

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE SIMULAÇÃO COM BASE EM  
CONJUNTOS DIFUSOS, PARA AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DA  
CARCINICULTURA MARINHA EM SANTA CATARINA.**

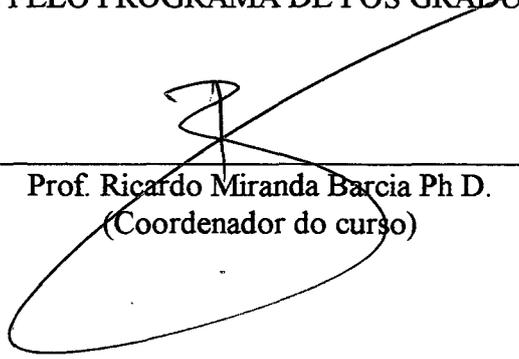
**WALTER LUIS MUEDAS YAURI**

**FLORIANÓPOLIS  
1997**

WALTER LUIS MUEDAS YAURI

**DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE SIMULAÇÃO COM BASE EM  
CONJUNTOS DIFUSOS, PARA AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DA  
CARCINICULTURA MARINHA EM SANTA CATARINA.**

ESTA TESE FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
DOUTOR EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E APROVADA NA SUA FORMA  
FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO

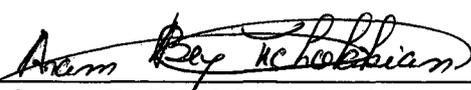


Prof. Ricardo Miranda Barcia Ph D.  
(Coordenador do curso)

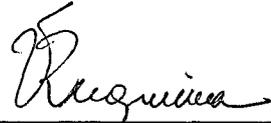
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Edgar A. Lanzer Ph. D.  
Orientador



Prof. Aran B. Teholakian Morales Dr. Eng  
Co-orientador



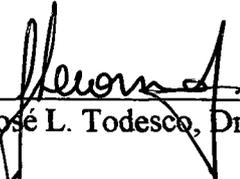
Prof. Vinicius Ronzani Cerqueira Dr.



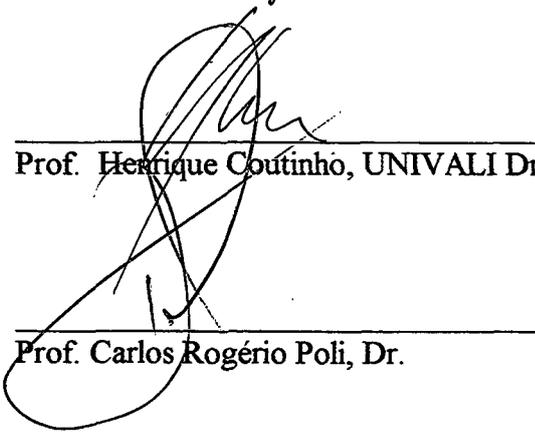
Prof. Fernando Gauthier, Dr. Eng.



Prof. Henrique Coutinho, UNIVALI Dr.



Prof. José L. Todesco, Dr. Eng.



Prof. Carlos Rogério Poli, Dr.



Prof. Henry Corseuil, Ph D. (moderador)

A Nosso Senhor Jesus, que nele todo é possível,  
a Ana e nossa Ana Cristina,  
e a os meus Pais.

### **AGRADECIMENTOS**

Ao povo Brasileiro que pelo apoio financeiro por intermédio da Capes .

À Universidade Federal de Santa Catarina pela sua dedicação na minha formação.

Ao Professor Ph D. Edgar Augusto Lanzer pela sua confiança e alento depositada na minha pessoa.

Ao colega e amigo Dr. Aran Tcholakian, pela sua dedicação em longas horas de trabalho e discussões sobre o tema.

Aos colegas e amigos Drs. Biólogos Luis Vinatea e Alfredo Olivera, pelo constante alento na realização deste trabalho.

Ao Laboratório de pesquisa de camarões marinhos da Barra da Lagoa da UFSC, liderado pelo Eng. Elpídio Beltrame e Dr. Edemar Andreatta, e ao conjunto de pesquisadores e técnicos, a todos eles a minha profunda gratidão.

Ao Dr. Paulo Freyre Vieira, pela revisão e correção do trabalho original.

E a todos os que, de forma direta ou indireta, colaboraram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

### CAPITULO 1- INTRODUÇÃO

1.1. O problema e sua relevância.....	1
1.2. A estrutura do trabalho .....	4
1.3. Objetivos.....	6

### CAPÍTULO 2 - MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1. Situação da carcinicultura mundial .....	8
2. 2. Teoria da sustentabilidade na aquicultura.....	11
2.3. A bordagem tradicional da carcinicultura.....	16
2.4. Restrições á modelagem em sistemas de aquicultura.....	17

### CAPITULO 3 - METODOLOGIA DA CONSTRUÇÃO DO MODELO

3.1. Introdução.....	19
3.2. Estudo das interações: Aproximação holística.....	19
3.3. Sistemas e modelos.....	20
3.4. A abordagem do problema através de um modelo.....	21
3.5. Modelagem do sistema.....	22
3.6. Descrição do modelo .....	24
3.7. O Impacto ambiental.....	26
3.8. O cultivo em viveiros como um ecossistema.....	27
3.9. Implementação do modelo .....	31
3.9.1. Variáveis de estado do sistema.....	31
3.9.2. Variáveis exógenas .....	31
3.9.3. Parâmetros.....	31
3.9.4. Taxas de mudanças.....	32
3.9.5. Calibração.....	32
3.10. O sistema, parâmetros fisico-químicos e o manejo no modelo de cultivo .....	33
3.11. Dados experimentais de algumas variáveis de estado.....	36
3.11.1. Oxigênio dissolvido.....	36
3.11.2. Temperatura e conversão alimentar.....	36

### CAPÍTULO 4 - IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO PROPOSTO

4. 1. Introdução .....	38
4.2. Fundamentação da ferramenta usada na modelagem.....	38
4.3. Implementação do Modelo.....	40

4.3.1. Sistema integrado .....	41
4.3.2. Sub-sistema 1.....	41
4.3.3. Sub-sistema 2.....	43
4.3.4. Sub-sistema 3.....	44
4.4. Implementação do modelo no sistema da lógica difusa.....	46
4.4.1. Implementação do sub-sistema 1 .....	46
A. Funções de pertinência para cada variável de estado de entrada....	46
B. Funções de pertinência para cada variável de controle de saída .....	47
4.4.2. Implementação do sub - sistema 2.....	48
4.4.3. Implementação do sub - sistema 3.....	49
4.5. Resultados obtidos .....	50
4.5.1. Comparação da quantidade do arraçoamento.....	50
4.5.2. Comparação da quantidade de fertilizante.....	51
4.5.3. Comparação da quantidade de troca de Água.....	52
4.5.4. Comparação da quantidade de biomassa.....	53
4.5.5. Comparação da quantidade de resíduo acumulado (1).....	54
4.5.6. Comparação da quantidade de resíduo acumulado (2).....	55
4.5.7. Comparação da quantidade de resíduo (2).....	55
4.6. Sobre os resíduos e a sustentabilidade dos cultivos.....	56
 <b>CAPITULO 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b>	
5.1. Conclusões.....	59
5.2. Recomendações .....	60
 <b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	 62
 <b>APÊNDICE.....</b>	 72
A. Banco de dados utilizado para a implementação do sistema difuso .....	72
B. Tabelas com índices técnicos para dar suporte à pesquisa .....	77
C. Programa computacional para o Funcionamento da Toolbox Fuzzy no Matlab .....	81
D. Superfície de resposta do manejo do sistema especialista .....	85

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1.</b> A queda da produção dos principais produtores de camarões marinhos a nível mundial (Miles /US\$) adaptado de FAO (1995).	9
<b>Figura 2.2.</b> Captura Mundial de Camarão desde o ano 1980 até 1994 (FAO/NACA,1995).	10
<b>Figura 3.1.</b> Modelo conceptual entre a relação dos macro-componentes do sistema sob a perspectiva do desenvolvimento sustentável.	23
<b>Figura 3.2.</b> Modelo conceptual do sistema produtivo em Estudo e sua relação com o Mercado.	25
<b>Figura 3.3.</b> Dinâmica do modelo conceptual interagindo com o ambiente.	26
<b>Figura 3.4.</b> Efeito da produtividade natural (expresso em níveis de oxigênio dissolvido na água, mg/l) e a temperatura no ganho de peso relativo de juvenis de <i>Penaeus paulensis</i> 40 dias de cultivo (Muedas, 1993).	28
<b>Figura 3.5.</b> Efeito da salinidade da água na conversão alimentar (C.A), do camarão juvenil de <i>Penaeus paulensis</i> do camarão juvenil (1,83g), de <i>Penaeus paulensis</i> 30 dias de cultivo (Cunha, 1997).	29
<b>Figura 3.6.</b> Efeito da Salinidade no Ganho de Peso Relativo do camarão juvenil (1,83g), de <i>Penaeus paulensis</i> (30 dias de cultivo) Cunha (1997).	33
<b>Figura 3.7.</b> Efeito da produtividade natural (expresso em níveis de oxigênio dissolvido na água, mg/l) e a temperatura, na conversão alimentar em juvenis de <i>Penaeus paulensis</i> durante 40 dias de cultivo (Muedas, 1993).	37
<b>Figura 4.1 .</b> Fluxo do processamento da informação na estrutura do sistema difuso.	39
<b>Figura 4.2.</b> Fluxo do processamento do sistema integrado mostrando a retroalimentação do sistema com os novos níveis de oxigênio.	42
<b>Figura 4.3.</b> Fluxo do processamento da informação com o primeiro controlador do sub-sistema 1 em lógica difusa.	42
<b>Figura 4.4.</b> Fluxo do processamento da informação com o segundo controlador do sub-sistema 2 em lógica difusa.	43
<b>Figura 4.5.</b> Fluxo do processamento da informação com o terceiro controlador do sistema 3 em lógica difusa.	45
<b>Figura 4.6.</b> Sub-sistema 1 mostrando a relação funcional entre as três variáveis internas de estado, transparência (Sec), pH e oxigênio dissolvido (OD) que disparam as regras de manejo, a troca da água (Tro), o arrazoamento (Ra), a correção do pH e a Fertilização (Fer).	46
<b>Figura 4.7.</b> Função de pertinência mostrando a amplitude de variação da variável de estado de entrada, a transparência medida com disco de Sechii (cm).	47
<b>Figura 4.8.</b> Função de pertinência mostrando a amplitude de variação da variável de estado de pH, nas suas amplitudes de pH baixo, médio e alto.	47

- Figura 4.9.** Função de pertinência do oxigênio dissolvido (mg/l), mostrando a amplitude de variação desta variável de estado. 47
- Figura 4.10.** Função de pertinência da variável de manejo troca de água (%) mostrando a amplitude de variação desta variável de controle. 48
- Figura 4.11.** Função de pertinência da variável de manejo de arrazoamento (kg/ha) mostrando a amplitude de variação desta variável de controle. 48
- Figura 4.12.** Função de pertinência da variável de manejo de correção de pH mostrando a amplitude de variação desta variável de controle. 48
- Figura 4.13.** Função de pertinência da variável de manejo Fertilização (kg/ha) mostrando a amplitude de variação desta variável de controle. 48
- Figura 4.14.** Sub-sistema 2 mostrando a relação funcional entre as duas variáveis internas de estado, transparência (Sec) e oxigênio dissolvido (OD) e as variáveis exógenas, salinidade (Sal) e temperatura (Tem) que afetam o crescimento (Cres) e a mortalidade (Mor). 49
- Figura 4.15.** Sub-sistema 3 mostrando a relação funcional entre duas variáveis internas de estado, Resíduos (Res) e transparência (Sec) e a variável exógena temperatura (Tem) que afetam a disponibilidade de oxigênio dissolvido no viveiro (OD). 49
- Figura 4.16.** Alimentação comparada entre a quantidade de alimento simulado (verde) e a quantidade de alimento fornecida segundo sugerida pelo sistema. 51
- Figura 4.17.** Fertilização comparada entre a quantidade de fertilizante simulado (verde) e a quantidade de fertilizante sugerida pelo sistema. 52
- Figura 4.18.** Troca da água em (%/dia) comparada entre o simulado (verde) e o sugerida pelo sistema. (azul). 53
- Figura 4.19.** Biomassa comparada entre o simulado (verde) e o sugerido pelo sistema. (azul) expressada em kg/há/ciclo de cultivo de 120 dias. 54
- Figura 4.20.** Resíduo acumulado (1) (segundo a conversão alimentar), produzida pelo cultivo de camarões comparada entre o simulado (verde) e o sugerida pelo sistema. (azul) expressada em kg/há/ciclo de cultivo de 120 dias. 54
- Figura 4.21.** Resíduo acumulado (2), como percentual de ração desmanchada produzida pelo cultivo de camarões comparada entre o simulado (verde) e o sugerida pelo sistema. (azul) expressada em kg/há/ciclo de cultivo de 120 dias. 55
- Figura 4.22.** Resíduo (2) como percentual de ração desmanchada, produzido pelo cultivo de camarões comparada entre o simulado (verde) e o sugerida pelo sistema. (azul) expressada em kg/há/ciclo de cultivo de 120 dias. 56

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 3.1.</b> Componentes para a implementação do sistema em lógica difusa.	33
<b>Tabela 4.1.</b> Parametrização das variáveis de entrada em faixas de valores, expresso em percentual do total da intervenção de determinada política de manejo.	42
<b>Tabela 4.2.</b> Valores totais das políticas de manejo relacionados aos valores lingüísticos implicados com seus valores entre limites mínimos e máximos de intervenção.	43
<b>Tabela 4.3.</b> Alteração do crescimento segundo a variação das variáveis físico-químicas de entrada de acordo aos dados experimentais.- Sub-sistema 2.	44
<b>Tabela 4.4.</b> Valores totais das políticas de manejo relacionados aos valores lingüísticos implicados com seus valores entre limites mínimos e máximos de intervenção.-Sub-sistema	44
<b>Tabela 4.5.</b> Alteração dos níveis de Oxigênio Dissolvido segundo a variação das variáveis físico-químicas com os componentes: resíduos que é a saídas do efeito combinado do sistema 1 e 2, o nível de transparência da água (Sec) e o fator exógeno a Temperatura (Tem). - Sub-sistema 3.	45
<b>Tabela 4.6.</b> Resíduos produzidos pelo sistema real e simulado comparados com sistemas mais intensivos.	53
<b>Tabela 4.7.</b> Cálculo de número de anos com boa produtividade até o declínio teórico da produção. (adaptado de Peterson J., Daniels, H. 1992).	57
	58

**LISTA DE SIGLAS**

- OD** : Oxigênio Dissolvido na água ( mg/l)
- pH** : unidades de pH
- Sec** : Transparência da água (cm)
- W** : Peso do camarão(g)
- Sob** : Sobrevivência do camarão (%)
- Bio** : Biomassa do camarão (kg/ha)
- Re** : Resíduos orgânicos da ração (Kg/ha)
- CMg** : Custo econômico marginal (R\$/ha)
- IMg** : Ingresso econômico marginal (R\$/ha)
- Rec** : Receita econômica bruta (R\$/ha)
- Tro** : Troca da água do viveiro de camarões (%/dia/ha)
- Fer** : Fertilização do viveiro de camarões (kg/ha)
- Corr** : Correção de pH (kg/ha)
- Ra** : Arraçoamento do viveiro de camarões (kg/ha)
- Tem** : Temperatura da água dos viveiros de camarões (°C)
- Sal** : Salinidade do viveiro de camarão (‰)

## RESUMO

Este trabalho descreve, a situação atual da carcinicultura no mundo, discute seus impactos sócio-econômicos e ambientais e desenvolve uma metodologia de estudo mediante um modelo de simulação em computador com base nos conjuntos difusos implementados no MatLab®, tendo como marco de análise sistêmico a teoria do Desenvolvimento Sustentável.

Deste modo o presente trabalho estrutura-se sobre esta base empírica (dados e informações objetivas, de quatro anos de coleta de informações sobre o cultivo de camarões no sul do Brasil), e adota a simulação em computador para estudar um fenômeno descrito por um pequeno número de variáveis de decisão. O sistema a ser pesquisado é o sistema produtivo de camarões marinhos, analisando muitas estratégias produtivas, com a finalidade de determinar qual destas, sobre uma perspectiva de sustentabilidade a longo prazo, é a que teria melhor desempenho. Deste modo a modelagem permitiu integrar, mediante a abordagem sistêmica, o conhecimento parcial de pesquisas pré-existentes sobre o cultivo de camarões realizados em pesquisas de laboratório, assim como também direcionar pesquisas futuras.

O modelo implementado processa os dados ambientais de todas as variáveis utilizadas na montagem do sistema, é indica o manejos alternativos em simulações induzidas para estudar o comportamento do sistema com outros cenários de produção. O modelo melhora o tipo de manejo, segundo as políticas implementadas, quando comparadas com as políticas de manejo utilizadas pelo banco de dados real. Como uma situação emergente da presente pesquisa, pode-se vislumbrar que a sustentabilidade futura do cultivo de camarão depende não apenas de práticas a nível da propriedade ou dentro do que acontece nos dos viveiros de produção, mas também do manejo integrado da zona costeira e de ações públicas para prevenir ou compensar danos ambientais e sociais que esta atividade econômica pode produzir.

## ABSTRACT

This work describes, the current situation of the carcinicultura in the world, argues its partner-economic and ambient impacts and on the basis of develops a methodology of study by means of a model of simulation in computer the diffuse sets implemented in the MatLab®, having as sistêmico landmark of analysis the theory of the Sustainable Development.

In this way the present work structure on this empirical base (given and objective information, of four years of collection of information on the culture of shrimps in the south of Brazil), and adopts the simulation in computer to study a described phenomenon for a small number of decision variable. The system to be searched is the productive system of marine shrimps, analyzing many productive strategies, with the purpose to determine which of these, on a sustentabilidade perspective in the long run, is the one that would have performance better. In this way the modeling allowed to integrate, by means of the sistêmica boarding, the partial knowledge of preexisting research on the culture of shrimps carried through in laboratory research, as well as to direct future research.

The implemented model processes the ambient data of all the variable used in the assembly of the system, is indicates the alternative handlings in induced simulations to study the behavior of the system with other scenes of production. The model improves the type of handling, politics according to implemented, when compared with the politics of handling used by the real data base. As an emergent situation of the present research, it can be glimpsed that the future sustentabilidade of the shrimp culture depends not only on practical the level of the property or inside of that it happens in the ones of the production fisheries, but also on the integrated handling of the coastal zone and criminal actions to prevent or to compensate ambient and social damages that this economic activity can produce.

## CAPITULO I

### 1. INTRODUÇÃO

#### 1.1. O problema e sua relevância

O cultivo de camarões marinhos (carcinicultura marinha), é uma atividade nova, se comparada com outras atividades pecuárias. Ela começa com cultivos comerciais externos, no Japão na década dos anos 30, para a espécie de águas frias *Penaeus japonicus* por Motosaku Fujinaga. Desde então o crescimento explosivo do cultivo de camarão nas últimas décadas foi associado ao camarão "tigre" *Penaeus monodon* esta espécie representava 58% da produção total em 1996, com o camarão branco Ocidental *Penaeus vannamei* vindo em seguida, com 22% enquanto outras espécies, como *P. stylirostris*, *P. chinensis*, *P. merguensis*, *P. indicus*, etc. contribuíam com o restante (Rosenberry, 1996).

Os sistemas de criação de camarão podem ser classificados como extensivos (caracterizados por alimentação natural e contato com as marés), semi-intensivos (suplementação alimentar e bombeamento ocasional de água) e intensivos (completa dependência de rações, bombeamento e circulação/aeração de água), com níveis de estoques variando entre 1-3, 3-10 e 10-50, respectivamente. (Deve ser observado que essas densidades se aplicam ao camarão tigre *P. monodon*, enquanto as espécies menores são criadas em maiores níveis.)

Em meados dos anos 80, a disponibilidade de larvas produzidas em laboratórios e rações comerciais tornou a intensificação possível e levou a colheitas recordes em Taiwan. Contudo, esse sucesso foi somente temporal logo naufragou e um cenário de catástrofe reproduziu-se nas Filipinas, China, Equador, e outros países principalmente asiáticos. Essa tendência perturbadora lança dúvidas sobre a sustentabilidade das modernas práticas de cultivo de camarão (Primavera, 1997).

O problema da diminuição da produtividade nos cultivos de camarão, em parte é explicado porque os efluentes dos viveiros de produção são captados novamente pelo sistema de cultivo. Desta forma se propaga a contaminação a todo o sistema produtivo.

O Brasil é o país que tem maior potencial de crescimento no cultivo de camarões na América do Sul. Porém existem dificuldades em adotar a tecnologia mais adequada para as

características regionais. A região Sul do Brasil, apresenta duas espécies de camarões nativos estudadas que apresentam potencial para o cultivo, o “camarão rosa” *Penaeus [Farfantepenaeus] paulensis* (Pérez Farfante, 1967) e o “camarão branco” *Penaeus [Litopenaeus] schmitti* (Burkenroad, 1936).

No ano 1988 a produtividade anual na Região Sul do Brasil era de 400 kg/ha/ano (Beltrame, 1990). Atualmente em 1997, nesta Região a produtividade chegou a ser ao redor de 1.200 kg/ha/ano, sendo a espécie principal o *Penaeus [Farfantepenaeus] paulensis*. No nordeste a espécie mais cultivada é exótica, proveniente do litoral sul americano ocidental do Oceano Pacífico, o *Penaeus [Litopenaeus] vannamei* (Boone, 1931); a produtividade anual desta espécie chega a ser de 3.800 kg/ha/ano, três vezes mais do que espécie nativa, o sistema de cultivo predominante é o semi-intensivo.

A produtividade no Sul ainda está aquém do esperado, já que o potencial que o “camarão rosa” apresenta para o crescimento em viveiros a temperaturas baixas moderadas (18 a 20 °C) é reduzido, apenas cresce 25% do potencial que apresenta a 24-28 °C (Muedas, loc.cit). A distribuição zoogeográfica da espécie *Penaeus [Farfantepenaeus] paulensis*, é na faixa sub-tropical desde o Cabo de São Tomé, Rio de Janeiro (Lat. 22°00”S) até a cidade de Buenos Aires (Lat. 38°30”S) (Iwai, 1978). Devido a esta característica de estar adaptado a águas temperadas, é um camarão que apresenta boa sobrevivência nos cultivos, dentro da faixa de conforto de 18 a 28 °C (Muedas, 1993), existente neste clima sub-tropical do litoral da Região Sul do Brasil.

A atividade cada vez mais intensa do homem sob os ecossistemas naturais leva-o a intensificar os cultivos, isto devido em parte a forte tendência da economia atual, de manter as taxas de crescimento econômico constantes. Isto tudo converge para uma degradação antrópica do meio ambiente. O habitante do litoral que depende quase exclusivamente da pesca, vem tendo dificuldades crescentes, como foi constatado na presente pesquisa, devido a diminuição da abundância de peixes em função do esforço de pesca, da pesca predatória e a degradação dos ecossistemas. As possibilidades da sustentabilidade destas populações de pescadores vem, por tanto, se reduzindo.

A encontro desta problemática, vem a abordagem sistêmica da carcinicultura, como parte natural integrante da realidade da pesca do litoral. É necessário uma bagagem teórica esclarecedora para a compreensão e ordenamento deste complexo sistema de interdependências múltiplas, para uma boa gestão deste recurso natural. Para isto não basta

uma disciplina; se faz necessário uma abordagem interdisciplinar para a compreensão desta problemática complexa e multi-facetada.

O tema específico desta pesquisa, que é também de natureza metodológica, é abordado utilizando a teoria dos sistemas complexos, e exemplificado mediante um sistema produtivo particular dentro do contexto do desenvolvimento sustentável. A abordagem que exemplifica esta problemática é a carcinicultura marinha, como integrante de um setor importante dentro do desenvolvimento sustentável ou ecodesenvolvimento do litoral Catarinense. Este estudo de caso considera o problema como sendo um problema de gestão patrimonial<sup>1</sup>

A escolha do cultivo do camarão marinho como objeto da análise decorre de duas características específicas. Primeiro que o Brasil, apresenta o maior potencial da América Latina, para o desenvolvimento do cultivo de camarão, porém ainda sem os problemas, de poluição e desaparecimento de mangues, já enfrentados por outros países como a China, Tailândia e Equador.

Segundo, por ser o cultivo de camarão uma atividade, que serve como um indicador de contaminação natural dos ecossistemas costeiros, já que ela mesma, seja pela sua própria atividade ou não, é a primeira a ser afetada pelos efluentes vertidos ao meio ambiente, podendo desta forma auto inviabilizar-se ao contaminar-se. Esta situação é plenamente apropriada para exemplificar o efeito das externalidades<sup>2</sup> na gestão dos recursos naturais.

O problema ambiental é uma situação emergente, no sentido que aparece espontaneamente, alterando a harmonia do entorno sem ter sido considerado sua manifestação. A maioria dos problemas que a sociedade se debate, na atualidade são, na realidade, situações emergentes de nossos tempos. Todo o enfoque do presente trabalho é abordado mediante a análise de sistemas em condições altamente simplificadas de maneira a estudar a sustentabilidade do cultivo de camarões marinhos em viveiros.

Hoje podemos ver as conseqüências, porem ainda não pôde-se compreender completamente o funcionamento da natureza como um todo. Segundo Jørgensen, (1994) "... existem limitadas possibilidades de manejar isto e mudar o desenvolvimento na direção certa. O que tem impedido ao *Homo sapiens* de tomar as necessárias medidas para prevenir as catastróficas e irreversíveis conseqüências de seu próprio progresso? Esteve este tão fascinado

---

<sup>1</sup> Uma das três dimensões, (social, ambiental e econômica), da teoria da sustentabilidade, entendida como a herança que a geração atual, deixa para a geração futura.

<sup>2</sup> Externalidade quer dizer fora da valorização das leis do mercado.

pelas suas próprias possibilidades de fazer progressos tecnológicos, que às cegas esqueceu a natureza? Ou teve visão curta?”. O autor continua, “não é possível que estas sejam as respostas verdadeiras. O *Homo sapiens* evolui na natureza, pela natureza e da natureza. Não, a resposta é pelo contrário que em desrespeito do lisonjeiro nome *Homo sapiens* ele ainda não trata com sistemas de enorme complexidade; e a natureza viva apresenta uma complexidade que é quase impossível de imaginar”.

Alguns sistemas são considerados como de difícil modelagem, entre os quais, podem-se citar, os processos de tomada de decisão, os sistemas econômicos, os sistemas biológicos. O manejo de um cultivo de camarões, pode ser considerado como um processo biológico de tomada de decisão.

Os fatores que atuam nestes sistemas complexos de acordo com Zadeh, (1973), são difíceis para serem descritos com todas suas propriedades, limites, tolerância, por intermédio de uma ferramenta matemática, que seja capaz de descrever e integrar, todas as medidas anteriormente.

De fato, as relações matemáticas podem só descrever certos aspectos do mundo real, e sua utilização se deve muitas vezes à falta de outras ferramentas mais apropriadas. Como descreve Zadeh “... para ser capaz de fazer intuições significativas a respeito do comportamento de tais sistemas complexos, é necessário abandonar o alto rigor e precisão de nossa análise matemática, e ser mais tolerantes, pois tal comportamento é aproximado por natureza ...”

## **1.2. A estrutura do trabalho**

No estudo da problemática mostrada, onde nos defrontamos com toda uma série de problemas globais que estão danificando a biosfera e a vida humana, levados a perceber que eles não podem ser entendidos isoladamente. São problemas sistêmicos, o que significa que estão interligados e são interdependentes.

Desta maneira um grupo particular de componentes e suas interrelações foram escolhidas para responder algumas questões, particulares como:

- Determinar o efeito do manejo dos viveiros de cultivo de camarão para evitar como se acumulam os resíduos do sistema de cultivo ao longo do tempo, através de múltiplas simulações com diferentes intensidade de cultivo de camarões, assim como.
- Estudar a capacidade do sistema de cultivo de suportar um determinado número de ciclos produtivos com viabilidade econômica e ambiental.
- Detectar os pontos críticos no funcionamento do modelo para a implementação de pesquisas que contribuam à solução do problema da sustentabilidade na carcinicultura.

A abordagem do problema se fará mediante a simulação em computador, caracterizada como uma nova dimensão da metodologia de pesquisa sistêmica. Neste sentido a pesquisa se enquadra como um trabalho de natureza metodológica.

Numa primeira fase, faz-se uma revisão bibliográfica dos trabalhos em aquicultura que dão suporte à presente pesquisa. Na análise destes trabalhos nota-se, que eles estão limitados a analisar problemas pontuais, deixando de lado, na maioria deles, a perspectiva do análise global ou holística destes problemas. Numa segunda fase a ferramenta usada para a implementação de toda esta fundamentação utilizamos os sistemas difusos apresentados por Zadeh (1973), como a parte essencial da nova matemática cibernética. O estudo de caso aplicando uma metodologia de simulação, e implementado o modelo baseado em dados de campo de criações de camarão na Região Sul Brasileira. O banco de dados utilizado para a implementação do sistema difuso provêm do monitoramento diário das variáveis físico-químicos, de manejo e bioeconômicos de camarão em viveiros, de uma fazenda comercial do Estado de Santa Catarina dos quais foram escolhidos oito cultivos consecutivos perfazendo 1200 dias de cultivo ao longo de quatro anos. Estes dados se apresentam graficamente no Apêndice A.

A experiência do autor como especialista da área de produção em viveiros, ajudam a implementar as políticas de manejo. O sistema desta maneira conta com uma base de conhecimento estruturado. As regras difusas são utilizadas na manipulação desta base de conhecimento.

Grande parte dos dados também são recolhidos a partir de experiências de cultivos similares em outras condições, sobretudo de intensidade de cultivo. Aqui utilizamos principalmente os dados que provêm do Equador, Filipinas, China e a Tailândia, que são os maiores produtores de camarão do mundo.

Deste modo o presente trabalho estrutura-se sobre esta base empírica (dados e informações objetivas, info-empíria), e adota a simulação em computador para estudar um fenômeno descrito por um pequeno número de variáveis de decisão. O sistema a ser pesquisado é o sistema produtivo de camarões marinhos, analisando muitas estratégias produtivas, com a finalidade de determinar qual destas, sobre uma perspectiva de sustentabilidade, é a que teria melhor desempenho. Deste modo a simulação permitirá a “experiência” destas múltiplas estratégias para uma melhor compreensão deste complexo sistema produtivo.

O modelo é governado pela simulação, produzindo com isto uma saída de dados, como biomassa produzida, custo e resíduos (excrementos mais ração não absorvida pelos organismos em cultivo). Estes resíduos acumulam-se no ambiente de cultivo, e a simulação acontece até que o sistema determina seu horizonte de funcionamento. A partir disto tentaremos extrair algumas conclusões que o sistema gerará.

Nas últimas décadas o aparecimento destas e outras técnicas computacionais tem atendido fundamentalmente a demanda de informação científica. No âmbito da ação planejadora, a consideração simultânea de fatores biológicos, sociais, físicos e ambientais encontra na construção de modelos formais da simulação uma simbiose, que alimenta os avanços ininterruptos da tecnologia. Os componentes sociais, econômicos e naturais se interrelacionam, avançando em transformações através do confronto entre si. Isto obedeceria a uma organização similar em outros níveis de interação mais elementares da natureza. Com base neste posicionamento epistemológico, decorre a abordagem teórica.

### **1.3. Objetivos**

Conforme decorrência da problemática proposta, os objetivos a serem alcançados com o presente trabalho podem ser expressados como:

1. Fazer um modelo de simulação, para a aproximação do problema mediante uma abordagem sistêmica da produção de camarões marinhos em viveiros. O modelo proposto, deverá cumprir alguns requisitos básicos:
  - Processar variáveis ambientais, e indicar o manejo alternativo ao efetuado pelo técnico da fazenda de produção de camarões.

- Determinar o crescimento e a mortalidade dependentes das variáveis ambientais e de manejo, assim como a produção de resíduos.
2. Estudar o efeito do manejo dos viveiros de cultivo de camarão para determinar a capacidade de carga do sistema de cultivo ao longo do tempo, através de múltiplas simulações com diferentes intensidade de cultivo de camarões. Aqui, serão abordadas duas políticas de manejo: A utilizada pelos produtores atualmente, obtidas desde um conjunto de dados, e um manejo considerado ideal, obtido a traves de experimentos laboratoriais parciais.
  3. Estudar a capacidade do sistema de cultivo de suportar um determinado número de ciclos produtivos com viabilidade econômica e ambiental.
  4. Detectar os pontos críticos no funcionamento do modelo para a implementação de pesquisas que contribuam à solução do problema da sustentabilidade na carcinicultura.
-

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

#### 2.1. Situação da carcinicultura mundial

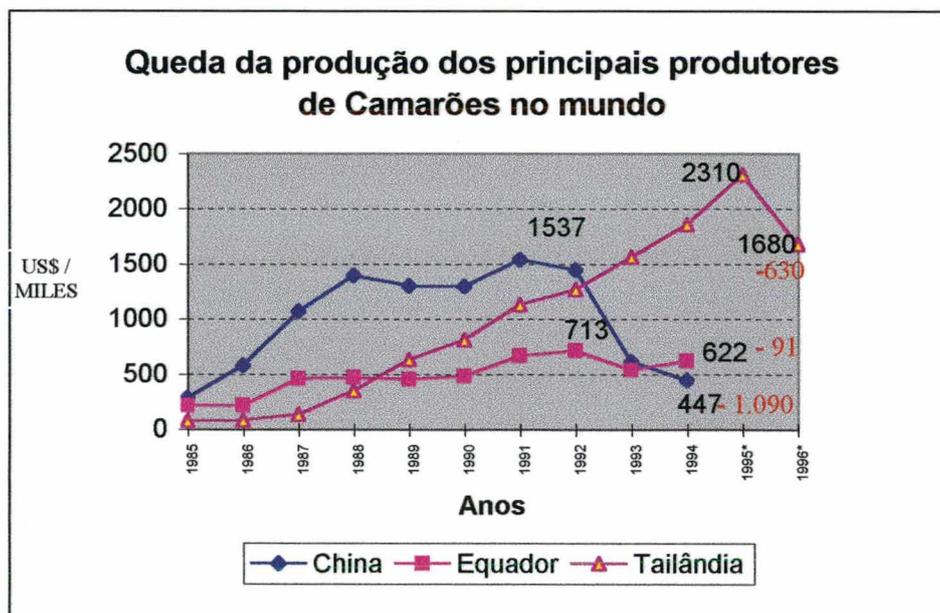
Na última década, o cultivo do camarão marinho, tem-se tornado uma das mais importantes indústrias do setor primário em algumas regiões do mundo. Recentemente no entanto, esta atividade tem apresentado extinções catastróficas em muitos lugares, onde o cultivo de camarões tem sofrido mortalidade massiva (ver Figura 2.1). Mediante intensas investigações tem sido encontrado que entre as possíveis causas estariam: Queda da qualidade do meio ambiente, envelhecimento do fundo do viveiro, manejo incorreto, deterioração na qualidade do alimento, qualidade inferior de larvas e uso não apropriado de medicamentos. Depois de vários anos o cultivo intensivo do camarão marinho em muitas áreas da Ásia e Equador, os viveiros tem-se deteriorado e os recursos aquáticos tornaram-se eutróficos (devido ao excesso de ração ou de fertilização agravado pelo corte de mangues que amorteciam este impacto, assim como, o aumento de fazendas e intensificação dos cultivos). Nessas áreas em países como China (1992), Equador (1992), Tailândia (1995) o cultivo do camarão tem tido bruscas quedas na produção. Estes países são responsáveis da queda de 28,75% (1.8 bilhões US\$), da produção mundial de camarões marinhos cultivados no mundo (FAO, 1995)

Estes problemas foram muitos discutidos em seminários e publicações. Todos tem concluído que o que tem provocado o impacto mais importante no cultivo do camarão marinho são os problemas ambientais decorrentes da própria intensificação desta atividade. O declínio na produção de camarões marinhos nestes países parece ser claro devido a ligação que existe entre as condições ambientais e a incidência de doenças, embora se saiba que a natureza da relação é complexa e precisa ser estudada (Hansell, 1993 em Chanratchakool, 1995).

O caso da carcinicultura marinha é muito interessante porque ela sofre diretamente as primeiras consequências de uma das suas externalidades econômicas (os

efluentes) que, em casos particulares cada vez mais freqüentes pela expansão da atividade, terminam sendo novamente absorvidos para o próprio sistema produtivo, afetando desta maneira seu processo produtivo. Esta característica faz com que esta atividade, ao contrário das demais atividades econômicas, ela mesma, se preocupe com a manutenção da qualidade do meio ambiente, e seja uma das mais interessadas nas novas abordagens como o desenvolvimento sustentável.

Os métodos de produção na aquicultura evoluíram em resposta ao aumento dramático da demanda por alimento devido principalmente ao aumento da população humana, declínio da pesca extrativa, à poluição e sobre-exploração do recurso. Porém as externalidades associadas com a produção moderna da aquicultura, tem sido cada vez mais evidentes, e a indústria agora enfrenta problemas difíceis relativos à descarga de efluentes. (Landesman 1994; Brown et al. 1994).

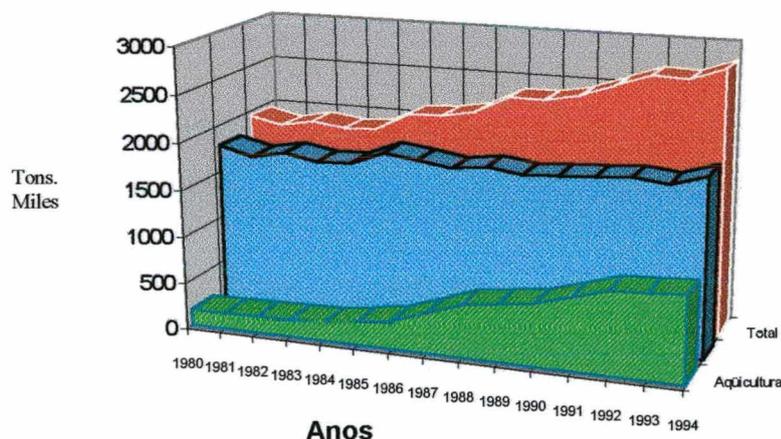


**Figura 2.1.** A queda da produção dos principais produtores de camarões marinhos a nível mundial (Miles /US\$) adaptado de FAO (1995).

É também conhecido que o esforço de pesca excessivo exercida sobre as populações naturais de animais aquáticos, comercial ou nutricionalmente importantes, é insustentável, por ser econômica e ecológicamente ineficiente. No caso da pesca de camarões, esta parece ter chegado ao limite da sua capacidade (ver Figura 2.2). Se as

populações humanas desejam manter um consumo em níveis saudáveis de alimentos marinhos, então um aumento da produção, que considere o crescimento demográfico deve surgir a partir uma melhor utilização da captura para o consumo humano direto, adicionalmente à expansão da aquicultura (Chanratchakool, 1995).

No passado a economia, simplesmente ignorou a dependência da atividade econômica sobre a subsistência dos sistemas que mantêm a vida, ou freqüentemente esta subsistência foi considerada como garantida. A economia concentrava-se principalmente na esfera social, dando pouca ou nenhuma atenção a interdependência dos sistemas naturais e econômicos. Atualmente sabe-se que a atividade econômica não pode ser avaliada isoladamente dos impactos sobre os sistemas naturais.



**Figura 2.2.** Captura mundial de camarão desde o ano 1980 até 1994 (FAO/NACA,1995).

A maioria das atividades econômicas incluindo a aquicultura, faz uso dos recursos naturais (extrair insumos dos sistemas naturais) e retorna lixo a ele (efluentes carregados de matéria orgânica, terapêuticos e fertilizantes), deste modo alteram o recurso fonte deste sistema fazendo-o de uma maneira substancial quando a atividade econômica acontece a larga escala. Já Folke e Kautsky, 1989 advertem, “[...] devido a essa interdependência, as atividades da aquicultura economicamente viáveis no curto prazo, podem não ser viáveis a longo prazo ou podem falhar em manter o benefício econômico desejado.” Mediante a

antecipação da identificação destas situações, pode ser possível formular e adotar planos de ação preventivos.

## **2. 2. Teoria da Sustentabilidade na Aquicultura**

Se existe a necessidade das indústrias da aquicultura serem sustentáveis num amplo sentido da palavra, então as pesquisas devem explicitamente considerar as múltiplas ligações no momento de se trabalhar com o sistema real. A maioria dos produtores estão entrando na indústria de carcinicultura com práticas insustentáveis originadas em décadas passadas. Um dos primeiros passos para a sustentabilidade é entender os atores que devem ser confrontados quando se trata de reconciliar metas biológicas, econômicas e sociais potencialmente conflitantes. Examinaremos a natureza de alguns destes atores focalizando como a operação do sistema biofísico influencia a sustentabilidade econômica, e da mesma maneira como a viabilidade econômica de um método de produção pode finalmente provocar uma mudança social de um determinado sistema de produção.

Apesar da abundância de estudos de biologia e engenharia, existe pouca informação das interações entre tecnologia e os sistemas de produção econômica, particularmente com respeito aos objetivos de sustentabilidade. Obviamente, pode ser difícil e caro executar experimentos econômicos e ambientais sobre sistemas comerciais. Uma maneira de evitar este problema é gerar a informação necessária através de modelos. Em sistemas abertos, as questões de sustentabilidade evidenciam-se não somente com respeito a viabilidade econômica da produção, mas também, com respeito à contínua cascata de efeitos meio ambientais de acumulação de resíduos (Cuenco, Stickney, e Grant 1985; Cacho 1990).

Devido a que o movimento da sustentabilidade tem tratado de harmonizar programas de pesquisa tradicionalmente diferentes, a maioria das definições tem tido vagas premissas de filosofia que fazem pouca referência ao potencial de aplicá-las aquilo num contexto operacional. Por exemplo, os sistemas sustentáveis de aquicultura tem sido descritos como:

“[...] sistemas produtivos, socialmente importantes e lucrativos, além de compatíveis com o meio ambiente”. Segue-se [...] “as metas específicas não podem ser formuladas, nem o progresso em direção á sustentabilidade avaliada, amenos que a natureza complexa do sistema de produção seja compreendida” Kazrmierczak, et al. (1995).

O conceito de sustentabilidade tem sido definido de diferentes maneiras, como uma “meta geral de equidade inter-geracional no que respeita á estabilidade biofísica, econômica, e/ou social dos sistemas de produção específicos” ou também, [...] o uso dos recursos meio-ambientalmente harmônicos [...] não desviam ou substituem recursos que poderiam ser usados de uma maneira mais produtiva [...] não degradam o meio ambiente nem comprometem o bem estar de gerações futuras [...](Sachs, 1976).

Desenvolvimento sustentável foi definido pela FAO (1988), como “o manejo e conservação da base de recursos naturais e a orientação da mudança tecnológica e institucional, de modo a assegurar o atendimento e a satisfação de necessidades humanas para as gerações presentes e futuras...”. Deve ser ambientalmente não degradante, tecnicamente apropriado, economicamente viável e socialmente aceitável. Com base na definição acima, a moderna tecnologia de cultivo do camarão está longe de ser sustentável, em razão de suas muitas consequências ambientais e sócio-econômicas adversas.

Como pode notar-se, esta ampla variedade de metas complicadas e potencialmente conflitantes tem gerado opiniões diferentes sobre a melhor maneira de obter-se o objetivo geral, flutuando desde os incentivos de natureza mercadológica até a necessidade de estritas políticas regulatórias de direção e controle. Devido a natureza do problema, a solução às questões de sustentabilidade poderiam provavelmente envolver compromissos entre objetivos econômicos, meio-ambientais, e sociais (Sandifer, 1995). O certo é que estas metas específicas não podem ser razoavelmente formuladas, nem o progresso para a sustentabilidade avaliada, a menos que a natureza complexa do sistema seja compreendida.

O que hoje assistimos na aceleração do tempo que acompanha a economia, é um descompasso entre os diferentes tempos. Com a economia, o tempo histórico se acelera de tal modo que surge um descompasso frente à capacidade de evolução e adaptação da biosfera (até o ciclo de vida de muitas espécies é ameaçada<sup>1</sup>, por algumas terem um período lento de procriação), sendo a crise ambiental uma consequência direta desse compasso. O homem passa a produzir novos materiais e novas estruturas a uma tal velocidade, que não existem organismos capazes de decompor e reciclar tais produtos.

O problema central como vimos não afeta somente a aquicultura. O Desenvolvimento Sustentável ou Ecodesenvolvimento é um conceito aparentemente indispensável, para a abordagem de todos os problemas emergentes de nosso tempo. Muito se tem discutido ao respeito sobre os riscos da degradação do meio ambiente, na qual a aquicultura tem a sua parcela. As discussões, de forma esparsa, começaram nos anos 60, e ganharam no final dessa década e no início dos anos 70 uma certa importância, que possibilitou a primeira grande discussão internacional culminando na Conferência de Estocolmo coordenada por Dennis Meadows (1972).

O conceito de ecodesenvolvimento para caracterizar uma concepção alternativa de política de desenvolvimento foi utilizada pela primeira vez pelo Canadense Maurice Strong em 1973. Ignacy Sachs (1976), formulou os princípios básicos desta nova visão de desenvolvimento. Ela integrou basicamente seis aspectos, que deveriam guiar os caminhos do desenvolvimento: a) a satisfação das necessidades básicas; b) a solidariedade com as gerações futuras; c) a participação da população envolvida; d) a preservação dos recursos naturais e do meio ambiente em geral; e) a elaboração de um sistema social garantindo emprego, segurança social e respeito a outras culturas, e f) programas de educação. Atualmente constatamos pelos trabalhos de Ignacy Sachs, mas também de Glaeser & Uyasulu (1984), que os debates de ecodesenvolvimento preparam a adoção posterior do termo Desenvolvimento Sustentável.

A pesquisa científica voltada à elucidação da questão ambiental deste modo, segundo Meadows, e Mesarovic, in Freire, 1995, assume como seu objeto central nos

---

<sup>1</sup> Neste sentido a degradação entrópica da diversidade animal poderá se ver diminuída a alguns microorganismos de grande velocidade de procriação; porém talvez com perda da qualidade ambiental.

aspectos estruturais e processuais envolvidos naquelas transformações da ecósfera como um todo, capazes de influenciar a manutenção das condições de sobrevivência e qualidade de vida da espécie humana num horizonte de longo prazo e em relação da coevolução com outras espécies vivas. Estes conceitos denotam um conjunto de componentes físico-químicos e biológicos, associados a um conjunto de fatores socio-culturais suscetíveis de afetar - direta ou indiretamente, a curto médio ou longo prazo - os seres vivos e a capacidade de adaptação humana numa escala global.

Quando falamos de desenvolvimento sustentável, temos que considerar não só os aspectos materiais e econômicos, mas o conjunto multidimensional e multifacetado. A sustentabilidade do todo só pode repousar na sustentabilidade conjunta de suas partes. E esses fatores e os seus respectivos equilíbrios repousam sobre fatores qualitativos.

As implicações dos planos de ação de sustentabilidade dependem do que é o que desejamos sustentar (Tisdell, 1993a). Diferentes sugestões tem sido feitas a respeito do que deveria ser sustentado. Isto inclui a manutenção do seguinte:

- (1) A produção ou produtividade obtida do cultivo de espécies (ex. camarões), utilizados pelos humanos.
- (2) O potencial dos recursos naturais que contribuem á produção.
- (3) A viabilidade econômica ou lucratividade da produção de uma espécie.
- (4) Diversidade biológica.
- (5) A renda (salário), disponíveis para as gerações futuras.
- (6) Qualidade ambiental
- (7) 'Comunidade', que sejam interrelações sociologicamente satisfatórias na sociedade humana.

Na economia de mercado, a manutenção da indústria da aquicultura depende de sua viabilidade econômica contínua e de sua relativa lucratividade. De fato isto depende de até quanto a produtividade da aquicultura é sustentável, utilizando fatores (elementos) naturais e sobre os fatores de mercado, refletidos nos preços pagos pelos insumos usados em aquicultura e o preço(s) obtido para seu produto(s). Alguma sinergia pode existir entre

a obtenção da sustentabilidade econômica e a realização de outros objetivos sustentáveis listados acima, da mesma maneira no entanto, não ha uma completa concordância acerca da extensão da complementaridade. Por exemplo, a capacidade dos sistemas naturais de contribuir á produtividade econômica pode ser indeterminada mediante a perda da biodiversidade e de fato isto pode reduzir a renda disponível para gerações futuras.

Existem muitas críticas à carcinicultura, algumas mais graves que outras. Entre estas podemos citar que é considerado que os cultivos de camarão são transitórios, quer dizer, seriam produtivos por pouco tempo, que provocam a salinização de solos, que estimulam a destruição de mangues, que contaminam a água, que diminuem a população natural de pós-larvas silvestres de camarão, que provocam o empobrecimento de populações humanas das vizinhanças, que exploram a mão de obra com salários abaixo do mínimo legal, etc.

A medida em que a biomassa e os restos (resíduos) de ração aumentam ao longo do ciclo de um cultivo, a qualidade da água nos viveiros de cultivo intensivo se deteriora. O Nitrogênio total, nitritos, silicatos, ortofosfatos, oxigênio dissolvido e a DBO (demanda bioquímica de oxigênio) utilizada pelas bactérias da água aumentam e a visibilidade da água decresce em viveiros de cultivo intensivo ao longo do ciclo de crescimento. Igualmente, a qualidade das águas receptoras se deterioram à medida que a capacidade de assimilação do ambiente é ultrapassada. Níveis de nitratos, fosfatos, sulfito, tubidez e DBO aumentam consideravelmente nos canais adjacentes às fazendas de camarão (Jayasinghe, 1995). Um importante fator por trás da mortalidade em massa em 1998 nos cultivos de Taiwan foi a reutilização de águas das descargas dos viveiros (Lin, 1989).

O problema de salinização se produz na Ásia, onde bombeiam água subterrânea para reduzir a salinidade de cultivos super intensivos, sendo além disto, lugares extremamente planos. Os aquicultores conscientes com o problema que o corte do mangue acarreta a interrupção da reciclagem da matéria orgânica, estão se organizando na defesa dos mangues; os primeiros a sofrer com a contaminação da água são os mesmos produtores de camarão, de modo que, são eles os principais preocupados com a qualidade da água. Existe proibição da captura de larvas do ambiente natural em alguns países como o Brasil, e a pós-larva de camarão é produzida por laboratórios especializados. E

finalmente para demonstrar que as críticas são infundadas, a carcinicultura tem sido uma fonte de emprego a muitas populações que habitam perto destes sistemas produtivos.

### **2.3. Abordagem tradicional da carcinicultura**

No contexto atual, na aquicultura em geral muitos destes problemas são abordados de uma maneira reducionista, abordagem que limita o panorama geral destes sistemas produtivos. A maioria dos estudos sobre o cultivo de camarões tem sido feitos sob condições de laboratório usando faixas fixas estreitas de fatores que influenciam o crescimento. Estes estudos se aplicariam mais a ambientes de cultivo altamente controlados, o que não é o caso do cultivo de camarões em viveiros a grande escala .

Estes trabalhos pontuais, no entanto, são trabalhos que dão suporte técnico à pesquisas mais amplas que integram, uma série de fatores físico, químicos e biológicos para uma abordagem mais ampla destes sistemas produtivos. Trabalhos como de (Jory, 1995), sobre como a produção ótima de camarão em cultivo esta ligada ao desenvolvimento de técnicas apropriadas de manejo, assim como as resposta fisiológicas dos camarões às alterações dos diferentes fatores ambientais (Lester & Pante, 1992). Assim como o trabalho de Staples e Headles (1991), que enfatiza que para a obtenção de altas produtividades em cultivos de camarão, devem ser pesquisadas condições ótimas de crescimento e sobrevivência.

O manejo alimentar é um dos principais pontos para a obtenção de alta produtividade, em cultivos de camarões marinhos (Clifford, 1992; Robertson et al, 1993; Jory, 1995; Quadros, 1997; Cunha, 1997). Trabalhos que estudam de forma parcial as etapas produtivas do sistema de cultivo como o de Samocha e Laurence (1992), que estudam o estoque de pós larvas em pré-berçários para aumentar a sobrevivência , e afirma que uma redução no tempo de cultivo nos viveiros de engorda diminui a probabilidade de deterioração do fundo dos mesmos e aumenta a contribuição da produção natural para o requerimento nutricional do camarão, reduzindo, assim, o gasto com ração.

Outros trabalhos como os de que afirmam que, o ritmo de crescimento do camarão pode ser afetado por diversos fatores como qualidade da água (salinidade, pH, oxigênio dissolvido) (Boyd, 1989), temperatura, quantidade e qualidade de alimento oferecido, densidade de estocagem e outros (Wyban e Sweeney, 1991).

Outros trabalhos visam otimizar a produção econômica do cultivo de camarões, porém não consideram, no análise destes sistema não entra o longo prazo, o impacto ao meio ambiente destas práticas podem causar. Como o modelo de simulação para determinar, mediante a incorporação de variáveis ambientais e de custos, o momento ótimo da despesca do viveiro de camarão (Muedas, 1993). Este modelo, porém não contempla a produção a longo prazo, com ciclos de cultivos que sucedem-se no tempo.

Outros trabalhos desenvolvem sistemas fechados de cultivo para peixes, porém, sem um análise no tempo que estes sistemas podem provocar (Kazmierczak et al., 1995). Existem algumas abordagens recentes de análise retrospectiva, deste tipo de problemas, em lugares onde já se apresentaram os problemas do cultivo de camarão ao meio ambiente como o de Clay, (1997) que afirma que "... a sustentabilidade deve ser definida pelo impacto dos viveiros de camarões sobre a totalidade do ecossistema somada à capacidade de produção dos viveiros ano traz ano, geração traz geração..."

A maioria dos produtores e pesquisadores destas zonas produtivas, que já apresentaram este tipo de problema, concorda com o fato de que existem algumas práticas de cultivo que são melhores (mais sustentáveis), que outras (Clay, op cit).

#### **2.4. Restrições á Modelagem em Sistemas de Aqüicultura**

Existe dificuldade na construção de modelos em aqüicultura. Os problemas são muitas vezes insuficientemente definidos, os processos críticos e mecanismos são pouco entendidos e os dados são muitas vezes escassos e difíceis de serem obtidos, além de parciais. O conhecimento pertinente à aqüicultura é disperso e freqüentemente qualitativo. O desafio do modelador é coletar informação pertinente e integrá-la num modelo de uma forma consistente e útil.

Em sistemas feitos pelo homem - prédios, fábricas, computadores, automóveis, etc. - o nível de complexidade é necessariamente equiparável com aquilo que os humanos podem compreender, desenho, construção e operação. Os humanos especificam os componentes e os processos com os quais eles querem tratar. Os sistemas naturais não foram construídos nem desenhados por humanos. Conseqüentemente, o modelador é encarado com o problema de descobrir e compreender os processos, os mecanismos e leis que fazem funcionar esse sistema natural. Os sistemas vivos são altamente complexos, porque à variabilidade biológica é acrescentado aos processos químicos e físicos que também trabalham em sistemas inertes. Cada organismo individual apresenta uma composição genética única a qual deriva de um mecanismo randômico de herança, etc.

Os viveiros mostram uma ampla flutuação na temperatura da água oxigênio dissolvido e salinidade ambos dentro e entre dias. Para modelar o crescimento sob condições de viveiro, o efeito das flutuações diurnas e sazonais devem ser determinadas. Estes experimentos são muito mais complicados e difíceis de conduzir. Uma aproximação alternativa é desenhar e conduzir experimentos comparativos para determinar se e como os resultados obtidos com faixas fixas de fatores de crescimento podem ser aplicados sob condições onde esses fatores são flutuantes. Como manifesta Cuenco (1982), estudos nesta área são raros e necessitam ser salientados. O efeito dos fatores meio ambientais sobre o crescimento dos camarões utilizados na modelagem do ecossistema do viveiro são mostrados no capítulo seguinte.

## CAPITULO III

### 3. METODOLOGIA DA CONSTRUÇÃO DO MODELO

#### 3.1. Introdução

A simulação é usada freqüentemente para desenvolver percepções qualitativas mediante o estudo de modelos, complicados o suficiente, de maneira a destacar algumas propriedades encontradas nos sistemas reais. Como menciona (Spain 1982), o benefício primário da modelagem em pesquisa é de servir como uma ferramenta potente para a formulação, investigação e melhoramento de hipóteses e teorias. A ciência está primeiramente interessada com a produção de um modelo conceptual que reflita precisamente o sistema real. No presente capítulo, mediante a observação do sistema, um modelo conceptual é formado. Este modelo poderá sugerir um ou mais experimentos, resultado do qual sustenta ou refuta o modelo. O modelo então poderá ser modificado e melhorado, fazendo o que conhece-se como ciclo clássico de pesquisa. No presente capítulo definiremos o modelo com todos os seus componentes. A seguir apresentamos os passos seguidos para a implementação do modelo.

#### 3.2. Estudo das interações: Aproximação holística

O estudo de um sistema é primeiramente o das interações entre os componentes porque as interações antes que os componentes em se mesmas, determinam a natureza do sistema. Como menciona Cuenco, (1989), estudando por exemplo, as propriedades do hidrogênio e do oxigênio não pode-se predizer as propriedades do sistema que é constituído por estes dois elementos: a água. Igualmente, estudar os componentes do sistema de aquacultura de forma independente um do outro não resulta numa boa compreensão desse sistema. Ainda assim, os modelos facilitam a avaliação de interações complexas.

O modelo realizado serve como mecanismo para identificar o desconhecido, mediante a organização do que é conhecido, durante a estruturação do modelo. Os modelos são úteis para extrair e sintetizar a informação das diversas disciplinas em uma estrutura coerente e para identificar necessidades de pesquisa. Os resultados de pesquisa que não aparecem escritos, ou

sejam fragmentados e conflitantes, podem ser integrados juntos para formar um conjunto conciso e bem integrado.

Os modelos também fornecem uma estrutura para clarear as idéias e conceitos, organizando idéias expressando percepções. Problemas complexos são definidos claramente e esboçados para um mais detalhado estudo mediante a separação do que é importante do que não é, para a eliminação dos fatores menos importantes. Isto ajuda a concentrar-se em aspectos críticos do problema.

### **3.3. Sistemas e modelos**

Um sistema é uma série de componentes (elementos ou partes) que estão ligados, de forma interdependente ou funcionam juntos para fazer um determinado trabalho ou efetuar uma determinada função (Kitching 1983; Grant 1986). Estes estão unidos mediante alguma forma de interação. Dois componentes atuam como um sistema se o comportamento de um é afetado pelo outro.

Como menciona (Kitching 1983), um modelo é qualquer representação, abstração ou trabalho analógico de um sistema que inclui somente aqueles atributos relevantes de um problema particular assunto ou uso pretendido. Desta maneira um grupo particular de componentes e suas interrelações foram escolhidas para responder algumas questões, já mencionadas nos objetivos, particulares como:

Determinar o efeito do manejo dos viveiros de cultivo de camarão para determinar como se acumulam os resíduos do sistema de cultivo ao longo do tempo, através de múltiplas simulações com diferentes intensidade de cultivo de camarões, assim como, estudar a capacidade do sistema de cultivo de suportar um determinado número de ciclos produtivos com viabilidade econômica e ambiental. Detectar os pontos críticos no funcionamento do modelo para a implementação de pesquisas que contribuam à solução do problema da sustentabilidade na carcinicultura.

Obviamente, um modelo não pode ter todos os atributos do sistema ou este não seria um modelo mas sim o próprio sistema real. Deste modo, um modelo pode muitas vezes

implicar vários graus de simplificação (Riggs 1963). Os modelos nunca descrevem o mundo real exatamente e muitas vezes nem pretende fazê-lo.

Um modelo apresenta entradas e saídas os quais são chamados de variáveis do modelo. O modelo descreve como as variáveis das saídas mudam quando são modificadas as variáveis de entrada. Um modelo também contém um ou mais parâmetros que mediam as relações entre as variáveis. Um parâmetro é uma constante que deve ser estimada antes que o modelo seja usado.

Um modelo é qualquer abstração ou simplificação de um sistema, e, que segundo Von Clauswitz, (Citado em Cuenco, 1987), modelos são uma extensão do análise científico mediante outros meios. Os modelos de ecossistemas são simplificações dos ecossistemas reais. Um modelo deve ter os atributos funcionais importantes de um sistema real. Obviamente este não pode ter todos os atributos, ou este não seria um modelo, este seria o sistema real (Hall, 1977). A modelagem é feita para auxiliar a conceitualização e a mediação de um sistema complexo, algumas vezes, para prever as conseqüências de uma ação que pode ser cara, difícil, ou destrutiva de ser realizada com o sistema real.

Outra definição, pode ser que estes modelos são dispositivos para prever o comportamento de uma entidade complicada ou, insuficientemente compreendida de partes, que, são bem compreendidas. Uma terceira definição é de que modelos podem ser considerados a formalização de nosso conhecimento a respeito de um sistema.

A modelagem é pois uma aproximação á solução do problema caracterizado pela construção, teste e uso de modelos (Riggs 1963; Spain 1982; Grant 1986). O modelo é uma ferramenta para especificar, descrever, organizar e comunicar conhecimento a respeito de fenômenos complexos numa forma precisa, clara e concisa.

#### **3.4. A abordagem do problema através de um modelo**

A modelagem é uma ferramenta de trabalho para investigar rapidamente experimentos do tipo “que acontece se”, permitindo avaliar as conseqüências de varias hipóteses de estratégias de manejo. Mediante a mudança de parâmetros do modelo e variáveis dos efeitos combinados para muitos fatores pode ser estudado. Este procedimento é menos caro que a experimentação física e pode ser usada para concentrar nossos esforços nessas questões críticas que necessitam ser verificadas através de verdadeiros experimentos. Os processos do

mundo real que levam meses ou anos podem ser simulados num computador em questão de segundos ou minutos.

Depois da construção do modelo, poderá se fazer previsões a respeito da consequência de varias estratégias de manejo com o sistema de produção de camarões. A simulação (usando o modelo teórico) é particularmente valioso para sistemas complexos os quais envolvem interações não lineares múltiplos de numerosas variáveis em ciclos positivos e negativos de retroalimentação. Nesses sistemas, medidas de controle podem ser opostos intuitivamente e produzir resultados que são opostos a qual é esperado.

Os modelos também são desenvolvidos para facilitar o gerenciamento diário do funcionamento do sistema de produção de camarões, e.g., determinação de estocagem e taxas de alimentação, previsão dos níveis de oxigênio dissolvido e a investigação do efeito das diferentes estratégias de manejo. A tomada de decisões implica um implícito, se não explícito, uso de modelos; a pessoa que toma as decisões invariavelmente tenha uma relação causal em mente quando ele tome a decisão. Por outro lado, os modelos não podem substituir a pessoa que toma as decisões e um modelo nunca deve ser usado como um substituto como um bom avaliador. Muitas vezes alguns outros fatores devem ser considerados junto com os resultados do modelo antes de comprometer o curso da ação. Existem decisões subjetivas e suposições feitas durante a construção de modelo, baseadas na teoria, de situações não totalmente conhecidas no particular problema da criação de camarões onde o modelo é aplicado. Neste sentido o modelo é meramente uma ferramenta: o especialista de campo deve de tomar as decisões.

### **3.5. Modelagem do Sistema**

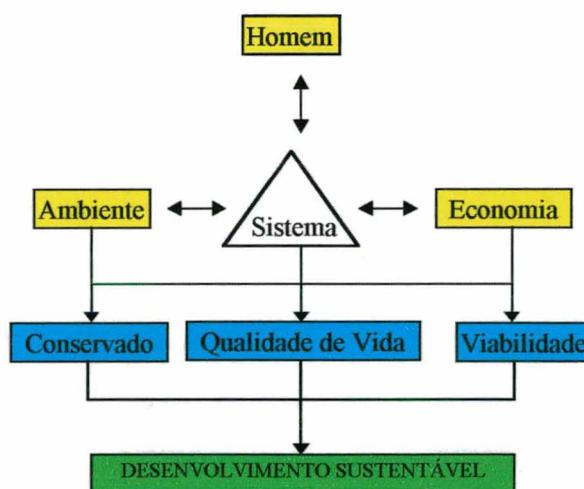
Para a construção do modelo utilizamos tanto o conhecimento proveniente da teoria, o laboratório e o campo, colocados todos juntos, dentro de um conjunto consistente para formar o modelo. Existem áreas onde o nosso conhecimento é disperso, não existente ou inconsistente; a pesquisa no modelo serve para evidenciar estas áreas. Experimentos de laboratório, isolando algumas variáveis das encontradas na região sul foram utilizados neste caso. Este conhecimento conduz a ajustamentos do modelo e possibilita mais adiante outra rodada de experimentos. A modelagem e a verdadeira experimentação, como menciona Pielou (1977) citado em Cuenco, 1989, podem e deveriam ser complementares e reforçar um

ao outro. É neste sentido que a utilidade dos modelos consistem primeiramente em levantar questões, e não a rigor, em responde-las.

Os modelos podem ser usados para desenhar experimentos propostos. Como uma extensão do método científico, a modelagem é especialmente poderosa para especificar e testar hipóteses complexas. Variáveis importantes e dados são identificados na modelagem assim como o tipo de medição requerido para predizer o comportamento do sistema. Deste modo, a coleta de dados (e o custo associado) são limitados a o que é essencial de resolver num problema particular.

Os dados experimentais definem o tipo de modelo e fornece os dados necessários para construir e calibrar o modelo. Dados experimentais podem também atuar como para verificar a validade do modelo e a concordância com o mundo real.

O interesse desta pesquisa, é com a produção de camarões (sistema) em grande escala, incluindo as maneiras em que o homem interage com a natureza. Este modelo poderia meramente ser chamado eco-sócio-econômico ou de um modelo para a gestão para a aquicultura sustentável (ver Figura 3.1), estes componentes exibem tipos similares de interações e generalidades, com uma forte carga multidisciplinar, para a sua implementação.



**Figura 3.1.** Modelo conceitual entre a relação dos macro-componentes do sistema sob a perspectiva do desenvolvimento sustentável.

Análise de Sistemas é o estudo de como as partes do sistema funcionam juntas. Isto é a organização metódica e lógica dos dados e informação em modelos acompanhados pelo teste rigoroso e a exploração destes modelos necessitam da sua validação e melhoramento.

O Sistema ecológico ( ou modelagem ecológica) é a aplicação dos procedimentos da análise de sistemas á ecologia. Isto trata com o sistema natural existente, enfatiza as interações entre os componentes vivos e não vivos. Uma das metas é avaliar os efeitos da ação humana sobre o sistema de maneira de atingir certos objetivos. A agricultura e a aquicultura são bons exemplos e campos onde a ecologia de sistemas pode ser aplicado.

### **3.6. Descrição do Modelo**

O modelo a ser estudado parte de dois pressupostos: primeiro, de que é a pressão do mercado através da sua elevada taxa de juros, seja a que impõe aos sistemas produtivos a produzir cada vez mais, procurando sempre minimizar os custos; ou, segundo, que a procura de um maior lucro pelo investidor, o leve também a uma intensificação da atividade, o que na ausência de regulamentos e fiscalização correspondente, levaria ao sistema produtivo a provocar cada vez a um maior descontrolo, provocando maior poluição ambiental. O modelo tentará avistar as situações emergentes, a partir da intensificação da atividade, seja por um ou o outro motivo.

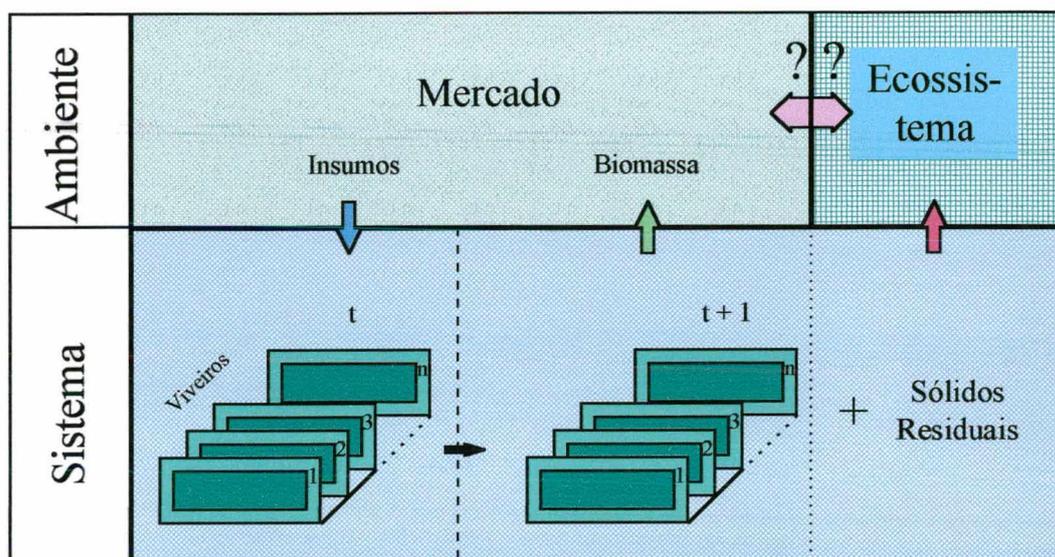
A análise concentra-se aqui no exame das interrelações entre os diferentes sistemas de cultivos de camarão em viveiros, principalmente no que respeita às densidades mais intensivas de cultivo, porém sem arejar artificialmente água. O propósito é ver seu impacto no ecossistema.

O sistema representa os viveiros de cultivo de camarão do mundo real, seus componentes, e interações respectivas. Um sistema deste tipo é como produzir um mundo artificial que se assemelha ao mundo observado, no sentido que ele se compõe da sua estrutura básica, visando a realização de experiências as mais variadas. Através da modelização das situações que são criadas como situações emergentes<sup>1</sup>, objetivamos investigar o papel que esta dimensão desempenha nos processos de tomada de decisão, porém é necessário estar ciente que ao ganharmos generalidade por um lado, por outro perdemos especificidade na análise do sistema.

A parte das interações no ecossistema a ser simulado existem também interações do ecossistema com o ambiente econômico da produção (o mercado). A tradicional relação que

existe entre o sistema produtivo e o mercado é a de uma simples troca econômica de bens consumidos e bens produzidos pelo sistema produtivo, obedecendo às leis da oferta e procura, onde o impacto que a atividade produz ao ambiente (em termos econômicos é considerado uma externalidade), não está contemplada.

Muitas vezes o sistema produtivo é exigido a produzir a uma tal taxa, para pagar o custo do capital, que termina poluindo ainda mais rápido o seu entorno, inviabilizando esta atividade em curto tempo. Isto torna a atividade insustentável como vemos na Figura 3.2.



**Figura 3.2.** Modelo conceitual do sistema produtivo em Estudo e sua relação com o Mercado.

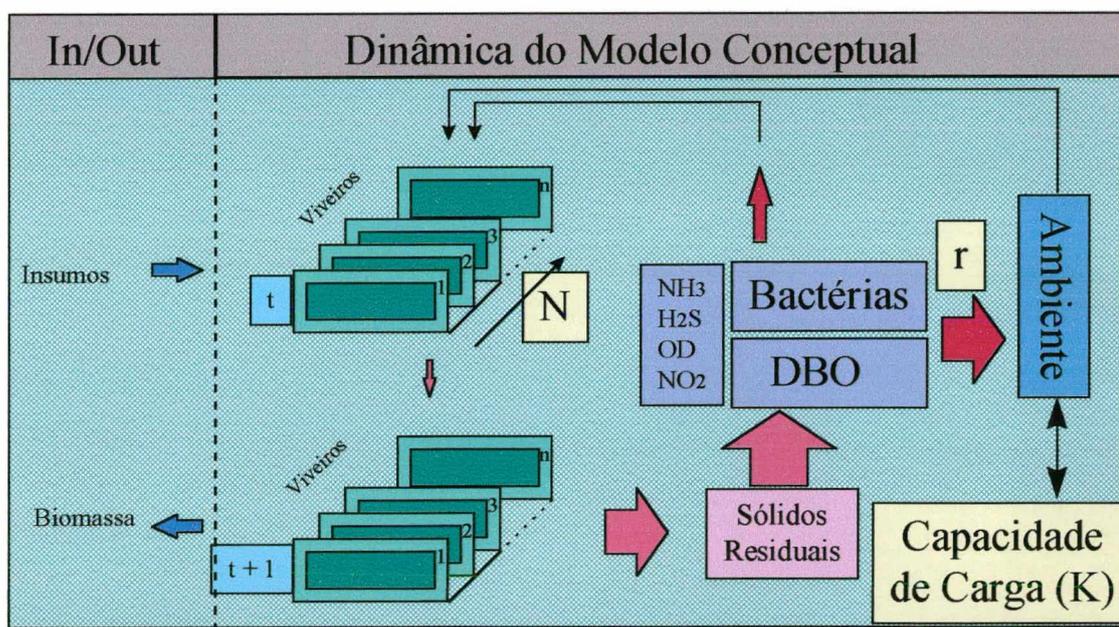
A atual crise ambiental e a busca de um desenvolvimento sustentável tornam interessante e urgente a inclusão da problemática da entropia física, no pensamento econômico, uma vez que o que ameaça a sustentabilidade do processo econômico é justamente a base material que lhe serve de suporte, bem como a capacidade do meio de absorver a alta entropia resultante do processo econômico (Georgescu-Roegen, 1971).

A contribuição de Roegen, quanto ao fato de que o processo econômico é do ponto de vista físico, uma transformação de energia e de recursos naturais disponíveis (baixa entropia), em resíduos e poluição (alta entropia), traz uma luz nova e fundamental ao problema de sustentabilidade do sistema global.

<sup>1</sup> Situações que aparecem ao interagir muitos componentes do sistema, ao mesmo tempo, criando muitas vezes situações novas ou inesperadas.

### 3.7. O impacto ambiental

A atividade do cultivo de camarão como toda atividade antropogênica provoca alterações no ambiente<sup>2</sup>. O principal impacto está associado com o acúmulo da matéria orgânica no próprio viveiro, e com a descarga dos efluentes ao meio ambiente. As águas que provêm do sistema de cultivo, são ricas em nutrientes e matéria orgânica particulada em suspensão o que induz uma queda do oxigênio, assim como à hiper-nitrificação (grande quantidade de Amônia total, Nitrato e Nitrito) e eutrofização<sup>3</sup>, do corpo da água receptor, com a conseqüente alteração da qualidade da água que o próprio sistema de cultivo dispõe, e do habitat vizinho no ecossistema onde está inserido a fazenda de produção de camarões.



**Figura 3.3.** Dinâmica do modelo conceptual interagindo com o ambiente.

Os efluentes podem ser afetados por muitos fatores como clima, tipo de viveiro, taxa de renovação, manutenção do viveiro, tipo de alimento, modo de arazoamento, volume e dinâmica do corpo de água receptor, densidade de estocagem, espécie cultivada e estágio de

<sup>2</sup> Não existe poluição zero em nenhuma atividade humana realizada.

<sup>3</sup> Situação que se apresenta quando é introduzido um excesso de nutrientes num habitat aquático, nutrientes que podem fazer proliferar grande quantidade de flora bacteriana aumentando em tal grau, que podem chegar a esgotá-lo.

desenvolvimento da espécie que está sendo cultivada. Os efeitos específicos destas variáveis não podem ser facilmente generalizados a partir dos dados coletados.

O objetivo geral na construção deste modelo, é compreender a maneira de como as interações físicas e biológicas afetam a dinâmica da intensidade de cultivo.

### **3.8. O cultivo em viveiros como um ecossistema**

Os modelos de ecossistemas de viveiros tentam incorporar os muitos componentes e processos relevantes do meio ambiente do viveiro. Isto inclui os componentes bióticos (cultivo de organismos, fitoplâncton, zooplâncton, organismos béticos, complexo bactéria-detritus), os componentes abióticos (características da água, como o pH, alcalinidade, dióxido de carbono, temperatura, oxigênio dissolvido, amônia total, nitrito, nitrato, fósforo, matéria orgânica, tipo de solo, fatores climáticos como radiação solar, vento, evaporação e precipitação) e fatores de manejo.

O núcleo de um modelo do viveiro é usualmente algum tipo de modelo de crescimento. Enlaçado a isto estão os fatores meio ambientais que são considerados importantes ou de interesse para o problema particular sob estudo, e os fatores de manejo (especialmente insumos como alimentos e fertilizantes). Os fatores meio ambientais e de manejo que são usualmente incorporados nos modelos de viveiros são discutidos aqui brevemente.

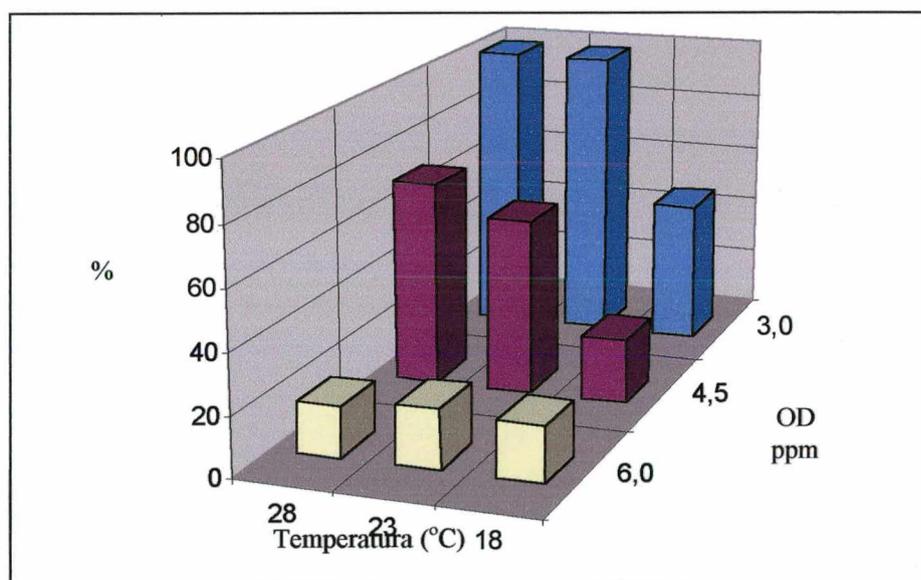
- Oxigênio dissolvido (OD) é requerido pela espécie para seu metabolismo. A taxa de crescimento da espécie aumenta com o crescimento da concentração de oxigênio acima de um máximo, onde o oxigênio não é mais limitante, e a taxa de crescimento é independente à concentração do oxigênio, ponto onde começam os fatores nutricionais a criarem dependência. O efeito da queda de oxigênio no ambiente de cultivo produz diminuição da biomassa, devido ao incremento da mortalidade.

- A amônia não ionizada ( $\text{NH}_3$ ) é um sub-produto do metabolismo e pode ser considerado um fator limitante restringindo a remoção dos metabolitos e como consequência diminuir o crescimento (Cuenco 1982). A Amônia não ionizada está em equilíbrio com o íon amônia ( $\text{NH}_4^+$ ). Temperaturas elevadas e elevado pH provoca o equilíbrio para o deslocamento em direção a  $\text{NH}_3$ , o qual é muito tóxico para o camarão, este parâmetro é muito mais importante para sistemas intensivos fechados.

- O pH na água em viveiros tropicais de água marinha apresenta um ritmo diurno o qual é causado pela produção e consumo de dióxido de carbono. Durante o dia, o dióxido

de carbono é tomado pelo fitoplankton produzindo um aumento no pH. Na noite, a fotossíntese deixa de funcionar, no entanto a respiração continua, produzindo dióxido de carbono, provocando a queda do pH de manhã nos viveiros de cultivo. O nível de pH afeta o equilíbrio da amônia.

- O crescimento, como outros processos fisiológicos do camarão, é regulado pela temperatura corporal a qual é igual à temperatura ambiental da água. A taxa de crescimento relativo aumenta com o acréscimo da temperatura, atinge um pico na temperatura ótima para o crescimento e cai rapidamente abaixo da temperatura ótima, ver Figura 3.4. (Muedas, 1993).



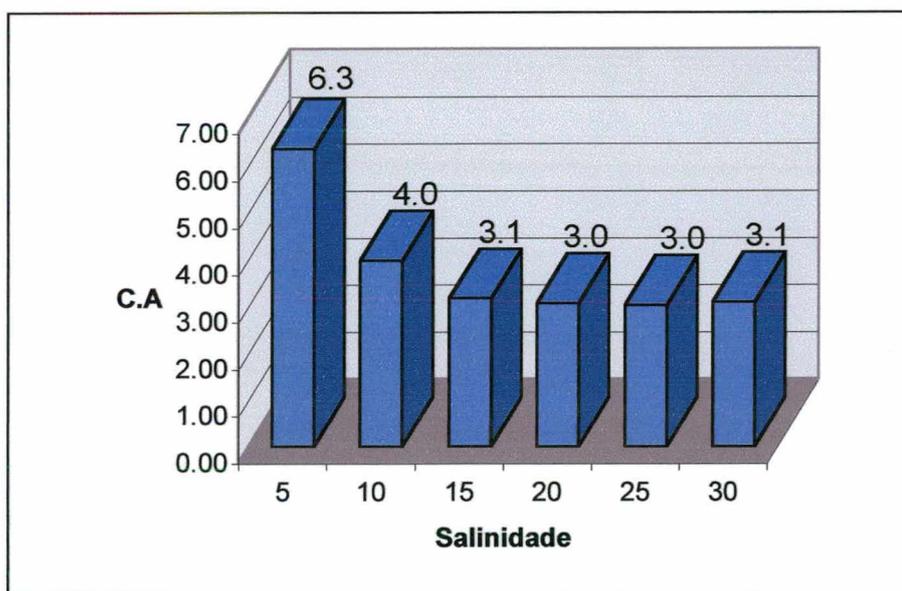
**Figura 3.4.** Efeito da produtividade natural (expresso em níveis de oxigênio dissolvido na água, mg/l) e a temperatura no ganho de peso relativo de juvenis de *Penaeus paulensis* durante 40 dias de cultivo (Muedas, 1993).

- A sobrevivência e o crescimento dos camarões cultivados tem como sua expressão final a produção em biomassa do viveiro. Portanto, a produção de biomassa é facilmente modelada como a soma dos pesos dos camarões sobreviventes ou do produto do peso médio do camarão e o número de camarões sobreviventes. A produção é medida como

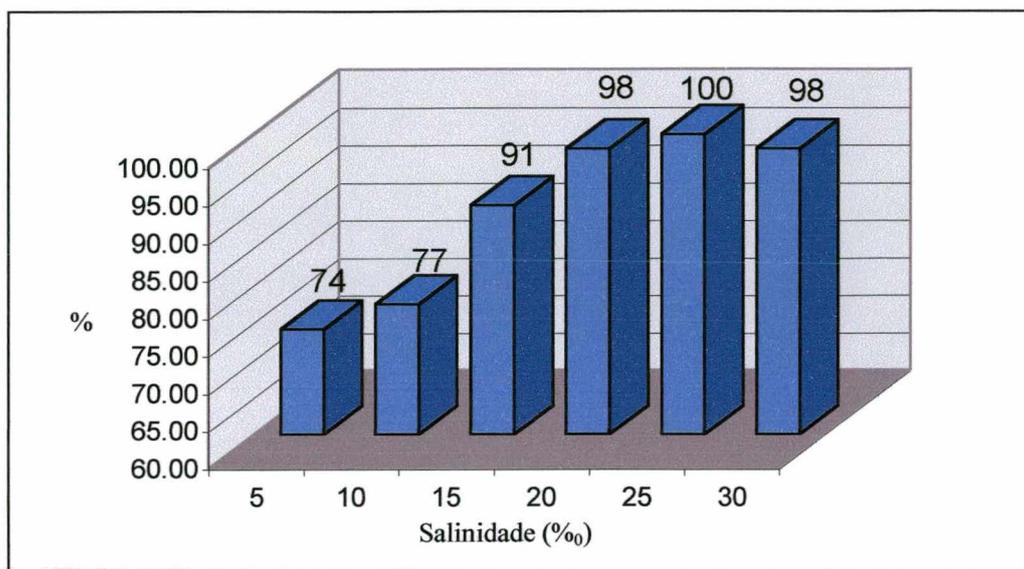
o peso total ou a biomassa de camarão por área de terreno alagado (a produtividade é expressa em kg/hectare/ciclo de produção).

- A salinidade afeta também o crescimento ver Figura 3.5. (Cunha, 1997; Quadros 1997). Os camarões regulam a pressão osmótica interna de seus fluidos corporais até uma certa salinidade. No caso do camarão *Penaeus vannamei* é 24.7 ‰ (Robertson 1993). Para contra restar a perda de íons e inundar o corpo com a água do meio ambiente, os camarões excretam uma amônia altamente diluída com pequenas partes de sais os quais são repostos através da dieta.

A salinidade é importante em cultivos com espécies de água salobre como o caso do camarão marinho *Penaeus paulensis*. Neste sentido dados produzidos por Cunha, (1997), são usados para a implementação do modelo.



**Figura 3.5.** Efeito da salinidade da água na conversão alimentar (C.A), do camarão juvenil de *Penaeus paulensis* do camarão juvenil (1,83g), de *Penaeus paulensis* 30 dias de cultivo (Cunha, 1997).



**Figura 3.6.** Efeito da Salinidade no Ganho de Peso Relativo do camarão juvenil (1,83g), de *Penaeus paulensis*, 30 dias de cultivo (Cunha, 1997).

Estes dados, obtidos em experimentos a nível de laboratório, serviram para incluir no modelo as taxas de variação no crescimento e na sobrevivência dos camarões nas diferentes variações das variáveis de cultivo. No capítulo seguinte desenvolve-se a implementação do modelo a partir do modelo conceptual do desenvolvimento sustentável da carcinicultura.

- Dentre os fatores de manejo, a fertilização dos viveiros, a alimentação, a correção do pH, do solo, assim como a troca da água, são métodos tradicionais para aumentar a produção de camarões em viveiros. A distinção entre fertilização e alimentação é arbitrária devido a que o alimento não ingerido adicionam fertilidade ao viveiros (Boyd 1979), e alguns fragmentos dos fertilizantes orgânicos podem ser ingeridos diretamente pelo camarão. Em viveiros de cultivo, a sobre alimentação deve ser evitada devido a que a ração é dispendiosa e seu resíduo de alta qualidade pode ter efeitos adversos na qualidade da água, principalmente na queda do oxigênio dissolvido.

Outros fatores de manejo são a densidade de estocagem e de colheita. A densidade de estocagem ideal é a máxima densidade que resulta da produção de camarões de tamanho desejável em um período razoável de tempo (90 a 120 dias desde colocado o camarão no viveiro). O máximo número de camarões que pode ser estocado depende da biomassa máxima que o viveiro pode manter (i.e. capacidade de carga) e o peso médio do camarão. Assim como o tamanho do camarão se incrementa durante o período de cultivo, a biomassa inicial pode ser

distante por baixo da capacidade de carga do viveiro. Com o modelo, é possível de estocar mais camarões (simulando sistemas de cultivo mais intensivos), para estudar o comportamento do sistema durante o período de cultivo para regular a produção de resíduo.

### **3.9. Implementação do modelo**

#### **3.9.1. Variáveis de estado do sistema**

A característica essencial do sistema é descrito por um grupo de variáveis de estado. O número total de variáveis de estado devem ser limitados a não mais do que o necessário para descrever o estado do sistema para propósito de manipulação. Assim as variáveis utilizadas para caracterizar o sistema são: o oxigênio dissolvido na água (OD em mg/l), o pH da água, e a transparência da água (medida com o disco de Sechii em centímetros). Na prática um grupo de variáveis similares poderia ser classificado junto sob a identificação de uma variável de estado, este é o caso da transparência da água, que representa uma grande variedade de fitoplâncton, zooplâncton, bactérias e partículas em suspensão na água em geral.

#### **3.9.2. Variáveis exógenas**

São as variáveis com valores que aparecem independentemente do trabalho interno do sistema que esta sendo modelado, de qualquer modo as variáveis de estado dentro do sistema são influenciados por esta variável. Assim a temperatura e a salinidade são as duas variáveis físicas, consideradas no modelo, e o preço dos insumos e do camarão variáveis econômicas.

#### **3.9.3. Parâmetros**

São as faixas das variáveis estipuladas para a implementação do modelo, são quase constantes que atuam como argumentos funcionais na taxa de variação das variáveis. Idealmente os parâmetros devem ser invariavelmente constantes. Os valores dos parâmetros foram estimados mediante métodos estatísticos usando numerosos grupos de dados de variáveis de estado e exógenas, recolhidos dos viveiros de produção (ver Apêndice A).

#### **3.9.4. Taxas de mudanças**

Representa as mudanças reais de estado acontecendo no tempo. O fluxo da taxa de produção de resíduos é visto como um o efeito do viveiro saindo através dos limites do sistema para o ambiente. Mudanças na intensidade de cultivo devido às reações dentro do sistema são representados por uma taxa de transformação incremental. Uma contabilidade de todas as equações de transporte e transformação para a taxa total de armazenamento no sistema.

#### **3.9.5. Calibração**

É o processo de estimação dos valores dos parâmetros os quais resultam das simulações razoavelmente boas para uma aplicação particular. Os modelos devem ser calibrados adequadamente até representar de forma aproximada o sistema real, mediante o contraste das variáveis simuladas.

A seguir especificamos os componentes do modelo e sua relação entre eles. A relação será expressa graficamente sintetizando o modelo com equações matemáticas.

As variáveis estão classificadas como variáveis de estado, variáveis exógenas, parâmetros e taxas de mudança. Este passo é feito depois da análise do universo de variáveis que participam no processo que se quer simular. Isto significa delimitar o sistema, escolher as variáveis que pertencem ao mesmo e as que não pertencem.

O segundo passo é representar o comportamento de cada componente (variável), do sistema que é percebido pelo observador como uma relação causa-efeito. Assim, os comportamentos dos componentes podem ser representados como uma estrutura de estímulo resposta. O critério usual da escolha dos estímulos e respostas está baseado no conhecimento que o observador possui sobre o sistema, e mediante o estudo estatístico do grau de correlação entre as variáveis implicadas no sistema.

**Tabela 3.1.** Componentes para a implementação do sistema em lógica difusa.

Variáveis	Sigla	Unidades
<b>V. de estado de entrada</b>		
Oxigênio Dissolvido	OD	mg/l
pH	pH	unidades
Transparência	Sec.	cm
<b>V. de estado de saída</b>		
Peso	W	g
Sobrevivência	Sob	%
Biomassa	Bio	kg/ha
Resíduos	Re	Kg/há
Custo Marginal	CMg	R\$/há
Ingresso Marginal	IMg	R\$/há
Receita Bruta	Rec	R\$/há
<b>Variáveis de Controle (manejo)</b>		
Troca da água	Tro	%/dia/há.
Fertilização	Fer	kg/há.
Correção de pH	Corr	kg/há.
Arraçoamento	Ra	kg/há.
<b>Variáveis Exógenas</b>		
Temperatura	Tem	°C
Salinidade	Sal	‰

### 3.10. O sistema, parâmetros físico-químicos e o manejo no modelo de Cultivo

O sistema pode ser estruturado da seguinte maneira, os efeitos combinados das variáveis de entrada sobre as variáveis de saída são determinadas.

O produtor sempre procura maximizar seu lucro ( $\pi$ ), minimizando seus custos ( $C(t)$ ), apresentamos, a lógica utilizada para o cálculo disto, assim como os valores usados para a estimação da biomassa produzida.

$$\text{Max: } \pi = (Pq \cdot \text{Bio}(t)) - C(t)$$

$Pq$  = Preço do camarão na despesca (R\$/7.00/65 pçs/kg)

$\text{Bio}(t)$  = Quantidade de camarão na despesca (kg/ha)

$C(t)$  = Custo total de produção (R\$/ha)

A despesca acontecerá quando o ingresso marginal seja igual ao custo marginal, evento que concluirá o ciclo produtivo, para re iniciar o ciclo produtivo seguinte até que o sistema se sature de resíduos ou os níveis de oxigênio façam cair a produtividade ao ponto que a biomassa produzida (receita) não seja maior que os custos, fazendo quebrar o sistema produtivo.

$$\text{Momento da despesca} = P_t \cdot (\partial B_t/t) = \partial C_t / t$$

Fatores cumulativos como o resíduo e alimento que sobra podem ser combinados simplesmente mediante a adição deles juntamente.

Os fatores que se compensam mediante o cálculo de seus efeitos médios.

$$W(t) = g[ T(t), \text{pH}(t), \text{OD}(t), \text{Re}(t)]$$

$$W(t) = \text{Peso individual no dia } t \text{ (g)}$$

$$\text{Sec}(t) = \text{Transparência da água no dia } t \text{ (cm DS)}$$

$$\text{pH}(t) = \text{pH da água no dia } t \text{ (unidades de pH)}$$

$$\text{OD}(t) = \text{Oxigênio dissolvido na água no dia } t \text{ (mg/l)}$$

$$\text{Re}(t) = \text{Resíduos sólidos dissolvidos no dia } t \text{ (mg/l)}$$

### **Variáveis Exógenas**

Fatores limitantes como a temperatura e a salinidade e sua dependência (h).

$$W_t = h[ \text{Tem}(t), \text{Sal}(t)]$$

O controle de fatores como o peso corporal e a temperatura da água são combinados mediante a multiplicação de seus efeitos.

### **Biomassa**

$$B(t) = j[ W(t), \text{Dens}(t)]$$

$$\text{Bio}(t) = \text{Biomassa de camarões por hectare de cultivo (Kg/Ha)}$$

$$W(t) = \text{Peso individual no dia } t \text{ (g)}$$

$$\text{Dens}(t) = \text{Densidade de Cultivo do sistema pesquisado (cam/m2)}$$

O peso do camarão vai-se incrementando diariamente, segundo uma função de crescimento que é afetada pelas variáveis físico químicas a que o cultivo é submetido.

$$W_t = e^{a - (b/t) \pm \Delta f(\text{Tem}(t) * \text{Sal}(t) * \text{OD}(t))}$$

onde :

$W_t$  = peso médio do camarão no tempo  $t$ .

$a$  e  $b$  = parâmetros

$t$  = tempo de cultivo em dias

$e$  = constante neperiana

O crescimento simulado é comparado com o crescimento real, ajustada a esta equação de crescimento sigmoide, que apresenta um  $R^2 > a$  98% (Muedas, 1994).

### Custo

Apresentamos os valores utilizados para os cálculos internos no sistema. Estes foram calculados da estrutura de custos médios apresentada nas fazendas de Santa Catarina (ver anexo). O custo do cultivo  $C(t)$  em (R\$/ha) são combinados mediante a multiplicação de seus efeitos.

$$C(t) = g [ C.\text{Fer}(t), C.\text{Corr}(t), C.\text{Tro}(t), C.\text{Ra}(t) ]$$

$C.\text{Fer}(t)$  = Custo do fertilizante no dia  $t$  (0,25 R\$/kg)

$C.\text{Corr}(t)$  = Custo da correção do pH no dia  $t$  (0,05R\$/kg)

$C.\text{Tro}(t)$  = Custo da troca da água no dia  $t$  (0,15 R\$/dia/ha/1%)

$C.\text{Ra}(t)$  = Custo da ração no dia  $t$  (0,7 R\$/kg)

### Resíduos

Os resíduos são calculados em função da quantidade de ração fornecida diariamente, é calculada a partir dos trabalhos da Primavera e de (1994) e Kwei Lin, et al. (1993), o qual é calculado como sendo do total de ração fornecida, 20 % é perdida por se desmancha na água e 28% é a fração que não é digerida portanto faz parte das fezes. Totalizando 48,75% do total, quantidade que para fins de cálculo é considerado como uma boa aproximação neste trabalho. Porém cabe enfatizar que isto depende de muitos outros fatores como, o tipo processo na fabricação da ração, os ingredientes da ração, a digestibilidade da ração, o seu valor biológico, etc.

$$Re(t) = g [Ra(t), Tem(t), OD(t), Bio(t)]$$

### **3.11. Dados experimentais de algumas variáveis de estado**

Os dados para a implementação do modelo provém de experimentos feitos em *Penaeus paulensis*, já que como mencionamos é a principal espécie cultivada nas fazendas de produção existentes em Santa Catarina. Neste sentido a seguir comentamos alguns parâmetros que serviram para a implementação do modelo proposto no presente trabalho.

#### **3.11.1. Oxigênio dissolvido**

Oxigênio dissolvido geralmente aumenta durante o período diurno devido á fotossíntese e declina durante o período noturno devido a ausência da fotossíntese e a continuação da respiração. Os modelos podem ser quebrados na flutuação diária em dois: durante a noite diminui e durante o dia aumenta.

Existem duas maneiras de controlar o oxigênio dissolvido no meio ambiente de cultivo. Um abastece de oxigênio dentro do viveiro, o qual pode ser feito mecanicamente com água rica em oxigênio e água misturada para conservar fotossinteticamente o oxigênio. O outro modo de diminuir a perda de oxigênio do viveiro é mediante a remoção do alimento e adubação excessiva.

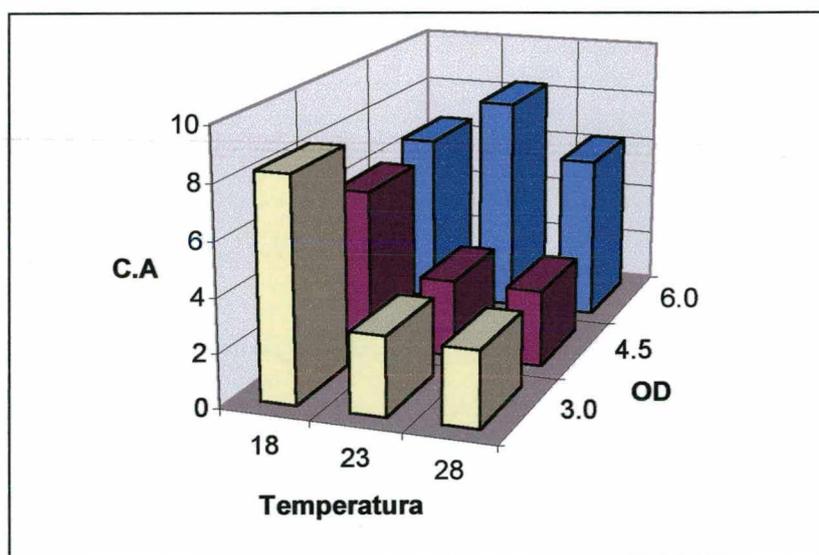
Os processos que incorporam oxigênio ao viveiro são: (1) a fotossíntese pelo fitoplancton; (2) Difusão do oxigênio do ar regido pela diferença de oxigênio entre o viveiro de água o ar e a velocidade do vento. A fotossíntese pode ser medida mediante a concentração de clorofila a , visibilidade do disco de Secchi e a demanda química do oxigênio. A fotossíntese é governada pela quantidade de luz, céu encoberto e transparência da água.

Os processos que consomem oxigênio do viveiro são a respiração pelo fitoplancton, peixes e o lodo. A respiração do plâncton pode ser estimado indiretamente via disco de Secchi e demanda química de oxigênio. A quantidade de oxigênio que a água pode segurar é determinado pela temperatura e a salinidade da água.

#### **3.11.2. Temperatura e conversão alimentar**

A temperatura varia temporalmente com o componente diário e sazonal. Esta variabilidade temporal se aproxima a curva de seno e coseno, nesta região sub-tropical. Esta é uma variável exógena. Para controlar a temperatura da água em viveiros poucas estratégias podem ser seguidas, antes da implantação do empreendimento. A seleção apropriada do lugar é a mais obvia e estabelece que fixa a faixa de temperatura do ambiente. A profundidade do

viveiro pode também ser desenhado para estabilizar as flutuações da temperatura da água comparadas com as flutuações de temperatura do ar. Misturando duas ou mais fontes de água de diferentes temperaturas é uma outra técnica. A circulação da água no viveiro é importante para prevenir gradiente de temperatura e reduzir a variabilidade espacial. A seguir mostra-se os resultados de uma pesquisa em laboratório Efeito da produtividade natural (expresso em níveis de oxigênio dissolvido na água, mg/l) e a temperatura na conversão alimentar em juvenis de *Penaeus paulensis* (40 dias de cultivo). Muedas (1993).



**Figura 3.7.** Efeito da produtividade natural (expresso em níveis de oxigênio dissolvido na água, mg/l) e a temperatura, na conversão alimentar em juvenis de *Penaeus paulensis* durante 40 dias de cultivo (Muedas, 1993).

Os processos que afetam a temperatura da água no viveiro são: (1) a quantidade de radiação solar que incide na superfície, o qual depende da radiação de um particular tempo do ano e a quantidade de nubilidade; (2) transferência de calor por convecção, que pode adicionar ou remover calor do viveiro dependendo da diferença entre a temperatura do ar e da água e a velocidade do vento; (3) perda de calor por evaporação, o qual depende da velocidade do vento, temperatura da água e a umidade relativa; (4) a precipitação e o escoamento, que muitas vezes decresce a temperatura da água é a chuva quando é mais fria que a temperatura da água; (5) a infiltração, porém estes podem ser considerados insignificantes em viveiros com solos apropriados para retenção da água.

## CAPÍTULO IV

### 4. IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO PROPOSTO

#### 4.1. Introdução

A implementação do modelo foi feita inteiramente usando como ferramenta principal, a Lógica Difusa, baseada na teoria dos conjuntos difusos (Zadeh, 1973). Implementado no **Programa de visualização e computação numérica de alto desempenho Matlab®** (1994). A seguir apresentamos o modelo do sistema a ser simulado e sua implementação. O ecossistema do viveiro de cultivo a ser representado trabalhará, mediante a retro - alimentação de algumas variáveis que se acumulam no tempo, esta variável temporal unida à característica de muitas realimentações no ecossistema, é característico da simulação em sistemas complexos.

#### 4.2. Fundamentação da ferramenta usada na modelagem

Para a implementação das regras que governam o comportamento do sistema de cultivo é feito por intermédio da interfase dos sistemas difusos do **Matlab®** (1994). Os Sistemas Difusos caracterizam-se porque estimam funções e sistemas com descrição parcial do comportamento do sistema, onde os especialistas “podem” prover o conhecimento heurístico, ou esse conhecimento pode ser inferido a partir de dados de entrada-saída do sistema.

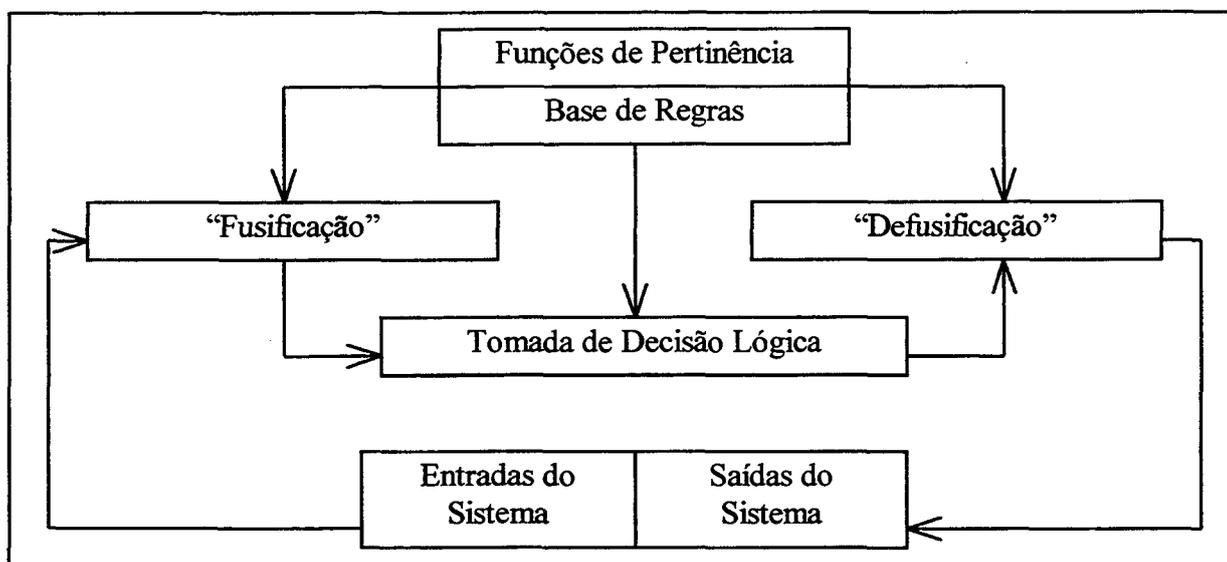
Assim, os Sistemas Difusos estimam funções de entrada-saída, sem um modelo matemático, simplesmente através de como as saídas dependem das entradas. Por tal motivo, os Sistemas Difusos podem ser vistos como um sistema estímulo-resposta, onde o sistema tem uma determinada resposta, para um determinado estímulo (Kosko, 1991).

Neste sentido, pode-se dizer que os Sistemas Difusos são sistemas baseados em regras que utilizam variáveis lingüísticas difusas (Zadeh, 1975a; 1975b), para executar o processo de tomada de decisão. A Figura 4.1. mostra o fluxo de dados através do Sistema Difuso, onde pode-se observar os vários módulos que formam parte do modelo e que serão descritos a seguir.

Um Sistema Difuso, como já foi enunciado, é um sistema baseado em regras, portanto um de seus módulos será a base de regras. Estas regras são do tipo Se-Então, e as variáveis do antecedente e conseqüente utilizadas são variáveis lingüísticas.

Os possíveis valores de uma variável lingüística são representados por conjuntos difusos (Zadeh, 1975 a; 1975b). A forma de caracterizar um conjunto difuso, é através de uma função, que associa a cada elemento do domínio da variável, um valor que indica o grau de pertinência do elemento ao conjunto difuso. Tais funções são chamadas de funções de pertinência. As funções de pertinência dos conjuntos difusos, assim como as regras do sistema, são definidas *a priori* pelo especialista humano.

O processo de “fusificação” (Lee, 1990 a), que utiliza as funções de pertinência pré-definidas, mapeia cada variável de entrada do sistema em graus de pertinência de algum conjunto difuso que representa a variável em questão.



**Figura 4.1** . Fluxo do processamento da informação na estrutura do sistema difuso.

A Tomada de Decisão Lógica é de vital importância no Sistema Difuso, já que nela se realiza o processo de inferência para obter, a partir das regras do sistema e da entrada ambiental, uma ação a ser realizada pelo sistema. A Tomada de Decisão Lógica é realizada através da chamada regra de inferência composicional (Zadeh, 1975c; Mandani, 1977).

Assim, no processo de inferência, temos três passos (Yager, Filev, 1994):

Primeiro: encontrar o nível de contribuição de cada uma das regras. O grau de contribuição é dado pelo valor de pertinência obtido da interseção entre o valor lingüístico do antecedente das regras e o valor de entrada obtido do ambiente. Por exemplo a regra:

$$\text{Se } x_1 = A_i \text{ e } x_2 = B_i \text{ Então } y = C_i$$

o grau de contribuição é dado por:

$$R_i(x) = A_i(x_1) \wedge B_i(x_2),$$

onde  $\wedge$  representa um determinado operador, por exemplo o operador Min. Em (Mizumoto, Zimmermann, 1982), se descrevem e comparam vários operadores que podem ser utilizados no processo de inferência.

Segundo: a saída de cada regra individual será dada por :

$$F_i(y) = ( R_i(x) \wedge C_i(y) )$$

O último passo é a agregação das saídas das regras individuais para obter um subconjunto difuso de  $F$  sobre  $y$ .

$$F(y) = \vee_i F_i(y) = \vee_i ( R_i(x) \wedge C_i(y) ),$$

onde  $\vee$  representa outro operador, como por exemplo o operador Max.

Para terminar de descrever os módulos que formam o Sistema Difuso, temos o processo de “defusificação” que calcula a saída com base na inferência obtida no módulo de tomada de decisão lógica, com as funções de pertinência das variáveis lingüísticas da parte conseqüente das regras (Lee, 1990a), para obter uma saída não difusa.

Este sistema de funcionamento difuso auxilia na estruturação de um sistema de regras que visa criar interações entre os indivíduos que interagem dentro da simulação.

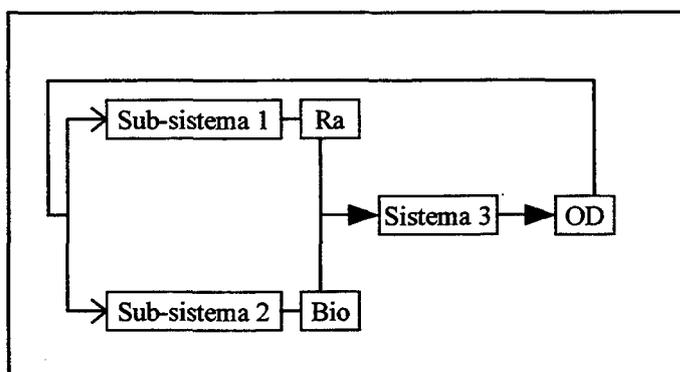
### 4.3. Implementação do modelo

A seguir apresentamos as relações dos componentes em três sub-sistemas funcionais como parte do sistema, para a implementação no sistema da lógica difusa. Visualizamos o modelo conceptual mediante o diagrama de símbolos e setas. Neste esquema, cada variável é representado por seu símbolo anteriormente definido. Setas mostram a direção da influência e pontos das variáveis independentes para a variáveis

dependentes. Fundamentada no diagrama de símbolo e seta as relações funcionais entre as variáveis são desenvolvidas em equações. A tradução do diagrama em equações matemáticas flui naturalmente porque o estado das variáveis são calculadas a partir da integração da taxa das variáveis no tempo.

#### 4.3.1. Sistema Integrado

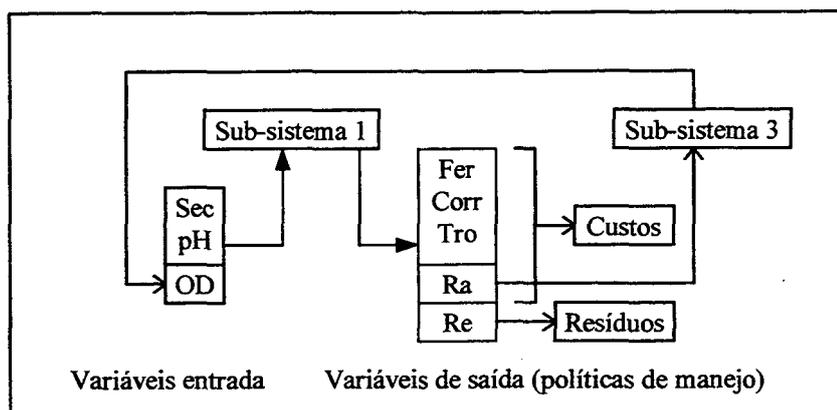
O sistema integrado mostra a retro-alimentação do sistema com a produção de resíduos que poderá produzir níveis diminuídos de oxigênio devido a um aumento da DBO do sistema devido a produção de resíduos, isto ao longo do tempo, poderá provocar depleção de oxigênio a níveis incompatíveis com uma boa sobrevivência. O qual terá como consequência uma diminuição da biomassa de camarões, conseqüentemente da receita bruta, o que poderá inviabilizar a continuação da atividade de produção de camarões.



**Figura 4.2.** Fluxo do processamento do sistema integrado mostrando a retroalimentação do sistema com os novos níveis de oxigênio.

#### 4.3.2. Sub-Sistema 1.

É o sub-sistema que a partir das variáveis físico-químicas de entrada do sistema de cultivo real (variáveis de estado de entrada), são estruturadas 27 regras de manejo (variáveis de controle), no sub-sistema. De maneira a implementar as regras “se então”, de manejo do viveiro, para a implementação da lógica difusa.



**Figura 4.3.** Fluxo do processamento da informação com o primeiro controlador do sub-sistema 1 em lógica difusa.

É o sistema que a partir das variáveis físico-químicas de entrada no sistema (variáveis de estado de entrada), são estruturadas as políticas de manejo do sistema (variáveis de controle), que condicionam um determinado tipo de manejo (ver tabela 4.2).

**Tabela 4.1.** Parametrização das variáveis de entrada em faixas de valores, expresso em percentual do total da intervenção de determinada política de manejo.

Variável de entrada	Valor Lingüístico	% de Fertilização	% de Correção de pH	% de Troca da Água	% de Arraçoamento
5-20 cm	SecA	0	0	100	50
20-40 cm	SecM	50	0	20	100
40-120 cm	SecB	100	0	80	100
8-10	pH_A	0	100	100	50
6-8	pH_M	0	0	10	100
5-6	pH_B	0	100	100	50
4-12 ppm	OD_A	0	0	10	100
2-4 ppm	OD_M	0	0	50	80
0-2 ppm	OD_B	0	0	100	0

Sec = disco sechii; pH; OD = oxigênio dissolvido.

As variáveis de estado de entrada no sub-sistema 1, condicionam uma regra combinada de entrada  $3^3 = 27$  combinações, que são mapeadas, com 27 regras que preenchem todas estas possibilidades, disparando uma regra para a combinação, que vem a ser o manejo elegido para esse particular dia de cultivo.

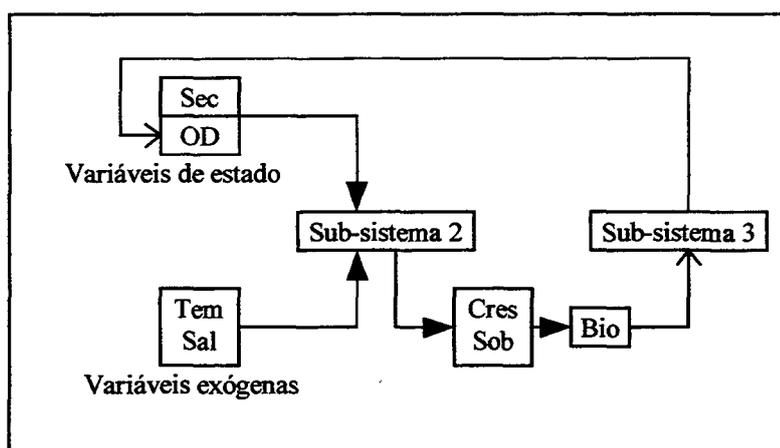
**Tabela 4.2.** Valores totais das políticas de manejo relacionados aos valores lingüísticos implicados com seus valores entre limites mínimos e máximos de intervenção.

Políticas de Manejo	Valor total da política de manejo	Valor Lingüístico	% de Intervenção	Limites Mínimos	Limites Máximos por faixa
FER	40 Kg/há	FERA	60	24	40 kg/há
FER		FERM	15	6	24 kg/há
FER		FERB	0	0	6 kg/há
CORR	300 Kg/há(*)	CORRA	70	210	300 kg/há
CORR		CORRM	30	90	210 kg/há
CORR		CORRB	0	0	90 kg/há
TRO	70 %	TROA	65	45.5	70.0 %
TRO		TROM	30	21	45.5 %
TRO		TROB	5	3.5	21.0 %
RA	40 kg/ha	RAA	60	24	40 kg/há
RA		RAM	40	16	24 kg/há
RA		RAB	0	0	16 kg/ha

FER = fertilização; CORR = correção pH; TRO = troca água; RA = ração.

#### 4.3.3. Sub-Sistema 2

É o sistema que a partir das variáveis de estado de entrada e as variáveis exógenas do ambiente são calculadas as taxas de crescimento e sobrevivência



**Figura 4.4.** Fluxo do processamento da informação com o segundo controlador do sub-sistema 2 em lógica difusa.

Este sistema, como foi visto, tem como componente as variáveis de estado de entrada e as variáveis exógenas do ambiente, em função das quais são calculadas as taxas de

crescimento e sobrevivência de acordo aos experimentos realizados em *Penaeus paulensis* apresentadas na secção da secção 3.9 do capítulo III.

**Tabela 4.3.** Alteração do crescimento segundo a variação das variáveis físico-químicas de entrada de acordo aos dados experimentais.- Sub-sistema 2.

Crescimento Médio	0.13	g/dia			
Mortalidade Média	0.32	% / dia			
VALOR	PARÂM.	CRESC %	MOR %/cultivo	CRESC g	MOR %/dia
40-120 cm	SecA	20	10	0.026	0.352
20-40 cm	SecM	80	2	0.104	0.326
5-20 cm	SecB	100	20	0.130	0.384
4-10 ppm	ODA	60	2	0.078	0.326
2-4 ppm	ODM	100	5	0.130	0.336
0-2 ppm	ODB	20	80	0.026	0.576
24-32 cm	TemA	100	40	0.130	0.448
18-24 cm	TemM	60	2	0.078	0.326
11-18 cm	TemB	30	5	0.039	0.336
15-30 ‰	SalA	100	2	0.130	0.326
5-15 ‰	SalB	70	30	0.091	0.416

Sec = Sechii; OD = oxigênio; Tem = temperatura; Sal = salinidade

Se a variável de entrada encontra-se numa das faixas mostradas na tabela, então será disparada um determinado crescimento e mortalidade, para esse dia em particular.

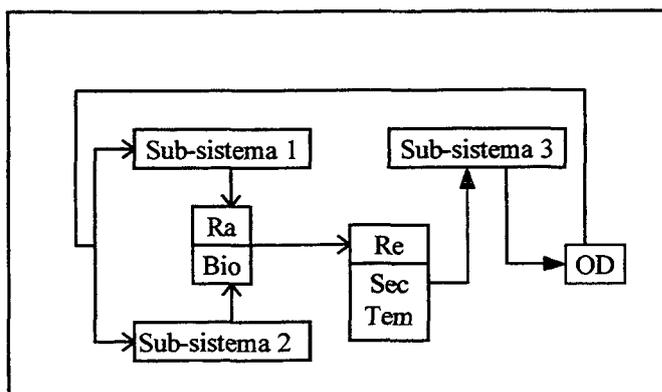
**Tabela 4.4.** Valores totais das políticas de manejo relacionados aos valores linguísticos implicados com seus valores relativos entre limites mínimos e máximos de intervenção.-Sub-sistema 2.

	FUZZY	%	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
GRES	CRESA	100	0.102	0.130	10.17	13.00
GRES	CRESM	50	0.074	0.102	7.37	10.17
GRES	CRESB	10	0.046	0.074	4.55	7.37
MOR	MORA	100	0.413	0.456	41.29	45.60
MOR	MORM	50	0.375	0.413	37.54	41.29
MOR	MORB	10	0.326	0.375	32.64	37.54

cres = crescimento; Mor = mortalidade

#### 4.3.4. Sub-Sistema 3

É o sistema que utiliza as saídas de resíduos do sistema 1 e a biomassa do sistema 2 além da variável exógena temperatura, para gerar o nível de oxigênio que é utilizado na próxima simulação.



**Figura 4.5.** Fluxo do processamento da informação com o terceiro controlador do sistema 3 em lógica difusa.

Este sistema como vimos utiliza as saídas de resíduos do sistema 1 e a biomassa do sistema 2 além da variável exógena temperatura, para gerar o nível de oxigênio que é utilizado na próxima simulação.

**Tabela 4.5.** Alteração dos níveis de Oxigênio Dissolvido segundo a variação das variáveis físico-químicas com os componentes: resíduos que é a saídas do efeito combinado do sistema 1 e 2, o nível de transparência da água (Sec) e o fator exógeno a Temperatura (Tem). - Sub-sistema 3.

Parâmetro	Valor	Depleção Oxigênio	Valores Normais	Valores OD	Valor Difuso
ResA	42-63 kg/há	100	6	0.00	B
ResM	21-42 kg/há	70	6	1.80	M
ResB	0-21 kg/há	40	6	3.60	A
SecA	40-120 cm	20	6	4.80	A
SecM	20-40 cm	40	6	3.60	M
SecB	5-20 cm	70	6	1.80	B
TemA	24-32 °C	80	6	1.20	B
TemM	18-24 °C	40	6	3.60	M
TemB	11-18 °C	10	6	5.40	A

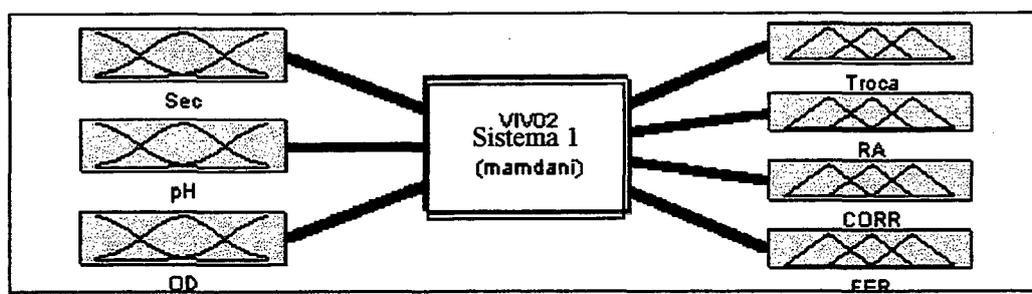
Res = Resíduo; Sec = Sechii; Tem = Temperatura

Segundo vemos nesta tabela é calculada e o valor linguístico a qual está associada, um certo nível de crescimento y mortalidade.

#### 4.4. Implementação do modelo no sistema da lógica difusa

##### 4.4.1. Implementação do sub- sistema 1

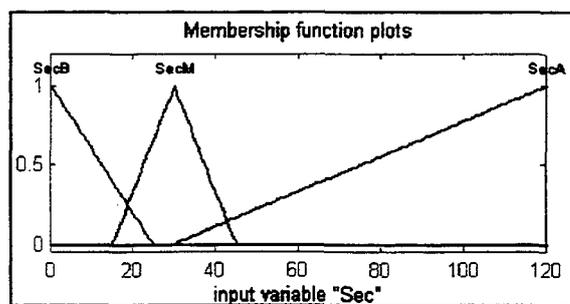
Este sistema como vimos apresenta três variáveis de estado ambientais de entrada: a transparência (Sec), o pH e o oxigênio dissolvido (OD). E quatro variáveis de controle de saída: a troca da água (Tro), o arazoamento (RA), a correção do pH (Corr) e a fertilização (Fer).



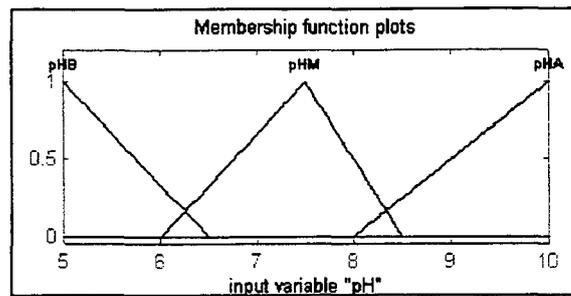
**Figura 4.6.** Sub-sistema 1 mostrando a relação funcional entre as três variáveis internas de estado, transparência (Sec), pH e oxigênio dissolvido (OD) que disparam as regras de manejo, a troca da água (Tro), o arazoamento (Ra), a correção do pH e a Fertilização (Fer).

##### A . Funções de pertinência para cada variável de estado de entrada

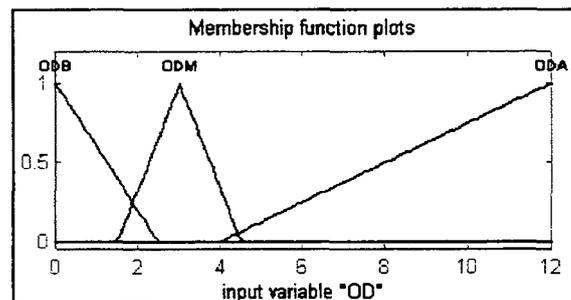
O sistema 1 foi discretizado usando funções de pertinência triangular, implementadas no Matlab e utilizado como método de inferência, o método conhecido como Mandani. Pôde-se observar a implementação de cada variável de entrada com as faixas das variáveis lingüística: nível baixo (B), nível médio (M) e nível Alto (A). Todas elas com a função de pertinência triangular.



**Figura 4.7.** Função de pertinência mostrando a amplitude de variação da variável de estado de entrada, a transparência medida com disco de Secchi (cm).



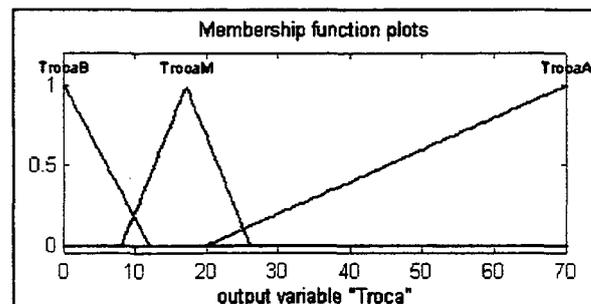
**Figura 4.8.** Função de pertinência mostrando a amplitude de variação da variável de estado pH, nas suas amplitudes de pH baixo, médio e alto.



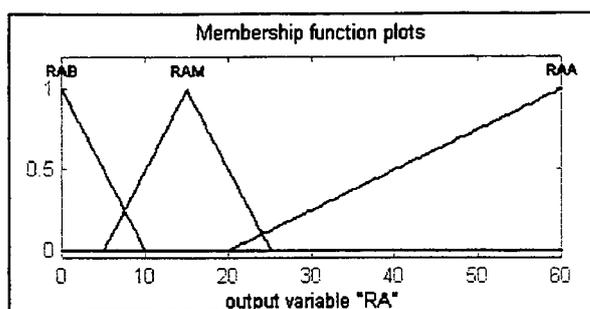
**Figura 4.9.** Função de pertinência do oxigênio dissolvido (mg/l), mostrando a amplitude de variação desta variável de estado.

### B. Funções de pertinência para cada variável de controle de saída

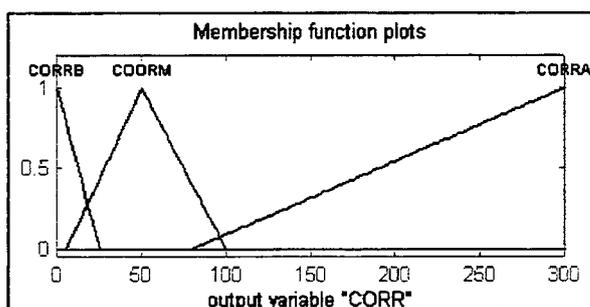
A seguir vemos as funções de pertinência para o controlador (sistema 1). Pôde-se observar a implementação de cada variável de saída também com as faixas das variáveis lingüística: nível baixo (B), nível médio (M) e nível Alto (A). Todas elas com a função de pertinência triangular. Todas estas saídas representam o manejo que o sistema especialista usa para tomar as decisões das diferentes políticas de manejo existentes.



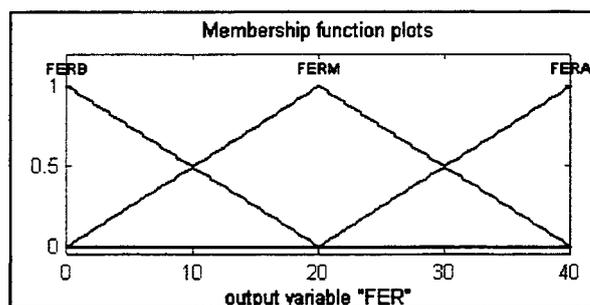
**Figura 4.10.** Função de pertinência da variável de manejo troca de água (%) mostrando a amplitude de variação desta variável de controle.



**Figura 4.11.** Função de pertinência da variável de manejo de arramento (kg/ha) mostrando a amplitude de variação desta variável de controle.



**Figura 4.12.** Função de pertinência da variável de manejo de correção de pH mostrando a amplitude de variação desta variável de controle.

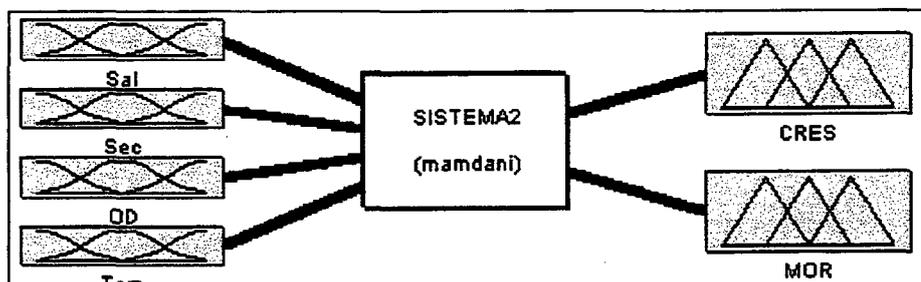


**Figura 4.13.** Função de pertinência da variável de manejo Fertilização (kg/ha) mostrando a amplitude de variação desta variável de controle.

#### 4.4.2. Implementação do sub - sistema 2

O sistema 2, como vimos, apresenta quatro variáveis de estado ambientais de entrada: Temperatura, (Tem) e a salinidade (Sal), como fatores exógenos, e a transparência (Sec), e o oxigênio dissolvido (OD) como fatores de estado interno do

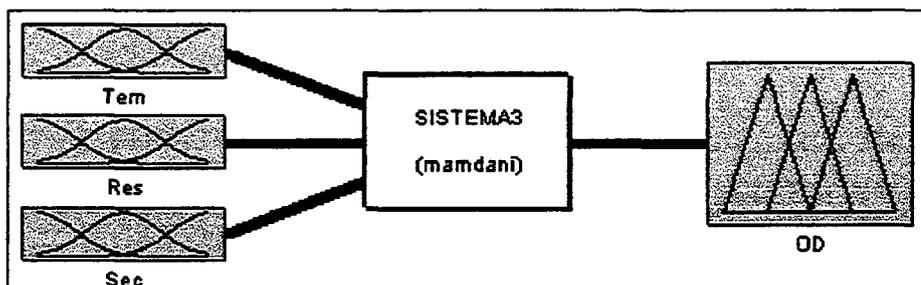
sistema. Este sistema apresenta duas saídas, o crescimento (CRES) do camarão e a biomassa (Bio), calculada a partir da sobrevivência (1-mortalidade, MOR).



**Figura 4.14.** Sub-sistema 2 mostrando a relação funcional entre as duas variáveis internas de estado, transparência (Sec) e oxigênio dissolvido (OD) e as variáveis exógenas, salinidade (Sal) e temperatura (Tem) que afetam o crescimento (Cres) e a mortalidade (Mor).

#### 4.4.3. Implementação do sub - sistema 3

O sistema 3, como vimos, apresenta três variáveis de estado ambientais de entrada: a temperatura (Tem), fator exógeno, o resíduo (Res), a transparência (Sec), Para uma saída do sistema, o oxigênio dissolvido (OD) (ver secção 4.5)



**Figura 4.15.** Sub-sistema 3 mostrando a relação funcional entre duas variáveis internas de estado, Resíduos (Res) e transparência (Sec) e a variável exógena temperatura (Tem) que afetam a disponibilidade de oxigênio dissolvido no viveiro (OD).

## **4.5. Resultados obtidos**

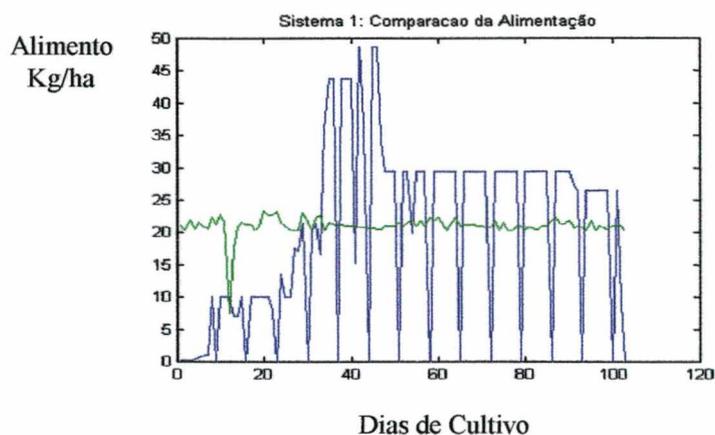
Inicialmente veremos como as regras do manejo implementadas se comportam com respeito ao manejo feito no sistema real, e o seu desempenho na produção de biomassa, resíduos e receita bruta.

Também se faz uma análise, intensificando a densidade de cultivo, com a finalidade de determinar por quanto tempo, este tipo de manejo pode ser realizado de forma que seja um cultivo sustentável.

A análise dos resultados, se faz comparando, o manejo que o técnico da fazenda faz, numa fazenda de produção de camarões marinhos (sistema real, 1.200 dias de cultivo, com sete cultivos seqüenciais, ver Apêndice A), e regras de manejo alternativas, decorrentes do sistema especialista proposto (sistema simulado). Sendo os efeitos avaliados pelo modelo de simulação descrito na seção anterior. O sistema simulado com as regras implementadas, toma decisões de manejo a partir dos dados de entrada, estas variáveis de entrada, como vimos são variáveis de estado internas (transparência da água (Sec), oxigênio dissolvido (OD) e pH).

### **4.5.1. Comparação da quantidade do arraçoamento**

Nas numerosas simulações (a quantidade é determinada pelo usuário), que o sistema especialista pode realizar, pôde-se observar que a quantidade de ração do sistema simulado é sempre menor (em todas as figuras, a cor verde é o simulado) , que a observada no sistema real (em todas as figuras, a cor azul é o sistema real). Isto nos leva a pensar que, ou as quantidades de ração fornecidas, estiveram sendo sobre estimadas, ou a conversão do alimento era baixa, de maneira que o levou a aumentar o arraçoamento. acima do normal, para forçar ao camarão a crescer, porém a um custo, além do econômico, de poluir o viveiro pelos resíduos de ração no fundo do viveiro.

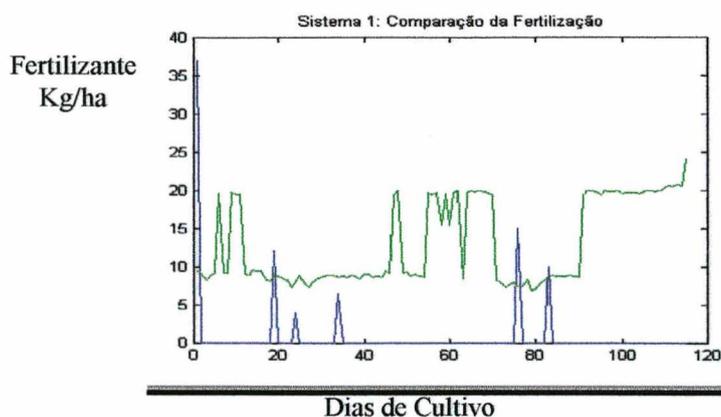


**Figura 4.16.** Alimentação comparada entre a quantidade de alimento simulado (verde) e a quantidade de alimento do sistema real (azul).

#### 4.5.2. Comparação da quantidade de fertilizante

As regras implementadas no sistema fazem os cálculos em função fundamentalmente da transparência da água, e o oxigênio dissolvido. Com respeito à fertilização vemos que era, quase insignificante, quase não aplicava fertilizante, se comparadas com o sistema de simulação. O sistema simulado utiliza muito mais fertilizante que o sistema real, e isto é calculado de acordo com as regras implementadas pelo sistema especialista. Entre outras possíveis causas, em condições normais, podem ter levado ao técnico de campo a fertilizar pouco. Primeiro que como o sistema real reage lentamente, no ambiente de cultivo no viveiro, é difícil perceber as mudanças porque estas acontecem gradativamente; ou pode-se tratar da inexperiência do técnico de campo.

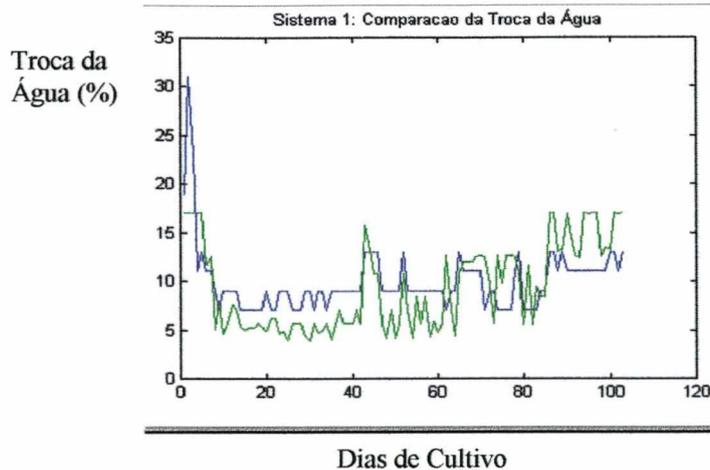
A nível de simulação se percebem rapidamente estas mudanças o que o sistema especialista, não hesita em disparar a regra sugerida.



**Figura 4.17.** Fertilização comparada entre a quantidade de fertilizante simulado (verde) e a quantidade de fertilizante realizado no sistema real.

#### 4.5.3. Comparação da quantidade de troca de água

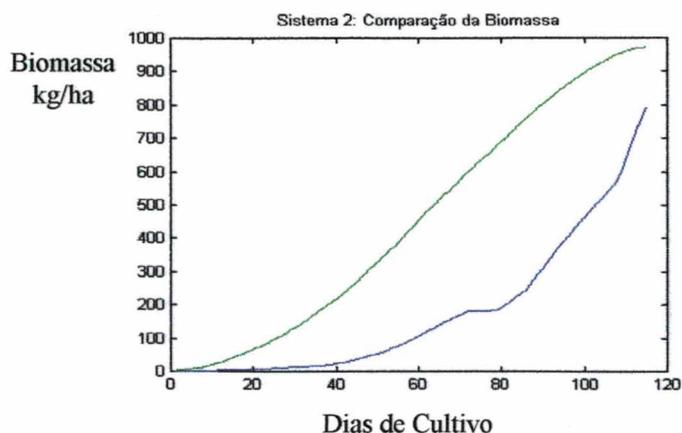
No gráfico pôde-se perceber que praticamente não houve diferença entre, o sistema real (azul) e o simulado (verde). O que faz pressupor que as regras estão implementadas de acordo com, o especialista de campo. Esta decisão da troca de água, é uma das variáveis mais importantes no sistema de cultivo semi-intensivo, devido a que o maior limitante dos cultivos aquícolas é o oxigênio dissolvido na água, e o principal reservatório disto é o mar, que através do bombeamento, o fluxo de água vai para dentro do sistema levando oxigênio. Esta decisão tem uma implicação econômica que varia entre 15 a 20% (Muedas, 1993), dependendo da taxa de recâmbio de água, da estrutura dos custos de produção.



**Figura 4.18.** Troca da água em (%/ dia) comparada entre o manejo simulado (verde) e o sistema real (azul).

#### 4.5.4. Comparação da quantidade de biomassa

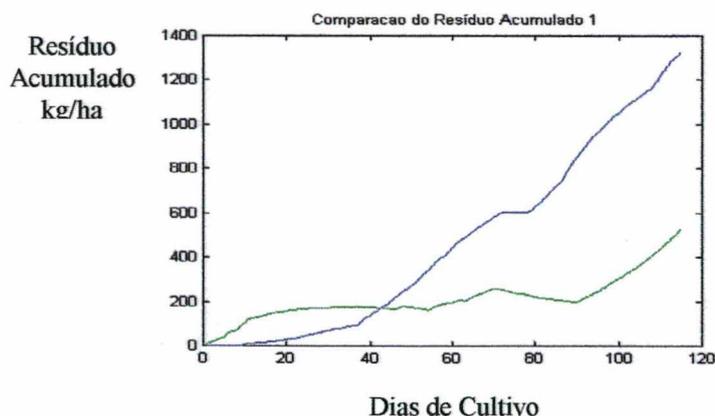
A quantidade de camarão obtida por hectare, a biomassa é representada na Figura 4.18, onde vemos a curva sigmoide teórica (decorrentes das regras de decisão implementadas), afetada pelas variáveis ambientais do cultivo. Quando comparada com o sistema real vemos que aquela está bem por cima. A simulação do sistema sugerido, ao corrigir com maiores quantidade de fertilizante e trocas de água e quantidade suficiente de ração, mostra-se teoricamente mais eficiente neste ponto, mostrando que o sistema especialista, trabalha melhor que o sistema real. Porém, pôde-se tratar também que, não todas as variáveis em jogo no sistema real, estejam representadas na simulação, como de fato isto é assim. O qual poderia estar revelando mais pesquisa para tirar as dúvidas neste ponto. Se isto não é verdade então falta experiência ao especialista de campo para tirar maior proveito do sistema produtivo.



**Figura. 4.19.** Biomassa comparada entre o simulado (verde) e o manejo do sistema real (azul) expressada em kg/há/ciclo de cultivo de 120 dias.

#### 4.5.5. Comparação da quantidade de resíduo acumulado (1)

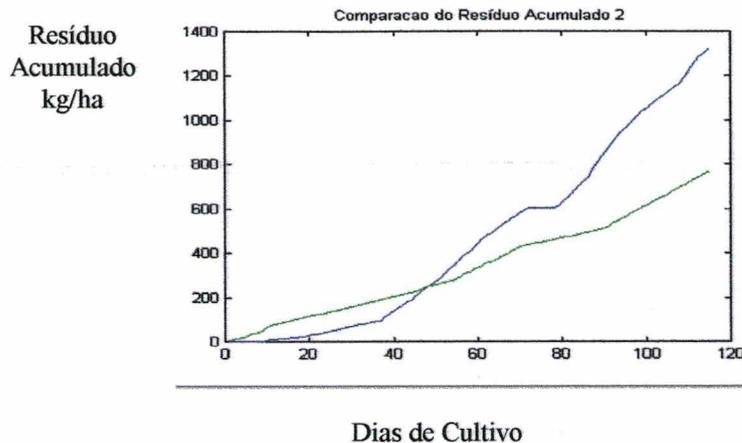
O cálculo do resíduo é realizado assumindo um aproveitamento da ração de 1:1 supondo-se que o resto é resíduo. Foi assumido que a conversão alimentar é dos melhores possíveis<sup>1</sup>. Um quilograma de ração, de forma suposta, seria necessário para produzir um quilograma de camarão. Por simples diferença o restante é resíduo. Vemos que no sistema real (na Figura 4.20), está mais de 3 vezes acima do manejo simulado.



**Figura 4.20.** Resíduo acumulado (1) (segundo a conversão alimentar), produzida pelo cultivo de camarões comparada entre o simulado (verde) e o sistema real (azul) expressada em kg/ha/ciclo de cultivo de 120 dias.

#### 4.5.6. Comparação da quantidade de resíduo acumulado (2)

Em repetidas simulações do resíduo (2) aquela que se produz ao desmanchar-se a ração na água, mais a parte consumida porém não digerida. Vemos que sempre o sistema real está por cima do sistema simulado. Isto indica que, teoricamente, o sistema especialista está sendo mais eficiente na gerência de seu sistema produtivo.



**Figura 4.21.** Resíduo acumulado (2), como percentual de ração desmanchada produzida pelo cultivo de camarões comparada entre o simulado (verde) e o sistema real. (azul) expresso em kg/ha/ciclo de cultivo de 120 dias.

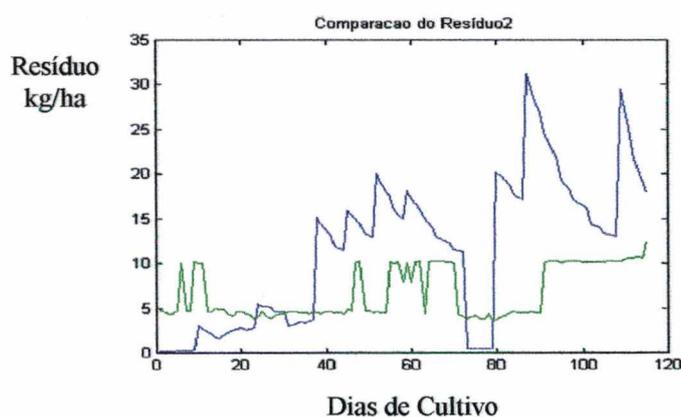
#### 4.5.7. Comparação da quantidade de resíduo (2)

A quantidade de resíduo (2), é o resíduo diário que se produz ao desmanchar-se a ração na água, mais a parte consumida porém não digerida. Observa-se que o resíduo simulado (sistema alternativo) é bem menor que o sistema real. Isto é uma consequência de todo o anterior em especial, dos níveis de arraçoamento que o técnico do sistema real está fazendo. Nas próximas figuras veremos este mesmo resíduo, porém acumulado. Aqui queremos demonstrar apenas, a ordem de grandeza da quantidade de ração, que fica como desperdício no sedimento do viveiro diariamente, o que encurta a vida do viveiro. Assim

<sup>1</sup> Isto em alguns lugares da Tailândia é conseguido ver Chanratchakool, et. al., (1994).

esta deposição, de matéria orgânica no solo, provoca também depleção do oxigênio dissolvido, que o sistema, utilizará na seguinte interação, agravando a situação momentânea do cultivo.

Todo este análise realizado aqui no conduz a entrar na segunda parte da simulação, onde veremos por quanto tempo esta prática de manejo pode seguir sendo executada. (ver Figura 4.20).



**Figura 4.22.** Resíduo (2) como percentual de ração desmanchada, produzido pelo cultivo de camarões comparada entre o simulado (verde) e o manejo do sistema real (azul), expresso em kg/ha/ciclo de cultivo de 120 dias.

#### 4.6. Sobre os Resíduos e a Sustentabilidade dos cultivos

Os níveis encontrados na literatura, de resíduos nos sistemas de cultivo semi-intensivo, intensivo e super intensivo (ver Tabela 4.1).

**Tabela 4.6.** Resíduos produzidos pelo sistema real e simulado comparados com sistemas mais intensivos de cultivos de camarão marinho.

Cultivo	Semi-intensivo (Sistema real)	Semi-intensivo (Simulado)	Intensivo (Kwei Lin, 1993)	Super-intensivo (Kwei Lin, 1993)
Resíduos Cultivo (kg/ha/ciclo)	1300	650	3125	16250
Numero de ciclos (ano)	2,6	2,6	2,0	2,0
Produtividade (kg/ha/ciclo)	600	350	2500	5000
Resíduo Anual (kg/ha/ano)	3380	1690	6250	32500

Se consideramos que esta quantidade vai se incorporar numa camada de 10 centímetros, que é a camada ativa do cultivo de camarões. Então temos o seguinte tabela (4.2). Um metro cúbico de areia pesa 1.160 kg aproximadamente. Então uma camada de 1 m<sup>2</sup> por 10 centímetros de altura pesará 116 kg/m<sup>2</sup>. Si consideramos que a quantidade de resíduos produzido no cultivo de camarão, se dispersa homogeneamente por toda a área de cultivo então, podemos calcular aproximadamente, o percentual de matéria orgânica depositada na camada ativa do viveiro. (ver tabela 4.2).

Este análise é apenas ilustrativa, pois, sabe-se que existem outras medições, mais significativas como o DBO<sub>5</sub> da matéria orgânica em suspensão. O valor da DBO para o cultivo intensivo, no efluente de viveiros que produziram ate 20 (mg/l) de DBO (Hopkins et.al. 1994), equívalem a um consumo de 4 mg/l de OD diário, se consideramos a média diária. Equívale a dizer que precisaria uma troca de 100% de água por dia se não tivesse aeração o sistema em estudo. Isto inviabilizaria o empreendimento. Na análise não consideramos a amônia por falta de dados. Porém sabe-se da importância deste fator, que é crítico e interage com muitas das variáveis aqui discutidas.

**Tabela 4.7.** Cálculo de número de anos com boa produtividade até o declínio teórico da produção. (adaptado de Peterson J., Daniels, H. 1992).

Cultivo	Semi-intensivo (Sistema real)	Semi-intensivo (Simulado)	semi-intensivo (Kwei Lin, 1993)	Intensivo (Kwei Lin, 1993)
Resíduo anual (kg/ha)	3380	1690	6250	32500
Peso de resíduo acumulado(kg/ m <sup>2</sup> /ano)	0,338	0,169	0,625	3,25
Peso camada areia (10 cm) kg/m <sup>2</sup>	116	116	116	116
Taxa acúmulo de resíduo (%/ano)	0,29	0,14	0,54	2,8
Solo de mangue impróprio p/cultivo	10,51	10,51	10,51	10,51
Número de anos cultivo	36	75	19	3,8

No seguinte capítulo apresenta-se as conclusões e recomendações a que o presente trabalho chegou.

## CAPITULO V

### 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

#### 5.1. Conclusões

1. A modelagem baseada em conjuntos difusos permitiu integrar, mediante a abordagem sistêmica, o conhecimento parcial de pesquisas pré-existentes sobre o cultivo de camarões realizados em pesquisas de laboratório, assim como também direcionar pesquisas futuras. A ferramenta usada, os sistemas difusos implementados no MatLab®, adapta-se muito bem à modelagem dos sistemas de cultivos aquáticos permitindo uma análise simultânea de muitas variáveis, apenas conhecendo a variação máxima, média e mínima das variáveis do sistema real a serem modeladas. Assim temos que:
  - O modelo implementado processa os dados ambientais de todas as variáveis utilizadas na montagem do sistema, é indica o manejos alternativos em simulações induzidas para estudar o comportamento do sistema com outros cenários de produção.
  - O modelo proposto na simulação é validado quando se compara o crescimento e a mortalidade do camarão com o sistema real, de igual modo o manejo do sistema de cultivo, em função das variáveis de entrada ambientais. O trabalho da modelagem de sistema complexos, como o cultivo de organismos em ambientes aquáticos, pode ser implementado analisando as principais variáveis do sistema num esforço de compreender o funcionamento destes sistemas ecológicos de forma interdisciplinar.
2. O modelo de simulação fornece dados importantes sobre a capacidade de carga do sistema de cultivo ao longo do tempo (produção de resíduos), simulando cenários diferentes, sistemas de cultivos com densidades de camarões mais elevadas. O modelo melhora o tipo de manejo, segundo as políticas implementadas, quando comparadas com as políticas de manejo utilizadas pelo banco de dados real. O sistema implementado pode ser utilizado como um sistema especialista para sugerir políticas de

manejo mais adequadas às condições de cultivo do camarão marinho em Santa Catarina.

3. A capacidade do sistema de cultivo de suportar um determinado número de ciclos produtivos com viabilidade econômica e ambiental pode, ao longo do tempo, inviabilizar o cultivo de camarões. O acúmulo de resíduos no fundo do viveiro, assim obtivemos que, os viveiros no sistema de cultivo super-intensivo apresenta 3,8 anos de boa produtividade, já o sistema intensivo demora 19 anos. O semi-intensivo (real) apresenta uma vida útil de 36 anos e o sistema semi-intensivo (simulado) 75 anos, respectivamente.
4. Os pontos críticos encontrados na modelagem do sistema foram falta de dados sobre a capacidade "buffer" da interfase solo-água e da sua capacidade de metabolizar os resíduos orgânicos vertidos no fundo dos viveiros. Outro ponto crítico detectado para a modelagem do sistema produtivo de camarão marinho é que foi necessário dispor de um enorme banco de dados das variáveis que pertencem ao sistema real, utilizou-se 1200 dias de cultivo real, e suas relações dos efeitos das variáveis sobre o objeto de estudo.

## **5.2. Recomendações**

No sentido de implementar pesquisas que contribuam à solução do problema da sustentabilidade na carcinicultura recomenda-se :

1. Em regiões de clima sub-tropical como Santa Catarina, é pouco recomendável o sistema de cultivo semi-intensivo em viveiros grandes, maiores a duas hectares devido a que é mais difícil que em outras regiões o controle das variáveis de estado internas do sistema produtivo. Um maior controle pode ser realizado em viveiros menores mediante o uso de aereadores, por permitem manter o sistema de cultivo nas condições mais estáveis possíveis, inclusive viveiros estufa, possíveis de serem

cobertos no inverno com tamanhos variando até 0,2 ha de espelho de água, para a produção de camarão durante o ano todo.

2. Recomenda-se a intensificação dos cultivos em viveiros pequenos com sistema de tratamento de efluentes, que permitam um melhor controle das variáveis físico químicas, com pouca ou nenhuma (sistemas fechados), renovação de água, assim como o controle da quantidade de alimento em bandejas de alimentação e do tratamento dos efluentes com filtros biológicos (peixes fitoplantônicos e algas), revelam ser as melhores saídas para tornar a carcinicultura marinha sustentável em Santa Catarina.
3. Pesquisar a zona de interfase solo-água na aquicultura, sua dinâmica e recuperação, assim como a DBO dos diferentes tipos de efluentes, procurando relacionar conversão alimentar e DBO com intensidade de cultivo, assim como, o tratamentos de efluentes com uso de organismos biológicos, consumidores primários, micro e macro algas para o consumo do nitrogênio e fosfato total, peixes filtradores e bivalves, peixes detritívoros e poliquetas em sistemas super-intensivos mais carregados de resíduos sólidos, em tanques de oxidação aeróbia, antes de serem vertidos ao ambiente, para recuperação dos ambientes de cultivo, tudo isto fazendo parte da mesma linha de produção.
4. Finalmente de tudo isto, recomenda-se que, numa visão de sustentabilidade futura o cultivo de camarão depende, não apenas de práticas a nível da propriedade ou do viveiro, mas também do manejo integrado da zona costeira e de ações públicas para prevenir ou compensar danos ambientais e sociais que esta atividade apresenta, neste sentido precisa-se de trabalhos muito mais abrangentes que levem em consideração estas variáveis macroecológicas.

## BIBLIOGRAFIA

- ALLEN, Geoffrey et al. **Bioeconomics of aquaculture**. Elsevier Science Publisher B.V. 3ra. Impr. 1990. 350 p.
- ANDREATTA, E.R. Produtividade natural de viveiros e sua importância na carcinicultura. In: 1º. WORKSHOP DO ESTADO DO CEARÁ SOBRE CULTIVO DE CAMARÃO MARINHO. 1996. Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Grupo de Estudo de camarão marinho, Universidade Federal do Ceará, p. 101-106. 1996.
- BALA B. K., M.A. SATTER. **System dynamics simulation and optimization of aquacultural Systems**. Aquicultural Engineering 1990.
- BELTRAME, E. **Sistema de planejamento, acompanhamento e simulação da produção de post-larvas e camarões marinhos**. 1990. 148 f. Tese (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- BOYD, C. **Water Quality management and aeration in shrimp farming**. Auburn: Auburn University, 1989. 83 p.
- BOYD, C.E. **Shrimp pond bottom soil and sediment management**. In: : WYBAN, J. (Org.). PROCEEDINGS OF THE SPECIAL SESSION ON SHRIMP FARMING. Baton Rouge, L.A. USA. World Aquaculture Society, editor. 1992. 301 p.
- BOYD, Claude E. Source water, soil, and water quality impacts on sustainability in aquaculture. In: : KAZMIERCZAK. (Org.). **Towards Sustainability in Closed System Fish Culture**. PROCEEDINGS - SUSTAINABLE AQUACULTURE 95'. Economics, the Environment and Sustainable Aquaculture. June 11., 1995. Honolulu, Hawaii. Pacific congress on marine science and technology. Hawaii. 1995.
- BOYD, Claude E. **Water quality in ponds for aquaculture**. Alabama, Auburn University: Agricultural Experiment Station. 1990.
- BROWN, L.R. Vital Signs: The trends that are shaping Our Future. In: KAZMIERCZAK. (Org.). **Towards sustainability in closed system fish culture**. PROCEEDINGS SUSTAINABLE AQUACULTURE 95'. Economics, the Environment and Sustainable Aquaculture. June 11., Honolulu, Hawaii, 1995. Pacific congress on marine science and technology. Hawaii. 1995.

- CACHO, O.J., H. KINNUCAN, & U. HATCH. **Optimal control of fish growth**. American Journal of Agricultural Economics. USA v. 73 p.176-183, 1991.
- CHANRATCHAKOOL, P. et al. **Health Management in Shrimp Ponds**. 2da Ed. Bangkok, Thailand. Kasertsat University Campus. 1994. 111 p.
- CLARK, C.W. Economic biases against sustainable development. In: KAZMIERCZAK. (Org.). **Towards Sustainability in Closed System Fish Culture**. PROCEEDINGS SUSTAINABLE AQUACULTURE 95'. Economics, the Environment and Sustainable Aquaculture. Honolulu, Hawaii, June 11. 1995. Pacific congress on marine science and technology. Hawaii. 1995.
- CLAY, J. **Como pagar por una camaronicultura sostenible?**. In: IV CONGRESO EQUATORIANO DE ACUICULTURA - Guayaquil, Ecuador. Resúmenes. 22-27 de outubro 1997. Fundación Cenaim - Espol, Ecuador. p. 60-62.,1997.
- CLIFFORD III, H.C. **Marine shrimp pond management: a review**. In AQUACULTURE '92. Proceedings of the special session on shrimp farming. Baton Rouge, L.A.- USA The World Aquaculture Society. , USA. p. 110-137., 1992.
- CUENCO, M.L. **A model of fish bioenergetics and growth at the organismal and population levels in laboratory and pond environments**. 1982. 213 f. Tese. (Ph. D) Texas A&M University, College station, Texas. 1982.
- CUENCO, M.L. **Aquaculture System Modeling: An introduction with emphasis on warmwater aquaculture**. ICLARM, Manila Filipinas. 1989. 33 p.
- CUNHA, M. L. **Efeito da salinidade e da frequência alimentar sobre o consumo de alimento, crescimento e sobrevivência de juvenis do camarão rosa *Penaeus paulensis* (Perez Farfante, 1967)**. 1997. 66 f. Tese (Mestrado em Aquicultura) - Departamento de Aquicultura, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.
- EHRlich, P.R. **O Mecanismo da Natureza**. Rio de Janeiro: Campus,1993. 328 p.
- FAO. **Aspects of FAO's policies, programmes, budget and activities aimed at contributing to sustainable development**. Document to the 94 th Session of FAO Council, Rome, 15-25 Nov. 1988. FAO, ROME. 1988.
- FAO. **Aquaculture production statistics, 1984-1993**. FAO Fish. Circ. 815 Ver. 7, 1-127. 1995.

- FAO/NACA. **Report on a regional study and workshop on the environmental assessment of aquaculture development.** Network of aquaculture centres in Asia-Pacific, Bangkok, Thailand, 1995. 492 p.
- FOLKE, C. & N. KAUTSKY. **Aquaculture with its environment: Prospects for sustainability.** Ocean and coastal management. v. 17, 5-24. 1992.
- FREIRE V, P. e J. WEBER (Org.). **Gestão de Recursos Naturais Renováveis e Desenvolvimento. Novos desafios para a pesquisa ambiental.** São Paulo: Cortez, 1997.
- FREIRE, V.P. **Gestão Patrimonial de recursos naturais: Construindo o ecodesenvolvimento em regiões litorâneas** In: CAVALCANTI (Org.). **Desenvolvimento e Natureza: Estudos para uma sociedade sustentável.** São Paulo: Cortez; Recife, PE : Fundação Joaquim Nabuco, 1995.
- GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. **The entropy law and the economic process.** Cambridge, Harvard University Press, 1971.
- GLAESER, B. UYASULU, V. **The obsolescence of ecodesvelopment?.** In: GLAESER, B. (Org.). **Ecodesvelopment: concepts, projects, strategies.** Oxford, Pergamon.
- GRANT, W.E. **Systems analysis and simulation in wildlife and fisheries sciences.** In: CUENCO, M.L (Org). **Aquaculture System Modeling: An introduction with emphasis on warmwater aquaculture.** ICLARM, Manila Filipinas. 1989. 33 p.
- HALL, C. A .S. **Ecosystem Modeling in Theory and Practice: An Introduction with Case Histories.** A Wiley-Interscience publication. New York. 1977. 684 p.
- HOLLAND, J. H. **Hidden Order: How Adaptation Builds Complexity.** Addison-Wesley Publishing Company. 1995.
- HOPKINS, S. **Aquaculture Sustainability: Avoiding the Pitfalls of the Green Revolution.** Newsletter of the world aquaculture society v.3, 1994.
- HORKHEIMER, Marx. **Traditionelle und Kritische Theorie.** In: CAVALCANTI (Org.). **Desenvolvimento e Natureza: Estudos para uma sociedade sustentável.** São Paulo: Cortez; Recife, PE : Fundação Joaquim Nabuco, 1995.
- IWAI, M. **Desenvolvimento larval e pós-larval de *Penaeus (Melicertus) paulensis* PÉREZ FARFANTE, 1967 (Crustacea, Decapoda) e o ciclo de vida dos camarões do**

- gênero *Penaeus* da região centro-sul do Brasil.** 1978. Tese (Doutorado em Ciências na área de Zoologia) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- JAYASINGHE, J.M.P.K. In: **FAO/NACA Regional study and workshop on the environmental assessment and management of aquaculture development.** Network of aquaculture centres in Asia-Pacific, Bangkok, Thailand, TCP/RAS/2253. Country report: Sri Lanka, p. 357-376. 1995.
- JØRGENSEN, S.E. **Fundamentals of Ecological Modeling.** 2nd Edition, Amsterdam, Elsevier, 1994. 628 p.
- JAPIASSU, Hilton. **Interdisciplinaridade e patologia do saber.** Imago, Rio de Janeiro, 1976.
- JORY, D.E. **Feed management practices for a healthy pond environment.** PROCEEDINGS OF THE SPECIAL SESSION ON SHRIMP FARMING. In: **AQUACULTURE 95'.** 1995. The World Aquaculture Society. San Diego. p. 118-143. 1995.
- KAZMIERCZAK, Richard F. (Org.). **Towards sustainability in closed system fish culture.** PROCEEDINGS - SUSTAINABLE AQUACULTURE 95'. Economics, the Environment and Sustainable Aquaculture. June 11. Honolulu, Hawaii, 1995. Pacific congress on marine science and technology. Hawaii, 1995.
- KITCHING, R.L. **Systems ecology : an introduction to ecological modeling.** In: CUENCO, M.L. (Org.). **Aquaculture System Modeling: An introduction with emphasis on warmwater aquaculture.** ICLARM, Manila Filipinas. 1989. 33p.
- KOSKO, B. **Neural Networks and Fuzzy Systems.** New Jersey: Prentice Hall. Englewood Cliffs, 1991.
- KWEI LIN, C., P. RUAMTHAVEESUB, P. WANUCHSOONTORN. **Integrated culture of the mussel (*Perna viridis*) in wastewater from na intensive shrimp pond: concept and practice.** Worl Aquaculture. v2. p. 68-73. 1993.
- LANDESMAN, L. **Negative impacts of coastal aquaculture development.** World Aquaculture v. 25, 4-11. 1994.

- LEE, C.C. **A fuzzy logic in control systems: Fuzzy logic controller, Part I.** IEEE Transactions on Systems, man and cybernetics, March/April v. 20 n. 2, p. 404-418. 1990.
- LESTER, L.J., PANTE, Ma . J.R. Penaeid temperature and salinity responses. In: Arlo w. Fast and James (Org.). **Marine shrimp culture: principles and practices.** Netherlands: Elsevier Science Publishers B.V., p. 515-534. 1992.
- LIN, C.K. **Prawn culture in Taiwan, what went wrong?.** World Aquacult. n20. v2. 19-20. 1989.
- LIN, C. K., WEI; L.G. NASH, (Org.). **Asian Shrimp News Collected.** Asian Shrimp Culture Council, Bangkok, Thailand. v. 1989-1995. 1996. 312 p.
- MANDANI, E.H. **Applications of fuzzy logic to aproximate reasoning using linguistic synthesis.** IEEE. Transactions on systems, man and cybernetics, v. c-26, n. 12, p. 1182-1191. 1977.
- MATLAB. **High performance numeric computation and visualization software.** User's Guide. The Math Works Inc., Natick, MA, USA. 1992. 184. p.
- MATLAB. **High performance numeric computation and visualization software.** Fuzzy Logic Toolbox. Jang. R.J.S., Gulley N. The Math Works Inc., Natick, MA, USA. 1992. 66 p.
- MAY, R.M. **Stability and Complexity in Model Ecosystem.** Princeton, Princeton University Press. 1973.
- MAY, R.M. **Theoretical Ecology: Principles and Applications.** Blackwell Scientific Publications. Boston, USA. 1976. 489 p.
- MEADOWS, Denis L., et al. **Limites do crescimento - um relatório para o projeto do clube de Roma sobre o dilema da humanidade.** São Paulo: Perspectiva. [Em inglês: The limits to growth.]. 1972.
- MERICO, K. L. F. **Introdução à economia ecológica,** Ed, FURB, Blumenau, 1996. p.160.
- MESAROVIC, M. D. **Systems theory and biology.** PROCEEDINGS OF THE III SYSTEMS SYMPOSIUM AT CASE INSTITUTE OF TECHNOLOGY. Springer-Verlag New York Inc. 1968. 403 p.

- MIZUMOTO, M.; H.J., ZIMMERMAN. **Comparison of fuzzy reasoning methods. Fuzzy sets and systems**, v. 8, p. 253-283. 1982.
- MORIN, E. Epistemologia da Complexidade. 1994. In: SCHNITMAN F. D. (Org.). **Novos Paradigmas, Cultura e Subjetividade**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996. 277 p.
- MUEDAS, W.L. **Um sistema de apoio a decisão (SAD), para o controle econômico da produção do camarão marinho no litoral catarinense**. 1993. 71 f. Tese (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) - Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.
- PIEDRAHITA, R.H. **Introduction to computer modeling of aquaculture pond ecosystems**. *Aquacult. Fish. Manage.* v. 19. p 1-12. 1988.
- PIELOU, E.C. **Mathematical ecology**. New York: John Wiley and Sons Inc. New York. 1977. 385 p.
- POPPER, Karl R. Logik der Forschung. In: CAVALCANTI (Org.). **Desenvolvimento e natureza: Estudos para uma sociedade sustentável**. São Paulo: Cortez; Recife, PE : Fundação Joaquim Nabuco, 1995.
- PRIGOGINE, ILYA. Auto-organização e Complexidade: Dos relógios às nuvens. In: SCHNITMAN, F., D. (Org.). **Novos paradigmas, cultura e subjetividade**. Artes Médicas Sul LTDA. Porto Alegre., p. 257-270. 1996.
- PRIGOGINE, ILYA. O Fim da Ciência?. 1994. In: SCHNITMAN, F., D. (Org.). **Novos paradigmas, cultura e subjetividade**. Artes Médicas Sul LTDA. Porto Alegre, p. 25-44. 1996.
- PRIGOGINE, ILYA; I. STENGERS. **A Nova aliança: metamorfose da ciência**. 3 th. Ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília 1997. 247 p.
- PRIMAVERA, J.H., AGBAYANI, R.F. **Comparative strategies in community-based mangrove rehabilitation programmes in the Philippines** In: . (Org). HONG, P.N. et al. **PROCEEDINGS OF ECOTONE V COMMUNITY PARTICIPATION IN CONSERVATION, SUSTAINABLE USE AND REHABILITATION OF MANGROVES IN SUTHEAST ASIA**. UNESCO, Japanese. Man and the Biosphere National Committe and Mangrove Ecosystem Reserch Centre, Vietnam. p. 229-243. 1997.

- PRIMAVERA, J.H. **Environmental and socioeconomic effects of shrimp farming: the Philippine experience.** Infofish International., n.1, p. 44-49. 1994.
- PROGRAMA DE ECOLOGÍA, PESQUERIAS Y OCEANOGRAFIA DEL GOLFO DE MEXICO. **Estudio de viabilidade ecológica para el desarrollo del cultivo de camarón en la región de Laguna de Términos, del municipio de Carmen, estado de Campeche.** Secretaría de desarrollo Pesquero Gobierno del Estado de Campeche Universidad autónoma de Campeche. EPOMEX, ECOMAR. México. 1994.
- QUADROS, S. W. **Efeito de horários de alimentação sobre o consumo de matéria seca no cultivo do camarão “rosa” *Penaeus paulensis* (Pérez Farfante, 1967).** 1997. 83 f. Tese (Mestrado em Aquicultura) - Departamento de Aquicultura, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.
- RABUSKE, R. A . **Inteligência Artificial.** Florianópolis, Ed. UFSC, 1995. 240 p.
- RIGGS, D.S. The matematical approach to physiological problems: acritical primer. In: CUENCO, M.L. **Aquaculture System Modeling: An introduction with emphasis on warmwater aquaculture.** ICLARM, Manila Filipinas. 1989. 33 p.
- ROBERTSON, L.; LAWRENCE, A .L.; CASTILLE,F.L. **Effect of feeding frequency and feeding time on groth of *Penaeus vannamei* (Boone).** Aquaculture and Fisheries Management., v. 24. p. 1-6. 1993b.
- ROBERTSON, L.; LAWRENCE, \*L.; L. CASTILLE,F. **Interaction of salinity and feed protein level on growth of *Penaeus vannamei*.** Journal of Applied Aquaculture. v.2, n.1. p. 43-54. 1993.
- ROHDE, Geraldo M. Mudanças de paradigma e desenvolvimento sustentado. In: CAVALCANTI (Org.). **Desenvolvimento e Natureza: Estudos para uma sociedade sustentável.** São Paulo: Cortez. Recife, PE : Fundação Joaquim Nabuco, 1995.
- ROSENTHAL, H. **Aquaculture and the environment.** World Aquaculture v. 25., p. 4-11. 1994.
- RUNGE, C.F. A policy perspective on the sustainability of production environments: Toward a land therory value. Center for international food and agricultural policy. Working paper. 1992. 92p. In: KAZMIERCZAK (Org.). **Towards Sustainability in Closed System Fish Culture.** PROCEEDINGS SUSTAINABLE AQUACULTURE 95’.

- Economics, the Environment and Sustainable Aquaculture. June 11., Honolulu, Hawaii, 1995. Pacific congress on marine science and technology. Hawaii. 1995.
- SACHS, Ignacy. Environment and styles of development. In: CAVALCANTI (Org.). **Desenvolvimento e Natureza: Estudos para uma sociedade sustentável.** São Paulo: Cortez; Recife, PE : Fundação Joaquim Nabuco, 1995.
- SALGADO-LABOURIAN, M.L. **História Ecológica da Terra.** Edgard Blücher, 1994.307 p.
- SAMOCHA, T.M., LAWRENCE, A .L. **Shrimp nursery system and management.** In: SPECIAL SESSION ON SHRIMP FARMING. 1992, Orlando. Proceedings ... Orlando. The World Aquaculture Society. p. 87-99. 1992.
- SANDIFER, P.A. **Recommendations for policy formulation to enhance development of sustainable coastal aquaculture.** In: AQUACULTURE 95'. Book of Abstracts. Baton Rouge, Louisiana: World Aquaculture Society. 1995.
- SHIGUENO, K. **Shrimp Culture in Japan.** Association for International Technical Promotion Tokyo, Japan, 1975. 153 p.
- SMITH, Paul T. **Characterisation Of The Effluent From Prawn Ponds On The Clarence River, Australia. (1995).** In: : KAZMIERCZAK. (Org.). **Towards Sustainability in Closed System Fish Culture. PROCEEDINGS - SUSTAINABLE AQUACULTURE 95'.** Economics, the Environment and Sustainable Aquaculture. June 11., 1995. Honolulu, Hawaii. Pacific congress on marine science and technology. Hawaii. 1995.
- SPAIN, J.D. **BASIC microcomputers models in biology.** Ed. Addison-Wesley Publishing Co., London. 1982.
- SPERLING, M.V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 2.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. v.1. 234. p. 1996.
- STAPLES, D.J., HEALES, D.S. **Temperature and salinity optima for growth and survival of juvenile banana prawns *Penaeus merguensis*.** J. Exp. Mar.Biol. Ecol., Amsterdam, v. 154, n.2, p. 251-274. 1991.
- TCHOLAKIAN, A . B. **Identificação Difusa de Sistemas: Proposta de um Modelo Adaptativo.** 1997. 78 f. Tese (Doutor em Engenharia de Produção e Sistemas)

Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

TISDELL, Clem. **Economics, of Environmental Conservation**. Amsterdam: Elsevier Science Publications. 1991.

TISDELL, Clem. Economics, the Environment and Sustainable Aquaculture. In: KAZMIERCZAK. (Org.). **Towards Sustainability in Closed System Fish Culture. PROCEEDINGS - SUSTAINABLE AQUACULTURE 95'**. Economics, the Environment and Sustainable Aquaculture. June 11., 1995. Honolulu, Hawaii. Pacific congress on marine science and technology. Hawaii. 1995.

TISDELL, Clem. **Environmental Economics: Policies for Environmental Management and Sustainable Development**. Aldershot, England: Edward Elgar. 1993a.

WEBER, Jacques; M. ANTONA; F. BUSQUET; P. FREYRE. **Gestão de recursos naturais renováveis em propriedade comum: Fundamentos teórico-metodológicos e aplicações**. SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA. 3<sup>A</sup> REUNIÃO ESPECIAL. Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. 1996.

WEIDNER, D., et al. **World Shrimp Culture in Latin America**. U.S. Department of Commerce. National Marine Fisheries Service. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Silver Spring. v. 2: 1011 p. 1992.

WERNER, Andri S. Capitalismo e entropia: Os aspectos ideológicos de uma contradição e a busca de alternativas sustentáveis. In: CAVALCANTI (Org.). **Desenvolvimento e Natureza: Estudos para uma sociedade sustentável**. São Paulo: Cortez; Recife, PE : Fundação Joaquim Nabuco, 1995.

WYBAN, J. (Org.). **Proceedings of the Special Session on Shrimp Farming** . Papers Presented at AQ92, May 22-25, Orlando, Florida World Aquaculture Society, editor. 1992. 301 p.

WYBAN, J.<sup>a</sup>, SWEENEY, J.N. **Intensive shrimp growout trials in a round pond**. Aquaculture, v. 76, p. 215-225. 1989.

YAGER, R. R.; D. P. FILEV. **Essentials of fuzzy modeling and control**. Wiley, Interscience, 1994.

ZADEH, L. A . **Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decisions processes** - IEEE Transactions on systems, man and cybernetics, v. SMC-3, n.1, p. 28-44, 1973.

ZADEH, L. A . **The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning, part II.** Information Sciences, v.8, p. 301-357, 1975b.

ZADEH, L. A . **The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning, part III.** Information Sciences, n.9, p. 43-80, 1975c.

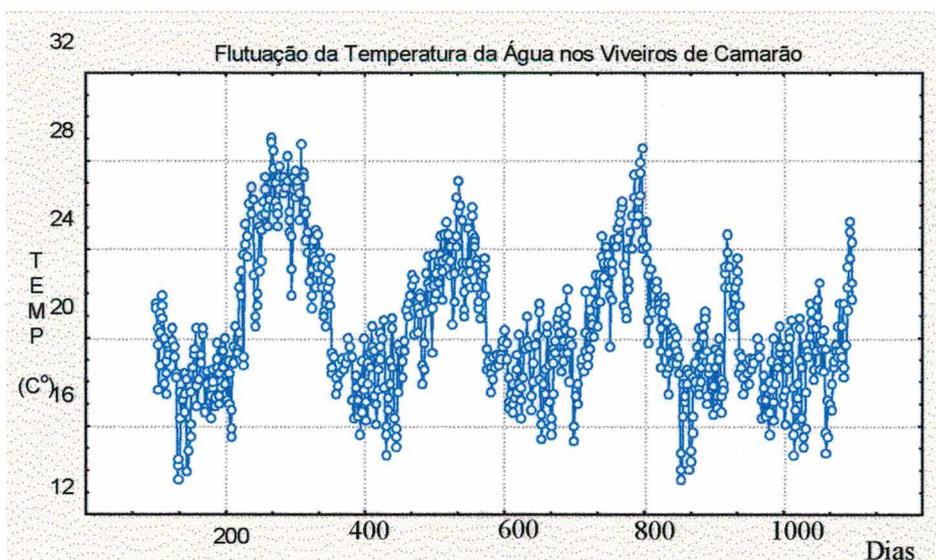
ZADEH, L. A . **The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning, part I.** Information Sciences, v.8., p. 199-245, 1975a.

## Apêndice A

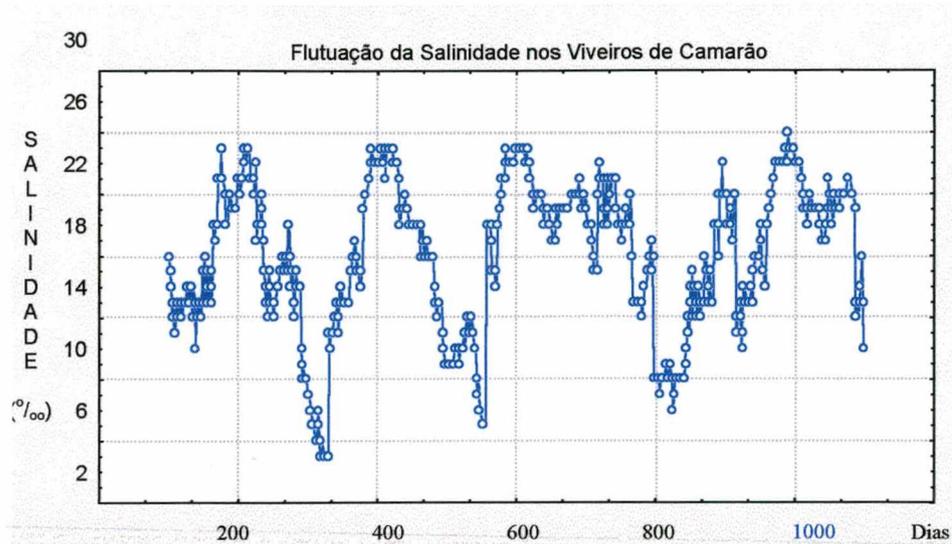
### A. Banco de dados utilizado para a implementação do sistema difuso

O presente banco de dados provêm do monitoramento diário das variáveis físico-químicas, de manejo e bioeconômicos de camarão em viveiros, de uma fazenda comercial do Estado de Santa Catarina dos quais foram escolhidos oito cultivos consecutivos.

#### a.1. Variáveis de estado exógenas do sistema

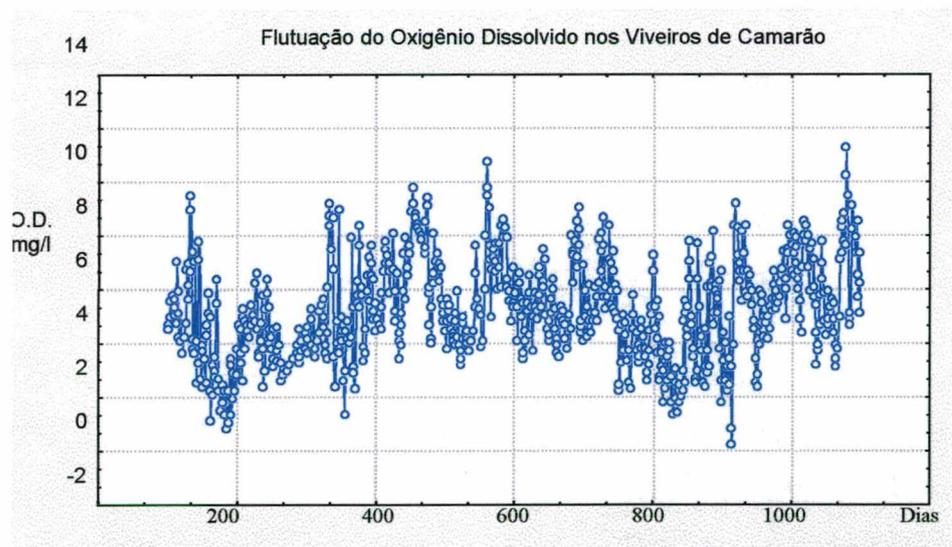


**Figura a.1.1.** Oscilação da temperatura °C (Temp) usada como variável exógena na simulação, observa-se o comportamento sinoidal, entre as estações de verão e inverno, do clima sub-tropical do litoral de Santa Catarina.

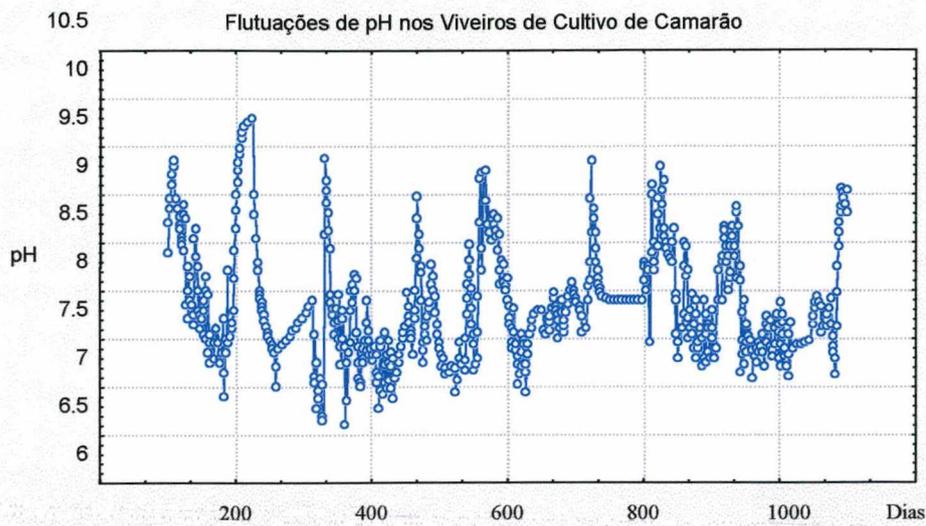


**Figura a.1.2.** Flutuações de salinidade, usada como variável exógena na implementação do sistema. Em relativamente pouco espaço de tempo as oscilações são extremamente grandes, com diferenças de até 20 ‰.

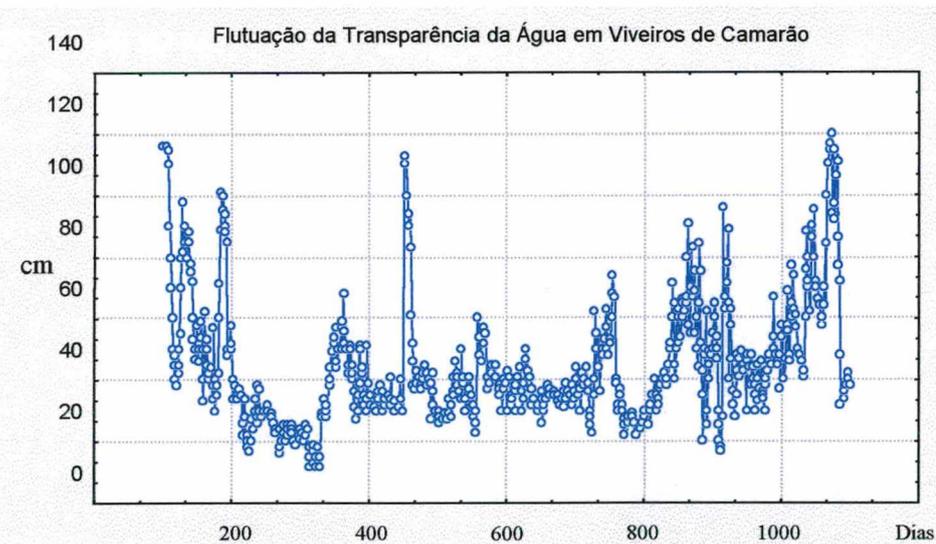
## a .2. Variáveis de estado internas do sistema



**Figura a.2.1.** Oscilação do oxigênio dissolvido (OD), usada como variável interna de estado do sistema. Os limites são acima do nível de saturação a nível do mar, com maior frequência por baixo os 4 mg/l.

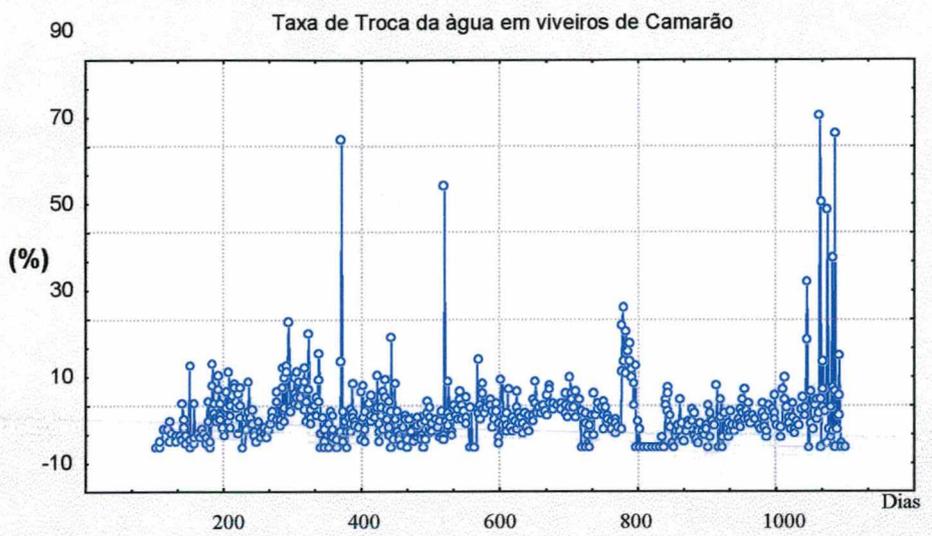


**Figura a.2.2.** Flutuações de pH, usada como variável interna de estado do sistema. Os limites mostrados são de mais de três unidades de pH.

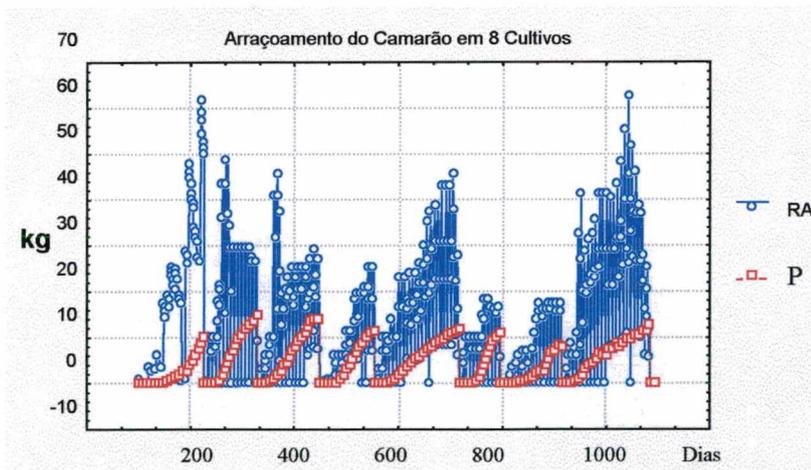


**Figura a.2.3.** Flutuações da transparência da água, usada como variável interna de estado na implementação do sistema. Em relativamente pouco espaço de tempo as oscilações são extremamente grandes. Esta variação parece estar associada com as amplas oscilações de salinidade e temperatura principalmente.

### a .3. Variáveis de manejo

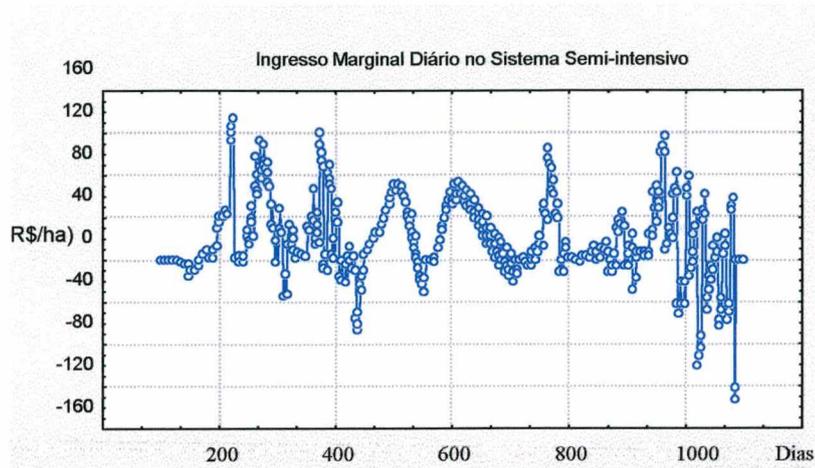


**Figura a.3.1.** Flutuações da taxa de troca da água, usada como variável de controle na implementação do sistema. Os dados se aglomeram em torno de uma troca de água de 10 % por dia.

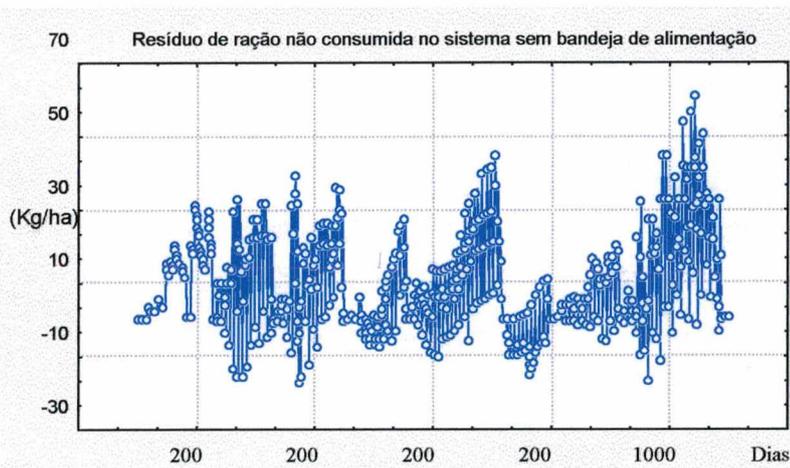


**Figura a .3.2.** Oscilações do arrazoamento (RA) oscilando ao compasso do crescimento em peso em gramas do camarão (P), o arrazoamento é uma variável de manejo no controle do sistema.

#### a.4. Variáveis de estado de saída do sistema



**Figura a.4.1.** Oscilações do Ingresso marginal (R\$/há) oscilando ao compasso do ganho de biomassa, é uma variável de estado de saída do sistema.



**Figura a.4.2.** Oscilações do resíduo do alimento (Kg/há) oscilando também ao compasso do ganho de biomassa, é uma variável de estado de saída do sistema.

## Apêndice B

### B. Tabelas com índices técnicos para dar suporte à pesquisa

**Tabela b.1 .** Características de quatro alternativas de sistemas de cultivo de camarão.

Descrição	Extensivo	Semi-intensivo	Intensivo	Super-Intensivo
Tamanho de viveiro (há)	5 - 20	1 - 5	0,5 - 1	0,5 - 1
Densidade de estocagem (PLs/m <sup>2</sup> )	0,5 - 2	5 - 10	10 - 50	50 - 100
Origem da Pós-larva	Selvagem/lab.	Laboratório	Laboratório	Laboratório
Idade de Estocagem	> PL 30	PL 25	PL 15	PL 15
Manejo da água	maré/bomba	bomba	bomba	bomba
Aireação	não	alguma	sim	sim
Drenagem central	não	não	alguma	sim
Alimento	fertilização	fresco/pellet	pellet/fresco	pellet+fresco
Período de cultivo (meses)	3 - 6	4 - 5	4 - 5	4
Taxa de sobrevivência (%)	50	70	70	65
Conversão Alimentar	-	2,0	2,3	2,5
Número de Despesas por ano	1	2	1.4-1.8	1.5
Factibilidade de biotratamento	nula	reduzida	factível	muito factível
M.O ° Efluentes (kg/há/ciclo)	140-180	300-620	500-850	---
Produção (kg/há)	250 - 500	600 - 1.800	3.000-7.500	20.000-40.000

Fonte : Pastor Torres, 1990.

**Tabela b.2** Custos operacionais de quatro alternativas de sistemas de cultivo de camarão

Custo Operacional (US\$/Kg)	Extensivo	Semi-Intensivo	Intensivo	Super-Intensivo
Pós-larva	0,53	0,44	0,40	0,43
Alimento	--	1,60	2,40	2,12
Mão obra	0,85	0,51	0,27	0,17
Eletricidade	0,08	0,32	0,41	0,45
Fertilizante e pesticida	0,08	0,02	0,01	0,01
Combustível	0,33	0,13	0,10	0,08
Materiais e distribuição	0,08	0,02	0,02	0,02
Despesas gerais	--	0,89	0,67	0,38
Total	1,95	3,93	4,28	3,66

Fonte : Pastor Torres, 1990.

**Tabela b.3.** Custos operacionais relativos de quatro alternativas de sistemas de cultivo de camarão

Custo Operacional (US\$/Kg)	Extensivo	Semi-Intensivo	Intensivo	Super-Intensivo
Pós-larva	27,17	11,20	9,34	11,75
Alimento	--	40,71	56,07	57,92
Mão obra	43,59	12,98	6,31	4,64
Eletricidade	4,10	8,14	9,58	12,30
Fertilizante e pesticida	4,10	0,51	0,23	0,27
Combustível	16,92	3,31	2,34	2,18
Materiais e distribuição	4,10	0,51	0,50	0,55
Despesas gerais	--	22,65	15,65	10,38
Total	100,00	100,00	100,00	100,00

Adaptado de Pastor Torres, 1990.

**Tabela b.4.** Destino dos Alimentos soltos em viveiros de cultivo de camarão intensivos baseados na taxa de digestibilidade e conversão do alimento.

Destino do Alimento	% (Primavera, 1994)	% (Kwei Lin, et al, 1993)
1. Alimento Fornecido	100 %	100 %
2. Desmanchado	15 %	10 % (dissolvido) 15 % (não comido)
3. Consumido	85 %	75 %
Manutenção, ecdise, excreção.	48 %	28 %
Aproveitado	17 %	9,8 %
Não digerido	20 %	37,50 %
Total de Resíduo sólido	35 %	62,50 %

Fonte : Primavera, 1994.

**Tabela b.5.** Produção de resíduos em relação á conversão alimentar por tonelada de camarão cultivado nos diferentes sistemas de cultivo.

Sistema de Cultivo	Semi-intensivo	Intensivo	Super-Intensivo
Densidade (cam/m <sup>2</sup> )	5 - 10	10 - 50	50 - 100
Produtividade (kg/há)	2,5 - 5,0	5,0 - 20,0	20,0 - 40,0
Conversão Alimentar (peso seco alimento/ peso úmido ganho)	2,0	2,3	2,5
Produção Resíduos (kg/ tonelada camarão cultivado)*	1250	1475	1625
Resíduos Sólidos (tons/há/ano)	3,16 - 6,25	7,38 - 29,5	32,5 - 65,0
Nitrogênio (kg/há/ano)	228 - 450	530 - 2124	2340 - 4680
Fósforo (kg/há/ano)	74 - 146	173 - 690	760 - 1520

\* Fonte : adaptado de Kwei Lin, et al., (1993)

**Tabela b.6.** Custos operacionais de quatro alternativas de sistemas de cultivo de camarão Relativas ao sistema semi-intensivo.

Custo Operacional (US\$/Kg)	Índice do sist. Extensivo	Valor Base Semi-Intensivo	Índice no Sist. Intensivo	Índice no Sist. Super-Intensivo
Pós-larva	1,20	0,44	0,91	0,98
Alimento	--	1,60	1,50	1,32
Mão obra	1,67	0,51	0,53	0,33
Eletricidade	0,25	0,32	1,28	1,41
Fertilizante e pesticida	4,00	0,02	0,50	0,50
Combustível	2,54	0,13	0,77	0,61
Materiais e distribuição	4,00	0,02	1,00	1,00
Despesas gerais	--	0,89	0,75	0,43
Total	0,49	3,93	1,08	0,93

Fonte : adaptado de Pastor Torres, 1990.

**Tabela b.7.** Conversão de Alimento em Relação à Produção de Resíduos Sólidos por Tonelada de Camarão Cultivado (Quilogramas).

Conversão Alimento	Matéria Orgânica	Nitrogênio	Fósforo
1,0	500	26 (5,20)	13 (2,60)
1,5	875	56 (6,40)	21 (2,40)
2,0	1250	87 (6,96)	28 (2,24)
2,5	1650	117 (7,09)	38 (2,30)

Fonte : adaptado de Kwei Lin; et. al. (1993).

**Tabela b.8.** Características do cultivo intensivo com respeito a acumulação de sedimento (sólidos residuais).

Manejo do Viveiro	Intensivo (1)	Intensivo (2)
Densidade de estocagem	35 PL/m <sup>2</sup>	30 -50 PL/m <sup>2</sup>
Período de cultivo	200 d	120 - 150 d
Tamanho de viveiro	1,0 há	1 há
Profundidade do viveiro	1,5 m	1,5 m
Alimento	9.000 - 12.500 kg	10.000 - 12.000 kg
Fertilizante - uréia	100 kg	
- esterco	150 kg	
Rendimento de camarão	4.500 - 6.500 kg	5.000 - 6.000 kg
Conversão Alimento	1,4-2,8	2,0
Troca da água	750 m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup>	
Acumulação de sedimento	40.000 - 60.000 kg	(*) 8.000 - 10.000 kg

(1) Smith, P. T., (1995). (2) Kwei Lin; Et. al., (1993).

(\*) Acumulação Alimento não comido, fezes ou sub-produtos metabólicos dissolvidos e particulados.

**Tabela b.9. Concentrações Máximas Recomendadas em Efluentes**

Concentrações Máximas de compostos nos efluentes, recomendados pelo Agência de Proteção Ambiental do EEUU. de NA., de acordo com Boyd, (1995).

Variável	Limite Recomendado em Efluentes
Sólidos em Depositados	3,3 mg/l
Sólidos em Suspensão	30 mg/l
P - Total	0,17 mg/l
Amônia Total	1,77 mg/l
Nitrito	0,83 mg/l
Nitrato	16,9 mg/l
pH	6,0 - 8,5
OD	5 mg/l

## Apêndice C

### Programa utilizado para a simulação desenvolvido na 'Toolbox Fuzzy' do Matlab/94

```

% Exemplo do viveiro de camaroes
% Novembro 1997
%
% Dias- Temp - OD - Ph - Sal - Sec - Tro - Fer - Stp - Corr - Ra -
% Cres -Bio- Residuo- CMg - IMG- Lucro

load MCFim.dat % carrego os dados do viveiro
dados = MCFim(1:805,2:17);% linhas vs. columns

NDadosTreino = 1:115;
NDadosTeste = 1:115;
NumeroTreino = 0;
CresTeorico = 0;
Residuo1_Acumulado = 0;
Residuo2_Acumulado = 0;
Residuo_Teorico = 0;
% O Sistemal e o sistema que tem como saida o manejo do viveiro
%

% ===== Sistema 1 =====
%

for indice=1:5,

dadosSistemal = zeros(1200, 7);

% entradas
dadosSistemal = dados(NDadosTreino,5); % variavel Sec
dadosSistemal = [dadosSistemal dados(NDadosTreino,3)]; % variavel Ph

if indice==1 dadosSistemal = [dadosSistemal dados(NDadosTreino,2)]; %
variavel OD
else dadosSistemal = [dadosSistemal SaidaSistema3((NDadosTreino-
NumeroTreino),1)];
end;

% saidas
dadosSistemal = [dadosSistemal dados(NDadosTreino,6)]; % variavel Tro
dadosSistemal = [dadosSistemal dados(NDadosTreino,10)]; % variavel Ra
dadosSistemal = [dadosSistemal dados(NDadosTreino,9)]; % variavel Corr
dadosSistemal = [dadosSistemal dados(NDadosTreino,7)]; % variavel Fer

% carrego o Modelo Difuso do Sistemal
MatrizSistemal = readfis('viv02');

% avaliacao do sistema difuso
SaidaSistemal = evalfis(dadosSistemal(NDadosTeste,1:3),MatrizSistemal);

```

```

%==== COMPARACOES DAS SAIDAS DO SISTEMA DIFUSO E OS DADOS REAIS =
clf
plot(NDadosTeste,[dadosSistema1(NDadosTeste,4)
SaidaSistema1(NDadosTeste,1)]);
title('Sistema 1: Comparacao da Troca da Água');
pause;

clf;
plot(NDadosTeste,[dadosSistema1(NDadosTeste,5)
SaidaSistema1(NDadosTeste,2)]);
title('Sistema 1: Comparacao da Alimentação');
pause;

clf;
plot(NDadosTeste,[dadosSistema1(NDadosTeste,6)
SaidaSistema1(NDadosTeste,3)]);
title('Sistema 1: Comparacao da Correcao do pH');
pause;

clf;
plot(NDadosTeste,[dadosSistema1(NDadosTeste,7)
SaidaSistema1(NDadosTeste,4)]);
title('Sistema 1: Comparação da Fertilização');
pause;

% ===== CALCULO DOS CUSTOS =====

%PrecoRacao = 0.7;
%PrecoCorr = 0.05;
%PrecoTro = 0.33;
%PrecoFer = 0.25;

Precos = [ 0.10  0.55  0.05  0.25];
CMG = SaidaSistema1 * Precos';

Custo_Acumulado = cumsum(CMG(NDadosTeste));

% ===== Sistema 2 =====

dadosSistema2 = zeros(1200, 6);

% entradas
dadosSistema2 = dados(NDadosTreino,4); % variavel Sal
dadosSistema2 = [dadosSistema2 dados(NDadosTreino,5)]; % variavel Sec
dadosSistema2 = [dadosSistema2 dados(NDadosTreino,2)]; % variavel OD
dadosSistema2 = [dadosSistema2 dados(NDadosTreino,1)]; % variavel Temp

% saidas
dadosSistema2 = [dadosSistema2 dados(NDadosTreino,11)]; % variavel Cres
dadosSistema2 = [dadosSistema2 dados(NDadosTreino,12)]; % variavel
Biomassa

% carrego o Modelo Difuso do Sistema2

```

```

MatrizSistema2 = readfis('sistema2');

% avaliacao do sistema difuso
SaidaSistema2 = evalfis(dadosSistema2(NDadosTeste,1:4),MatrizSistema2);

% ===== Calculo da Biomassa e do IMG=====

Mortalidade = SaidaSistema2(NDadosTeste,2);
%Biomassa = (100 - Mortalidade) .* SaidaSistema2(NDadosTeste,1);

Densidade = 10;
% ===== Crescimento Teorico =====

%CresTeorico = exp(1.8263 - (2.8654 * 1./NDadosTeste));
CresTeorico = -0.000003 * NDadosTeste.^3 + 0.000977 * NDadosTeste.^2 +
0.0282 * NDadosTeste;

Crescimento = 0;
Crescimento = CresTeorico(NDadosTeste)' + (SaidaSistema2(NDadosTeste,1));

Biomassa = (1 - Mortalidade) .* Crescimento(NDadosTeste) * Densidade;
IMG = 7.0 .* Biomassa;

Ingreso_Acumulado = cumsum(IMG(NDadosTeste));

%==== COMPARACOES DAS SAIDAS DO SISTEMA DIFUSO E OS DADOS REAIS =

clf;
%plot(NDadosTeste,[dadosSistema2(NDadosTeste,5)
SaidaSistema2(NDadosTeste,1)]);
plot(NDadosTeste,[dadosSistema2(NDadosTeste,5)
Crescimento(NDadosTeste)]);
title('Sistema 2: Comparacao do Crescimento');
pause;

clf;
plot(NDadosTeste,[cumsum(dadosSistema2(NDadosTeste,6))
cumsum(Biomassa(NDadosTeste))]);
title('Sistema 2: Comparação da Biomassa');
pause;

% ===== Calculo do Residuo para o Sistema 3 =====

Residuo1 = cumsum(SaidaSistema1(NDadosTeste,4)) -
cumsum(Biomassa(NDadosTeste));
Residuo2 = SaidaSistema1(NDadosTeste,4) * 0.513;

Residuo1_Acumulado = Residuo1_Acumulado + (Residuo1(NDadosTeste));
Residuo2_Acumulado = Residuo2_Acumulado + cumsum(Residuo2(NDadosTeste));
% Valor da Racao - Biomasa

% ===== Sistema 3 =====

dadosSistema3 = zeros(1200, 4);

% entradas

```

```

dadosSistema3 = dados(NDadosTreino,1); % variavel Temp
dadosSistema3 = [dadosSistema3 Residuo2(NDadosTeste)]; % Residuo
dadosSistema3 = [dadosSistema3 dados(NDadosTreino,5)]; % variavel Sec

% saidas
dadosSistema3 = [dadosSistema3 dados(NDadosTreino,2)]; % variavel OD

% carrego o Modelo Difuso do Sistema1
MatrizSistema3 = readfis('sistema3');

% avaliacao do sistema difuso
SaidaSistema3 = evalfis(dadosSistema3(NDadosTeste,1:3),MatrizSistema3);

%==== COMPARACOES DAS SAIDAS DO SISTEMA DIFUSO E OS DADOS REAIS =
clf;
plot(NDadosTeste,[dadosSistema3(NDadosTeste,4)
SaidaSistema3(NDadosTeste,1)]);
title('Sistema 3: Comparação do Oxigênio');
pause;

% ===== Calculo do Lucro =====

Receita = (Ingreso_Acumulado - Custo_Acumulado);

clf;
plot(NDadosTeste,[cumsum(dados(NDadosTeste,16)) Receita(NDadosTeste)]);
title(' Comparação da Receita');
pause;

clf;
plot(NDadosTeste,[dados(NDadosTeste,13) Residuo1(NDadosTeste)]);
title(' Comparacao do Resíduo1');
pause;

clf;
plot(NDadosTeste,[dados(NDadosTeste,13) Residuo2(NDadosTeste)]);
title(' Comparacao do Resíduo2');
pause;

clf;
plot(NDadosTeste,[cumsum(dados(NDadosTeste,13))
Residuo1_Acumulado(NDadosTeste)]);
title(' Comparacao do Resíduo Acumulado 1');
pause;

clf;
Residuo_Teorico = Residuo_Teorico + cumsum(dados(NDadosTeste,13));
plot(NDadosTeste,[Residuo_Teorico(NDadosTeste)
Residuo2_Acumulado(NDadosTeste)]);
title(' Comparacao do Resíduo Acumulado 2');
pause;

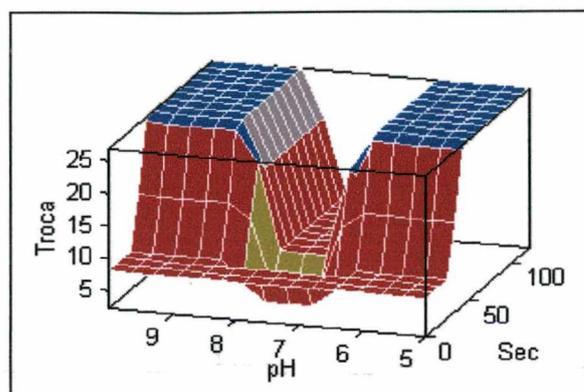
NDadosTreino = NDadosTreino + 115;
NumeroTreino = NumeroTreino + 115;

end;

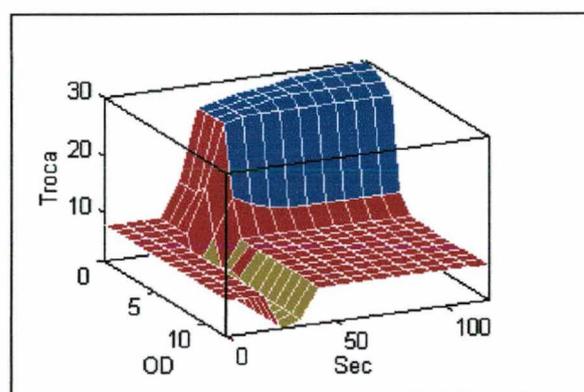
```

### Apêndice D

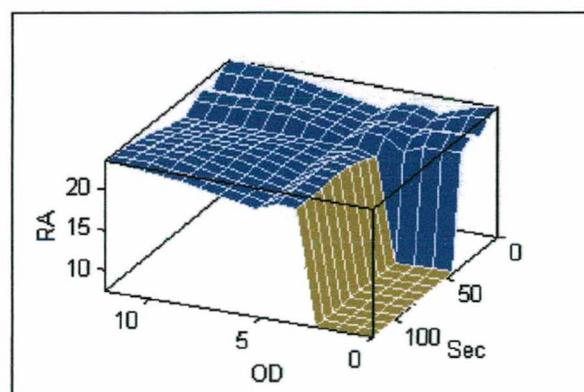
#### Superfície de Resposta do Manejo do Sistema Especialista



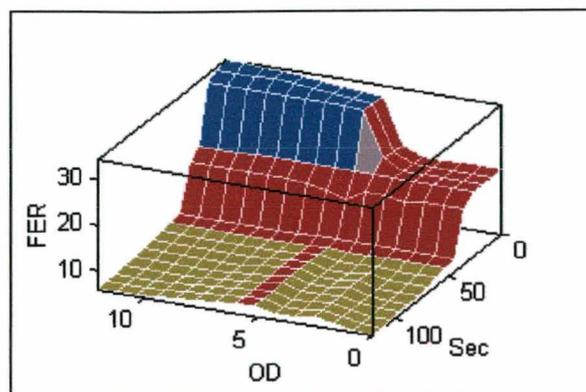
**Figura c. 1.** Resposta que as Regras do Sistema especialista Difuso sugere para Troca da Água em função do pH, e a Transparência (Sec).



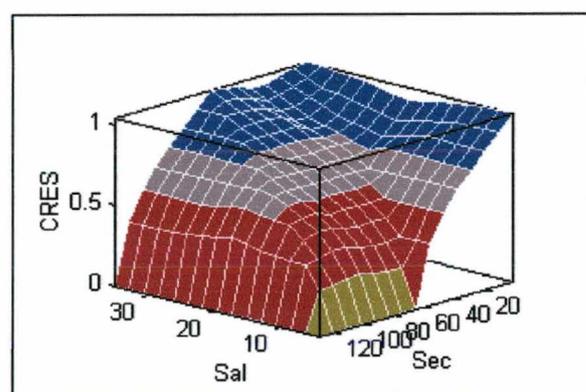
**Figura c. 2.** Resposta que as Regras do Sistema especialista Difuso sugere para Troca da Água em função do Oxigênio dissolvido (OD), e a Transparência (Sec).



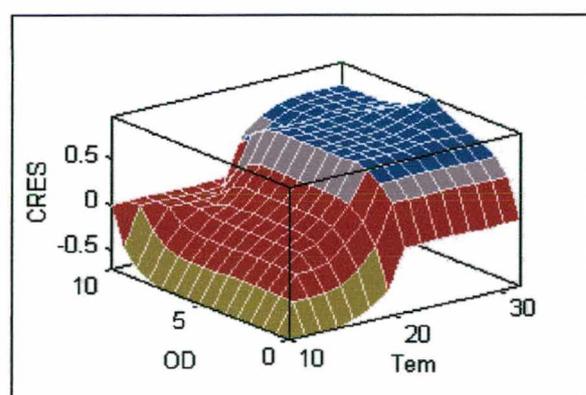
**Figura c. 3.** Resposta que as Regras do Sistema especialista Difuso sugere para o arraçamento em função do Oxigênio dissolvido (OD), e a Transparência (Sec).



**Figura c. 4.** Resposta que as Regras do Sistema especialista Difuso sugere para a Fertilização em função do Oxigênio dissolvido (OD), e a Transparência (Sec).



**Figura c. 5.** Resposta que as Regras do Sistema especialista Difuso sugere para a Crescimento em função da Salinidade, e a Transparência (Sec).



**Figura c. 6.** Resposta que as Regras do Sistema especialista Difuso sugere para a Crescimento em função do Oxigênio (OD), e a Temperatura (Tem).