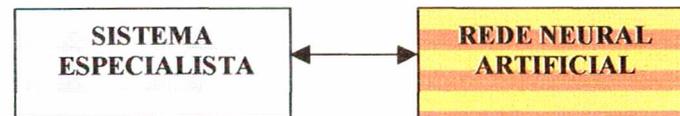
**Figura 3.6** Esquema de um Sistema Híbrido com Arquitetura de Integração Completa



**Figura 3.7** Esquema de um Sistema Híbrido com Arquitetura de Forte Acoplamento



**Figura 3.8** Esquema de um Sistema Híbrido com Arquitetura de Fraco Acoplamento



**Figura 3.9** Esquema de um Sistema Híbrido com Arquitetura Transformacional



**Figura 3.10** Esquema de um Sistema Híbrido com Arquitetura *Stand Alone*

Na maioria dos casos, a aplicação prática determina a arquitetura da integração a ser utilizada.

## **CAPÍTULO IV**

### **DESCRIÇÃO DO SISTEMA PROPOSTO E SUA VALIDAÇÃO**

#### **4.1 INTRODUÇÃO**

O sistema inteligente para auxiliar a avaliação da qualidade de pescados – QUALIPESC (Figura 4.1), descrito à seguir, consta de um sistema especialista difuso desenvolvido com o intuito de auxiliar o processo de avaliação sensorial de pescados e duas redes neurais artificiais, sendo uma direcionada a auxiliar o processo de avaliação da qualidade bioquímica do pescado e outra para auxiliar a avaliação da sua qualidade microbiológica. O sistema especialista difuso e as duas redes neurais artificiais, fornecem respostas individuais que se comunicam com um conjunto de regras, que quando disparadas, fornecem um parecer sobre a qualidade do produto avaliado.



**Figura 4.1** Tela de Abertura do Sistema

Todas as variáveis relacionadas às regras do sistema especialista difuso, bem como sua saída, e as entradas e saídas referentes às redes neurais artificiais, além de variáveis relacionadas ao cadastro da empresa produtora e seus respectivos produtos, estão armazenadas em um banco de dados.

Através de gráficos e relatórios fornecidos pelo sistema, o produtor pode acompanhar de modo detalhado, a evolução da qualidade de seu produto; além de poder realizar consultas aos dados armazenados pelo sistema, em seus diversos módulos.

Para o desenvolvimento do QUALIPESC, utilizou-se a *shell* Expert Sinta 1.1b, a ferramenta *MATLab for Windows* 4.0 e o ambiente de programação Delphi 3.0.

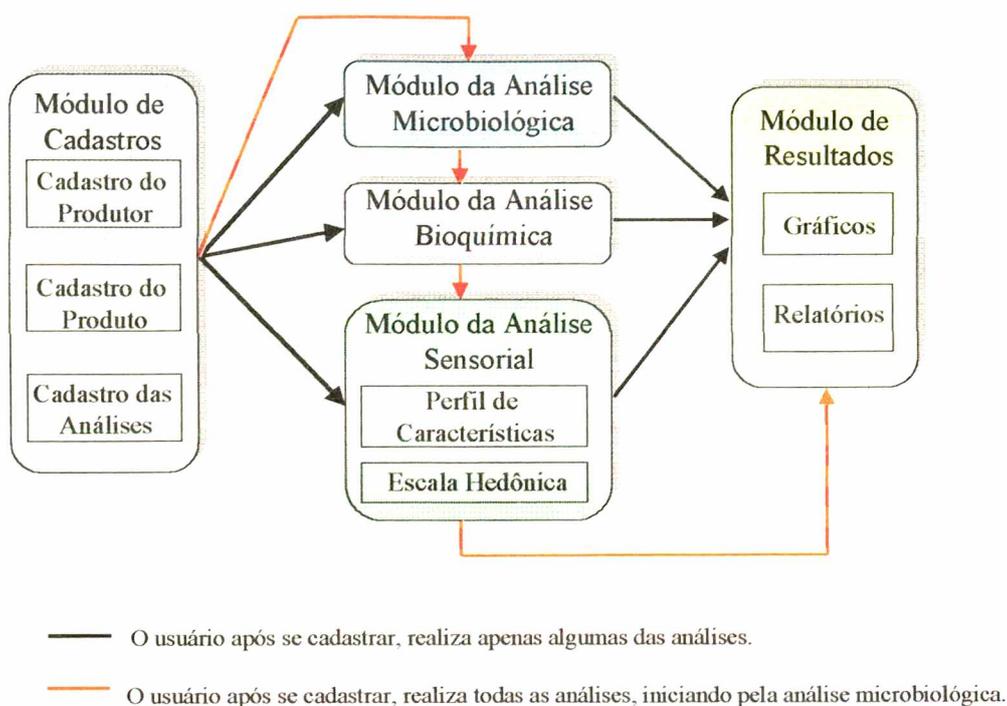
A escolha da *shell* Expert Sinta deu-se pelo fato da mesma apresentar uma interface bastante amigável para o desenvolvimento de sistemas especialistas, além de sua facilidade de comunicação com o Delphi e conseqüentemente, com um banco de dados. Esta facilidade de comunicação deve-se ao fato da *shell* Expert Sinta ter sido desenvolvida em Delphi e possuir uma biblioteca de componentes já pronta para esta comunicação.

Apesar de existirem *shells* que já trabalham diretamente com conjuntos difusos, como por exemplo o Fuzzy CLIPS, a manipulação de bancos de dados por estas *shells* é bastante complicada, levando muitas vezes, a resultados insatisfatórios. Uma vez que o Expert Sinta não trabalha com conjuntos difusos, as operações com estes conjuntos no desenvolvimento deste sistema, foram implementadas no próprio Delphi. A ferramenta MATLAB foi escolhida devido aos seus recursos para o desenvolvimento de redes neurais artificiais.

## 4.2 DESCRIÇÃO DO QUALIPESC

O QUALIPESC é um sistema híbrido inteligente, que utiliza a arquitetura de Fraco Acoplamento. A principal vantagem desta arquitetura é sua facilidade de manutenção e de implementação, uma vez que cada módulo do sistema pode ser desenvolvido separadamente em muitas das várias *shells* disponíveis comercialmente (PACHECO, 1996).

À seguir será descrita a arquitetura do sistema, estruturada de acordo com a figura 4.2



**Figura 4.2.** Estrutura do Sistema QUALIPESC.

#### 4.2.1. Módulo de Cadastros

O módulo relativo aos cadastros divide-se em três sub módulos: (i) sub-módulo de cadastro do produtor; (ii) sub-módulo de cadastro do produto; (iii) sub-módulo de cadastro de análises; descritos à seguir.

##### 4.2.1.1 Sub-módulo Cadastro do Produtor

O sub-módulo Cadastro do Produtor solicita ao usuário, o fornecimento de informações relativas ao produtor: nome da empresa, CGC, endereço, bairro, cidade, UF, CEP, *e-mail*,

telefone e fax. O usuário pode também alterar, excluir ou consultar dados já fornecidos. As consultas podem ser feitas através de duas chaves: nome da empresa e cidade; ou pela combinação de ambas (figura 4.3).

The screenshot shows a Windows-style application window titled "Sistema Inteligente para Avaliação de Pescados - [Quali Pesc]". The menu bar includes "Iniciar", "Itens", "Cadastro", "Opções", and "Ajuda". The main window has a tabbed interface with "Produtor" selected. The form contains the following fields and values:

| Nome da Empresa |  | CGC        |          |
|-----------------|--|------------|----------|
| Dágua           |  | 1212154782 |          |
| Endereço        |  | Bairro     |          |
| Rua das Acácias |  | Váuo       |          |
| Cidade          |  | UF         | CEP      |
| Florianópolis   |  | SC         | 88000000 |
| E-Mail          |  | Telefone   | Fax      |
|                 |  | 2323093    |          |

At the bottom of the form are two buttons: "OK" and "Cancelar".

**Figura 4.3** Tela de Cadastro do Produtor

#### **4.2.1.2 Sub-módulo Cadastro do Produto**

O sub-módulo Cadastro do Produto solicita ao usuário, o fornecimento de informações relativas ao produto: produtor, nome do produto, processo de industrialização, procedência e número do lote. O usuário pode também alterar, excluir ou consultar dados já fornecidos. As consultas podem ser feitas através de três chaves: produtor, produto e processo de industrialização, ou pela combinação das três (figura 4.4).

| Produtor                     | Nome do Produto |                |
|------------------------------|-----------------|----------------|
| Dágua                        | Mexilhão        |                |
| Processo de Industrialização | Procedência     | Número do Lote |
| Congelado                    | Jaraguá do Sul  | 032-99         |

OK Cancelar

**Figura 4.4** Tela de Cadastro do Produto

#### **4.2.1.3 Sub-módulo Cadastro de Análises**

Através deste módulo, o usuário pode acessar diversas informações relacionadas a um determinado produto selecionado: data de fabricação, data da análise, resultado da análise microbiológica, resultado da análise bioquímica, resultado do perfil de características e resultado da escala hedônica (figura 4.5). As consultas podem ser feitas através de três chaves: produto, data da análise, data de fabricação, ou pela combinação destas três chaves.

Produto: Peixe  
 Data de Fabricação: 01/12/99  
 Data da Análise: 31/01/00

| Produto | Data/Fabricação | Data/Análise | Microbiológica | Química | Sensorial | Resultado Final |
|---------|-----------------|--------------|----------------|---------|-----------|-----------------|
| Peixe   | 01/12/99        | 31/01/00     |                |         |           |                 |

**Figura 4.5** Tela de Cadastro das Análises

#### 4.2.2 Módulo Relacionado à Análise Microbiológica

O módulo relacionado à análise microbiológica foi desenvolvido à partir de uma rede neural artificial. Esta rede neural tem como parâmetros para classificação as seguintes variáveis: Coliformes Totais, Contagem Total de Mesófilos, Contagem Total de Psicotrófilos, *Salmonella*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Staphylococcus aureus*, *Listeria* sp. A saída desta rede fornece como resposta um indicativo se a amostra analisada é ou não apropriada para consumo.

As faixas de variação consideradas aceitáveis para cada uma das variáveis, são apresentados à seguir na tabela 1.

TABELA 1. Faixas de variação para as variáveis relacionadas a análise microbiológica (ANTONIOLLI, 1999) (BRASIL, 1998).

| Variável                                | Faixas de Variação Aceitáveis |
|---|-------------------------------|
| Coliformes Fecais (NMP/g)               | até $10^2$                    |
| Contagem Total de Mesófilos (UFC/g)     | até $10^5$                    |
| Contagem Total de Psicotrófilos (UFC/g) | até $10^5$                    |
| <i>Salmonella</i> (em 25g)              | ausência                      |
| <i>Listeria</i> sp (em 1g)              | ausência                      |
| <i>Vibrio parahaemolyticus</i> (NMP/g)  | $5 \times 10^3$               |
| <i>Staphylococcus aureus</i> (NMP/g)    | $10^3$                        |

Para a implementação desta rede, foi utilizado o algoritmo *backpropagation*, objetivando separar o pescado analisado em classes distintas, nas quais uma relaciona-se aos pescados que por apresentarem índices microbiológicos altos encontram-se fora dos padrões de qualidade e portanto, inadequados para o consumo; e outra que relaciona-se aos pescados que encontram-se dentro dos padrões de qualidade.

Considerando que o problema abordado constitui um processo classificatório, escolheu-se uma rede neural com algoritmo *backpropagation* para o desenvolvimento deste módulo, uma vez que ela constitui um excelente instrumento para classificação (FAUSETT, 1995).

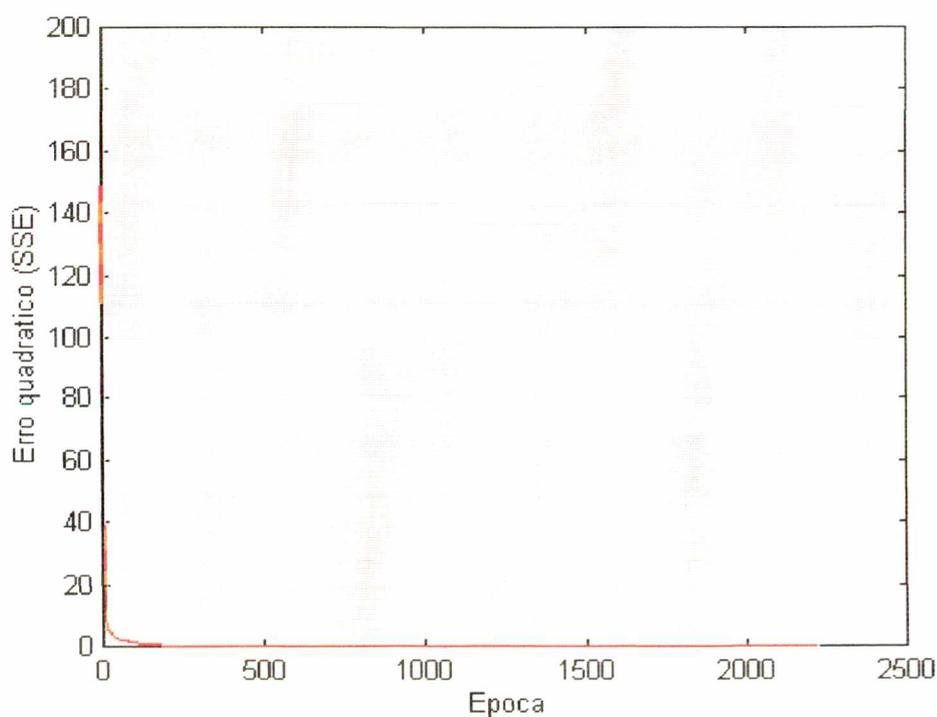
A rede implementada para este processo de classificação possui 7 neurônios de entrada e um único neurônio na camada de saída, para a qual as saídas atribuídas foram 1.0 para pescados de boa qualidade e 0.0 para pescados que não apresentavam a qualidade desejada. Para a camada escondida foram realizados alguns testes, a fim de se determinar qual a quantidade ideal de neurônios para uma classificação ao mesmo tempo rápida e eficiente.

Para o treinamento da rede foram selecionados aleatoriamente, 422 padrões de entrada, sendo 211 correspondentes a cada classe citada anteriormente. Os dados utilizados no treinamento da rede foram coletados à partir de análises microbiológicas de amostras de mexilhão *Perna perna* processado de maneiras diferentes: cozido para consumo imediato, cozido e resfriado por dois dias para posterior consumo, em conserva e a vinagrete. Estas

análises foram realizadas no Laboratório de Tecnologia de Pescados, no Campus I da Universidade do Vale do Itajaí, em Itajaí - Santa Catarina.

Os dados foram normalizados antes de serem empregados na rede. A normalização foi realizada separadamente para cada uma das características empregadas.

Após os testes realizados com a camada escondida, optou-se por uma rede com 5 neurônios na camada escondida, com a taxa de aprendizado fixada em 0,1, e o *momentum* estabelecido como 0,6. Para a rede convergir, foram necessárias 2225 épocas de treinamento, como mostra a figura 4.6.



**Figura 4.6** Número de Épocas de Treinamento da Rede Neural Artificial para Análise Microbiológica em Função do Erro Quadrático

A figura 4.7 ilustra o módulo de Análise Microbiológica. O usuário seleciona o produto e fornece os valores para as variáveis envolvidas na análise (Tabela 1). Após o preenchimento destas características, o sistema informará o resultado da avaliação.

O usuário pode consultar análises anteriores considerando as chaves produto e/ou data da análise.

**Sistema Inteligente para Avaliação de Pescados - [Quali Pesc]**

Iniciar Itens Análise Opções Ajuda

Análise Microbiológica | Análise Bioquímica | Análise Sensorial

**Análise Microbiológica**

Produto: Mexilhão      Data de Fabricação: 01/12/1999      Data da Análise: 31/01/00      Resultado: A amostra analisada não se encontra apr

|                             |                                  |                                       |   |
|-----------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|---|
| Coliformes Fecais (NMP/g)   | Cont. Total de Mesófilos (UFC/g) | Cont. Total de Psicrófilos (UFC/g)    | <i>Vibrio Parahaemolyticus</i> (UIMP/g) |
| 140                         | 108000                           | 121000                                | 7000                                    |
| <i>Salmonella</i> (em 25 g) | <i>Listeria</i> (em 1 g)         | <i>Staphylococcus Aureus</i> (UIMP/g) |   |
| 10                          | 35                               | 2000                                  |   |

OK      Cancelar

**Figura 4.7** Tela da Análise Microbiológica

#### 4.2.3 Módulo Relacionado à Análise Bioquímica

O módulo relacionado à análise microbiológica foi desenvolvido à partir de uma rede neural artificial. Esta rede neural tem como parâmetros para classificação as seguintes variáveis: teor de carboidratos, umidade em pescados de água doce, umidade em pescados de água salgada, lipídio em pescados de água doce, lipídios em pescados de água salgada, proteína, resíduo mineral, cálcio, fósforo, iodo, magnésio, uréia, hipoxantina, histamina e indol. A saída desta rede, informa com base nos valores nutricionais do pescado e nos parâmetros relacionados à sua deterioração, um indicativo da qualidade do pescado como produto de consumo.

As faixas de variação consideradas aceitáveis para cada uma das variáveis (tabela 2), foram estabelecidas por vários autores, dentre eles pode-se citar GUNSTONE & NORRIS (1983), BELITZ & GROSH (1988), SIKORSKI (1994), FRANCO (1997).

TABELA 2. Faixas de variação para as variáveis relacionadas a análise bioquímica.

| Variável                                | Faixas de Variação Aceitáveis |
|---|-------------------------------|
| Carboidrato (%)                         | 0,0 - 12,0                    |
| Proteína (%)                            | 6,0 - 30,0                    |
| Lípido em Pescados de Água Doce (%)     | 0,7 - 64,0                    |
| Lípido em Pescados de Água Salgada (%)  | 0,1 - 24,0                    |
| Umidade em Pescados de Água Doce (%)    | 29,0 - 84,0                   |
| Umidade em Pescados de Água Salgada (%) | 64,0 - 90,0                   |
| Resíduo Mineral (%)                     | 0,4 - 4,5                     |
| Cálcio (mg/Kg)                          | 0,0 - 45,0                    |
| Fósforo (mg/Kg)                         | 0,0 - 1700,0                  |
| Magnésio (mg/Kg)                        | 0,0 - 240,0                   |
| Uréia (g/Kg)                            | 1,2 - 2,1                     |
| Iodo                                    | 0,1 - 1,0                     |
| Hipoxantina ( $\mu\text{g/g}$ )         | 0,0 - 4,0                     |
| Histamina (mg/100g)                     | 10,0 - 20,0                   |
| Indol ( $\mu\text{g/100g}$ )            | 0,0 - 25,0                    |

Para a implementação desta rede, foi utilizado o algoritmo *backpropagation*, objetivando separar o pescado analisado em classes distintas, nas quais uma relaciona-se aos pescados que por serem pobres ou deficientes em algum nutriente e/ou apresentarem algum nível de deterioração, encontram-se de algum modo, inadequados para o consumo; e outra que relaciona-se aos pescados que satisfazem a condição de “nutritivos” e não apresentam-se deteriorados.

Considerando que o problema abordado constitui um processo classificatório, escolheu-se uma rede neural com algoritmo *backpropagation* para o desenvolvimento deste módulo, uma vez que ela constitui um excelente instrumento para classificação.

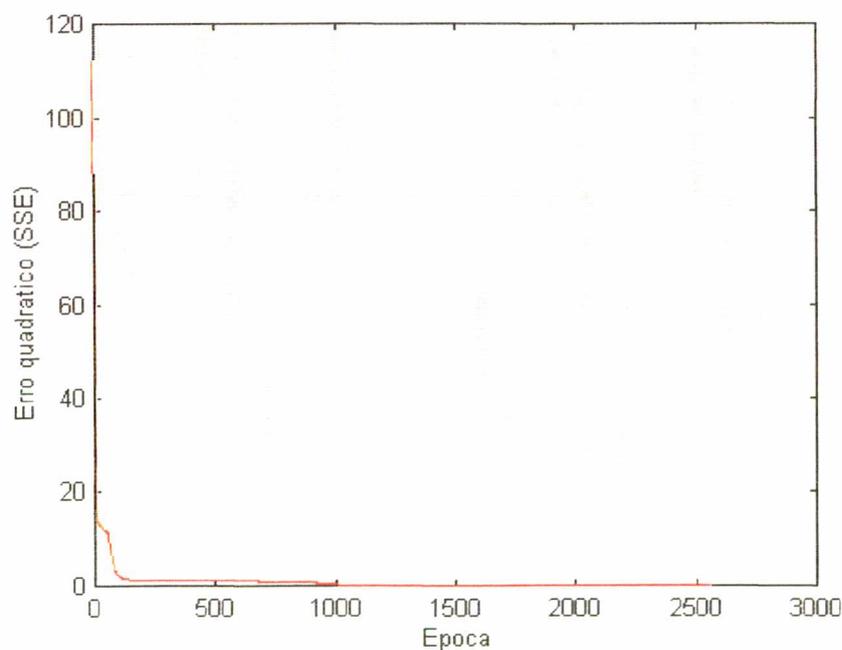
A rede implementada para este processo de classificação possui 15 neurônios de entrada e um único neurônio na camada de saída, para a qual as saídas atribuídas foram 1.0 para pescados de boa qualidade e 0.0 para pescados que não apresentavam a qualidade desejada. Para a camada

escondida foram realizados alguns testes, a fim de se determinar qual a quantidade ideal de neurônios para uma classificação ao mesmo tempo rápida e eficiente.

Para o treinamento da rede foram selecionados aleatoriamente, 360 padrões de entrada, sendo 180 correspondentes a cada classe citada anteriormente. Os dados utilizados no treinamento da rede foram coletados à partir de análises bioquímicas de amostras de mexilhão *Perna perna* processado de diversas formas: cozido para consumo imediato, cozido e resfriado por dois dias para posterior consumo, em conserva e a vinagrete. Estas análises foram realizadas no Laboratório de Tecnologia de Pescados, no Campus I da Universidade do Vale do Itajaí, em Itajaí - Santa Catarina.

Os dados foram normalizados antes de serem empregados na rede. A normalização foi realizada separadamente para cada uma das características empregadas.

Após os testes realizados com a camada escondida, optou-se por uma rede com 8 neurônios na camada escondida, com a taxa de aprendizado fixada em 0,1, e o *momentum* estabelecido como 0,6. Para a rede convergir, foram necessárias 2565 épocas de treinamento, como mostra a figura 4.8.



**Figura 4.8** Número de Épocas de Treinamento da Rede Neural Artificial para Análise Bioquímica em Função do Erro Quadrático

A figura 4.9 ilustra o módulo de Análise Bioquímica. O usuário primeiramente escolhe entre pescado de água doce ou pescado de água salgada. À seguir ele seleciona o produto e fornece os valores para as variáveis envolvidas na análise (Tabela 2). Após o preenchimento destas características, o sistema informará o resultado da avaliação.

O usuário pode consultar análises anteriores considerando as chaves produto e/ou data da análise.

**Sistema Inteligente para Avaliação de Pescados - [Quali Pesc]**

Iniciar Itens Análise Opções Ajuda

Análise Microbiológica Análise Bioquímica Análise Sensorial

**Análise Bioquímica**  Pescado de Água Doce  Pescado de Água Salgada

Produto: Mexilhão

Data de Fabricação: \_\_\_\_\_ Data da Análise: \_\_\_\_\_ Resultado: \_\_\_\_\_

|                 |                     |                  |                    |                     |
|-----------------|---------------------|------------------|--------------------|---------------------|
| Carboidrato (%) | Resíduo Mineral (%) | Proteína (%)     | Cálcio (mg/Kg)     | Lipídio (%)         |
| Umidade (%)     | Fósforo (mg/Kg)     | Iodo             | Hipoxantina (ug/g) | Histamina (mg/100g) |
| Uréia (g/Kg)    | Indol (ug/100g)     | Magnésio (mg/Kg) |                    |                     |

OK Cancelar

**Figura 4.9** Tela da Análise Bioquímica

#### 4.2.4 Módulo Relacionado à Análise Sensorial

O módulo relacionado a análise sensorial dividi-se em dois sub-módulos: (i) sub-módulo do perfil de características; (ii) sub-módulo da escala hedônica. A figura 4.10 ilustra o módulo de análise sensorial.

**Sistema Inteligente para Avaliação de Pescados - [Quali Pesc]**

Iniciar Itens Análise Opções Ajuda

Análise Microbiológica | Análise Bioquímica | Análise Sensorial

### Análise Sensorial

Produto: Mexilhão | Data de Fabricação: | Data da Análise: | Resultado: |

#### Perfil de Características

Odor (1-5) | Cor (1-5) | Sabor (1-5) | Textura (1-5) | Aparência (1-5)

Resultado da Análise Sensorial: |

#### Escala Hedônica

Nota (1-9): | Resultado da Escala Hedônica: |

OK Cancelar

**Figura 4.10** Tela da Análise Sensorial

Neste módulo o usuário deve escolher o produto a ser avaliado, podendo optar por realizar a avaliação através do teste de Perfil de Características e/ou Escala hedônica. Além disso, o usuário pode consultar análises anteriores, através das chaves produto e/ou data da análise.

À seguir, serão descritos os sub módulos que compõem este módulo.

#### 4.2.4.1 Perfil de Características

O sistema especialista difuso que compõe este módulo é responsável pela análise sensorial do pescado.

O sistema especialista difuso foi desenvolvido com base no teste chamado Perfil de Características (Anexo 1), onde são utilizadas as seguintes variáveis: textura, sabor, cor, odor e aparência. Estas variáveis são classificadas em valores subjetivos: péssimo, ruim, bom, muito bom e excelente.

Inicialmente, as funções de pertinência para os diferentes conjuntos difusos foram estabelecidas, conforme mostra a tabela 3.

TABELA 3. Funções de Pertinência

| Variável lingüística | Função de Pertinência   |
|----------------------|---|
| Muito ruim           | $\mu(x) = x$ , se $x \leq 1$<br>$\mu(x) = 1$ , se $x = 1$<br>$\mu(x) = -x + 2$ , se $1 < x \leq 2$      |
| Ruim                 | $\mu(x) = x - 1$ , se $1 < x < 2$<br>$\mu(x) = 1$ , se $x = 2$<br>$\mu(x) = -x + 3$ , se $2 < x \leq 3$ |
| Bom                  | $\mu(x) = x - 2$ , se $2 < x < 3$<br>$\mu(x) = 1$ , se $x = 3$<br>$\mu(x) = -x + 4$ , se $3 < x \leq 4$ |
| Muito bom            | $\mu(x) = x - 3$ , se $3 < x < 4$<br>$\mu(x) = 1$ , se $x = 4$<br>$\mu(x) = -x + 5$ , se $4 < x \leq 5$ |
| Excelente            | $\mu(x) = x - 4$ , se $4 < x < 5$<br>$\mu(x) = 1$ , se $x \geq 5$                                       |

Tanto as funções de pertinência quanto a estrutura das regras foram baseadas em entrevistas com a especialista, bem como em seu trabalho de pesquisa desenvolvido na Universidade Federal de Santa Catarina, no período de 1997 a 1998 (ANTONIOLLI, 1999).

Após a determinação dos conjuntos difusos, foram estruturadas as regras, num total de 20 regras. À seguir, tem-se alguns exemplos das regras utilizadas pelo sistema.

#### Regra 1

Se

Textura = bom OU Textura = muito bom OU Textura = excelente

E

Sabor = bom OU Sabor = muito bom OU Sabor = excelente

Então

Resultado Parcial = aceito

#### Regra 2

Se

Textura = muito ruim OU Textura = ruim

Então

Resultado Parcial = rejeitado

#### Regra 3

Se

Resultado parcial = não apto

E

Cor = bom OU Cor = muito bom OU Cor = excelente

E

Odor = bom OU Odor = muito bom OU Odor = excelente

E

Aparência = bom OU Aparência = muito bom OU Aparência = excelente

Então

Resultado Perfil = rejeitado

Conforme o ilustrado na figura 4.10, para realizar o teste de perfil de características o usuário deve fornecer uma nota de 1 a 5 para: odor, cor, sabor, textura e aparência. Após o preenchimento destas características o sistema informará o resultado da avaliação.

#### **4.2.4.2 Escala Hedônica**

O teste de Escala Hedônica (Anexo 2) é bastante difundido e utilizado quando se quer avaliar a aceitação do produto diretamente com um grupo de consumidores. Para este teste, utiliza-se uma escala de valores subjetivos, os quais encontram-se relacionados a valores ou notas que variam de 1 a 9, que devem ser atribuídos ao produto que está sendo avaliado. Se a média das notas atribuídas pelos “provadores” for menor do que o valor 5, isto significa que o produto não “agradou” ao mercado consumidor.

Como ilustrado na figura 4.10, para realizar o teste da escala hedônica, o usuário deve fornecer uma nota para o produto no intervalo de 1 a 9. Após o fornecimento desta nota, o sistema informará o resultado da avaliação.

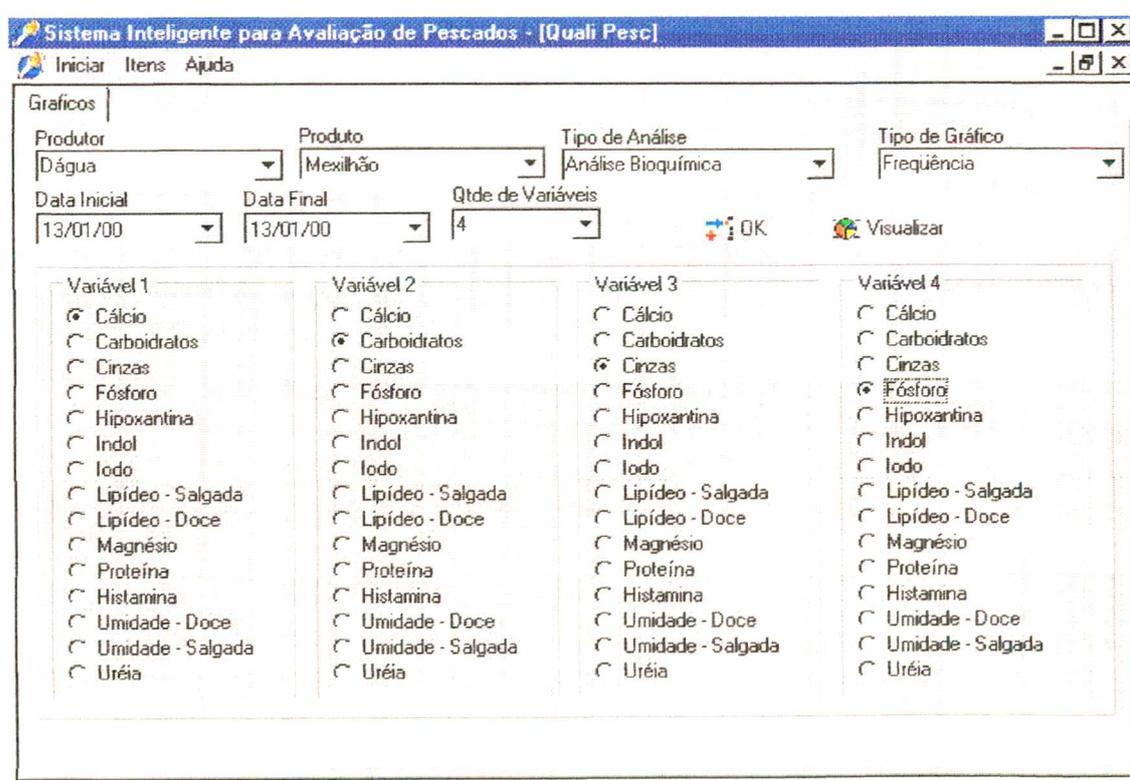
#### **4.2.5. Módulo de Resultados**

Através do Módulo de Resultados, o usuário pode utilizar-se de gráficos e relatórios, com objetivo de acompanhar de modo detalhado, a evolução da qualidade de seu produto.

### 4.2.5.1 Gráficos

Para uma melhor visualização das informações armazenadas pelo sistema, bem como suas inter-relações, alguns modelos de gráficos estão disponibilizados. São fornecidos gráficos para análise estatística descritiva, bem como gráficos para cruzamento de informações.

Para utilizar o sub-módulo de Gráficos o usuário deve fornecer o nome do produtor, o produto, o tipo de análise, o tipo de gráfico, data inicial, data final, quantidade de variáveis e quais as variáveis necessárias para a confecção dos gráficos. A figura 4.11 ilustra o sub-módulo de Gráficos.



**Figura 4.11** Tela do sub Módulo de Gráficos

O usuário pode imprimir, exportar ou salvar os gráficos gerados criados por ele. A figura 4.12 ilustra um exemplo de gráfico gerado pelo sistema.

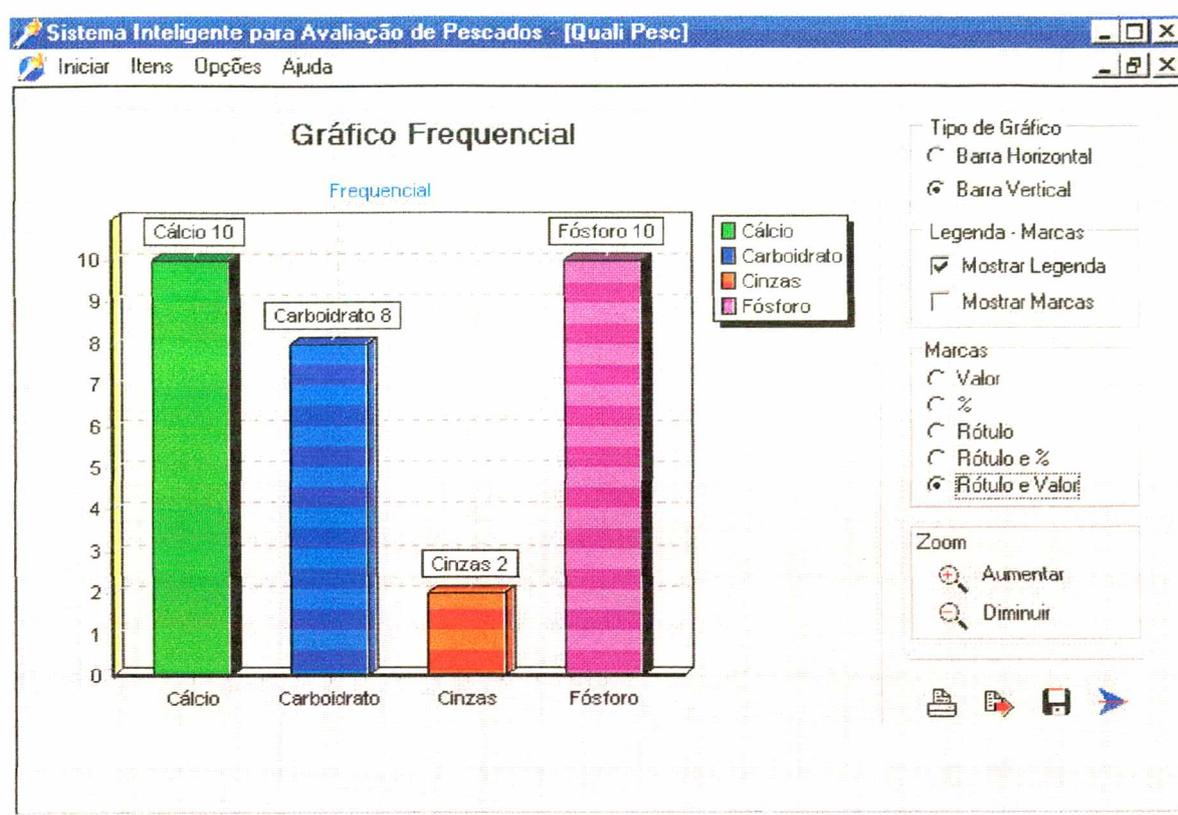


Figura 4.12 Exemplo de Gráfico

#### 4.2.5.2 Relatórios

O sub Módulo de Relatórios fornece ao usuário relatórios contendo informações sobre o desempenho de um produto. O usuário deve fornecer qual o produtor, qual o produto, qual a data em que foi feita a análise e quais as análises que ele necessita no relatório (Anexo 3).

### 4.3 Validação do Sistema

Para a validação do sistema foram realizados testes nos módulos referentes as análises microbiológica, bioquímica e sensorial. Tais testes serão descritos à seguir.

#### **4.3.1 Validação do Módulo de Análise Microbiológica**

Para o teste da rede, foram selecionados também de modo aleatório, 44 padrões de entrada. Os dados utilizados no teste da rede foram coletados à partir de análises microbiológicas de amostras de mexilhão *Perna perna* processado de diversas formas: cozido para consumo imediato, cozido e resfriado por dois dias para posterior consumo, em conserva e a vinagrete. Estas análises foram realizadas no Laboratório de Tecnologia de Pescados, no Campus I da Universidade do Vale do Itajaí, em Itajaí - Santa Catarina.

Após o teste da rede neural pode-se concluir que a mesma apresentou uma boa performance classificando corretamente, 93% dos padrões testados.

#### **4.3.2 Validação do Módulo de Análise Bioquímica**

Para o teste da rede, foram selecionados também de modo aleatório, 36 padrões de entrada. Os dados utilizados no teste da rede foram coletados à partir de análises bioquímica de amostras de mexilhão *Perna perna* processado de diversas formas: cozido para consumo imediato, cozido e resfriado por dois dias para posterior consumo, em conserva e a vinagrete. Estas análises foram realizadas no Laboratório de Tecnologia de Pescados, no Campus I da Universidade do Vale do Itajaí, em Itajaí - Santa Catarina.

Após o teste da rede neural pode-se concluir que a mesma apresentou uma boa performance classificando corretamente, 96% dos padrões testados.

### 4.3.3 Validação do Módulo de Análise Sensorial

#### 4.3.3.1 Validação do Sub-Módulo Perfil de Características

Terminada a estruturação das regras, foi necessário testar a validade do sistema especialista difuso, comparando com o desempenho dos avaliadores humanos. Os dados utilizados para o teste do sistema foram coletados da pesquisa realizada por ANTONIOLLI (1999). Esta pesquisa foi baseada no teste de avaliação sensorial chamado de Perfil de Características. Este teste constitui-se de um grupo de avaliadores (cerca de 8) ou painel sensorial, no qual cada componente avaliou amostras de mexilhão *Perna perna*, com relação às características de odor, cor, sabor, aparência e textura, durante um período de dez dias.

Comparando os resultados obtidos pelos avaliadores humanos e os resultados obtidos pelo sistema especialista difuso, conclui-se que o sistema apresenta um bom desempenho. Este comparativo foi feito com base em uma “Matriz Confusão” (tabela 4).

TABELA 4. Matriz Confusa

| Especialista \ Sistema Especialista | Aceito | Rejeitado |
|-------------------------------------|--------|-----------|
| Aceito                              |        | 07%       |
| Rejeitado                           | 09%    |           |

Acerto: 93%

Acerto: 91%

#### **4.3.3.2 Validação do Sub-Módulo Escala Hedônica**

Os dados utilizados para a validação do sub-módulo Escala Hedônica, foram coletados através de análises realizadas com dois grupos distintos de consumidores: um grupo localizado em Itajaí e outro localizado no município de Penha.

Estes consumidores avaliaram amostras de mexilhão *Perna perna* processadas de quatro formas diferentes: cozido para consumo imediato, cozido e resfriado por dois dias para posterior consumo, em conserva e a vinagrete. Foram utilizados 60 dados para o teste.

# CAPÍTULO V

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 5.1 CONCLUSÕES

Considerando a grande quantidade de variáveis envolvidas nos processos de análise microbiológica, bioquímica e sensorial dos pescados, bem como a subjetividade destes processos, a inteligência artificial, através dos sistemas especialistas difusos e das redes neurais assumem um importante papel para a tecnologia de alimentos.

As redes neurais se mostraram aplicáveis para a modelagem do problema classificatório apresentado pelas análises microbiológica e bioquímica. As redes desenvolvidas com o algoritmo *backpropagation* classificaram corretamente 93% dos padrões testados para a análise microbiológica e 96% dos padrões testados para a análise bioquímica.

A utilização do sistema especialista difuso para a determinação do perfil de características possibilitou que a modelagem desta análise se tornasse mais próxima do raciocínio humano. A performance deste sistema, avaliada através de uma “matriz confusão”, mostrou que o sistema apresenta uma margem de 93% de acerto na classificação de produtos considerados “aceitáveis” pelo consumidor e 91% de acerto na classificação de produtos considerados “rejeitados” pelo consumidor.

A fusão do sistema especialista difuso com as redes neurais artificiais na formação de um sistema inteligente híbrido trouxe facilidades para o processo de avaliação da qualidade de pescados processados, uma vez que fornece a avaliação de uma maneira rápida e eficiente; permite ao usuário acesso às informações armazenadas no sistema sobre produtores, produtos

cadastrados e análises realizadas pelo sistema. Outra facilidade, é o fato do usuário poder visualizar estas informações através de gráficos e relatórios, podendo assim, monitorar de modo detalhado, a evolução da qualidade de seu produto.

Considerando a grande quantidade de variáveis envolvidas, a subjetividade de alguns processos e a necessidade de conhecimento especializado, conclui-se que a inteligência artificial tende a assumir um importante papel na área de Tecnologia de Alimentos.

## 5.2 RECOMENDAÇÕES

Como recomendações para trabalhos futuros sobre este sistema sugere-se a implementação de redes neurais RBF à fim de se comparar o seu desempenho com a *backpropagation* aqui implementada; ou seja, se a RBF aumentará a taxa de acerto nos processos classificatórios das análises microbiológica e bioquímica.

Em relação ao sistema especialista difuso, a classificação errônea de pescados que deveriam ser rejeitados como produtos aceitos e vice-versa, traz uma série de problemas principalmente no que diz respeito à saúde pública; uma vez que o sistema estará permitindo a entrada de um produto inadequado no mercado consumidor. Desta forma, sugere-se o teste de novas funções de pertinência tais como a função trapezoidal, função  $\pi$  ou função sigmóide para melhor ajustar os conjuntos difusos e consequentemente, diminuir a taxa de erro do sistema.

No que refere-se ao Módulo da Análise Sensorial, devem ser incluídos outros tipos de testes sensoriais. Quanto ao Módulo da Análise Bioquímica, novas variáveis poderiam ser incluídas.

Com relação à interface do usuário, sugere-se o aperfeiçoamento da Opção de Consultas, uma vez que apenas alguns tipos de consultas foram disponibilizados no trabalho. Além disso, para o sub módulo de relatórios, sugere-se a criação de outros relatórios, tais como por exemplo,

um relatório geral contendo uma relação das avaliações de todos os produtos relacionados a um produtor em uma determinada data.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **Alimentos e Bebidas - Análise sensorial - Teste de análise descritiva quantitativa (ADQ)**. ABNT, Rio de Janeiro. 1998.
- ALMEIDA, F.C. **A Structure Approach to Neural Networks in Bankruptcy Prediction**. In: Proceedings of 4<sup>th</sup> Brazilian Symposium on Neural Networks. IEEE Computer Society. Goiânia, GO. Dezembro de 1997.
- AMO, F.A., PEREZ, A.G., GOMEZ, G.L. & MONTES, C. **An Expert System for Homeopathic Glaucoma Treatment (SEHO)**. Expert Systems with applications 8 (1), P.89-99. 1995.
- ANTONIOLLI, M.A. **Vida útil do Mexilhão *Perna perna* (L) Processado e Mantido sob Refrigeração**. Florianópolis, 1999. 101p. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós – Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.
- ANZALDUÁ-MORALES, A. **La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica**. Editorial Acribia, Zaragoza, Espanha. 1994. 198p.
- APHA (American Public Health Association). **Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods**. 3 ed. Washington, USA. 1992.
- ARCHER, D.L. & KVENBERG, J.E. **Incidence and Cost of Food-borne Diarrhoeal Diseases in the United States**. Journal of Food Protection, 48. 1985. p. 887-894.
- BARANOWSKI, J.D., FRANK, H.A., BRUST, P.A., CHONGSIRIWATANA, M. & PREMARATNE, R.J. **Decomposition and histamine content in mahimahi (*Coryphaena hippurus*)**. J. Food Prot., 53 (3). 1990. p.217-222.

- BARBOSA, M.G.R., SANTOS, F.L. & SANTOS, N.M.M. **Epidemiologia das toxinfecções alimentares: estudo retrospectivo na casuística de informações anti-venenoclave/BA, no período de 1984 à 1994.** In: Anais do IX Congresso Brasileiro de Toxicologia, Ribeirão Preto, SP. 1995. p.272.
- BELITZ, H.D. & GROSCH, W. **Química de los alimentos.** Editorial Acribia, Zaragoza, Espanha. 1988.
- BISHOP, C.M. **Neural Networks for Pattern Recognition,** Oxford University Press, 1995.
- BOBBIO, F.O. & BOBBIO, P.A. **Introdução à Química de Alimentos.** 2 ed. Livraria Varela, São Paulo. 1992.
- BONABEAU, E. et al. **Swarm Intelligence: from natural to artificial systems.** Oxford University press, 1999.
- BRASIL. Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde. Portaria n. 451 de 19 set. 1997. **Princípios Gerais para o Estabelecimento de Critérios e Padrões Microbiológicos para Alimentos.** Diário Oficial da União (da República Federativa do Brasil), Brasília, 02 de julho, 1998. Seção I, p. 21005-21012.
- BRYAN, F.L. **Activities of the center for disease control in public health problems related to the consumption of fish and fishery products.** In: CHICHESTER, C.O. & GRAHAM, H.D. **Microbial safety of fishery products.** Academic Press, New York. 1973. p. 275-301.
- BRYAN, F.L. **Epidemiology of foodborne diseases transmitted by fish, shellfish and marine crustaceans in the United States: 1970-1978.** Journal of Food Protection, 43. 1980. p. 859-868; 873-876.
- CABRAL, R.B. **Retificação e Análise de Características de Imagens de Nematóides.** Florianópolis, 1996. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós – Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina, 1996.

**CASTILHO. Redes Neurais. Setembro de 1998.**

On Line: <http://www.inf.ufrgs.br/~castilho/cmp113/C4.html>

**CHAMBERLIM, G. Aqualculture in XXI century: diagnostics and perspectives.**

Aquanotícias Internacional. Fundación Chile, Santiago. Ano 7, nº 26. 1995. p. 25-27.

**COELLO, J.M.A. Tecnologias e Aplicações Inovadoras de Inteligência Artificial.** In: II

Escola Regional de Informática – SBC Regional de São Paulo, Piracicaba, SP. Junho de 1997.

**COLWELL, R.R. Marine Biotechnology.** Sea Technology. Janeiro de 1999. P.50-51.

**CONSIDINE, D.M. & CONSIDINE, G.D. Foods and Food Production Encyclopedia.** Van Nostrand Reinhold Company, USA. 1982.

**DAN, L.W. et al. Nutrição enteral e parenteral na prática médica.** Atheneu, São Paulo. 1990

**DANDOLINI, G.A. Um procedimento para Avaliação da Saúde Financeira de Pequenas**

**Empresas: Estudo de um Caso Usando redes Neurais Artificiais.** Dissertação de Mestrado, 1996. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina, 1998.

**DA SILVA, A.J.F. & OLIVEIRA, E. TARCA – An Integrated System for Diagnosis and**

**Treatment of Cardiac Arrhythmias.** In: Proceedings of 13<sup>th</sup> Brazilian Symposium on Artificial Intelligence – SBIA'96, Curitiba, PR. 1996.

**DAVEY, G.R. Food poisoning in New South Wales: 1977-1984.** Food Technology of Australia,

37. 1985. p. 453-456.

**DAYHOFF, J.E.; OMIDVAR, O. Neural Networks and Pattern Recognition,** Academic Press,

1997.

- DEBENHAM, J. **Knowledge Engeneering: unifying knowledge base and database design.** Spring Verlag, 1998.
- DE RÉ, A.M. **Sistemas Conexionistas Adaptativos Aplicados a Problemas de Controle de Tráfego Urbano.** Florianópolis, 1995. 132 p. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós – Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Santa Catarina, 1995.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Análise Sensorial de Alimentos e Bebidas.** 1991.
- EPAGRI. **Manual do Cultivo de Mexilhões *Perna perna.*** Editora da EPAGRI. 1994. 134p.
- FAO (Food Agricultural Organization). **Bulletin of Fishery Statistics.** Nº 35, Roma. 1998.
- FAO (Food Agricultural Organization). **Review of the State of World Aquaculture.** FAO Fisheries Circular, Nº 886, Ver.1, Roma. 1997. 163p.
- FAUSETT, L.V. **Fundamentals of Neural Networks – Architectures, Algoritms and Applications.** Prentice Hall International, Inc. 1995.
- FENNEMA, O.R. **Química de los alimentos.** Editorial Acribia, Zaragoza, Espanha. 1993.
- FERNANDES, A.M.R. **Sistema Especialista Difuso Aplicado ao Processo de Análise Química Qualitativa de Minerais.** Florianópolis, 1996. 146 p. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós – Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Santa Catarina, 1996
- FERNANDES, A.P.S. **Sistema Especialista Difuso de Apoio ao Aprendizado do Traumatismo Dento – Alveolar Utilizando Recursos Multimídia.** Florianópolis, 1997. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós – Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina, 1997.

- FERNANDES, E.S., FILHO, A.M.V., SCREMIN, M.A.A., BASTOS, L.C., ALVES, J.B.M., BASTOS, R.C. & PEZZI, S. **Análise de Desempenho de uma Rede Neural Artificial com Algoritmo de Treinamento de Backpropagation no Auxílio da Avaliação da Aptidão Física de Árbitros de Futebol.** In: Anais do XII Congreso Argentino de Bioingeniería – SABI'99. Junho de 1999.
- FILHO, E.C.B.C. **Modelagem, Aplicações e Implementações de Redes Neurais.** In: Anais da IV Escola Regional de Informática – SBC Regional Sul. Abril de 1996. P.36-53.
- FRANCO, B.D.G.M & LANDGRAF, M. **Microbiologia dos alimentos.** Atheneu, São Paulo. 1996. 182 p.
- FRANCO, G. **Tabela de Composição Química dos Alimentos.** 9 ed. Atheneu, São Paulo. 1997.
- GIARRATANO, J. & RILEY, G. **Expert Systems: Principles and Programming.** 3 ed. PWS Pub. Co. 1998.
- GIBSON, A.M. & ROBERTS, T.A. **The effect of pH, sodium, chloride, sodium nitrite and storage temperature on the growth of *Clostridium perfringens* and faecal streptococci in laboratory media.** International Journal of Food Microbiology, 3. 1986. p. 195-210.
- GLÓRIA, M.B.A. & SOARES, V.F.M. **Comparação de métodos fluorimétricos para a determinação da histamina em pescado.** Arq. Biol. Tecnol., V.36. 1993. p.229-235.
- GOONATILAKE, S. & KHEBBAL, S. **Intelligent Hybrid Systems.** New York: John Wiley. 1995.
- GORNI, A.A. **Redes Neurais Artificiais – uma abordagem revolucionária em Inteligência Artificial.** Revista Microsistemas. Ed.133. 1996.
- GUNSTONE, F.D. & NORRIS, F.A. **Lipids in foods.** Pergamon Press, Oxford. 1983.

- HALÁSZ, A. et al. **Biogenic amines and their production by microorganisms in food.** Trends Food Sci. Technol., V.5. 1994.p. 42-49.
- HART, F.L. & FISHER, H.J. **Análisis Moderno de los Alimentos.** Editorial Acribia, Zaragoza, Espanha. 1971.
- HAYKIN, S. **Neural Networks – A comprehensive foundation.** IEEE Press, USA. 1999.
- HUNT, D.A., MIESCIER, J. REDMAN, J., SALINGER, A. & LUCAS, J.P. **Molluscan shellfish, fresh or fresh frozen oysters, mussels or clams.** In: APHA. **Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods.**Washington. 1984. p.590-610.
- HYCONES Information Technology. **Redes Neurais Artificiais.** 1999.  
On Line: <http://www.hycones.com.br/portuguese/redesne.htm>
- IBAMA. **Estatística da Pesca.** 1996.
- ICMSF (International Commission on Microbiological Specifications for Foods). **Microbial Ecology of Foods - Factors Affecting Life and Death of Microorganisms.** Academic Press, New York. 1980.
- ICMSF (International Commission on Microbiological Specifications for Foods). **Microorganism in Foods - Sampling for Microbiological Analysis: Principles and Specific Applications.** 2 ed. University of Toronto Press, Toronto. 1986.
- ICMSF (International Commission on Microbiological Specifications for Foods). **Microorganisms in Foods – Their significance and Methods of Enumeration.** 2 ed. University of Toronto Press, Toronto. 1988.
- ICMSF (International Commission on Microbiological Specifications for Foods). **APCC na qualidade e segurança microbiológica de alimentos - Análises de perigos e pontos críticos de controle para garantir a qualidade e a segurança microbiológica de alimentos.** Livraria Varela, São Paulo. 1997.

IFT (Institute of Food Technologists). **Sensory evaluation division guidelines for the preparation and review of papers reporting sensory evaluation data.** Food Technology, 35 (4). 1981.

JACKSON, P. **Introduction to Expert Systems – International Computer Science Series.** Addison Wesley. 1999.

JAY, J.M. **Microbiologia moderna de los alimentos.** 3 ed. Editorial Acribia, Zaragoza. 1994. 804 p.

JONH, S. **Expert Systems – Applications in Agriculture.** In: Proceedings of Third World Congress on Expert Systems, Seoul, Korea. 1996.

KOVÁCS, Z.L. **Redes Neurais Artificiais: Fundamentos e Aplicações: um texto básico.** 2 ed. São Paulo, SP: Edição Acadêmica. 1996.

KRAUSE & MAHAN. **Alimentos, nutrição e dietoterapia.** Livraria Roca, São Paulo. 1985.

LAZLO, H., BASSO, L.M. & COELHO, C.M.L. **Química de Alimentos: alteração dos componentes orgânicos.** Nobel, São Paulo. 1986.

LEE, T.H. et al. **Adaptative Neural Network Control of Robotic Manipulators.** In: **World Scientific Series in Robotic and Intelligent Systems.**, vol 19, World Scientific Pub. Co., 1999.

LEONDES, C.T. **Fuzzy Logic and Expert Systems Applications.** Academic Press. 1998.

MANZONI, G.C., BARREIROS, M.A.B., MARENZI, A.W.C. & SCHIMITT, J.F. **Monitoramento Bacteriológico (Colimetria) da Água e dos Moluscos Cultivados na Enseada de Armação do Itapocoroy, (26°47'S - 48°36'W) Penha (SC), Brasil.** In: Anais "Perspectivas da Ecotoxicologia no Brasil", 5° Ecotox - Encontro Brasileiro de Ecotoxicologia, 1° Coban - Colóquio Brasileiro de Algas Nocivas. Itajaí, SC, Brasil. 1998.

- MEDSKER, L.R. **Hybrid Neural Network and Expert Systems**. Norwell, m.A., USA: Kluwer Academic Publishers. 1994.
- \_\_\_\_\_. **Hybrid Intelligent Systems**. Norwell, m.A., USA: Kluwer Academic Publishers. 1995.
- MIDDLEBROOKS, B.L. et al. **Effects of storage time and temperature on the microflora and amine development in Spanish Mackerel (*Scomberomorus maculatus*)**. J. Food Sci., V.53. 1988. P. 1024-1029.
- MIWATANI, T. & TAKEDA, Y. ***Vibrio parahaemolyticus***. Saition Publishing. 1976.
- MODENENSE, S.H, SEIXAS, J.A., GONÇALVES, A.M.M. & NATALE,W. **Sistema Especialista Aplicado à Recomendação de Adubação e Calagem nas Principais Culturas do Estado de São Paulo**. In: Seminário Internacional de Informatização da Agropecuária – AgroSoft'95, Juiz de Fora, MG. 1995.
- MONTEIRO, C.L.B. **Técnicas de avaliação sensorial**. 2 ed. CEPPA, UFPR, Curitiba. 1984. 101p.
- MORI, E.E.M. **Análise Sensorial de Alimentos**. In: Seminário sobre Controle de Qualidade na Indústria de Pescados. Loyola, São Paulo. 1988. p. 81-116.
- MUELLER, A. **Uma Aplicação de Redes Neurais Artificiais na Previsão do Mercado Acionário**. Florianópolis, 1996. 103 p. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós – Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina, 1996.
- MULHOLLAND, M., HIBBERT, D.B. HADDAD, P.R. & SAMMUT, C. **The application of the C<sub>4.5</sub> classifier to building an expert system for ion chromatography**. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems. 1994.
- NASH, C.E. **A global overview of aquaculture production**. Journal of the World Aquaculture Society, 19 (2). 1988. p.51-58.

NEIVA, G.S. **Sumário sobre a Aqüicultura Mundial**. Pesca Mundial. 1998.

On Line: <http://www.pescabrasil.com.br/artigos/aquicult.htm>

NIEMAN, R.E. & LORBER, B. **Listeriosis in Adults**. Ver. Infect. Dis., 2. 1980. P.207.

PACHECO, R.C.S. **Hybrid Intelligent System for Prediction and Solving Financial Problems of Small Retails Firms**. Florianópolis, 1996. Tese de Doutorado. Curso de Pós – Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina, 1996.

PEREIRA, C.G. **Análise de Crédito Bancário: Um Sistema Especialista com Técnicas Difusas para os Limites da Agência**. Florianópolis, 1995. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós – Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina, 1995.

PRINCIPE, J.C. et al. **Neural and Adaptative Systems: Fundamentals through Simulations**, 1ª Edição, John Willey and Sons, USA, 1999.

POWERS, J.J., CENCIARELLI, S. & SHINHOLSER, K. **El uso de programas estadísticos generales en la evaluación de los resultados sensoriales**. Ver. Agroquím. Tecnol. Aliment., 24 (4). 1984. p.469-484.

RAO, V.B. & RAO, H.V. **C++ Neural Networks and Fuzzy Logic**. Mis: Press. 1995.

ROBINSON, D.S. **Bioquímica y valor nutritivo de los alimentos**. Editorial Acribia, Zaragoza, Espanha. 1991.

RODRIGUES, M.A.B., DE AZEVEDO, F.M., MARINO-NETO, J. & ADRIANI, V.M.A. **Reconhecimento de Padrões do Sono com o Auxílio de Redes Neurais Dinâmicas**. In: Anais do XII Congreso Argentino de Bioingeniería – SABI'99. Junho de 1999.

- RODRIGUEZ, A.M. **Artificial Intelligence Techniques for Modeling Financial Analysis**. Florianópolis, 1996. Tese de Doutorado. Curso de Pós – Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina, 1996.
- RUSSEL, S. & NORVIG, P. **Artificial Intelligence: A Modern Approach**. Prentice Hall. 1995.
- SCHRAM, M.A. **Caracterização e Aproveitamento de Mexilhões Perna perna (LINNÉ, 1758)**. Rio Grande do Sul, 1993. Trabalho de Graduação. Curso de Oceanologia da Universidade do Rio Grande. 1993.
- SIKORSKI, Z.E. **Tecnología de los productos del mar: Recursos, composición nutritiva y conservación**. Editorial Acribia, Zaragoza, Espanha. 1994.
- SKAPURA, D.M. **Building Neural Networks**. ACM Press Books, New York, USA. 1996.
- STANSBY, M.E. & HALL, A.S. **Chemical composition of commercially important fish of the United States**. Fish. Ind. Res., 3 (4). 1967.
- STARUSZKIEWICZ JR, W.F. **Fluorometric determination of histamine in Tuna: collaborative study**. J. Assoc. Off. Anal. Chem., V. 60. 1977. p.1131-1136.
- SUPLICY, F.M. **Ensaio sobre a Depuração do Mexilhão Perna perna (L. 1758)**. Florianópolis, 1998. 81p. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós Graduação em Aquicultura da Universidade Federal de Santa Catarina, 1998.
- SUZUKI, T. **Fish and Krill Protein: Processing Technology**. Applied Science, London. 1981.
- SWIATNICKI, Z. **Expert System for Orthodontic Applications (Seksdiam)**. In: Proceedings of Third World Congress of Expert System, Seoul, Korea. 1996.
- TAFNER, M.A., DE XEREZ, M. & FILHO, I.W.R. **Redes Neurais Artificiais: Introdução e Princípios de Neurocomputação**. Ed. EKO, Blumenau, SC. 1996. 199 p.

- TEIXEIRA, E., MEINERT, E.M. & BARBETTA, P. **Análise Sensorial de Alimentos**. Editora da UFSC, Florianópolis. 1987. 180p.
- TODD, E.C.D. (b). **Economic loss from food-borne disease and non illness related recalls because of mishandling by food processors**. Journal of Food Protection, 48. 1985. p. 621-633.
- TODD, E.C.D. (a). **Economic loss from food-borne disease outbreaks associated with food service establishments**. Journal of Food Protection, 48. 1985. p. 169-180.
- TODESCO, J.L. **Reconhecimento de Padrões Usando Rede Neuronal Artificial com Função de Base Radial: Uma Aplicação na Classificação de Cromossomos Humanos**. Florianópolis, 1995. Tese de Doutorado. Curso de Pós – Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina, 1995.
- TRABULSI, L.R. **Microbiologia**. 2 ed. Livraria Atheneu, Rio de Janeiro. 1991.
- TURKSEN, I.B. **Measurement of Membership Functions and their Acquisitions**. Fuzzy Sets and Systems, USA. 1991.
- UNKLESBAY, N. **World Food Production and You**. Haworth Press Inc., New York. 1992. 442 p.
- VIDAL-CAROU, M.C., VECIANA-NOGUÉS, M.T. & MARINÉ-FONT, A. **Spectrofluorometric determination of histamine in fish and meat products**. J. Assoc. Off. Anal. Chem., V.73. 1990. p.565-567.
- WAITZBERG, D.L. et al. **Nutrição enteral e parenteral na prática clínica**. Atheneu, São Paulo. 1990.
- WATTS, B.M., YLIMAKI, G.L., JEFERRY, L.E. & ELÍAS, L.G. **Métodos sensoriales básicos para la evaluación de alimentos**. CIID, Ottawa. 1992. 170p.

**WATTS, P. The Origins of Fish as Food. 1999.**

On Line: <http://www.massey.ac.nz/~i75202/projects/group3/test.htm>

**WHO (World Health Organization). The Role of Food Safety in Health and Development.**

**Technical Report Series, Geneva. 1984. p. 705.**

# ANEXO I

## TESTE DO PERFIL DE CARACTERÍSTICAS

Nome: .....

Data: ...../...../.....

### Instruções:

Você está recebendo 05 amostras de Mexilhão *Perna perna* (L) / marisco, fêmeas, tratadas com diferentes concentrações e tipos de conservantes.

Avalie cuidadosamente cada uma delas e atribua notas para cada característica, de acordo com o seguinte critério:

- 1 = péssimo
- 2 =
- 3 = bom
- 4 =
- 5 = excelente

| AMOSTRAS              |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|-----------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Notas Características | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Aparência             |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Cor                   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Odor                  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Sabor                 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Textura               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |

Comentário adicional: .....

.....

.....

.....

.....

## ANEXO II

### TESTE DE ESCALA HEDÔNICA

Nome: .....  
Data:...../...../.....

Julgador nº:.....  
Seção: .....

**Instruções: Deguste cuidadosamente a amostra com relação à “Impressão Geral” (cor, odor, sabor e textura) e utilize a escala abaixo para expressar o quanto você gostou ou desgostou da amostra.**

1. desgostei muitíssimo
2. desgostei muito
3. desgostei regularmente
4. desgostei ligeiramente
5. indiferente
6. gostei ligeiramente
7. gostei regularmente
8. gostei muito
9. gostei muitíssimo

| Código da amostra | Valor atribuído |
|-------------------|-----------------|
|                   |                 |
|                   |                 |
|                   |                 |
|                   |                 |

Informações complementares:

|                  | Sim | Não | Qual/ O que/ Por quê? |
|------------------|-----|-----|-----------------------|
| Mudanças de cor  | ( ) | ( ) |                       |
| Odor estranho    | ( ) | ( ) |                       |
| Sabor residual   | ( ) | ( ) |                       |
| Textura adequada | ( ) | ( ) |                       |

Comentário adicional: .....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

## ANEXO III

### Relatório Geral

**Produto:**

**Empresa:**

**Data de Fabricação:**

**Data da Análise:**

#### Análise Sensorial

##### *Perfil de Características*

**Odor:**

**Cor:**

**Sabor:**

**Aparência:**

**Textura:**

##### *Escala Hedônica*

**Nota:**

#### Análise Bioquímica

**Cálcio:**

**Carboidrato:**

**Resíduo Mineral:**

**Hipoxantina:**

**Histamina:**

**Indol:**

**Lipídio:**

**Magnésio:**

**Proteína:**

**Uréia:**

**Fósforo:**

**Iodo:**

**Umidade:**

#### Análise Microbiológica

**Contagem Total de Mesófilos:**

**Contagem Total de Psicotrófilos:**

**Coliformes Fecais:**

***Vibrio parahaemolyticus:***

***Staphylococcus aureus:***

***Salmonella:***

***Listeria sp:***

#### Resultado Final