

**Universidade Federal de Pernambuco**  
**Programa de Pós-Graduação em Economia da UFPE - PIMES**

Carlos Alberto Gomes de Amorim Filho

**ESTABELECIMENTO DE FUNÇÕES BENEFÍCIO DA PRODUÇÃO DE  
TILÁPIAS EM TANQUES-REDE NO RESERVATÓRIO DE XINGÓ  
PARA DIFERENTES CENÁRIOS**

Recife, 2009.

Carlos Alberto Gomes de Amorim Filho

**ESTABELECIMENTO DE FUNÇÕES BENEFÍCIO DA PRODUÇÃO DE  
TILÁPIAS EM TANQUES-REDE NO RESERVATÓRIO DE XINGÓ  
PARA DIFERENTES CENÁRIOS**

Dissertação apresentada ao Programa  
de Pós-Graduação em Economia da  
Universidade Federal de Pernambuco -  
PIMES como requisito para obtenção do  
título de Mestre em Ciências  
Econômicas, sob a orientação da  
Professora Márcia Maria Guedes  
Alcoforado de Moraes

Recife, 2009.

Amorim Filho, Carlos Alberto Gomes de  
Estabelecimento de funções benefício da  
produção de tilápias em tanques-rede no reservatório  
de Xingó para diferentes cenários / Carlos Alberto  
Gomes de Amorim Filho. - Recife : O Autor, 2008.  
78 folhas : fig. e tabela.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de  
Pernambuco. CCSA. Economia, 2008.

Inclui bibliografia e apêndice.

1. Custo-benefício. 2. Projetos de  
desenvolvimento econômico Avaliação. 3. Peixe  
Criação – Bacia do Rio São Francisco. 4. Solos teor  
de fósforo. 5. Água composição – Reservatório de  
Xingó. I. Título.

338.4  
338

CDU (1997)  
CDD (22.ed.)

UFPE  
CSA2009-49

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA  
PIMES/PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DO  
MESTRADO EM ECONOMIA DE

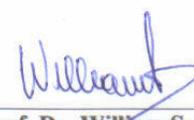
**CARLOS ALBERTO GOMES DE AMORIM FILHO**

A Comissão Examinadora composta pelos professores abaixo, sob a presidência do primeiro, considera o Candidato Carlos A. Gomes de Amorim Filho **APROVADO**.

Recife, 11/03/2009.

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Márcia Maria Guedes Alcoforado de Moraes  
Orientadora

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Francisco de Souza Ramos  
Examinador Interno

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. William Severi  
Examinador Externo/Depart° de Pesca/UFRPE

***A meus pais.***

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, em primeiro lugar, por me proporcionar saúde, serenidade e momentos de sabedoria para trilhar a trajetória da vida concretizando os meus objetivos e ideais.

A meus pais, Carlos e Mônica, que sempre me incentivaram a estudar e não pouparam esforços para me educar e apoiar.

A meus irmãos, Rodrigo e Julianne, pela paciência e amizade.

À Lidia, companheira de todas as horas.

À professora Márcia M<sup>a</sup>. G. Alcoforado de Moraes pela orientação durante a graduação e o curso de mestrado e ao exemplo de dedicação ao trabalho e preocupação com a formação de seus alunos.

Aos professores William Severi e Francisco Ramos pelas valiosas sugestões na elaboração deste Trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Economia (PIMES) da UFPE com os quais tive a oportunidade e o prazer de aprender.

Aos funcionários da secretaria do PIMES, em especial Patrícia, pelas cobranças e pela compreensão.

Aos amigos de mestrado, em especial André Melo, André Pontes e Léo, pela amizade, pela companhia, pelas brincadeiras, pelas valiosas contribuições e ajudas.

Às pessoas que contribuíram e me auxiliaram na coleta dos dados de pesquisa, em especial, a Juliana Holanda Vilela, do Instituto Xingó, e a Miguel Bernardo Gomes, presidente da Associação de Pescadores do Povoado Salgado.

À CAPES pelo auxílio financeiro concedido através da bolsa de estudo durante o curso de mestrado.

A todos aqueles, aqui não citados, que de alguma forma contribuíram para a obtenção de informações e a realização desta dissertação, o meu muito obrigado.

## RESUMO

O objetivo desta dissertação é determinar os benefícios econômicos da produção de tilápias em tanques-rede em função de diferentes quantidades de fósforo aportadas ao ambiente por este uso, para diferentes cenários de mercado. Tal função benefício pode mensurar perdas impostas a esses usuários, os custos sociais, por limites de qualidade que venham a ser estabelecidos, para evitar impactos ambientais tais como a eutrofização<sup>1</sup> do lago. Estes valores de reduções de benefícios para diferentes usuários, podem subsidiar decisões e políticas públicas que eliminem o conflito entre os diferentes usos no reservatório de Xingó, possibilitando o desenvolvimento econômico da região com sustentabilidade. Modelos Econômico-Hidrológicos Integrados maximizam o benefício social da água de uma bacia hidrográfica, respeitando os limites de disponibilidade hídrica e qualidade dos corpos d'água. O benefício social é a agregação das funções benefício de todos os usuários em uma única função que ao ser maximizada, sujeita a várias restrições, determinará uma alocação ótima de água entre os usos, contribuindo dessa forma para o melhor planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos desta região e possibilitando seu desenvolvimento sustentável. Em reservatórios, como o de Xingó, onde os usos que vêm se intensificando, comprometem a qualidade da água e não a sua disponibilidade, pode-se construir modelos integrados que aloquem, de forma a maximizar o benefício social, as cargas orgânicas possíveis de serem lançadas pelos usuários. As funções de benefícios econômicos em relação à carga orgânica lançada obtidas nesta dissertação para a tilapicultura no reservatório de Xingó, podem ser agregadas com as obtidas para outros usos e dessa forma compor o benefício social destes modelos. A determinação dos benefícios da piscicultura para diferentes quantidades de fósforo lançadas no ambiente foi feita considerando-se um sistema de produção padrão, formulado a partir das características observáveis da piscicultura da região, que utiliza tanques-rede de 4m<sup>3</sup>, tempo de cultivo de 5 meses, tamanho inicial dos peixes de 30 gramas, quantidade de proteína bruta na ração de 32% e as densidades de 150, 200, 250, 300 e 425 peixes/m<sup>3</sup>. Ademais, foram estabelecidas algumas hipóteses, como a biomassa acumulada poder ser estimada por uma função de produção, tendo como argumento o principal insumo utilizado, a quantidade de ração acumulada no período. A metodologia desenvolvida nesse trabalho baseou-se na teoria econômica e no comportamento racional dos produtores. Foram obtidas, além das funções benefício econômico da carga aportada ao ambiente, funções de produção e lucro em relação à quantidade de ração, principal fator poluidor. Os dados obtidos em campo e a aplicação da metodologia mostram que a densidade escolhida pelos produtores depende do tamanho do peixe demandado pelo mercado e do limite permitido de fósforo que pode ser lançado no ambiente. Foi assim identificado, para diferentes cenários de mercado e diferentes limites impostos, o lucro máximo obtido pelos produtores em função da carga aportada ao ambiente, que representa o benefício econômico do uso. Além disso, a partir de limites, intervalos e funções estabelecidas, obteve-se uma forma de calcular os custos sociais imputados aos produtores, por restrições de lançamento de fósforo ao ambiente.

Palavras-chave: Funções Benefício Econômico. Tanques-Rede. Reservatório de Xingó.

Aporte de Fósforo.

---

<sup>1</sup> Eutrofização é o crescimento excessivo das plantas aquáticas, a níveis tais que sejam considerados como causadores de interferências com os usos desejáveis do corpo d'água. O principal fator de estímulo é um nível excessivo de nutrientes no corpo d'água, principalmente nitrogênio e fósforo.

## ABSTRACT

The objective of this dissertation is determine the economic benefits of the tilapia production in cages according to different phosphorus levels allocated to the environmental by this use, for different market scenarios. Such benefit function can measure losses impose on this users, the social costs, by quality limits that can be established, to avoid environmental impacts like lake eutrophication. These values of benefit reductions for different users can subsidise decisions and public policies that eliminate conflicts between different uses in Xingó reservoir, allowing the region economic development with sustainability. Integrated Economic-Hydrologic Water Modeling maximizes water social benefit from the basin, respecting hydrologic availability constraints of water bodies quality. The social benefit is the sum of the benefit function of all users in only one function that when maximized, is subject to many constraints, determine an optimal water allocation among the uses, contributing by this way to a better planning and management of water resources from this region and allowing thus sustainable development. In reservoirs like Xingó, where the multiple use is increasing, compromising water quality and not its availability, can create integrated models that allocate, looking for maximize the social benefit, the possible organic load launched by the users. The economic benefit functions regarding the organic load found in this dissertation for the tilapia culture in the Xingó lake, can be aggregated with those obtained for other uses and so compose the social benefit of these models. The determination of benefits from fish culture for different quantities of phosphorus released to the environmental was made considering a standard production system, observed features of the region fish culture, that use  $4\text{m}^3$  cages, five months of cultivation, initial fish size equal 30g, 32% of protein in the ration and densities of 150, 200, 250, 300 and  $425\text{ fish/m}^3$ . Furthermore, some assumptions were established, like accumulated biomass being estimated by a production function, where the principal input is the independent variable, the quantity of ration accumulated in the period. The methodology developed in this work was based on economic theory and producer rational behavior. In addition to the economic benefit functions of load allocated to the environment, production and profit functions were obtained regarding ration quantity, principal polluting factor. The data from research and application of the methodology show that the density chosen by the producers depends on fish size demanded by market and limit of phosphorus allowed to be released to the environmental. By this way, for different market scenarios and different limits imposed, were identified the maximum benefit obtained by producers according to the allocated load in the environmental, that represents the economic benefit of the use. Furthermore, from the limits, intervals and functions established, it was found a way to calculate social costs imposed on producers by constrains of phosphorus released to the environment.

Key-words: Economic benefit functions. Cages. Xingó reservoir. Allocated Phosphorus.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>7</b>
<b>2. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b>	<b>12</b>
<b>2.1. Bacia Hidrográfica do São Francisco</b>	<b>12</b>
<b>2.2. O Baixo São Francisco</b>	<b>14</b>
<b>2.3. Reservatório de Xingó</b>	<b>17</b>
<b>3. O USO DAS ÁGUAS DE RESERVATÓRIOS PARA A PISCICULTURA</b>	<b>19</b>
<b>3.1. Pesca extrativa, aquicultura e piscicultura</b>	<b>19</b>
<b>3.2. Piscicultura</b>	<b>19</b>
3.2.1. No Brasil e no Mundo	19
3.2.2. Na bacia do rio São Francisco	22
3.2.3. No Baixo São Francisco	24
<b>3.3. Produção de peixes em tanques-rede ou gaiolas</b>	<b>27</b>
<b>3.4. Impactos da Piscicultura na qualidade da água</b>	<b>31</b>
<b>3.5. Influência da densidade de estocagem na produtividade</b>	<b>34</b>
<b>3.6. A tilápia do nilo como espécie para a aquicultura intensiva em tanques-rede</b>	<b>35</b>
<b>3.7. Capacidade de suporte em tanques-rede</b>	<b>38</b>
<b>4. METODOLOGIA</b>	<b>40</b>
<b>4.1. Caracterização do sistema de produção analisado</b>	<b>40</b>
<b>4.2. Apresentação do método</b>	<b>40</b>
<b>5. DETERMINAÇÃO DOS BENEFÍCIOS ECONÔMICOS PARA DIFERENTES QUANTIDADES DE CARGAS ORGÂNICAS ALOCADAS NO AMBIENTE</b>	<b>46</b>
<b>5.1. Determinação das curvas de produção</b>	<b>46</b>
<b>5.2. Determinação da biomassa econômica por densidade de estocagem</b>	<b>48</b>
<b>5.3. Determinação da quantidade de fósforo aportada ao ambiente</b>	<b>49</b>
<b>5.4. Relação entre o lucro e quantidade de fósforo aportada ao ambiente</b>	<b>50</b>
<b>5.5. Simulação de cenários</b>	<b>51</b>
5.5.1 Cenário 1	51
5.5.2 Cenário 2	54
5.5.3 Cenário 3	56
<b>6. CONCLUSÕES</b>	<b>64</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>67</b>
<b>APÊNDICES</b>	<b>73</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A origem do cultivo de peixes em tanques-rede é um pouco vaga. O primeiro tanque para a produção de peixes foi, aparentemente, desenvolvido no Sudeste da Ásia, no final do século XIX e era construído com madeira e bambú. O advento de materiais sintéticos, na década de 50, propiciou a construção de tanques mais modernos, que foram utilizados para cultivo de organismos aquáticos (Beveridge, 1987; Masser, 1988).

A piscicultura em tanques-rede é definida como a criação de peixes em um volume limitado e que permite a livre e constante renovação de água. Esse sistema é uma excelente alternativa para o aproveitamento racional de represas, lagos e outros corpos d'água que apresentam dificuldades para a prática da piscicultura tradicional (Beveridge, 1987; McGinty e Rakocy, 1989; Colt e Montgomery, 1991; Duarte et al., 1994; Schmittou, 1997).

O cultivo de peixes em tanques-rede faz parte de uma categoria chamada de cultivo super-intensivo, apresentando alto grau de desenvolvimento em várias partes do mundo e poderá ser uma importante opção disponível aos piscicultores brasileiros para a criação de espécies economicamente viáveis. Neste tipo de cultivo, é indispensável à utilização de rações balanceadas para se obter um crescimento adequado e lucrativo dos peixes. Apesar dos gastos com ração, este cultivo é hoje um método crescente de aceitação popular, pois envolve custos iniciais relativamente baixos e métodos de manejo e tecnologia muito simples (Schmittou, 1997). Este sistema de cultivo tem crescido em países como China, Indonésia e Brasil e tende a tornar-se o mais importante sistema de criação de peixes em países com práticas em aqüicultura, devido às vantagens que apresenta sobre os sistemas convencionais de cultivo (Zaniboni Filho et al., 2005).

Ono e Kubitz (2003) afirmam que, apesar de bastante difundida em todo o mundo, a piscicultura em tanques-rede é relativamente recente no Brasil, tendo sido praticada de forma mais intensiva nas regiões Sudeste e Nordeste do país. As primeiras iniciativas de cultivos de peixes em tanques-rede no Brasil esbarraram em diversos problemas causados, principalmente, pelo desconhecimento da tecnologia de cultivo por parte de produtores e técnicos e pela inexistência, na época, de rações comerciais nutricionalmente adequadas para atender às exigências dos peixes neste sistema intensivo de cultivo. Os autores ressaltam que, atualmente, esta prática de cultivo vem ganhando adeptos em todo o Brasil pois, ao contrário das estratégias de cultivo tradicionais, possibilita o aproveitamento de rios, grandes reservatórios, estuários, lagos naturais e açudes espalhados em milhares de propriedades rurais por todo o país. A atividade no país, embora contemporânea, apresenta grande potencial de crescimento em decorrência da enorme disponibilidade hídrica, estimada em 5,3 milhões de hectares de lâmina d'água em reservatórios naturais e

artificiais, principalmente das usinas hidrelétricas, das condições climáticas favoráveis e da maior disponibilidade e do aprimoramento das rações balanceadas para a piscicultura intensiva.

Pólos de cultivo e processamento de tilápia se multiplicam no Brasil, impulsionados principalmente pelo interesse dos consumidores dos Estados Unidos e da Europa pela tilápia brasileira.

A tilápia brasileira chegou a ser vista como praga no Brasil até meados da década de 1970. Depois disto, tornou-se um dos peixes mais requisitados do mundo. Trata-se de uma espécie versátil, de sabor suave e agradável.

Em 2005, a produção mundial de tilápias representou 1,7 milhões de toneladas, tendo crescido 8,1% em relação ao ano anterior. Entretanto, comparando-se com as demais espécies produzidas por meio de aquicultura continental, a tilápia representou apenas 5,8% de participação.

Frente à produção total de pescados em aquicultura de água doce do Brasil, 179.746 toneladas, a produção de tilápias representou, em 2005, cerca de 37% da produção total. Dessa forma, mostra-se a importância desta atividade dentro da aquicultura continental.

Estimativas mostram que haverá um aumento da demanda externa, indicado pela produção global que deve sofrer um incremento de 50% até 2010, quando o planeta produzirá algo em torno de três milhões de toneladas da espécie. Espera-se que o desenvolvimento desta atividade no Brasil tenda a acompanhar o ritmo do mercado internacional.

Lovshin e Cyrino (1998) afirmam que, no Brasil, o interesse pelo cultivo em tanques-rede vem se expandindo rapidamente devido à quantidade de informações obtidas e disponibilizadas aos criadores, bem como pelas rações flutuantes nutricionalmente completas que estão sendo manufaturadas, associando-se o fato das agências estaduais e federais controladoras das águas públicas já permitirem este sistema de cultivo. Os autores salientam que a tilápia é a espécie mais popular cultivada em tanques-rede.

A tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*) vem ocupando lugar de destaque na piscicultura em tanques-rede, por ser uma espécie precoce, de rápido crescimento e apresentar excelente desempenho em sistemas intensivos de produção. A criação de tilápias teve suas origens aproximadamente 4.000 anos atrás (Balarin et. al., 1982). É uma espécie originária dos rios e lagos africanos que foi introduzida no Brasil em 1971 em açudes do Nordeste e difundiu-se para todo o país, sendo a segunda espécie mais criada no mundo, logo após a carpa (Popman & Lovshin, 1996).

Assim, o cultivo de peixes em tanques-rede em alta densidade e com alimentação artificial vem se tornando cada vez mais freqüente, devido à sua alta produção e rápido retorno econômico. No entanto, a introdução da piscicultura intensiva em reservatórios de uso múltiplo gera conflitos qualitativos entre estes usos, uma vez que esta atividade libera no ambiente resíduos (alimentos não consumidos e material fecal) que contribuem para o aporte de fósforo, um dos principais constituintes de qualidade da água responsável pelo processo de eutrofização do mesmo. Essa eutrofização é benéfica até o ponto em que promove aumento na população de peixes do ambiente natural, entretanto, enriquecimento excessivo do ambiente torna-se poluição, uma vez que favorece a proliferação de algas e o acúmulo do lodo anaeróbico, diminuindo a disponibilidade de oxigênio do meio (Beveridge, 1984; Schmittou, 1997). Outros usos do reservatório, tais como exploração turística em passeios de catamarã, bem como ocupações no entorno do mesmo, tanto por aglomerações urbanas como por assentamentos agrícolas também aportam fósforo no lago. Isto significa que há conflitos de uso entre a piscicultura e os demais usuários. Assim, ao mesmo tempo em que a atividade concorre para o desenvolvimento da região, impacta o ambiente, e portanto impõe custos sociais externos aos demais. Por isso, a piscicultura intensiva em áreas de uso múltiplo requer estudos que utilizem instrumentos econômicos. Os mesmos devem ser aplicados de forma a buscar a eficiência econômica. A idéia é utilizar tanto a economia normativa como a positiva. Identifica-se um máximo de benefício social (agregando os benefícios econômicos de todos os usuários) respeitando às limitações impostas para que se mantenha a classe de qualidade a qual o corpo aquático pertence (Economia Normativa). Em seguida, obtêm-se instrumentos e formas de aplicá-los que induzam nos usuários um comportamento que leve ao mais próximo deste ótimo (Economia Positiva).

A qualidade da água disponível no ambiente é um bem público por representar uma situação de não-rivalidade no consumo, pois mais de um indivíduo ou entidade podem usufruir do bem, também sem aplicabilidade do princípio da exclusão, ou seja, quem não paga não pode ser excluído do benefício. Conforme Ramos (1996), a água é um recurso dificilmente apropriável e portanto de uso não exclusivo: ela possui a natureza de um bem público a qualidade variável. Além disso, quando uma empresa descarrega os resíduos em um lago e não está submetida a qualquer tipo de restrição, ela modifica a qualidade deste recurso. Isto influencia o consumo dos outros agentes, os quais não têm controle sobre as descargas da empresa: neste caso, tal empresa cria uma externalidade negativa sobre os consumidores.

No entanto, o nível de degradação ambiental, o desperdício no uso da água e sua crescente escassez estão levando a sociedade, sem outra alternativa, a decidir pela

intervenção do Poder Público no processo, estabelecendo que a água é propriedade da União, com a instituição e regulamentação de instrumentos de gestão, visando a racionalizar e racionalizar os usos.

Neste sentido, os instrumentos econômicos de gestão da água, estabelecidos pela Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9433/97), têm como objetivo induzir os agentes econômicos ao abatimento de descarga de efluentes e ao uso mais moderado dos recursos naturais. Por exemplo, estabelecidos padrões de qualidade para um trecho de rio, é possível induzir os agentes (consumidores, indústrias, agricultores, etc.) a moderar o uso do recurso – tanto no lado da retirada de água como no lado do despejo de efluentes - e assim respeitar o padrão de qualidade ou encaminhar-se para sua consecução. Os principais instrumentos econômicos que vêm sendo utilizados para a gestão integrada de recursos hídricos são: a cobrança de um preço pelo uso do recurso (a cobrança pelo uso da água) e o estabelecimento de direitos de utilização (outorga dos direitos de uso).

Para subsidiar as decisões das autoridades competentes, no estabelecimento de níveis de cobrança e/ou na definição de outorgas de direitos de uso é útil identificar um máximo de benefício social. Para isso será necessária a mensuração dos benefícios econômicos obtidos com a utilização da água para os diferentes usuários, que então agregados representarão o ótimo social. A partir da avaliação de quais e em que níveis os instrumentos econômicos podem induzir os agentes econômicos na direção deste ótimo social, pode-se tomar uma decisão que realmente beneficie a toda a sociedade.

Diante disso, o presente trabalho propõe-se a mensurar os benefícios econômicos da produção de tilápias em tanques-rede para diferentes quantidades de fósforo alocadas no ambiente, para diferentes cenários de mercado que simularão situações de preço e tamanho mínimo de peixes demandados, de forma a subsidiar decisões e políticas públicas que eliminem o conflito entre os diferentes usos no reservatório de Xingó, possibilitando o desenvolvimento econômico da região com sustentabilidade.

O estudo foi realizado no reservatório da usina hidrelétrica de Xingó devido ao crescimento da piscicultura na região que contém um grande número de criadores. O reservatório situa-se entre os Estados de Alagoas e Sergipe, a cerca de 2 km a montante do município de Canindé do São Francisco (SE) e a cerca de 179 km da foz do rio. O reservatório fica quase totalmente confinado no “canyon” do rio, com 60 km de comprimento na cota de 138 m, apresenta uma superfície de 60 km<sup>2</sup> e um volume total de 3,8 bilhões de m<sup>3</sup>. Além da piscicultura este reservatório possui outros usos que comprometem a qualidade da água, como o turismo, e a disponibilidade hídrica, como a geração de energia elétrica.

Existem, ainda, a irrigação nos assentamentos e o abastecimento humano, que afetam tanto a qualidade da água como a disponibilidade hídrica.

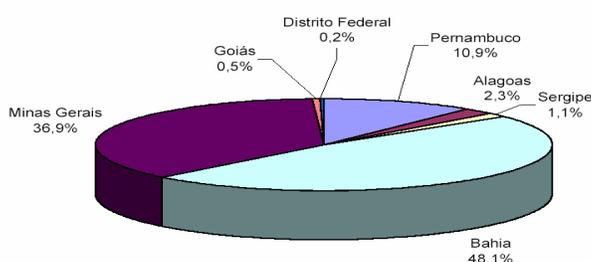
Portanto, considerando-se o grande potencial da tilápia para criação em regime intensivo e o conflito qualitativo existente entre os diversos usos em reservatórios gerado por essa atividade e outras igualmente importantes para o desenvolvimento da região, julga-se válido o desenvolvimento de estudos neste sentido, com vistas a subsidiar políticas que contribuam para o melhor planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos desta região.

Este trabalho está organizado em cinco capítulos, além desta Introdução. O próximo capítulo apresenta uma caracterização geral da Bacia do São Francisco. O terceiro capítulo descreve o Uso estudado para as águas do reservatório. O capítulo quatro apresenta a metodologia, o cinco os resultados e o último traz as conclusões e sugestões para a continuidade da pesquisa.

## 2. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 2.1. Bacia Hidrográfica do São Francisco<sup>2</sup>

A Bacia Hidrográfica do São Francisco tem 634.781 km<sup>2</sup> de área (8% do país). O rio São Francisco tem 2.700 km de extensão e nasce na Serra da Canastra em Minas Gerais, escoando no sentido sul-norte pela Bahia e Pernambuco, quando altera seu curso para sudeste, chegando ao Oceano Atlântico entre Alagoas e Sergipe. A bacia hidrográfica abrange 503 municípios (e parte do Distrito Federal) e sete unidades da federação, como mostra a Figura 1: Bahia (48,1% da área da bacia), Minas Gerais (36,9%), Pernambuco (10,9%), Alagoas (2,3%), Sergipe (1,1%), Distrito Federal (0,2%) e Goiás (0,5%).



Fonte: Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco.

**Figura 1 - Participação em área das unidades da federação na bacia do São Francisco.**

Devido à sua extensão e diferentes ambientes percorridos, a bacia hidrográfica está dividida em quatro sub-regiões fisiográficas: Alto São Francisco - das nascentes até a confluência com o rio Jequitaiá, inclusive (100.060 km<sup>2</sup> - 16% da bacia); Médio São Francisco - da confluência com o rio Jequitaiá até a barragem de Sobradinho (398.716 km<sup>2</sup> - 63% da bacia); Sub-Médio São Francisco - de Sobradinho até Xingó (110.481 km<sup>2</sup> - 17% da bacia); e o Baixo São Francisco - de Xingó até sua foz (25.524 km<sup>2</sup> - 4% da bacia).

As principais características hidroclimáticas da Bacia do rio São Francisco estão sumarizadas no Quadro 1 para cada uma de suas regiões fisiográficas.

**Quadro 1 - Principais características hidroclimáticas da Bacia do São Francisco.**

Característica	Regiões Fisiográficas			
	Alto	Médio	Submédio	Baixo
Clima predominante	Tropical úmido e temperado de altitude	Tropical semi-árido e sub-úmido seco	Semi-árido e árido	Sub-úmido
Precipitação média anual (mm)	2.000 a 1.100 (1.372)	1.400 a 600 (1.052)	800 a 350 (693)	350 a 1.500 (957)
Temperatura média (°C)	23	24	27	25
Insolação média anual (h)	2.400	2.600 a 3.300	2.800	2.800
Evapotranspiração média anual (mm)	1.000	1.300	1.550	1.500

Fonte: Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco.

<sup>2</sup> As informações desta seção foram obtidas do Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (2004).

O trecho principal do rio São Francisco possui 2.696 km, enquanto a área de drenagem da Bacia corresponde a 638.576 km<sup>2</sup>. As principais características físicas da Bacia do rio São Francisco, para cada uma das suas regiões fisiográficas, estão sumarizadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Principais características físicas da Bacia.

Característica	Regiões Fisiográficas			
	Alto	Médio	Submédio	Baixo
Área (km <sup>2</sup> )	100.076 (16%)	402.531 (63%)	110.446 (17%)	25.523 (4%)
Altitudes (m)	1.600 a 600	1.400 a 500	800 a 200	480 a 0
Trecho principal (km)	702	1.230	550	214
Declividade do rio principal (m/km)	0,70 a 0,20	0,10	0,10 a 3,10	0,10
Contribuição da vazão natural média (%)	42,0	53,0	4,0	1,0
Vazão média anual máxima (m <sup>3</sup> /s)	Pirapora 1.303 em fevereiro	Juazeiro 4.393 em fevereiro	Pão de Açúcar 4.660 em fevereiro	Foz 4.999 em março
Vazão média anual mínima (m <sup>3</sup> /s)	Pirapora 637 em agosto	Juazeiro 1.419 em setembro	Pão de Açúcar 1.507 em setembro	Foz 1.461 em setembro
Sedimentos (10 <sup>6</sup> t/ano e área (km <sup>2</sup> ))	Pirapora 8,3 (61.880)	Morpará 21,5 (344.800)	Juazeiro 12,9 (510.800)	Propriá 0,41 (620.170)

Fonte: Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco.

A Bacia Hidrográfica do rio São Francisco possui acentuados contrastes socioeconômicos, abrangendo áreas de acentuada riqueza e alta densidade demográfica e áreas de pobreza crítica e população bastante dispersa. A população total na Bacia Hidrográfica do rio São Francisco, no ano 2000, era de 12.796.082 habitantes, sendo que a população urbana representava 74,4%. A densidade demográfica média na Bacia é de 20 hab/km<sup>2</sup>. Do total de 503 municípios, 451 têm sede na Bacia. No Quadro 3 são indicados as áreas, os municípios e o número de habitantes correspondentes a cada Unidade da Federação que compõe a Bacia.



O quadro 4 apresenta a quantidade de municípios, área, população e densidade demográfica por estado que compõe a região considerada como Baixo São Francisco.

Quadro 4 - Contribuição em área, população, densidade demográfica e número de municípios por estado na região do Baixo São Francisco.

Estado	Nº de Municípios	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)	População (hab)	Densidade Demográfica (hab/km <sup>2</sup> )
Alagoas	50	12.797,6	42,27	1.075.845	84,1
Pernambuco	16	7.474,6	24,70	341.026	45,6
Sergipe	28	7.042,6	23,25	320.877	45,6
Bahia	6	2.962,9	9,78	69.970	23,6
<b>Totais</b>	<b>100</b>	<b>30.277,7</b>	<b>100,00</b>	<b>1.807.718</b>	<b>59,7</b>

Fonte: ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2002.

O Quadro 5 apresenta as características fisiográficas da região do Baixo São Francisco, onde se destacam o clima e os solos como adequados para o desenvolvimento da aquicultura.

Quadro 5 - Características fisiográficas da região do Baixo São Francisco.

Características fisiográficas	Descrição
Geomorfologia	Relevo bastante movimentado com maciços altos, tabuleiros costeiros dissecados, baixada litorânea e região deltaica.
Geologia	As rochas são formadas pelo Complexo Granito Gnaiss (ígneo ácido) e o Grupo Macururé (Máfico-Ultramáfico). Apresenta porções de material de origem Sedimentar Psamítico.
Hidrogeologia	Presença do Aquífero do Grupo Barreiras em domínio poroso.
Clima	Predomínio de clima Semi-árido e Sub-úmido com precipitações variando de 700 a 1.100 mm/ano.
Vegetação	Predomínio da Caatinga, Floresta Estacional, Área de Transição, Áreas de Formações Pioneiras.
Solos	Apresentam uma grande variedade de solos com predomínio de Argissolo Vermelho-Amarelo, Neossolo Litólico, Latossolo Vermelho, Planossolo, Neossolo Regolítico, Neossolo Quartzarênico, Espodossolo e Gleissolo.
Unidades ambientais	As unidades geoambientais são caracterizadas pelo Planalto da Borborema, Baixada Litorânea, Tabuleiros Costeiros, e Superfícies Dissecadas e Retrabalhadas.

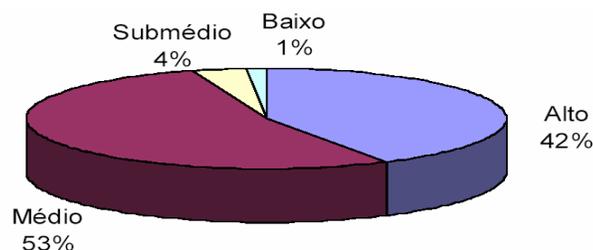
Fonte: SUVALE et al., 1970.

Estende-se de Paulo Afonso à foz, no Oceano Atlântico, compreendendo as sub-bacias dos rios Ipanema e Capivara. A altitude varia de 200 m até o nível do mar, embora, na periferia, algumas serras atinjam 500 m. Destacam-se a planície costeira com altitude inferior a 100 m e tabuleiros do Grupo Barreiras com altitude entre 200 e 100 m. A

temperatura média anual é de 25 °C; a evaporação é de 2.300 mm anuais; e a precipitação média anual varia de 1.300 a 800 mm. As chuvas ocorrem de março a setembro, ou seja, no inverno, enquanto no restante do Vale as chuvas se verificam no verão.

Nessa região ocorre, também, uma nítida mudança na distribuição anual das chuvas, que nas proximidades do Oceano se distribuem por todo o ano, embora mais concentradas no outono e inverno, enquanto que, no seu interior, os meses chuvosos são os de verão. A vegetação é de dois tipos: caatinga no trecho mais alto, e mata, na região costeira. O clima é considerado tropical semi-úmido. As principais cidades são: Jeremoabo, na Bahia; Pesqueira e Bom Conselho, em Pernambuco; Propriá e Nossa Senhora da Glória, em Sergipe; Arapiraca e Penedo, em Alagoas.

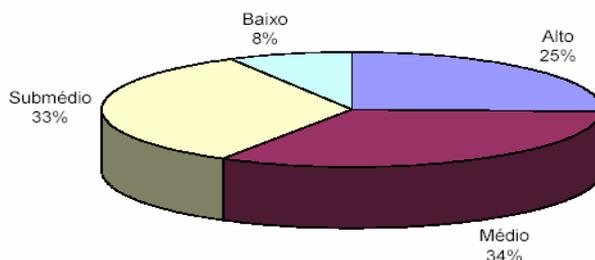
Comparando as quatro regiões fisiográficas do São Francisco, com relação à vazão natural média, verifica-se que o Baixo São Francisco contribui com 38,4 m<sup>3</sup>/s, apenas 1% do total, enquanto que o Alto São Francisco tem uma vazão natural média de 1.189,2 m<sup>3</sup>/s, que representa 42% da vazão natural da bacia, o Médio São Francisco tem uma vazão natural média incremental de 1.518,8 m<sup>3</sup>/s, 53% do total, e o Sub-Médio com 104,2 m<sup>3</sup>/s, 4% do total (ver Figura 3).



Fonte: Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco.

**Figura 3 - Distribuição da vazão natural média (2.850,6 m<sup>3</sup>/s) nas regiões fisiográficas.**

Por outro lado, comparando como a vazão de retirada é distribuída nas regiões fisiográficas da bacia do São Francisco temos: Alto - 42,132 m<sup>3</sup>/s (25% do total), Médio - 54,958 m<sup>3</sup>/s (34%), Sub-Médio - 55,048 m<sup>3</sup>/s (33%) e Baixo São Francisco - 13,629 m<sup>3</sup>/s (8%) (ver Figura 4).



Fonte: Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco.

**Figura 4 - Vazão de retirada (165,8 m<sup>3</sup>/s) distribuída nas regiões fisiográficas.**

O Quadro 6 mostra o balanço e a disponibilidade superficial de recursos hídricos nas regiões fisiográficas e na Bacia do São Francisco, analisando a razão entre a vazão de retirada para os usos consuntivos e a vazão média. O Quadro 6 ainda mostra uma avaliação da disponibilidade e demanda de recursos hídricos, segundo as Nações Unidas onde a relação entre a demanda e a vazão média é avaliada da seguinte forma:

- < 5%. Pouca ou nenhuma atividade de gerenciamento. A água é considerada um bem livre;
- 5 a 10%. Situação é confortável, podendo ocorrer necessidade de gerenciamento para solução de problemas locais de abastecimento;
- 10 a 20%. A atividade de gerenciamento é indispensável, exigindo a realização de investimentos médios;
- > 20%. A situação é crítica, exigindo intensa atividade de gerenciamento e grandes investimentos.

Quadro 6. Balanço entre demanda (vazão de retirada) e disponibilidade superficial.

<i>Unidades Hidrográficas</i>	<i>Balanço (%) (1)</i>	<i>Avaliação</i>
<b>Alto São Francisco</b>	4	Água é bem livre
<b>Médio São Francisco</b>	4	Água é bem livre
<b>Sub-Médio São Francisco</b>	53	Crítica
<b>Baixo São Francisco</b>	36	Crítica
<b>São Francisco</b>	6	Confortável

Fonte: Elaborado pelo próprio autor com dados do Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco.

(1) Razão entre a vazão de retirada e a vazão natural média em cada uma das unidades hidrográficas em percentagem.

Observa-se então, que as regiões fisiográficas do Sub-Médio e do baixo São Francisco são críticas (balanço entre vazão média e usos > 20%) em termos de atendimento das demandas, exigindo intenso gerenciamento e altos investimentos.

### **2.3. Reservatório de Xingó**

O reservatório da usina hidrelétrica de Xingó, inaugurado em 1994, situado no Baixo São Francisco fica entre os Estados de Alagoas e Sergipe, a cerca de 2 km à montante do município de Canindé do São Francisco (SE) e a cerca de 179 km da foz do rio. O reservatório fica quase totalmente confinado no “canyon” do rio, com 60 km de comprimento na cota de 138 m, apresenta uma superfície de 60 km<sup>2</sup> e um volume total de 3,8 bilhões de m<sup>3</sup>. Os municípios de Delmiro Gouveia/AL, Olho D'água do Casado/AL, Piranhas/AL, Paulo Afonso/BA e Canindé do São Francisco/SE circundam o reservatório.

A posição da usina, com relação ao São Francisco, é de cerca de 65 km a jusante do Complexo de Paulo Afonso, e face as condições naturais de sua localização num canyon, seu reservatório constitui uma fonte de turismo na região, através da navegação no trecho entre Paulo Afonso e Xingó, além de prestar-se ao desenvolvimento de projetos de irrigação e ao abastecimento d'água para a cidade de Canindé/SE.

Além da piscicultura, este reservatório possui outros usos quantitativos e qualitativos como a irrigação nos assentamentos, geração de energia elétrica, abastecimento humano e o turismo. Esse último uso abrange os passeios de catamarã, que saem do município de Canindé de São Francisco/SE, levando os visitantes oriundos de diversas regiões do país, cerca de 80.000 por ano, para apreciarem os cânions que margeiam o lago, resultantes do singramento da força das águas com o solo rochoso da região, e para se refrescarem em uma estação de banho a 15 km do ponto de partida, denominada Paraíso do Talhado.

Compreendem o represamento de Xingó as seguintes estruturas:

- barragem de enrocamento com face de concreto a montante com cerca de 140 m de altura máxima;

- o vertedouro de superfície do tipo encosta com duas calhas e 12 comportas do tipo segmento com capacidade de descarga de 33.000 m<sup>3</sup>/s, situado na margem esquerda (AL);

- os muros, tomada d'água, condutos forçados expostos, casa de força do tipo semi-abrigada, canal de restituição e diques de seção mista terra-enrocamento, situados na margem direita (SE); totalizando o comprimento da crista em 3.623,00 m.

A usina geradora é composta por 6 unidades com 527.000 kW de potência nominal unitária, totalizando 3.162.000 kW de potência instalada, havendo previsão para mais quatro unidades idênticas numa segunda etapa.

A energia gerada é transmitida por uma subestação elevadora com 18 transformadores monofásicos de 185 MVA cada um, que elevam a tensão de 18 kV para 500 kV.

Realizada uma apresentação das características gerais da região na qual o estudo foi desenvolvido, o próximo capítulo descreve o Uso estudado para as águas do reservatório.

### **3. O USO DAS ÁGUAS DE RESERVATÓRIOS PARA A PISCICULTURA**

#### **3.1. Pesca extrativa, aqüicultura e piscicultura**

A pesca extrativa é a retirada de organismos aquáticos da natureza sem seu prévio cultivo; este tipo de atividade pode ocorrer em escala industrial ou artesanal, assim como acontecer no mar ou no continente. Em função disso, a atividade extrativista tem sido controlada em boa parte do planeta como tentativa de evitar desastres ecológicos mais significativos que os que já se presencia atualmente.

Aqüicultura é o processo de produção em cativeiro, de organismos com habitat predominantemente aquático, tais como peixes, camarões, rãs, entre outras espécies. Quando se avalia especificamente a produção de peixes, como subtipo da aqüicultura, está-se referindo à piscicultura.

Pode-se concluir que o negócio da aqüicultura apresenta-se como uma atividade alternativa à prática extrativista, que tem ultrapassado seus limites sustentáveis, e revela-se como uma opção interessante para empreendedores de todos os portes.

A maior diferença entre a aqüicultura e a pesca está na incerteza em relação ao produto final. A atividade de pesca (aquela que extrai da natureza seu produto final) tem esta característica peculiar: o pescador ou a empresa de pesca não têm garantias em relação à qualidade e à quantidade do que irão obter. Assim, a impossibilidade de controle das variáveis que envolvem a pesca extrativa a tornam uma atividade incerta. São muitos os fatores que, recentemente, têm aumentado seu índice de incerteza; entre eles, destacam-se a exploração comercial por grandes empresas, que têm esgotado os estoques naturais de peixes, bem como ações que impactam negativamente a natureza (como o lançamento de resíduos industriais em rios, lagos e no mar) tornando áreas, antes produtivas, totalmente inabitadas pelas espécies nativas.

#### **3.2. Piscicultura**

##### **3.2.1. No Brasil e no Mundo**

A exploração indiscriminada do estoque pesqueiro natural, a crescente diferença entre a quantidade de pescado capturado e a demanda de consumo, tornaram a aqüicultura uma das alternativas mais viáveis no mundo para a produção de alimento, para consumo humano de alto valor protéico. (BORGHETTI et al., 2003; CAMARGO et al., 2005).

A piscicultura é o ramo da aqüicultura que cuida do cultivo de peixes. Os egípcios já desenvolviam essa atividade há mais de dois mil anos antes de Cristo. Cultivavam tilápias em tanques ornamentais para o consumo em ocasiões especiais. Atualmente, a China é o maior produtor de peixes cultivados do mundo. Os primeiros registros das atividades

aquícolas naquele país remontam a 1.100 a.C. Apesar da tradição milenar, o atual crescimento da aquicultura na China se deu a partir da década de 70, tendo sido responsável pela elevação, nos últimos 20 anos, do consumo de pescados que passou de 10 quilos anuais por pessoa para os atuais 27,7 quilos. Devido ao início do cultivo controlado ou semi-controlado de animais aquáticos pelo homem ter se desenvolvido na China o oriente tornou-se o berço da aquicultura e por isso não é coincidência que hoje, o continente asiático responda por cerca de 90% da produção mundial dos alimentos provenientes da água, sendo que a China é responsável por mais da metade dessa produção. Entre os dez grandes produtores de espécies aquáticas, sete estão situados na Ásia. O Brasil ocupa a 18ª posição, sendo a carpa comum e a tilápia do Nilo as espécies mais cultivadas.

No Brasil, os primeiros registros de criação de peixes datam da década de 30, quando foram feitas as experiências iniciais para obter a desova de espécies nativas em cativeiro. No entanto, a piscicultura como atividade econômica é muito mais recente, embora o Brasil seja um dos países com maior potencial hídrico em todo mundo. Os primeiros empreendimentos em caráter comercial, na década de 80, esbarravam em toda a sorte de problemas como o pouco conhecimento das técnicas de manejo, poucos trabalhos de pesquisas, baixa qualidade genética dos alevinos que eram ofertados para os produtores e a inexistência de rações nutricionalmente adequadas para atender às exigências específicas das espécies cultivadas na época, dentre outras. Mas, mesmo assim, a atividade foi crescendo e despontando como uma boa opção de geração de renda e de oferta de peixes para os mercados interno e externo.

Na década de 90, começaram a surgir e a ser disseminado os trabalhos de pesquisa em manejo. As rações passaram a ser desenvolvidas especificamente para as espécies de peixes mais cultivadas. Os pesquisadores em nutrição animal e as fábricas de ração passaram a se preocupar com a qualidade e com a eficácia do produto na conversão em peso. As estruturas de beneficiamento implantadas fizeram com que o peixe cultivado ampliasse o seu raio de alcance no mercado e as publicações especializadas contribuíram bastante para a disseminação de tecnologia e de conhecimento. Na década de 90, também houve uma maior compreensão, por parte dos poderes públicos, do potencial da atividade e a importância que ela teria nos anos seguintes dentro da pecuária mundial. Alguns especialistas em desenvolvimento econômico passaram a classificar a piscicultura como a grande revolução na pecuária mundial nas décadas seguintes. Peter Drucker foi um deles:

*[...] novas e inesperadas indústrias vão surgir ... - e rapidamente. Uma delas já está entre nós: a biotecnologia. Outra é a criação de peixes. Nos próximos 50 anos, a criação de peixes pode nos transformar de caçadores e coletores marinhos em pecuaristas aquícolas. Exatamente como há mais ou menos 10.000 anos atrás, uma inovação semelhante*

*transformou nossos ancestrais de caçadores e extrativistas em agricultores e pastores[...]*  
(DRUCKER, 2000)

O fato é que, nos últimos anos, a atividade de criação de peixes em cativeiro vem realmente experimentando um crescimento substancial no Brasil, acompanhando a tendência mundial de aumento da oferta de pescado via cultivo. Em 1990, o país produzia pouco mais que 16.000 mil toneladas de peixes cultivados e, em 2005, a produção foi de 178.746,5 toneladas, registrando um crescimento no período de 1.017 % (Ibama, 2005).

Mas o país está muito longe dos grandes produtores mundiais de peixes cultivados, apesar do potencial hídrico que possui. Dos 39 milhões de toneladas produzidas em aqüicultura, em todo o mundo, em 2002, o Brasil contribuiu apenas com 251 mil toneladas, ou seja, 0,64% deste total, segundo a síntese mundial da pesca e aqüicultura da FAO - Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, divulgada em 2004. Mas, apesar do ritmo acelerado de crescimento da produção mundial, a FAO estima que, até 2030, o déficit de pescados deve crescer em 30 milhões de toneladas e que o Brasil tem condições de participar desse mercado com pelo menos 10 milhões de toneladas.

No Brasil (FAO, 2003) a pouca importância que ainda é dada à aqüicultura, faz com que o país venha a ocupar a 18ª posição entre os produtores de pescados cultivados. Entretanto, desde o início da década de 90, quando a produção era de 25 mil toneladas, os diversos segmentos do setor se desenvolveram progressivamente, o que proporcionou no ano 2000, a produção de 150 mil toneladas e de 251 mil toneladas em 2002 (IBAMA, 2004). A aqüicultura vem crescendo com porcentagens anuais superiores a 22%, segundo a Secretaria Especial de Aqüicultura e Pesca - SEAP (ANA, 2007). Secretaria que está em evidência pois tramita na Câmara dos Deputados atualmente o Projeto de Lei nº 3960/08 que transforma a SEAP em Ministério da Pesca e Aqüicultura, demonstrando assim, a importância que o governo dá para essa atividade econômica.

Os estados pioneiros em explorar a piscicultura em caráter comercial, no Brasil, foram Paraná e Santa Catarina. Porém, nos últimos dez anos, a atividade cresceu de forma regular e consistente no Nordeste do país, principalmente na Bahia e no Ceará.

Dentre os ramos da aqüicultura, a piscicultura vem crescendo substancialmente principalmente nos países pouco industrializados, que chegam a deter 85% da piscicultura mundial. A China destaca-se como maior produtor, onde o cultivo das carpas comum, capim, prateada e cabeçuda, além das tilápias, ocorre em regimes de policultura ou monocultura em viveiros escavados no solo, além do uso de tanques-rede em reservatórios de água natural. Esses sistemas tornaram a China responsável pela produção de 21 milhões de toneladas das 31 milhões de toneladas produzidas em 1998; em 2001 a

produção total chinesa foi de 37.851.356 toneladas entre peixes, moluscos e crustáceos (CAMARGO et al., 2005).

A Índia destaca-se como segundo maior produtor, com 2 milhões de toneladas de pescado produzidas em 1998. Também são importantes países como a Tailândia, Indonésia e Bangladesh. Outros países, com setores prósperos de aquicultura estão situados no centro e sul da América, como o Brasil, que tem forte influência das técnicas de cultivo desenvolvidas em outros países, como a Venezuela, Peru, México, Costa Rica e Chile (BROWN, 2001; GONZALEZ, 2001).

Entre os países que já possuem piscicultura consolidada, os líderes no cultivo de peixes são Japão, Estados Unidos e Hungria (GONZALEZ, 2001).

Na América do Norte, a piscicultura se desenvolve desde o início do século XX. A truta, originária da própria América do Norte, foi à primeira espécie introduzida. Os Estados Unidos são os principais produtores, respondendo no ano 2000, por 77,6% da produção total no ano (FAO, 2003). Nesse país, a piscicultura ganhou maior importância a partir dos anos 50, com o desenvolvimento da criação do *catfish* americano (*Ictalurus punctatus*), cuja produção é na sua maior parte processada pela indústria. Desde 1987 a tilápia obtém espaço na produção com a introdução da aeração automática dos viveiros de produção. A alimentação dos peixes é feita com rações extrusadas, sendo comum a sua distribuição automática e o uso de aeração mecânica.

### **3.2.2. Na bacia do rio São Francisco**

A região nordeste do Brasil, mais especificamente nas fronteiras dos Estados de Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia, apresenta temperaturas elevadas e uniformes durante todo o ano, o que torna possível à piscicultura com espécies tropicais. A mesma vêm apresentando resultados com altos índices de produtividade, com um desenvolvimento maior da tilapicultura, ou seja, da criação da tilápia-do-nilo *Oreochromis niloticus*, linhagem Chitralada.

Considerando a pesca continental, a região Nordeste é a segunda maior produtora de pescado de água doce do país, cujo desempenho se deve principalmente aos mais de 70 mil açudes com área superior a mil m<sup>2</sup>, existente na região (Lazzaro et al., 1999). Durante várias décadas, o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), desenvolveu programas de peixamento (trata-se de uma piscicultura de povoamento e repovoamento) nos reservatórios. Estima-se que mais de 100 milhões de alevinos, procedentes de diversas regiões do Brasil e muitas espécies exóticas tenham sido transferidos para esses reservatórios (Lazzaro et al., 1999). Existem registros de que os

primeiros peixamentos dos açudes do DNOCS com a tilápia-do-nilo foram realizadas em 1973.

Nos açudes públicos do Nordeste, os recursos pesqueiros mais importantes são a tilápia nilótica, *Oreochromis niloticus*, espécie introduzida da África, que representa segundo Paiva *et al.* (1994), 26% do total das capturas; os camarões de água doce, *Macrobrachium* spp., com 11%; o tucunaré comum, *Cichla monoculatus*, 10,9%; a curimatã-comum, *Prochilodus brevis* (= *P. cearensis*), 6,4% e a pescada-do-piauí, *Plagiosion squamosissimus*, 2% .

Neste contexto, a bacia do rio São Francisco é uma referência obrigatória de pesca, onde se pratica tanto a pesca de subsistência quanto a comercial. O rio São Francisco apresenta 2.780 km de extensão, passando por sete Estados, onde ocorrem onze represamentos, com área alagada que corresponde à cerca de 23,3% da área represada no país (PLANVASF, 1989). Estima-se em 600.000 ha a superfície do espelho d'água do curso principal, dos afluentes, dos reservatórios das hidrelétricas e das barragens públicas e privadas, sendo grande o potencial para o desenvolvimento da aquicultura na região.

A região toda do vale do São Francisco é bastante propícia para a piscicultura devido à boa qualidade da água, boa oxigenação, menor amplitude térmica e temperaturas médias entre 25 e 27°C durante o ano. Esses fatores melhoram a conversão alimentar e diminuem o ciclo produtivo, quando comparadas às regiões cujo cultivo também é bastante desenvolvido como o sudeste.

Nos trechos livres da bacia, as espécies mais valorizadas nas pescarias são as migradoras de grande porte, como o surubim, *Pseudoplatystoma corruscans*, o curimatã, *Prochilodus argenteus*, e o dourado, *Salminus brasiliensis*.

Os reservatórios que alimentam as hidrelétricas da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF), armazenam mais de 50 bilhões de metros cúbicos nas barragens das usinas de Sobradinho, Luiz Gonzaga (antiga Itaparica), complexo de Paulo Afonso (I, II, III e IV), Moxotó, Xingó e Boa esperança. O submédio São Francisco inclui os reservatórios de Itaparica (atual Luiz Gonzaga, em homenagem ao rei do baião), Moxotó, Paulo Afonso I, II, III e Paulo Afonso IV, o que representa, um enorme potencial aquático considerando ainda que a região está situada no semi-árido nordestino, daí a expressão: "o sertão vai virar mar" do cancionista popular.

Entretanto, os estoques de peixes nos rios e reservatórios estão em declínio por muitas razões: várias espécies nativas são migratórias e, a maioria das barragens no Brasil alterou o *habitat* destas espécies, interferindo no seu ciclo de vida. A agricultura, a poluição doméstica e industrial com fechamento das ligações entre lagoas e rio pelos fazendeiros,

também contribuíram para a destruição e poluição destes locais. Os peixamentos de rios e reservatórios, com espécies nativas são feitos legalmente por companhias hidrelétricas e governo. Mas às vezes, também foram feitos ilegalmente (embora bem intencionado), com espécies introduzidas por pescadores, amadores e grupos da comunidade.

A piscicultura em tanques-rede vêm aumentando a produção aquícola, principalmente nas regiões do submédio e baixo São Francisco, onde se localizam projetos nos Reservatórios de Xingó, Itaparica e Paulo Afonso, nos municípios de Paulo Afonso, Delmiro Gouveia e Canindé de São Francisco, nas fronteiras dos estados de Pernambuco, Bahia, Alagoas e Sergipe. Nessas regiões além de empreendimentos de grande porte, co-existe a forma mais artesanal, para engorda desta espécie, realizada por associações de produtores e cooperativas, alguns dos quais pescadores e/ou pessoas que viviam da pesca na região, e foram se transformando em produtores de peixes, utilizando-se de tanques-rede, gerenciados pela própria comunidade de forma participativa e os grandes grupos empresariais que implantaram o projeto Tilápia São Francisco.

A tilápia, espécie exótica que foi introduzida na bacia do São Francisco, já é considerada uma espécie naturalizada, sendo criada tanto em larga, como pequena escala. Essa espécie tem mantido o sustento de várias comunidades do interior desta região, onde muitas vezes é o único peixe produzido tendo uma importância social imensa, pois permite que o alimento de origem animal chegue ao prato de uma população mais carente e, ultimamente se tornou um importante recurso da pauta de exportação do país.

### **3.2.3. No Baixo São Francisco**

Tradicionalmente, diversas comunidades ribeirinhas dos estados de Alagoas e Sergipe, na região denominada Baixo São Francisco, tiravam seu sustento da pesca artesanal. A partir da década de 70, com a construção das barragens de Sobradinho, Itaparica, Moxotó e Xingó, com o objetivo de promover a regularização da vazão do rio São Francisco para geração de energia elétrica, irrigação e navegação, a atividade pesqueira enfrentou grandes dificuldades, com conseqüências sociais e econômicas negativas a cerca de 6.500 pescadores artesanais que atuavam naquela região (CODEVASF/PLANVASF, 1989).

As barragens, em geral, promovem substanciais reduções nos estoques pesqueiros naturais, por comprometerem a piracema (migração reprodutiva dos peixes) e por evitarem as tradicionais cheias anuais que possibilitavam o acesso dos reprodutores, ovos e larvas às lagoas marginais, que são berçários naturais para grande parte das espécies de peixes da bacia do rio São Francisco (PAIVA *et al.*, 2003).

Mesmo com o descobrimento de novas reservas extrativistas e dos avanços das tecnologias de captura, o aumento da produção da pesca marinha na década de 90 não foi significativo, o que demonstra que os estoques pesqueiros naturais estão se exaurindo (FAO, 2002). Isto ocorre também com a pesca artesanal no Vale do São Francisco, onde foi evidenciado o esgotamento dos recursos pesqueiros em várias áreas, como a região do Baixo São Francisco, antes abundante em peixes, passando a ser considerada a região mais “estéril” do Vale (CODEVASF/PLANVASF, 1989).

A redução dos estoques pesqueiros da região do Baixo São Francisco decorre, principalmente, como já mencionado, de alterações das condições naturais de reprodução e de desenvolvimento dos peixes provocadas pela construção de barragens ao longo do rio. Como consequência, ocorre o desaparecimento de espécies de peixes de importância econômica e ecológica, a redução da oferta de alimento e a ociosidade e o êxodo de pescadores artesanais, com graves reflexos sociais em toda a região (PAIVA *et al.*, 2003).

Segundo Rosa *et al.* (2006), como alternativa à pesca artesanal no Baixo São Francisco - diversas ações de incentivo à criação de peixes em Perímetros de Irrigação da CODEVASF e em grandes represas e no próprio leito do rio - foram implementadas por entidades públicas e privadas. Atualmente, a região conta com fábricas de ração para aquicultura, unidades de beneficiamento de pescado, sete estações de produção de alevinos, mais de 1.000 hectares de tanques escavados em perímetros irrigados e em várzeas, milhares de tanques-rede instalados em grandes reservatórios e no rio, dezenas de técnicos especializados em aquicultura, três cooperativas e 11 associações de produtores, além da Câmara Setorial de Aquicultura do Baixo São Francisco. Conta, também, com o apoio de entidades como a CODEVASF, a SEAP/PR, os Governos dos Estados de Alagoas, Bahia, Pernambuco e Sergipe, Prefeituras Municipais, o SEBRAE, os Bancos do Nordeste e do Brasil, a INFOPECA, Universidades, o Instituto de Desenvolvimento Científico e Tecnológico de Xingó, dentre outros, que caracterizam o Baixo São Francisco como um Arranjo Produtivo Local (APL) de Aquicultura.

De acordo com os mesmos autores, apesar das elevadas taxas de crescimento da aquicultura brasileira, os valores absolutos ainda são tímidos, considerando seu enorme potencial, com água, solo e clima adequados para esse tipo de exploração. Dentre as áreas que apresentam vantagens competitivas no país destaca-se a região do Baixo São Francisco, onde a produção é obtida em viveiros escavados em terra, em tanques de alto fluxo (*raceway*) e em tanques-rede (estruturas flutuantes, semelhantes a gaiolas, fabricadas com telas metálicas ou plásticas, em formatos cilíndrico, cúbico e outros, próprias para serem utilizadas em rios, em grandes reservatórios e no mar). Por sinal, o sistema de produção de pescado em tanques-rede registra elevados índices de crescimento em várias

regiões do país, principalmente pela existência de extensas superfícies de reservatórios e rios, e devido à necessidade da ampliação da produção de pescado e da busca por alternativas viáveis de geração de emprego e de renda a pescadores artesanais e a pequenos e médios produtores ribeirinhos.

Rosa et al (2006) apontam que dentre as inúmeras condições apresentadas pelo Baixo São Francisco para o desenvolvimento da aqüicultura, destacam-se:

- grande disponibilidade de água em sua porção inferior, com baixo conflito de uso, com vazão anual média de 1.700 m<sup>3</sup>/s, em condições de ser utilizada em projetos de aqüicultura;

- extensas áreas de várzeas com topografia e solos adequados, permitindo a construção de viveiros para a implantação de grandes projetos de aqüicultura;

- localização estratégica, próxima a quatro grandes centros consumidores (Aracaju, Maceió, Recife e Salvador), além da facilidade de escoamento da produção para outros mercados no país e no exterior;

- excelentes condições climáticas, possibilitando a criação de espécies aquáticas durante todo o ano;

- presença de grandes áreas irrigadas (13 mil hectares em projetos de irrigação) que, em grande parte, podem ser convertidas para a produção de peixes;

- grande infra-estrutura instalada para o fornecimento de alevinos por meio de estações de piscicultura públicas e privadas;

- disponibilidade de dezenas de técnicos especializados, difundindo tecnologia e prestando assistência técnica;

- existência de duas fábricas de ração específicas para a aqüicultura;

- duas unidades de beneficiamento de pescado implantadas e três outras em construção na região;

- o Centro de Referência em Aqüicultura do São Francisco (CERAQUA-SF), em fase de implantação, que dará suporte tecnológico para a atividade.

Entre os mais de 20.000 hectares de áreas de várzeas, com solo e topografia ideais para a construção de viveiros, clima quente o ano todo e recursos hídricos abundantes e de excelente qualidade, supridos pelo rio São Francisco e seus tributários, cerca de 1.200 hectares de tanques foram construídos no Baixo São Francisco, que se apresenta como uma das regiões brasileiras mais promissoras para a aqüicultura. Estima-se que, nos próximos dez anos, essa atividade ocupe mais de 5.000 hectares de várzeas no Baixo São

Francisco, que poderão produzir mais de 40.000 toneladas de pescado por ano, gerando entre 7.000 a 12.500 empregos diretos e 22.000 a 37.000 empregos indiretos ao longo da cadeia produtiva. Em Paulo Afonso, Bahia, encontra-se em operação um dos maiores complexos de produção de Tilápia do mundo, com capacidade instalada para a produção de mais de 15.000 toneladas por ano, e conta ainda com uma indústria de processamento de pescado e uma fábrica de ração (Rosa et al, 2006).

As primeiras iniciativas de regulamentação do uso de águas públicas para a aqüicultura no país ocorreram em 1995, por meio do Decreto da Presidência da República nº 1695; em 1998, pelo Decreto Presidencial nº 2.869; e em 2001, com a Instrução Normativa Interministerial nº 9. Nenhum desses instrumentos logrou êxito na utilização legal de áreas de domínio da União para a produção controlada de organismos aquáticos. Posteriormente, o Governo Federal lançou o Decreto nº 4.895/2003 e a Instrução Normativa nº 06/2004 com o mesmo objetivo, mas que não surtiram os resultados esperados, como a possibilidade de aproveitamento do mar territorial, de rios e de grandes reservatórios públicos federais para o incremento da produção de pescado no Brasil, onde poderia alcançar grande destaque a criação intensiva de peixes em tanques-rede. Segundo ROSA (2002), esse sistema de produção pode proporcionar produtividades superiores a 300 kg de pescado/m<sup>3</sup>/ano e apresenta, como vantagem adicional, o uso não consuntivo da água, por não haver a retirada de água para o enchimento de tanques escavados em terra, o que a sujeitaria ao aumento de evaporação e de infiltração. Por esse sistema de piscicultura, o reservatório de Xingó, com aproximadamente 6.000 hectares em sua cota máxima, produz cerca de 1.500 toneladas de pescado por ano (Rosa et al, 2006).

### **3.3. Produção de peixes em tanques-rede ou gaiolas**

Gaiolas ou tanques-rede são estruturas de tela ou rede, fechada de todos os lados, que retêm os peixes e permitem a troca completa de água, de forma a remover os metabólitos e fornecer oxigênio aos peixes confinados (Balarin & Haller, 1982; Beveridge, 1987). Coche (1982) e Perez & Robledillo (1989) descrevem gaiolas flutuantes como estruturas compostas de uma estrutura de superfície, que consiste de um sistema de sustentação e flutuação, mais uma estrutura submersa, de contenção, que pode ser confeccionada com materiais rígidos (gaiolas) ou flexíveis (tanques-rede). Na presença de correntes d'água com velocidade superior a 20-30 cm/s, a construção rígida é mais adequada. A abertura da malha das redes ou telas deve ser a maior possível, sempre em concordância com o tamanho dos peixes que estão sendo criados, para permitir a passagem de água através da gaiola o maior número de vezes possível por unidade de tempo.

O cultivo em tanques-rede é um sistema de produção intensivo. Os peixes são confinados em altas densidades, dentro de uma estrutura onde os animais recebem ração balanceada, e que permita uma grande troca de água com o ambiente.

A alta taxa de renovação de água dentro do tanque-rede é o principal fator que viabiliza a alta densidade populacional e a produção de uma grande biomassa<sup>3</sup> de peixes por unidade de volume (50 a 250 kg/m<sup>3</sup>), já que supre a elevada demanda por oxigênio e remove os dejetos produzidos.

Este sistema de aquicultura tem crescido muito no Brasil devido a sua alta produtividade. Com ele é possível manter um número maior de peixes por metro cúbico, o que reduz os custos e aumenta a rentabilidade do negócio.

O engenheiro agrônomo especialista em piscicultura, Gustavo Luís Bozano<sup>4</sup>, relata:

“Se compararmos (os tanques-rede) aos sistemas convencionais, veremos que há considerável distância entre os resultados. Enquanto nos tanques-rede a produtividade é de 200 kg de peixe por m<sup>3</sup>, numa represa convencional esse número cai para apenas 2 kg por m<sup>3</sup>”.

Nesta declaração, constata-se um ganho de produtividade com o uso de tanques-rede a ordem de 100 vezes em relação ao cultivo tradicional em açudes. Isto explica a busca dos aquicultores por esta prática; além disso, destaca-se uma melhoria qualitativa no cultivo das espécies aquícolas. O acompanhamento técnico e veterinário das espécies é facilitado pela menor área de cultivo e pela maior proximidade dos organismos, o que facilita seu controle; portanto, também existe um ganho em produtividade causado por este aspecto qualitativo dos sistemas de tanques-rede.

Segundo a engenheira agrônoma Luciene Conte<sup>5</sup>, “entre as diversas vantagens constatadas no sistema, os peixes ficam em um lugar delimitado, permitindo a livre e constante circulação de água, ou seja, é um sistema intensivo de renovação contínua de água. Essa reciclagem mantém o oxigênio em níveis favoráveis à criação”. Para ela, os tanques-rede são alternativas interessantes para o aproveitamento correto de represas, lagos e outros meios, em função dos recursos naturais.

O sistema tem apresentado crescimento acelerado no Brasil, tanto em função do clima favorável, quanto da disponibilidade de áreas continentais e de potenciais recursos hidrográficos (estimado em 5,3 milhões de hectares de água doce represada em grandes reservatórios naturais e artificiais).

---

<sup>3</sup> É a quantidade total de matéria viva existente num ecossistema ou numa população animal ou vegetal.

<sup>4</sup> BOZANO (1999) apud SINDIRAÇÕES, 1999, op. cit.

<sup>5</sup> CONTE (1999) apud SINDIRAÇÕES, 1999, op. cit.

Para iniciar um trabalho com tanques-rede é preciso um projeto bem definido e totalmente legalizado. O primeiro passo é avaliar o local para implantação dos tanques-rede, e deve-se incluir a possibilidade de orientação por parte de técnicos especializados para ajudar a definir a escolha do lugar ideal. A seleção desta tecnologia também pode ser apoiada por um técnico especializado em aquicultura continental.

A escolha da tecnologia, porém, não é a única prioridade, pois há a necessidade da autorização dos órgãos federais, tais como Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a Marinha do Brasil e o IBAMA, entre outros - inclusive para a aquicultura de água doce. Existe um incentivo à produção profissional e controlada que busca evitar a criação clandestina e predatória de peixes, prejudicial ao meio-ambiente e, conseqüentemente, a todos os interessados.

A alimentação dos organismos aquícolas também tem lugar de destaque neste tipo de empreendimento; a qualidade das rações torna-se um fator-chave, uma vez que os peixes não terão acesso livre ao meio ambiente e a ração será sua única fonte alimentar. Por esse motivo, o alimento deve ser de excelente qualidade, com o devido balanceamento dos nutrientes necessários ao desenvolvimento dos peixes.

A adequação da ração também envolve preocupação ecológica, pois as rações equilibradas não só garantem a produtividade como evitam impactos prejudiciais ao meio ambiente. Entre os ingredientes que compõem as rações para criação em tanques-rede, as vitaminas merecem especial atenção. "São os elementos que os peixes mais necessitam quando não estão em seu ambiente natural. Por isso, as rações devem apresentar níveis satisfatórios de vitaminas", explica Bozano<sup>6</sup>. Outro nutriente fundamental é a proteína: o nível protéico das rações para criação em tanques-rede deve ficar entre 32% e 36%. "Rações de maior nível protéico são mais caras, mas este custo se justifica, pois a resposta será mais interessante, especialmente para peixes com peso de 150 g ou um pouco mais", afirma Conte.

Os gastos com alimentação nesse sistema situam-se entre 50% e 70% dos custos totais de produção. "Por ser o fator economicamente mais importante, é imprescindível investir na dieta correta, pois a resposta virá em produtividade e, conseqüentemente, em lucratividade", conclui Bozano.

A seguir, são destacados alguns fatores que levam a aquicultura continental em tanques-rede a ser a melhor alternativa para os empreendedores, inclusive de micro e pequeno portes.

---

<sup>6</sup> BOZANO (1999) apud SINDIRAÇÕES, 1999, op. cit.

Quadro 7 . Sistema de tanque-rede: vantagens x desvantagens

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Menor variação dos parâmetros físico-químicos da água durante a criação;	Necessidade de fluxo constante de água através das redes;
Maior facilidade de retirada dos peixes para venda (despesca);	Dependência total de arrastamento;
Menor investimento inicial (60 a 70% menor do que viveiros escavados);	Risco de rompimento da tela da gaiola e perda da produção;
Uso da água de forma econômica e planejada;	Possibilidade de introdução de doenças e/ ou peixes no ambiente, prejudicando a população natural; e
Facilidade de movimentação e realocação dos peixes;	Facilidade de roubo.
Intensificação da produção;	
Facilidade de observação dos peixes;	
Redução do manuseio dos peixes; e	
Diminuição dos custos com tratamentos de doenças.	

Fonte: SEBRAE, 2008.

### **Fatores de sucesso para o sistema de tanques-rede**

De acordo com o SEBRAE (2008), muitos fatores influenciam a capacidade de sustentação, desempenho e sobrevivência dos peixes em tanques-rede, tais como:

- a qualidade da água (temperatura, taxa de oxigênio dissolvido, pH e concentração de amônia);
- a profundidade (no mínimo, deve haver 1 m entre o fundo da gaiola e o piso);
- a velocidade da correnteza (correntes de 10 a 20 cm/s);
- as dimensões dos tanques-rede;
- o formato do tanque-rede (preferencialmente os quadrados e retangulares, pois os circulares permitem um menor fluxo interno de água);
- a alimentação; e
- a densidade de estocagem.

As elevadas taxas de estocagem dependem de rações de alta qualidade nutricional, pois os peixes não têm acesso ao alimento natural. As rações deverão permitir uma conversão alimentar adequada, pois como já foi dito, os custos com a alimentação podem chegar a 70% dos custos totais de produção. Este elevado custo é ocasionado pelos seguintes fatores:

- qualidade superior das rações;
- alta digestibilidade, processo de extrusão etc.;
- maior quantidade a ser oferecida para satisfazer as necessidades nutricionais;
- especificidade da ração para a espécie a ser criada; e
- especificidade da ração para cada fase de criação (alevinos, juvenis e engorda).

A densidade de estocagem também é um dos fatores importantes, pois influenciará no retorno financeiro. Uma densidade ótima é obtida pela maior quantidade de peixes produzida com eficiência por metro cúbico de um tanque-rede. A produção pode ser considerada eficiente se a conversão alimentar for baixa, em um menor período de tempo possível e o peso final do peixe atender ao mercado consumidor.

Para o sistema tanque-rede, são características fundamentais: taxa de crescimento elevado; bom rendimento de carcaça; variedades domesticadas; tolerância ao manuseio; resistência a doenças; adaptabilidade ao sistema de criação; e aceitação pelo mercado.

### **Pontos de Atenção**

Apesar das vantagens apontadas, um sistema tanque-rede apresenta diversos pontos que merecem especial atenção do aqüicultor:

É indispensável manter um fluxo constante de água através das redes em volume suficiente para manter adequado o nível de oxigênio e garantir o bem-estar dos espécimes;

É preciso monitorar o risco de rompimento da tela da gaiola, que pode ocasionar até a perda total da produção, pela mistura com outros organismos do ambiente ou pela “fuga” dos animais criados em direção a rios e riachos;

A maior facilidade de acesso e retirada dos peixes e outros organismos que o sistema propicia também facilita roubos ou desvios indevidos.

Existem vários tipos de tanques rede, e variam basicamente quanto à forma da estrutura (redondos, quadrados e retangulares), e quanto a área útil para o cultivo. Os tanques rede mais utilizados atualmente são os de 4m<sup>3</sup> e 6m<sup>3</sup> de volume útil. Geralmente medem 2,0 x 2,0m de comprimento e largura, com altura variando entre 1,20 (1m submerso) a 1,80m (1,5m submerso), permitindo altas densidades de cultivo (150 a 200kg/m<sup>3</sup>) e facilitando o manejo da despesca (SEBRAE, 2008).

### **3.4. Impactos da Piscicultura na qualidade da água**

Os principais aspectos do meio ambiente que devem ser considerados na piscicultura são os que podem produzir impactos negativos sobre os ecossistemas,

principalmente na qualidade da água, por meio de descartes de efluentes e os conflitos entre usuários da água, quando da não regulamentação e administração dos recursos hídricos de forma planejada (ALMEIDA, 2006).

A qualidade da água de viveiros de piscicultura está diretamente relacionada a fatores como temperatura da água, pH e oxigênio dissolvido. Elementos como fósforo e nitrogênio, originados principalmente da introdução de alimentos na água do viveiro, também devem ser levados em consideração no monitoramento da qualidade da água.

PHILLIPS *et al.* (1991) considera que o maior impacto na utilização da água pela aqüicultura é o impacto sobre a qualidade da água. As principais fontes poluentes do ambiente aquático são as rações e metabólitos (substâncias químicas produzidas através de material orgânico) dos peixes que apresentam altos teores de nitrogênio e fósforo (MEDEIROS, 2002).

O nitrogênio e o fósforo, presente nos rios e lagos, constituem dois nutrientes básicos que dão suporte à cadeia alimentar. Os problemas advindos do aumento dessas concentrações refletem na proliferação de algas, no efeito tóxico da amônia nos peixes e nos déficits de oxigênio consumido no processo (LIMA, 2001). Apesar do efluente de piscicultura apresentar grande volume com baixos teores de nutrientes (N e P), quando comparado com efluentes de origem doméstica, o seu lançamento direto e contínuo nos ambientes pode resultar em uma bioacumulação crônica e posteriormente à eutrofização, com conseqüências ecológicas negativas sobre o ambiente aquático.

Segundo Smith *et al.* (1999), tem sido notória a elevação dos níveis de nitrogênio e fósforo no meio ambiente. Estes elementos são indispensáveis para o desenvolvimento de culturas, mas são, também, os principais elementos envolvidos na eutrofização de corpos hídricos, isto é, no carregamento do meio aquático com nutrientes.

A qualidade da água é agravada pelo confinamento, grande adensamento de peixes por tanque-rede e qualidade da ração, entre outros. Por isso, a alimentação que é uma importante fonte de nutrientes para o sistema aquático, deve ser controlada com o uso de rações de alta qualidade em quantidades apropriadas, minimizando os impactos ambientais (BARBOSA *et al.*, 2000). Parte dos nutrientes fornecidos através da ração é consumida pelos peixes e retirada na forma de biomassa, outra parte é eliminada nas excretas e ainda uma parte não é consumida pelo peixe. O nitrogênio e o fósforo em excesso presentes no alimento são dissolvidos na água ou permanecem em suspensão (IETC, 2001). A manutenção da qualidade de água em viveiros de piscicultura (escavados ou os próprios tanques-rede) é requisito básico para o sucesso econômico do sistema produtivo e pode ser influenciada por vários fatores, dentre eles, a origem da fonte de abastecimento de água e o

manejo alimentar. Entretanto, o emprego de alimentos industrializados é o maior responsável pela queda da qualidade de água (IETC, 2001).

O conflito que pode ocorrer envolvendo a piscicultura em tanques-rede em reservatórios de uso múltiplo refere-se principalmente, à alteração da qualidade da água, pelo impacto dessa atividade na aceleração da eutrofização e as conseqüências deste fenômeno, que pode inviabilizar seu uso para consumo humano, animal e do próprio projeto de piscicultura. Além disso, o referido processo de eutrofização pode acarretar diversos prejuízos aos esportes náuticos e ao turismo, além do entupimento das grades de tomadas d'água das turbinas de usinas hidrelétricas, devido à alta produção de biomassa dessas populações de plantas (Tanaka, 1998).

Segundo Gisler (2004; p.9), *“nos reservatórios, a aqüicultura pode causar impactos à preservação da vida aquática (ambiente aquático e biodiversidade); à socioeconomia; e aos usos múltiplos: pesca, navegação, turismo e abastecimento público”*. Recomenda que *“os reservatórios sejam protegidos através de ações de gestões integradas com o restante da bacia hidrográfica. Programas de gestão devem visar à utilização sustentável dos recursos da bacia, levando em conta a preservação da vida aquática e das atividades de pesca e aqüicultura”*.

Quando do uso em aqüicultura, os reservatórios devem ser protegidos através de ações de gestão integradas com o restante da bacia hidrográfica. Uma clara conclusão neste propósito é de que os programas de gestão serão mais eficientes caso visem à utilização sustentável dos recursos hídricos da bacia, levando em conta a preservação da vida aquática, das atividades de pesca e aqüicultura e demais atividades associadas ao uso do solo e preservação de vegetação.

Segundo Gisler (2004; p.22), *“os planos de gestão integrados devem contemplar as atividades turísticas e de lazer, de navegação, agrícola em áreas de montante e no entorno dos reservatórios de aqüicultura e de geração de energia e controle de enchentes. Os planos de gestão devem também incluir a gestão dos resíduos sólidos e líquidos”*. Salienta, ainda, que *“a prevenção de impactos potenciais da aqüicultura sobre outros usos se dá principalmente por intermédio da criação de parques aqüícolas”*.

Uma das principais diretrizes da Agência Nacional de Águas – ANA para o desenvolvimento da aqüicultura e pesca, foi descrita por Gisler (2004; p.44): *“a aqüicultura deve estar compatibilizada com outros usos do corpo hídrico e, por essa razão, a delimitação dos parques e áreas aqüícolas, assim como a análise dos pedidos de outorga de direito de uso de recursos hídricos devem pautar-se no diagnóstico da qualidade da água do corpo hídrico, no conhecimento do tempo de resistência da água no reservatório e de sua*

*profundidade; no reconhecimento dos pontos de captação e de recreação e daqueles que possam constituir um outro uso do recurso hídrico”.*

A partir das considerações de política e dos gestores de recursos hídricos, entende-se que, deve-se, então, levar em conta a integração de diversas políticas setoriais e seus programas correlatos ao objetivo do PNRH (Plano Nacional de Recursos Hídricos), de forma a induzir práticas e adoção de incentivos, que desviem a trajetória de alguns setores da via da insustentabilidade, para um futuro de desenvolvimento perene da agropecuária, respeitando o meio ambiente e os corpos hídricos.

### **3.5. Influência da densidade de estocagem na produtividade**

Muitos fatores influenciam a capacidade de sustentação, o desempenho e a sobrevivência dos peixes em gaiolas e tanques-rede. As características intrínsecas da espécie, qualidade da água, dimensões do tanque-rede, alimentação e a densidade de estocagem são os principais fatores que afetam o sucesso da criação de peixes neste sistema (Beveridge, 1984; 1987).

À medida que se aumenta o número de peixes por m<sup>3</sup>, a taxa de crescimento individual dos peixes decresce, porém a biomassa total obtida é maior. A densidade de estocagem tem efeito direto sobre o potencial de perda de alimento do tanque-rede e sobre o acesso dos peixes ao alimento. O aumento na densidade de estocagem aumenta o potencial de perda de alimento devido à maior turbulência provocada pela movimentação dos peixes durante a alimentação.

Embora a tilapicultura em tanques-rede com diferentes densidades seja uma prática rotineira em vários reservatórios de hidroelétricas e lagos artificiais do país, pouco se conhece sobre os efeitos da densidade sobre a tilápia e, conseqüentemente, no seu crescimento quando são cultivadas em tanques-rede de pequeno volume.

As densidades nas quais as diferentes espécies podem ser estocadas é um importante fator na determinação do custo de produção em relação ao capital investido. Se a taxa de crescimento e sobrevivência não sofrerem alterações, quanto maior a taxa de estocagem maior será o custo unitário de produção. Este fator aliado à idade, tamanho, manejo, condições ambientais e alimentação é crucial para obtenção de um crescimento e produtividade nos padrões considerados ótimos (COCHE, 1978).

O aumento da densidade de estocagem pode fazer com que o espaço individual ou coletivo se torne fator limitante da produtividade. Uma superpopulação em qualquer cultivo ocorre quando a densidade de estocagem atinge valores tais que afetam negativamente a produtividade devido ao estresse dos peixes, a deterioração da qualidade da água ou a ausência da alimentação causada pela dificuldade de acesso ao alimento. Com o aumento

da densidade de estocagem, a biomassa total também aumentaria, porém o peso individual tende a diminuir, com redução do valor comercial do produto final (COCHE, 1978; GUERREIRO III, 1980; BOZANO et al., 1999; MCGINTY; RAKOCY, 1999).

### **3.6. A tilápia do nilo como espécie para a aquicultura intensiva em tanques-rede**

As tilápias representam os primeiros peixes utilizados para criação em cativeiro no mundo. Ilustrações de tumbas no Egito sugerem que a tilápia vem sendo criada há mais de três mil anos (Popma & Masser, 1999).

As tilápias são nativas do continente africano e da Ásia Menor. São peixes que predominam em águas quentes e a temperatura da água para o cultivo pode variar de 20 a 30°C.

O cultivo da tilápia do Nilo em caráter mais intensivo data de 1995 na China, cuja produção alcançou 160 mil toneladas, seguida das Filipinas com 63 mil toneladas. Por ser cultivada atualmente em mais de 85 países, dentre os quais uma grande parcela situa-se na América Latina, como a Costa Rica, Honduras, Venezuela e Peru, a perspectiva é de que esta espécie passe a ser a mais cultivada no século XXI (GONZALEZ, 2001; PERU, 2004).

O cultivo da tilápia do Nilo tem contribuído substancialmente para a produção de alimentos em muitas regiões tropicais e subtropicais em desenvolvimento. A tilápia se destaca pela sua rusticidade e rápido crescimento em cultivo intensivo e pelo excelente sabor de sua carne (TACON, 1993; HILDSORF, 1995 *apud* SOUZA & HAYASHI, 2003).

Em 2004, baseado no informativo da Intrafish 2006, o Brasil ocupava o sexto posto como produtor mundial de tilápias, dividindo a posição com Cuba, ambos com cerca de 5% de participação mundial.

Apesar de contar com várias espécies de peixes nativos que apresentam potencial para a atividade da piscicultura, são as espécies exóticas, introduzidas no Brasil, como a tilápia, que têm demonstrado maior viabilidade econômica graças, principalmente, ao conhecimento técnico disponível, tanto no campo da biologia quanto nas técnicas de manejo. Dentre as espécies exóticas brasileiras, a tilápia merece destaque e já responde por cerca de 38% da produção piscícola nacional. As primeiras informações sobre a tilápia, como espécie promissora para a aquicultura ocidental, surgiram no início da década de 50, com citações sobre a tilapicultura como um dos melhores negócios para piscicultores e uma nova fonte para obtenção de proteínas.

O Quadro 8 mostra a produção em toneladas da piscicultura brasileira, por espécie em 2005.

Quadro 8 . Produção (t) da piscicultura brasileira, por espécie em 2005

Espécies – Peixes	Produção (t)	Participação (%)
Aracu	92,0	0,1%
Bagre – africano	224,0	0,1%
Bagre – americano	1.684,5	0,9%
Carpa	42.490,5	23,8%
Curitamã	2.413,0	1,3%
Jundiá	577,5	0,3%
Matrinxã	1.517,5	0,8%
Pacu	9.044,0	5,1%
Piau	4.066,5	2,3%
Pirarucu	9,0	0,0%
Pirapitinga	327,5	0,2%
Piraputanga	534,0	0,3%
Pintado	1.245,5	0,7%
Tambacu	10.874,5	6,1%
Tambaqui	25.011,0	14,0%
Tambatinga	2.494,5	1,4%
Tilápia	67.850,5	38,0%
Traíra	115,0	0,1%
Truta	2.351,5	1,3%
Outros	5.824,0	3,3%
TOTAL	178.746,5	100%

Fonte: IBAMA 2005.

No Brasil, a atividade piscícola voltada para o cultivo da tilápia do Nilo vem ganhando expressivo destaque. As tilápias estão entre os peixes de maior excelência para criação, por serem animais de grande adaptabilidade de alimentação e condições ambientais diversas (BRASIL, 2000). Segundo Lovshin (1998), é uma espécie apropriada para a piscicultura de subsistência e por isso, nos países em desenvolvimento, a tilápia teve sua distribuição expandida.

No Brasil, a primeira introdução oficial da espécie aconteceu no ano de 1971 pelo DNOCS - Departamento Nacional de Obras Contra a Seca. Eram ações que visavam, fundamentalmente, a produção de alevinos para peixamentos dos reservatórios públicos da Região Nordeste. As companhias hidrelétricas de São Paulo e Minas Gerais também produziram grandes quantidades de alevinos de tilápia-do-nilo para peixamentos de seus reservatórios e para a venda e distribuição a produtores rurais. Essas iniciativas contribuíram para a rápida disseminação da espécie nessas regiões. No entanto, em virtude do baixo nível de conhecimento e de difusão das técnicas de produção, as primeiras iniciativas de produção comercial não tiveram muito êxito.

A partir da década de 90, a difusão das técnicas de produção, a elaboração de trabalhos de pesquisa, experimentos com a espécie, e o surgimento da tecnologia de

reversão sexual<sup>7</sup> permitiram que essa atividade começasse a se estruturar e se desenvolver. O estado pioneiro foi o Paraná, que imprimiu um ritmo empresarial à atividade, estruturando a produção. Começaram a surgir os primeiros frigoríficos específicos para o beneficiamento de tilápia, particularmente nos municípios de Toledo e Assis Chateaubriand. Assim, foram criadas as condições para que o Paraná fosse, em pouco tempo, o maior produtor de tilápia do País, posição que viria a perder somente em 2003 quando, segundo dados do IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis -, a produção do estado do Ceará alcançou a marca de 13.000 toneladas, superando as 12.782 toneladas produzidas naquele ano pelo estado do Paraná.

Em meados da década de 90, o cultivo de tilápias em caráter comercial passou a se disseminar rapidamente para outros estados, principalmente para Santa Catarina, São Paulo, Bahia, Ceará, Alagoas e Sergipe. Depois do Paraná, foi o estado de Santa Catarina onde a tilapicultura se estruturou mais rapidamente, alcançando uma produção de 5.200 toneladas em 2000. Em São Paulo, o grande motor do crescimento da atividade foi o surgimento de vários pesque-pagues<sup>8</sup> que acarretaram uma demanda considerável de tilápia.

Nos estados do Nordeste, o cultivo comercial começou a se desenvolver em meados de década de 90. O consumo de tilápia no Ceará foi bastante estimulado pelos peixamentos realizados pelo DNOCS, na década de 70, gerando uma grande oferta do peixe. Com a diminuição dos estoques naturais nesses açudes, essa demanda passou a ser atendida pelo peixe cultivado. Os preços atrativos recebidos pelos piscicultores levou ao rápido crescimento da atividade, produzindo 13.000 toneladas, segundo estimativas do IBAMA, em 2003, o que deu ao Ceará o posto de maior produtor do país.

Na Bahia, a tilapicultura começou a ganhar expressividade através das ações da Bahia Pesca<sup>9</sup>, em meados da década de 90, incentivando o surgimento de vários pólos produtores no estado. Mas, foi no ano de 1999 que o município de Paulo Afonso se consolidou como maior pólo produtor no estado, com sete associações de piscicultores que produziram 1.194 toneladas contra cerca de 60 toneladas no ano anterior.

---

<sup>7</sup> Processo que consiste basicamente em mudar as características sexuais de tilápias fêmeas, tornado-as aparentemente macho. Essa técnica melhora a conversão alimentar da tilápia (relação entre o volume de ração utilizada para cada Kg de peixe produzido).

<sup>8</sup> Uma modalidade de pesca que se pratica como um esporte ou hobby, sem que dela dependa a subsistência do pescador. Também se pode chamar de pesca de lazer ou pesca amadora.

<sup>9</sup> Empresa, criada em 1982, vinculada à Secretaria de Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária da Bahia - Seagri, tem como finalidade fomentar a aqüicultura e a pesca, mediante a implantação de projetos sustentáveis observando a natureza econômica, social, ambiental e cultural, como forma de contribuir para o desenvolvimento do estado da Bahia. A empresa atua na atração de investimentos, desenvolvimento científico, tecnológico, criação de pólos produtores e fortalecimento das cadeias produtivas.

Vários fatores concorreram para o destaque da tilápia na piscicultura brasileira, além da fácil adaptação às variadas condições de cultivo das diferentes regiões do país (NOGUEIRA e RODRIGUES, 2007):

- alimentam-se dos itens básicos da cadeia trófica;
- curto ciclo de engorda – cerca de seis meses;
- aceitam uma grande variedade de alimentos;
- respondem com eficiência à ingestão de proteínas de origem vegetal e animal;
- são bastante resistentes às doenças, superpovoamentos e baixos teores de oxigênio dissolvido;
- desovam durante todo o ano nas regiões mais quentes do país.

Essa espécie apresenta resistência, boa adaptabilidade às condições climáticas do Nordeste do Brasil e fácil reprodução. Assim, a tilápia do Nilo foi amplamente disseminada nas bacias hidrográficas da região, tornando-se fonte de renda para a população ribeirinha (BRASIL, 2000).

A tilápia, além disso, possui boas características organolépticas e nutricionais, tais como: carne saborosa, baixo teor de gordura (0,9 g/100 g de carne) e de calorias (172 kcal/100 g de carne), ausência de espinhas em forma de “Y” (mioceptos) e rendimento de filé de aproximadamente 33% a 37%, em exemplares com peso médio de 600 g, o que a potencializa como peixe para industrialização.

### **3.7. Capacidade de suporte em tanques-rede**

Antes de atingir a capacidade de suporte em algum momento do cultivo, o crescimento diário dos peixes atinge um valor máximo por unidade de área ou volume. Nesse momento, diz-se que a unidade de produção atingiu sua biomassa crítica (SAMPALHO et al., 1998).

A capacidade de suporte em tanque-rede é um termo utilizado para definir a máxima biomassa sustentável dentro de uma unidade de cultivo. Quando a capacidade de suporte é atingida, o ganho de peso ou de biomassa é zero, ou seja, os peixes páram de crescer. A capacidade de suporte é expressa em Kg/m<sup>3</sup> e, em geral, está relacionada de maneira inversa com o volume dos tanques-rede. Qualquer tentativa de superar este limite de biomassa sem incrementar a estratégia de cultivo pode trazer sérios riscos de perda parcial ou total da produção. Produzir a máxima quantidade de peixes em um tanque-rede não significa o máximo lucro. O ponto de máximo lucro ou biomassa econômica está bem antes da capacidade de suporte ser atingida. Isso ocorre porque quando um tanque-rede vai se

aproximando da capacidade de suporte, os índices de desempenho pioram acentuadamente, sobretudo a conversão alimentar (ONO; KUBITZA, 2003).

Desta forma, uma produção eficiente de peixes em tanques-rede não significa o peso máximo que pode ser produzido, mas sim o peso que pode ser atingido com um menor fator de conversão alimentar, num período de tempo curto e com um peso final aceito pelo mercado consumidor (COCHE, 1982). A região do sub-médio rio São Francisco é um dos maiores pólos da tilapicultura nacional em tanques-rede de pequeno e médio volume, com densidades que variam de 150 a 400 peixes/m<sup>3</sup>, resultando em valores que variam de 120 a 200 Kg/m<sup>3</sup>. Tanques-rede ou gaiolas de pequeno volume com 1 a 4 m<sup>3</sup> podem produzir de 150 a 250Kg/m<sup>3</sup>/ciclo de cultivo.

## 4. METODOLOGIA

Para atingir o objetivo de determinar os benefícios econômicos dos piscicultores da região de Xingó em função das diferentes quantidades de fósforo alocadas no reservatório por este uso, foi necessário estabelecer algumas hipóteses, determinar as características mais comuns do sistema produtivo da região e desenvolver uma metodologia baseada nos conceitos microeconômicos estudados.

### 4.1. Caracterização do sistema de produção analisado

O trabalho foi realizado na região de Xingó, onde existem várias associações que praticam a piscicultura intensiva em tanques-rede. Os dados utilizados neste estudo foram fornecidos por algumas destas associações, entre elas, a Associação de Pescadores do Povoado Salgado, situada em Delmiro Gouveia/AL; a Associação dos Pequenos Apicultores e Piscicultores de Canindé, localizada em Canindé de São Francisco/SE; a Associação de Pescadores do Povoado Pilões, em São José da Tapera/AL; e o Grupo Coletivo de Piscicultores Lameirão, que fica em Delmiro Gouveia/AL.

Como os componentes que envolvem o sistema de piscicultura intensiva em tanques-rede, - por exemplo, o tamanho do tanque, a densidade de estocagem (peixes/m<sup>3</sup>), o percentual de proteína utilizada na ração, o tipo da espécie cultivada, o peso inicial dos alevinos e o tempo de cultivo - podem ser bem diferentes até mesmo para um único produtor, foi necessário considerar um sistema de produção padrão, que tivesse as mesmas características. Assim, baseado nas observações da maior parte das associações analisadas, o estudo foi realizado para tanques-rede com 4m<sup>3</sup> de volume útil, a espécie cultivada foi a tilápia nilótica (*Oreochromis niloticus*), o peso inicial dos alevinos foi de 30 gramas, o tempo de cultivo de aproximadamente 5 meses, o percentual de proteína bruta utilizada nas rações de 32% e as densidades de estocagem de 150, 200, 250, 300 e 425 peixes/m<sup>3</sup>.

### 4.2. Apresentação do método

Para estabelecer funções de benefícios econômicos líquidos da tilapicultura para diferentes quantidades de cargas orgânicas alocadas no reservatório de Xingó, partiu-se da hipótese de que a biomassa acumulada (BA), para os diferentes níveis de densidades de estocagem estudados, pode ser estimada por uma função de produção, tendo como argumento o principal insumo utilizado, a quantidade de ração acumulada (RA) no período analisado (5 meses), uma vez que a ração é um insumo de grande peso no custo de produção da tilápia (Scorvo et al., 1996, 1999; Carneiro et al., 1999b):

$$BA = f(RA) \quad (i)$$

O lucro (L) do produtor é representado pela diferença entre a receita obtida com a venda do produto (R) e os custos de produção do sistema:

$$L = R - C$$

A receita (R) é igual ao preço de venda (P) multiplicado pela quantidade total produzida (BA):

$$R = P * BA$$

É assumido que o mercado de peixes é competitivo, uma vez que o preço (P) dos peixes independe do nível de produção dos criadores. Assim, de acordo com Varian (2003), em um mercado competitivo, cada produtor (criador) se preocupa apenas com a produção desejada, visto que, seja qual for a quantidade produzida, ele só poderá vendê-la a um preço: o preço vigente no mercado.

O Custo (C) é igual ao preço da ração (W) multiplicado pela quantidade de ração (RA), tendo em vista que esse é o único insumo considerado na função de produção:

$$C = RA * W$$

Então:

$$L = R - C$$

$$L = P * f(RA) - RA * W \quad (ii)$$

A idéia foi então, dados o preço do Kg do peixe, a função de produção  $f(RA)$  para cada densidade de estocagem (peixes/m<sup>3</sup>) e o preço da ração, maximizar a função lucro e encontrar a quantidade de ração (RA) que maximizaria o lucro para cada densidade.

Essa função será máxima no nível de ração escolhido que necessariamente anulará a primeira derivada da função lucro em relação a este nível de insumo:

$$\frac{\partial L}{\partial RA} = \frac{\partial R}{\partial RA} - \frac{\partial C}{\partial RA}$$

$$LMg = RMg - CMg$$

$$LMg = 0 \rightarrow RMg = CMg$$

Isso mostra que no ponto de lucro ótimo há o encontro das curvas de custo e receita marginais. Se RA\* for a escolha de maximização de lucros, então o preço do peixe

multiplicado pelo produto marginal<sup>10</sup> da ração deve ser igual ao preço da ração, ou seja, o valor do produto marginal da ração deve ser igual ao seu preço. Em símbolos,

$$P * PM_g(RA^*) = W$$

Se o valor do produto marginal exceder seu preço, os lucros poderão ser aumentados com o aumento da quantidade de ração. Se o valor do produto marginal for menor do que seu preço, os lucros poderão ser aumentados, com a diminuição da quantidade de ração. Assim, na escolha de ração que maximiza lucros, o valor do produto marginal deve ser igual ao preço da ração.

Com o valor obtido ( $RA^*$ ) e substituindo-o na função de produção (i) obteve-se a biomassa que maximiza o lucro, isto é, a biomassa econômica (BE):

$$BE = f(RA^*)$$

Substituindo os valores de biomassa econômica e quantidade de insumos que maximizam o lucro na função lucro (ii), mantendo-se os demais parâmetros constantes, obteve-se o lucro (benefício econômico) máximo do sistema:

$$L_{max} = P * BE - RA^* * W$$

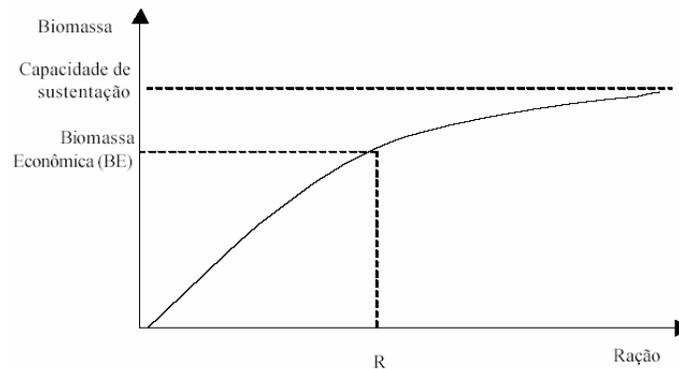
De posse do lucro máximo para cada nível de densidade de estocagem, a idéia foi então relacionar este lucro com a quantidade de carga orgânica (quantidade de fósforo) residual no reservatório proveniente desta atividade. Esta quantidade de fósforo aportada no ambiente foi determinada pela diferença entre a quantidade de fósforo lançada no reservatório através da ração e a quantidade de fósforo absorvida pelos peixes. O fósforo lançado foi calculado através de um percentual fixo da quantidade de fósforo existente em cada Kg de ração, o percentual considerado foi de 1,3%. Do mesmo modo, a quantidade de fósforo que os peixes absorveram foi determinada através de uma taxa que representa a quantidade de fósforo em cada Kg de peixe, a taxa utilizada foi de 0,34%.

Assim, para que fosse possível encontrar o lucro máximo e a quantidade de fósforo que fica no ambiente proveniente da obtenção deste lucro para as diferentes densidades de estocagem, foi preciso estimar a função de produção  $f(RA)$  para cada nível de densidade.

Segundo Sonoda (2002), a Figura 5 ilustra o crescimento hipotético de tilápias (acúmulo de biomassa no sistema) em função do consumo de ração acumulado, ou seja, a função de produção.

---

<sup>10</sup>  $PM_g = \frac{\partial f(RA)}{\partial RA}$



**Figura 5 - Curva hipotética da evolução da biomassa acumulada em função do consumo de ração.**

Para maximizar o lucro em piscicultura e entender a Figura 5, alguns conceitos econômicos e de produção são necessários, como Capacidade de Sustentação (CS), definida como a biomassa máxima que o sistema de produção suporta, e Biomassa Econômica (BE), cuja definição foi mencionada anteriormente. (Jolly & Clonts, 1993; Springborn et al., 1992).

Pela análise da Figura 5, pode-se inferir que há incrementos decrescentes de biomassa à medida que o consumo acumulado de ração aumenta. Isto implica num maior incremento nos custos de produção à medida que os peixes crescem. Segundo Varian (2003), quando se aumenta a quantidade utilizada de um insumo, no caso a ração acumulada, mantendo constante a quantidade utilizada dos outros insumos, o produto (biomassa acumulada) aumenta, mas esse aumento é cada vez menor. Neste caso dizemos que a função de produção apresenta produtividade marginal decrescente (lei do produto marginal decrescente). Considerando  $y$  a biomassa acumulada e  $x$  a ração acumulada, a função de produção pode ser representada por  $y = f(x)$ , então a sua primeira derivada é dada por:

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{\partial f(x)}{\partial x} > 0$$

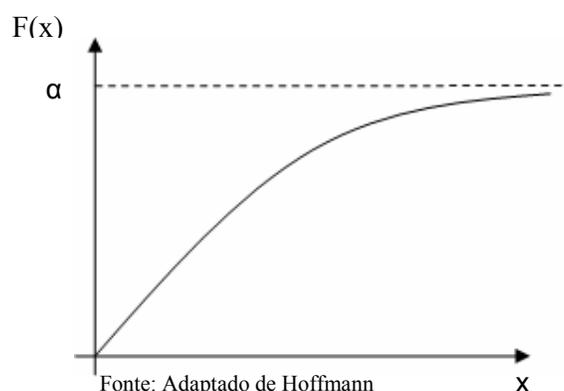
isto é, a produtividade marginal do insumo é positiva, indicando que um aumento na quantidade de ração aumenta a biomassa acumulada. Todavia, a segunda derivada é negativa:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 f(x)}{\partial x^2} < 0$$

Demonstrando que esses aumentos são cada vez menores. Matematicamente isto significa dizer que a função de produção é côncava quando se mantém a quantidade utilizada dos outros insumos constantes.

Ainda analisando a Figura 5, observa-se que ,  $\lim_{x \rightarrow \infty} y = CS$  ou seja, o limite da função de produção quando a quantidade de ração tende ao infinito é a capacidade de sustentação.

Para determinar as funções de produção  $f(RA)$ , de forma a atender as características da curva da Figura 5, utilizou-se o seguinte formato de curva (Figura 6), mencionado em Conte (2002):  $F(x) = \alpha [1 - 10^{-\gamma(x + \theta)}]$  (Função de Mitscherlich) onde,  $\alpha > 0$ ,  $|10^{-\gamma}| < 1$  e  $-\alpha 10^{-\gamma\theta} < 0$ .



**Figura 6 - Representação da Função Mitscherlich.**

A variável  $x$  representa a quantidade de ração consumida. O valor da função se aproxima assintoticamente de  $\alpha$  quando  $x$  tende para o infinito. O parâmetro  $\alpha$  corresponde a uma característica biológica da espécie, ou seja, a produção máxima que pode ser alcançada com o fornecimento de determinado insumo em abundância, que neste caso é a ração. O parâmetro  $\theta$  representa a quantidade do insumo disponível no ambiente. E, o parâmetro  $\gamma$  é denominado coeficiente de eficácia e está relacionado com a intensidade do efeito da unidade de insumo no desenvolvimento da espécie.

Conhecida uma estimativa preliminar de  $\alpha$ , as estimativas de  $\gamma$  e  $\theta$  foram obtidas através da solução de um problema de otimização, no qual minimizou-se uma função objetivo que era a diferença elevada ao quadrado entre a produção da função estimada e a produção dos dados de campo obtidas para as respectivas quantidades de insumo. Dessa forma, pôde-se estimar as funções de produção em função da quantidade de ração para as diferentes densidades de estocagem que diferiram pelos valores dos parâmetros da função de Mitscherlich, o parâmetro exógeno  $\alpha$  e os endógenos  $\gamma$  e  $\theta$ .

No presente estudo, devido a escassez de dados e uma maior importância dada à metodologia, não houve uma preocupação maior com a questão econométrica. Conte (2002) realizou um teste estatístico para medir uma possível diferença entre a biomassa acumulada em função da ração acumulada entre as densidades de estocagens de 500 a 600 peixes/m<sup>3</sup> e de 300 a 400 peixes/m<sup>3</sup> na região Sudoeste do Estado de São Paulo, mediante o uso de uma variável Dummy. De acordo com a autora, o teste indicou que o parâmetro estimado desta variável é estatisticamente diferente de zero, e, portanto, a biomassa acumulada nas duas densidades de estocagem pode ser considerada diferente, sendo que a densidade de 500 a 600 peixes/m<sup>3</sup> apresentou maior biomassa acumulada em função da ração acumulada que a densidade de 300 a 400 peixes/m<sup>3</sup>.

## 5. DETERMINAÇÃO DOS BENEFÍCIOS ECONÔMICOS PARA DIFERENTES QUANTIDADES DE CARGAS ORGÂNICAS ALOCADAS NO AMBIENTE

### 5.1. Determinação das curvas de produção

Para atingir os objetivos do presente trabalho, eram necessárias funções de produção para cada um dos níveis de densidade de estocagem estudados. Para essas estimações foram considerados os dados dos tanques com densidades de 150, 200, 250, 300 e 425 peixes/m<sup>3</sup> fornecidos pelos criadores de tilápia da região. Os dados utilizados para essa estimativa dos parâmetros se referiram à quantidade total de ração (Kg/m<sup>3</sup>) ofertada durante todo o ciclo produtivo (5 meses) e a respectiva biomassa acumulada (Kg/m<sup>3</sup>) obtida ao final do mesmo ciclo.

Com os dados de ração acumulada e biomassa acumulada para as diferentes densidades determinados pelas informações e dados fornecidos pelos produtores e considerando o valor do parâmetro  $\alpha^{11}$ , Tabela 1, , obteve-se, com o desenvolvimento de um código fonte<sup>12</sup> desenvolvido para o software GAMS(General Algebraic Modeling System), a solução do problema de minimização dos erros ao quadrado proposto, cujo resultado se constituiu nos valores de parâmetros  $\gamma$  e  $\theta$  das respectivas curvas de produção, conforme Tabela 2.

Tabela 1. Dados considerados para o parâmetro  $\alpha$  para cada densidade.

Densidade de estocagem (peixes/m <sup>3</sup> )	Valor do parâmetro $\alpha$ (Kg/m <sup>3</sup> )
150	165
200	200
250	225
300	240
425	255

Fonte: Elaborada pelo próprio autor com dados fornecidos pelas associações de criadores.

Tabela 2. Funções de Produção (Kg/m<sup>3</sup>).

Densidade de estocagem (peixes/m <sup>3</sup> )	Função de Produção (Kg/m <sup>3</sup> )
150	$165 \cdot (1 - 10^{(-0,00295544 \cdot (RA) - 0)})$
200	$200 \cdot (1 - 10^{(-0,00254922 \cdot (RA) - 0)})$
250	$225 \cdot (1 - 10^{(-0,00237721 \cdot (RA) - 0)})$
300	$240 \cdot (1 - 10^{(-0,00231137 \cdot (RA) - 0)})$
425	$255 \cdot (1 - 10^{(-0,00218694 \cdot (RA) - 0)})$

<sup>11</sup> Valor que corresponde a máxima biomassa acumulada para cada densidade.

<sup>12</sup> Apêndice A.

Com relação ao parâmetro exógeno  $\alpha$  (Tabela 1), observa-se que, como era de se esperar, quanto maior a densidade de estocagem maior o valor desse parâmetro. Essa informação foi obtida com os próprios produtores que informaram o tamanho máximo que o peixe poderia alcançar em tanques de 4 m<sup>3</sup>, utilizando rações com 32% de proteína bruta, começando com 30 gramas em 5 meses de cultivo para cada densidade. Esse tamanho foi diminuindo com o aumento da quantidade de peixes/m<sup>3</sup>, indo de 1100 gramas para a densidade de 150 peixes/m<sup>3</sup> a 600g para a densidade de 425 peixes/m<sup>3</sup>, o que está de acordo com a teoria que diz que à medida que se aumenta o número de peixes por m<sup>3</sup>, a taxa de crescimento individual dos peixes decresce, porém a biomassa total obtida é maior.

Dessa forma, a estimativa do parâmetro  $\alpha$ , assumindo 100% de sobrevivência, foi feita multiplicando-se o tamanho máximo do peixe pela quantidade de peixes por metro cúbico. Essa estimativa também está de acordo com a teoria, segundo Kubitza (2000), de que no cultivo de tilápias em tanques-rede, a produção por ciclo pode variar de 30 a 300 kg/m<sup>3</sup>, e tanques-rede ou gaiolas de pequeno volume com 1 a 4 m<sup>3</sup> podem produzir de 150 a 250 Kg/m<sup>3</sup>/ciclo.

Em relação aos parâmetros endógenos ( $\gamma$  e  $\theta$ ) estimados no processo de otimização, verifica-se que para todos os níveis de densidade de estocagem a estimativa do parâmetro  $\theta$  foi zero. A explicação matemática é que os pontos que relacionam a quantidade de ração consumida (RA) e a biomassa obtida (BA) utilizados para a solução do problema de otimização apresentam quantidades de RA muito distantes do valor zero e como o  $\theta$  procura representar a quantidade do insumo disponível no ambiente, ele procura captar os efeitos somente dos insumos do ambiente na produção, ou seja, quando a quantidade de ração ofertada é zero. Como não foram utilizados pontos com pequenas quantidades de RA para que fosse possível captar os efeitos do ambiente na produção o parâmetro  $\theta$  foi estimado como zero.

A estimativa encontrada não contradiz a teoria, muito pelo contrário, já que segundo Tacon (1987), à medida que aumenta a taxa de estocagem cai a disponibilidade de alimento natural e cresce a necessidade de se acrescentar alimentação complementar ou rações balanceadas. Desta forma, em um cultivo intensivo ou superintensivo com alta taxa de estocagem, têm-se uma contribuição mínima de alimento natural e o uso absoluto de rações balanceadas. Ou seja, o valor do  $\theta$  é aproximadamente zero. Já com relação ao outro parâmetro endógeno, o  $\gamma$ , obteve-se valores diferentes para cada densidade.

A Figura 7 apresenta as funções de produção em um único gráfico para melhor compará-las.

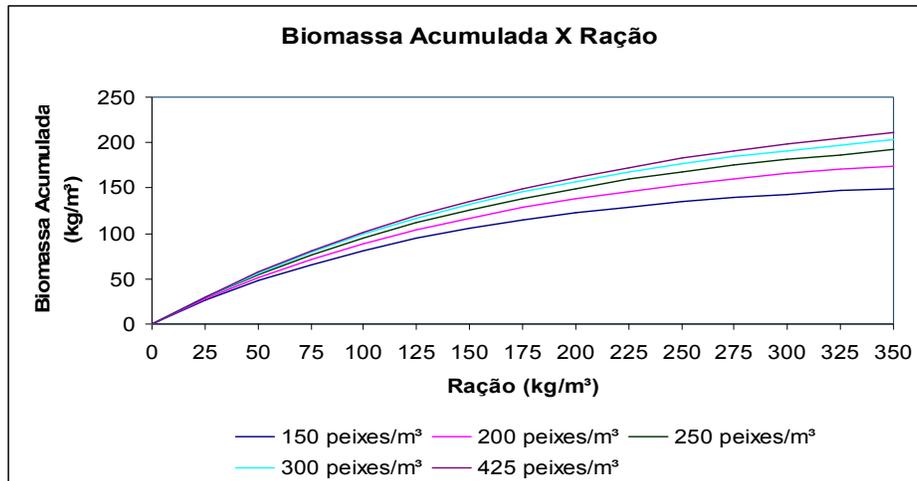


Figura 7 - Curva de Biomassa acumulada (BA) em função da quantidade de ração consumida (RA) durante o ciclo de produção, para as diferentes densidades.

Observa-se que para maiores densidades, a biomassa acumulada (BA) em função da ração acumulada é maior. Isto significa que, para dadas quantidades de RA a biomassa acumulada será maior quando se tem maiores densidades. Dessa forma, verifica-se uma relação direta entre o aumento da densidade de estocagem e o incremento da biomassa total. Resultado semelhante foi encontrado por Conte (2002).

## 5.2. Determinação da biomassa econômica por densidade de estocagem

A partir da função de produção de biomassa em função da ração foi possível encontrar a biomassa econômica do sistema. Para cada densidade, foi determinada a biomassa econômica através da maximização da função lucro de cada densidade, apresentadas na Tabela 3. Foram considerados os preços da ração e dos peixes adultos vigentes no mercado em fevereiro de 2009, de R\$ 1,16/Kg e R\$ 4,00/Kg, respectivamente. A maximização da função foi feita com a utilização do código fonte<sup>13</sup> através do software GAMS.

Tabela 3. Funções Lucro (R\$/m³).

Densidade de estocagem (peixes/m³)	Função Lucro (R\$/m³)
150	$4 \cdot (165 \cdot (1 - 10^{-0,00295544 \cdot (RA)})) - 1,16 \cdot (RA)$
200	$4 \cdot (200 \cdot (1 - 10^{-0,00254922 \cdot (RA)})) - 1,16 \cdot (RA)$
250	$4 \cdot (225 \cdot (1 - 10^{-0,00237721 \cdot (RA)})) - 1,16 \cdot (RA)$
300	$4 \cdot (240 \cdot (1 - 10^{-0,00231137 \cdot (RA)})) - 1,16 \cdot (RA)$
425	$4 \cdot (255 \cdot (1 - 10^{-0,00218694 \cdot (RA)})) - 1,16 \cdot (RA)$

<sup>13</sup> Apêndice B.

A Figura 8 apresenta em um único gráfico as funções lucro de cada uma das diferentes densidades.

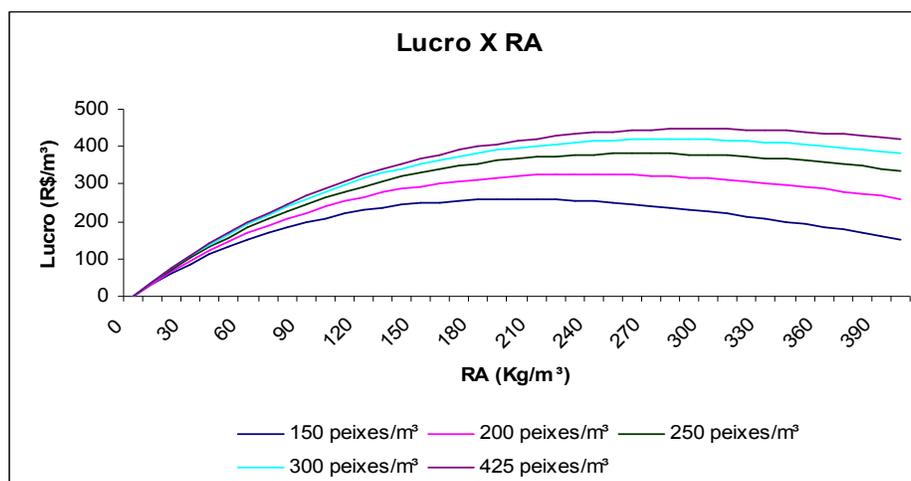


Figura 8 - Funções lucro em função da ração acumulada (RA) para as diferentes densidades.

A Tabela 4 mostra o resultado da maximização, ou seja, o lucro máximo que pode ser obtido para cada densidade de estocagem juntamente com as quantidades de ração, produção e tamanho médio estimado dos peixes determinados pela obtenção desse lucro.

Tabela 4. Lucro máximo obtido para cada densidade de estocagem.

Densidade de estocagem (peixes/m³)	Quantidade de ração ótima* (Kg/m³)	Biomassa econômica** (Kg/m³)	Tamanho médio dos peixes*** (g)	Lucro máximo**** (R\$/m³)
150	198,9294	122,3852	815,9	258,78
200	238,2121	150,5945	752,97	326,05
250	264,203	172,0194	688,08	381,60
300	278,5787	185,5105	618,37	418,89
425	295,479	197,4102	464,49	446,88

Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

(\*) Determinada através da maximização da função lucro e representa a quantidade de ração que faz com que o lucro seja máximo;

(\*\*) Encontrada através da função de produção com a utilização da quantidade de ração ótima;

(\*\*\*) Calculado pela divisão da biomassa econômica pela quantidade total de peixes, assumindo 100% de sobrevivência;

(\*\*\*\*) Determinado através das funções lucro utilizando a quantidade de ração ótima.

Analisando os valores da tabela 4 pode-se perceber que quanto maior a densidade de estocagem utilizada maior a quantidade de ração ótima que tem que ser fornecida durante o cultivo, maior a biomassa econômica e maior o lucro obtido. Além disso, verifica-se também que quanto maior a densidade menor o tamanho dos peixes ao final do cultivo.

### 5.3. Determinação da quantidade de fósforo aportada ao ambiente

De posse das quantidades de ração e produção que proporcionam a maximização do lucro para os diferentes níveis de densidade, pôde-se estimar a quantidade de fósforo que

ficaria no ambiente e, portanto, o impacto ambiental resultante da obtenção destes lucros. Considerando que a quantidade de fósforo existente no Kg da ração é de 1,3% e que para cada Kg de peixe produzido este absorve 0,34% de fósforo (Schmittou, 1997), foi determinada a quantidade de fósforo residual no ambiente.

As quantidades de fósforo residuais no ambiente para cada uma das densidades, quando se opera no ponto de maximização do lucro podem ser vistas na Tabela 5.

Tabela 5. Quantidades de fósforo residuais no ambiente para cada densidade.

Densidade de estocagem (peixes/m <sup>3</sup> )	Fósforo lançado no ambiente (kg/m <sup>3</sup> )	Fósforo absorvido pelos peixes (kg/m <sup>3</sup> )	Fósforo remanescente no ambiente (Kg/m <sup>3</sup> )
150	2,586082	0,41611	2,169972
200	3,096757	0,512021	2,584796
250	3,434639	0,584866	2,849773
300	3,621523	0,630736	2,990787
425	3,841227	0,671195	3,170032

As quantidades de fósforo lançadas no ambiente foram calculadas multiplicando a quantidade de ração ótima lançada no ambiente por 1,3%. Já o fósforo absorvido pelos peixes foi determinado multiplicando a biomassa econômica por 0,34%. Assim, a quantidade de fósforo que permaneceu no rio foi calculada pela diferença entre a quantidade de fósforo lançada e a quantidade absorvida pelos peixes.

#### 5.4. Relação entre o lucro e quantidade de fósforo aportada ao ambiente

Com as informações contidas na Tabela 5 pôde-se relacionar a quantidade de fósforo que fica no ambiente com o benefício econômico obtido pelos produtores, considerando que estes estão maximizando o lucro, para diferentes densidades de estocagem como mostra a Tabela 6.

Tabela 6. Lucro X Quantidades de fósforo residuais no ambiente para cada densidade.

Densidade de estocagem (peixes/m <sup>3</sup> )	Lucro máximo (R\$/m <sup>3</sup> )	Quantidade de fósforo no ambiente (Kg/m <sup>3</sup> )
150	258,78	2,169972
200	326,05	2,584796
250	381,60	2,849773
300	418,89	2,990787
425	446,88	3,170032

Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

Assim, se o produtor estiver utilizando uma densidade de, por exemplo, 200 peixes/m<sup>3</sup> e, conforme é esperado<sup>14</sup>, esteja maximizando seu lucro pode-se concluir que ele está obtendo um lucro de R\$ 326,05/m<sup>3</sup> e o impacto que ele está causando no meio ambiente é equivalente a quantidade de 2,584796 Kg de fósforo/m<sup>3</sup> que está permanecendo no reservatório.

Ainda analisando os valores da Tabela 6, pode-se perceber que quanto maior a densidade, maior o lucro que pode ser alcançado pelo produtor e maior o nível de poluição gerado. Dessa forma, nota-se que a obtenção de maiores lucros provoca maiores impactos ambientais.

### **5.5. Simulação de cenários**

Para atingir o objetivo do trabalho de estimar funções que determinem o benefício econômico do uso em função da quantidade de fósforo residual no ambiente, foi necessário a criação de cenários que simulassem as condições de mercado para descobrir em que níveis de densidade os produtores cultivam os peixes, visto que, as funções estimadas dependem da densidade utilizada.

Como para maiores densidades se conseguem lucros maiores é de se esperar que sempre os produtores optassem pela maior densidade, no caso 425 peixes/m<sup>3</sup>, e conseqüentemente, se teria uma quantidade de fósforo aportada no ambiente de 3,170032 kg/m<sup>3</sup>. No entanto, na prática, existem duas variáveis importantes que influenciam na determinação dos níveis de densidade que serão escolhidos. Essas variáveis são os recursos disponíveis pelos produtores e o tamanho mínimo do peixe exigido pelo mercado. Dependendo da quantidade de recursos que o produtor possui, ele pode estar limitado à escolha de densidades menores, uma vez que para maiores densidades seu custo de produção será maior. A exigência do mercado por um tamanho mínimo do peixe também faz com que os produtores tenham que optar por densidades menores, visto que quanto maior a densidade menor o tamanho médio final dos peixes.

#### **5.5.1 Cenário 1**

Considerou-se, nesse primeiro cenário, que os produtores possuíam uma quantidade de recursos suficientes para cultivar os peixes em qualquer densidade e o mercado aceitava peixes de qualquer tamanho. Sendo assim, a densidade escolhida foi a de 425 peixes/m<sup>3</sup>, uma vez que esta proporciona o maior lucro para quaisquer quantidades de fósforo aportadas no ambiente. Dessa forma, o lucro obtido com diferentes quantidades de fósforo aportadas no ambiente, foi estimado considerando a densidade de cultivo de 425 peixes/m<sup>3</sup>.

---

<sup>14</sup> Espera-se comportamento racional do produtor, segundo Varian (2003).

A Tabela 7 mostra os maiores benefícios econômicos (pois estão na curva de lucros mais alta da Figura 8) que podem ser obtidos para diferentes cargas orgânicas aportadas no meio ambiente, considerando que o mercado aceita qualquer tamanho de peixe.

Tabela 7. Benefícios Econômicos obtidos para diferentes quantidades de fósforo aportadas ao ambiente no cenário de recursos não limitados e o mercado aceitando qualquer tamanho de peixe.

Quantidade de fósforo residual no ambiente* (Kg/m <sup>3</sup> )	Quantidade de ração utilizada (Kg/m <sup>3</sup> )	Biomassa acumulada** (Kg/m <sup>3</sup> )	Tamanho do peixe*** (g)	Lucro**** (R\$/m <sup>3</sup> )
2,169972	210,5082	166,6572	392,13	422,4391
2,584736	246,2155	181,1957	426,34	439,1728
2,849773	268,6664	189,0852	444,90	444,6878
2,990787	280,5118	192,902	453,88	446,2143
3,170032	295,479	197,4102	464,49	446,8853

(\*) valores obtidos a partir dos percentuais de fósforo de 1,3 % por Kg da ração e 0,34 % por Kg da biomassa;

(\*\*) valores obtidos a partir da coluna anterior usando a função de produção da densidade de 425 peixes/m<sup>3</sup>;

(\*\*\*) valores obtidos a partir dos dados da coluna anterior divididos pela densidade (425);

(\*\*\*\*) valores encontrados a partir da função lucro da densidade de 425 peixes/m<sup>3</sup> usando os dados da coluna de ração.

Comparando a Tabela 7 com a Tabela 6, percebe-se que optando por essa densidade o produtor obtém maiores lucros para os mesmos níveis de fósforo aportados ao ambiente. Por exemplo, para uma quantidade de fósforo igual a 2,169972 Kg/m<sup>3</sup> se ele optar pela densidade de 425 ao invés de 150 peixes/m<sup>3</sup> ele obterá lucro de R\$ 422,4391/m<sup>3</sup> ao invés de R\$ 258,78/m<sup>3</sup>.

A Figura 9 apresenta um gráfico da curva de lucro em função da quantidade aportada de fósforo ao ambiente. Através desse conjunto de pontos procurou-se uma forma funcional que os representasse. Para isso utilizou-se um código fonte, que está no Apêndice C, e o software GAMS, minimizando os erros ao quadrado para determinar os parâmetros da função que os pontos sugeriam.

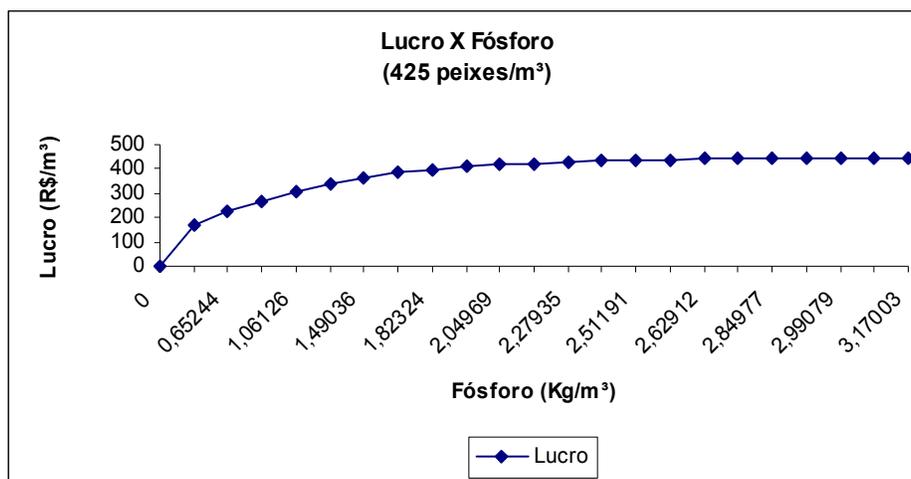


Figura 9 - Lucro obtido para diferentes quantidades de fósforo aportadas ao ambiente.

A equação encontrada foi:

$$L(P) = 147,4221 * \ln(P) + 310,6048 \quad (1)$$

Onde:

L = Lucro (R\$/m<sup>3</sup>)

P = quantidade de fósforo aportada (Kg/m<sup>3</sup>)

Com os dados da Tabela 7 e essa função estimada, pode-se determinar quais seriam os custos para os produtores, caso a autoridade responsável resolvesse impor limites às quantidades máximas de fósforo aportadas pela piscicultura no reservatório. Este seria um custo social imputado a este usuário. Por exemplo, uma imposição de que a quantidade máxima de fósforo permitida fosse de 2,584736 Kg/m<sup>3</sup> faria com que os produtores não pudessem mais operar no lucro máximo da densidade de 425 peixes/m<sup>3</sup>, obtendo assim ganhos menores. Sendo assim, pode-se estimar o custo dessa imposição para o produtor como a redução do seu lucro, ou seja, a diferença entre o que ele ganharia sem a intervenção da autoridade e o que ele passaria a ganhar com essa imposição. Por exemplo, se o limite fosse de 2,584736 Kg de fósforo/m<sup>3</sup> o custo para o produtor seria de R\$ 7,71/m<sup>3</sup>, que é a diferença entre os lucros como pode ser visto na Tabela 7.

A Tabela 8 resume os lucros obtidos pelos produtores e conseqüentes custos sofridos em função dos limites impostos à quantidade de fósforo que pode ser alocada no ambiente.

Tabela 8. Relação entre o limite de fósforo permitido, o lucro obtido e o custo para o produtor em função da imposição desse limite.

Limite de fósforo (Kg/m <sup>3</sup> )	Fósforo aportado (kg/m <sup>3</sup> )	Lucro (R\$/m <sup>3</sup> )	Custo (R\$/m <sup>3</sup> )
Sem limite	3,170032	446,8853	-
] 0 ; 3,170032 [	Limite estabelecido	147,4221*ln(P) + 310,6048	446,8853 – (x*)

(\*) x = 147,4221 \* ln(limite) + 310,6048

Com a equação 1, pode-se estimar o custo para o produtor de qualquer limite imposto à quantidade de fósforo aportada ao ambiente, bastando encontrar o lucro que pode ser obtido alocando a quantidade de fósforo igual ao limite e diminuir de R\$ 446,8853. Esta função pode ser utilizada num modelo econômico-hidrológico integrado de alocação de cargas orgânicas entre os usos, para se maximizar o benefício social, que seria o de todos os usuários. Assim, poderia-se pensar de forma integrada e evitar que os custos sociais sejam impostos de forma não equânime entre os diversos usuários. Deve-se lembrar que esta função só poderia ser usada, no caso em que o mercado aceitasse qualquer tamanho de peixe e os recursos fossem suficientes.

### 5.5.2 Cenário 2

No segundo cenário, considerou-se que os produtores possuíam recursos suficientes para cultivar os peixes em qualquer densidade, mas que o mercado exigia peixes de no mínimo 800 gramas.

Pela Tabela 4, pode-se verificar que nos pontos de maximização do lucro a única densidade que ao final do cultivo apresenta peixes maiores do que 800 gramas é a de 150 peixes/m<sup>3</sup>. Contudo, não se pode rejeitar as outras densidades, já que com elas se pode produzir peixes com 800 gramas, considerando o sistema de produção padrão estabelecido. Para isso teria que ser utilizada uma quantidade maior de ração do que a quantidade ótima, o que diminuiria o seu lucro, mas talvez esse lucro ainda fosse maior do que o obtido pela densidade de 150 peixes/m<sup>3</sup>.

Sendo assim, foi resolvido novamente o problema de maximização do lucro acrescentando uma restrição de tamanho mínimo do peixe, cujos resultados estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9. Lucro máximo e fósforo alocado para cada densidade de estocagem considerando a restrição de tamanho mínimo do peixe igual a 800 gramas.

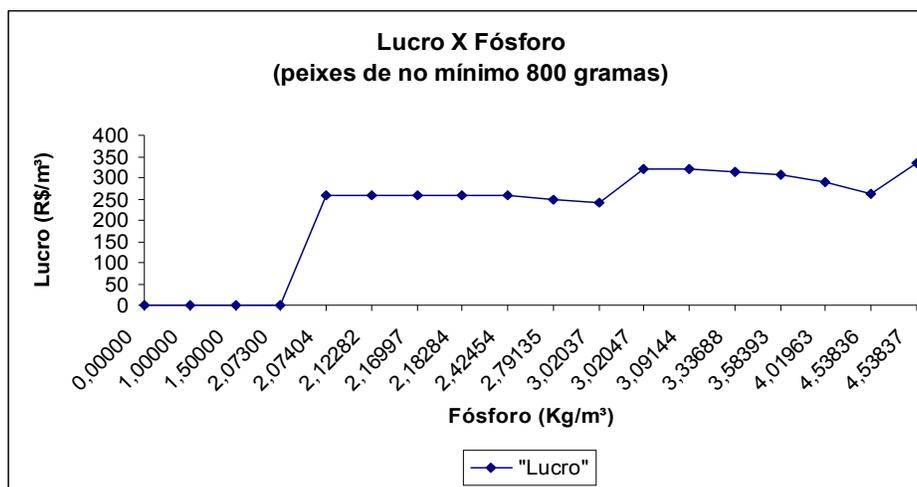
Densidade de estocagem (peixes/m <sup>3</sup> )	Tamanho do peixe (g)	Quantidade de ração utilizada (Kg/m <sup>3</sup> )	Biomassa acumulada (Kg/m <sup>3</sup> )	Lucro (R\$/m <sup>3</sup> )	Quantidade de fósforo aportada ao ambiente (Kg/m <sup>3</sup> )
150	815,90	198,9294	122,3852	258,78	2,169972
200	800	274,1898	160	321,94	3,020467
250	800	401,4128	200	334,36	4,538366

Analisando a Tabela 9 e comparando-a com a Tabela 4 pode-se perceber que a restrição foi inativa para a densidade de 150 peixes/m<sup>3</sup>, o lucro e a quantidade de fósforo aportada se mantêm em R\$ 258,78/m<sup>3</sup> e 2,169972 Kg/m<sup>3</sup>. Já para as densidades de 200 e 250 peixes/m<sup>3</sup> a restrição foi ativa, reduzindo o lucro e aumentando a quantidade de fósforo aportada. Para as densidade de 300 e 425 peixes/m<sup>3</sup> não foi possível alcançar esse tamanho de peixe, diante das considerações feitas na seção 4.1.

De posse dos dados da Tabela 9, verifica-se que para uma quantidade de fósforo aportada ao ambiente de 4,538366 Kg/m<sup>3</sup>, o maior lucro que pode ser obtido pelo produtor é R\$ 334,36/m<sup>3</sup> se ele escolher uma densidade de 250 peixes/m<sup>3</sup> e fornecer uma quantidade de ração igual a 401,4128 Kg/m<sup>3</sup>. Para qualquer quantidade de fósforo abaixo desse valor e maior ou igual a 3,020467 Kg/m<sup>3</sup> o produtor optará pela densidade de 200 peixes/m<sup>3</sup>, já que para essas quantidades de fósforo ele não conseguiria obter peixes de no mínimo 800

gramas para a densidade de 250 peixes/m<sup>3</sup>. Pelos mesmos motivos, para níveis de fósforo alocado menores do que 3,020467 Kg/m<sup>3</sup>, o produtor optará pela densidade de 150 peixes/m<sup>3</sup>.

Assim, pôde-se estimar o maior lucro que poderia ser obtido para as quantidades permitidas de fósforo aportadas, dada a hipótese de que o mercado somente demanda peixes de, no mínimo, 800 gramas.



**Figura 10 - Lucro obtido para diferentes quantidades de fósforo alocada, considerando peixes de no mínimo 800 gramas e diferentes densidades.**

Pela Figura 10, observa-se que se for permitido ao produtor aportar qualquer quantidade de fósforo no ambiente, ele aportará 4,538366 Kg de fósforo/m<sup>3</sup> e terá um lucro de R\$ 334,36/m<sup>3</sup>. Se existir um limite da quantidade de fósforo que pode ser aportada e esse for menor do que 4,538366 Kg/m<sup>3</sup> e maior ou igual a 3,020467 Kg/m<sup>3</sup>, pode-se concluir que o produtor alocará no ambiente 3,020467 Kg de fósforo/m<sup>3</sup> e terá um lucro de R\$ 321,94/m<sup>3</sup>, uma vez que, para qualquer outra quantidade de fósforo entre 3,020467 e o limite estabelecido o lucro obtido pelo produtor é menor. Se o limite imposto for entre 2,07404 e 3,020467 Kg de fósforo/m<sup>3</sup>, o produtor estará aportando 2,169972 Kg/m<sup>3</sup> e obtendo R\$ 258,78/m<sup>3</sup>. Para quantidades de fósforo aportadas entre 2,07404 e 2,169972 Kg/m<sup>3</sup>, o lucro obtido pelo produtor não varia quase nada, se mantendo nos R\$ 258,00/m<sup>3</sup>. Caso o limite imposto seja menor de que 2,07404 Kg/m<sup>3</sup>, o lucro obtido pelos produtores será zero, já que para essas quantidades de fósforo alocadas o produtor não conseguirá atingir peixes de 800 gramas.

A Tabela 10 resume os lucros obtidos pelos produtores e conseqüentes custos sofridos, em função dos limites impostos à quantidade de fósforo que pode ser alocada no ambiente. Para limites de fósforo entre 2,169972 e 2,074043 Kg/m<sup>3</sup> o lucro praticamente não

se altera, permanecendo em R\$ 258,78/m<sup>3</sup>, enquanto a quantidade de fósforo aportada será igual ao limite estabelecido.

Tabela 10. Relação entre o limite de fósforo permitido, o lucro obtido e o custo para o produtor em função da imposição desse limite.

Limite de fósforo (Kg/m <sup>3</sup> )	Quantidade de ração utilizada (Kg/m <sup>3</sup> )	Biomassa acumulada (Kg/m <sup>3</sup> )	Tamanho do peixe (g)	Fósforo alocado (kg/m <sup>3</sup> )	Lucro (R\$/m <sup>3</sup> )	Custo (R\$/m <sup>3</sup> )
Sem limite	401,4128	200	800	4,538366	334,36	-
[3,020467;4,538366]	274,1898	160	800	3,020467	321,94	12,42
[2,169972;3,020467[	198,9294	122,3852	815,9	2,169972	258,78	75,58
]0;2,074043[	0	0	0	0	0	334,36

### 5.5.3 Cenário 3

Até o momento, foram considerados cenários em que, ou o mercado somente aceitava peixes grandes, ou aceitava peixes de qualquer tamanho, o que levava os criadores a utilizarem densidades maiores, resultando na produção de peixes pequenos. O cenário que melhor representa o mercado da região é aquele em que se aceita tanto peixes grandes como pequenos, desde que estes possuam preços diferentes. Sendo assim, no cenário 3 foi considerado um tamanho mínimo do peixe de 400g e o preço dos peixes menores do que 800 gramas sendo R\$ 3,00/Kg, enquanto que para os maiores, de R\$ 4,00/Kg.

A Tabela 11 apresenta o resultado da maximização do lucro dos produtores quando se tem o preço do peixe igual a R\$ 3,00/Kg.

Tabela 11. Lucro máximo para cada densidade de estocagem considerando R\$ 3,00/Kg do peixe.

Densidade de estocagem (peixes/m <sup>3</sup> )	Tamanho do peixe (g)	Quantidade de ração utilizada (Kg/m <sup>3</sup> )	Biomassa acumulada (Kg/m <sup>3</sup> )	Lucro (R\$/m <sup>3</sup> )	Quantidade de fósforo aportada ao ambiente (Kg/m <sup>3</sup> )
150	721,2	156,655	108,18	142,82	1,668705
200	670,63	189,201	134,126	182,9	2,003591
250	617,44	211,647	154,359	217,57	2,226587
300	557,82	224,524	167,347	241,59	2,342617
425	419,33	238,349	178,213	258,15	2,492617

Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

Comparando a Tabela 11 com a Tabela 9, pode-se concluir que se não existir limites à quantidade de fósforo aportada no ambiente, o melhor para o produtor seria produzir peixes de 800 gramas cultivando com a densidade de 250 peixes/m<sup>3</sup>, dessa maneira ele

obteria o maior lucro possível que é de R\$ 334,16/m<sup>3</sup> e alocaria no ambiente 4,538366 Kg de fósforo/m<sup>3</sup>.

Caso houvesse um limite de fósforo menor do que 4,538366 Kg/m<sup>3</sup>, não compensaria para o produtor manter a densidade de 250 peixes/m<sup>3</sup>, visto que, com uma quantidade de fósforo menor do que 4,538366 Kg/m<sup>3</sup>, ele não conseguiria obter peixes de 800 gramas e, conseqüentemente, o maior lucro que ele poderia obter seria de R\$ 217,57/m<sup>3</sup>, caso optasse por manter a densidade de 250 peixes/m<sup>3</sup> (ver Tabela 11), dado que os peixes menores de 800 gramas valem R\$3,00 o Kg. Assim, para um limite de fósforo entre 3,020467 e 4,538366 Kg/m<sup>3</sup>, o melhor para o produtor seria continuar produzindo peixes de 800 gramas utilizando a densidade de 200 peixes/m<sup>3</sup>, o que proporcionaria a ele um lucro de R\$ 321,94/m<sup>3</sup> e provocaria um aporte de fósforo de 3,020467 Kg/m<sup>3</sup>.

Se o limite for menor do que 3,020467 e maior do que 2,169972 Kg de fósforo/m<sup>3</sup>, o produtor não conseguirá produzir peixes de 800 gramas com a densidade de 200 peixes/m<sup>3</sup>. Pode-se verificar pelas Tabelas 9 e 11, que o melhor para o produtor seria então continuar produzindo peixes de 800 gramas, agora, utilizando uma densidade de 150 ao invés de produzir peixes menores com uma densidade de 425 peixes/m<sup>3</sup>, e assim obterá lucros de R\$ 258,78/m<sup>3</sup> ao invés de R\$ 258,15/m<sup>3</sup> e alocará no ambiente 2,169972 Kg de fósforo/m<sup>3</sup> em vez de 2,492617 Kg/m<sup>3</sup>.

Para imposições entre 2,074043 e 2,169972 Kg de fósforo/m<sup>3</sup>, o produtor continuará produzindo peixes maiores do que 800 gramas, utilizando a densidade de 150 peixes/m<sup>3</sup> e obtendo lucros de aproximadamente R\$ 258,00/m<sup>3</sup> e alocando no ambiente o limite máximo permitido.

Até o momento, a análise feita para o cenário 3 foi praticamente a mesma do cenário 2. A diferença foi que no cenário 2 quando o limite permitido de fósforo não possibilitava que os produtores produzissem peixes de 800 gramas, esses não tinham escolha, tinham que trabalhar com uma densidade menor para manter os peixes com esse tamanho já que o mercado não demandaria peixes menores. Nesse cenário, entretanto, existe a possibilidade do produtor continuar com a mesma densidade produzindo peixes menores, pois estes serão demandados pelo mercado, sendo que por preços também menores. Apesar dessa possibilidade, os dados apresentados mostram que o melhor para ele seria diminuir a densidade e continuar produzindo peixes de 800 gramas, porque assim obteria lucros maiores.

Para limites menores do que 2,074043 Kg de fósforo/m<sup>3</sup>, o produtor não consegue mais produzir peixes de 800 gramas. A ideia seria então que ele optasse por cultivar os peixes com a densidade de 425 peixes/m<sup>3</sup>, uma vez que, com essa densidade ele obteria os

maiores lucros para os limites estabelecidos. O problema é que para níveis de fósforo menores do que 2,074043, essa densidade não consegue produzir peixes de 400 gramas. Com o limite de 2,074043 Kg de fósforo/m<sup>3</sup>, o maior tamanho do peixe obtido com a densidade de 425 peixes/m<sup>3</sup> é 383,18 gramas, tamanho esse que não é demandado pelo mercado. Sendo assim, o produtor cultivará os peixes com a densidade de 300 peixes/m<sup>3</sup>, visto que essa densidade proporciona o maior lucro e atende às exigências do mercado.

A Tabela 12 apresenta os lucros obtidos pelo produtor em função da quantidade de fósforo aportada ao ambiente para a densidade de 300 peixes/m<sup>3</sup>.

Tabela 12. Relação entre lucro e quantidades de fósforo alocadas para a densidade de estocagem de 300 peixes/m<sup>3</sup>.

Quantidade de fósforo alocada no ambiente (Kg/m <sup>3</sup> )	Tamanho do peixe (g)	Quantidade de ração utilizada (Kg/m <sup>3</sup> )	Biomassa acumulada (Kg/m <sup>3</sup> )	Lucro (R\$/m <sup>3</sup> )
1,285117	400	130,24	120	208,92
1,336791	410	135	123,003	212,41
1,391345	420,25	140	126,07	215,82
1,501269	439,93	150	131,979	221,94
1,612234	458,59	160	137,578	227,13
1,724185	476,29	170	142,886	231,46
1,837072	493,06	180	147,92	234,96
1,950845	508,97	190	152,693	237,68
2,074042	525,15	200,7460	157,546	239,77

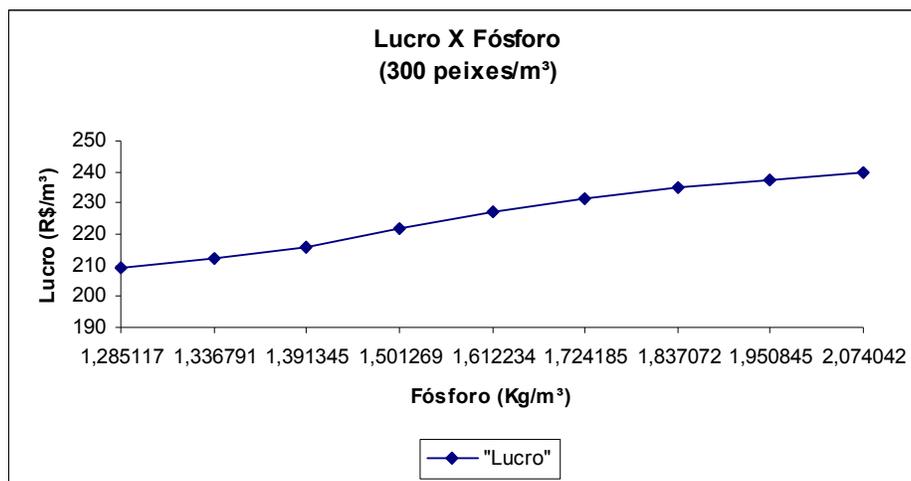


Figura 11 - Relação entre lucro e quantidades de fósforo alocadas para a densidade de estocagem de 300 peixes/m<sup>3</sup>.

A Figura 11 apresenta o gráfico da curva de lucro em função da quantidade aportada de fósforo ao ambiente, para valores de fósforo entre 2,074044 Kg/m<sup>3</sup> e 1,285117 Kg/m<sup>3</sup>.

Através desse conjunto de pontos foi estimada a forma analítica de uma função que representasse esses pontos. A equação encontrada foi:

$$L(P) = 65,76449537 * \ln(P) + 195,7244 \quad (2)$$

Onde:

L = Lucro (R\$/m³)

P = quantidade de fósforo alocada (Kg/m³)

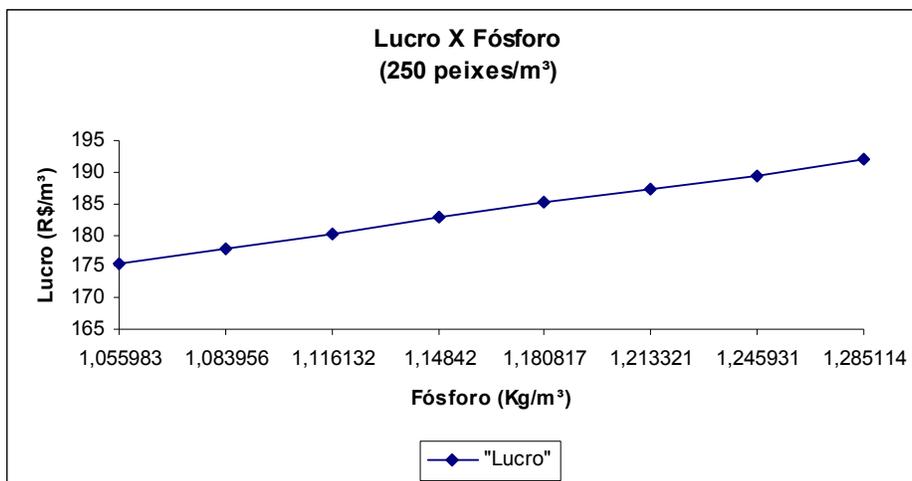
A equação 2 permite que seja determinado o lucro do produtor para diferentes quantidades alocadas de fósforo no intervalo de 2,074044 Kg/m³ e 1,285117 Kg/m³.

Para quantidades de fósforo permitidas menores do que 1,285117 Kg/m³, o produtor terá que diminuir a densidade porque para esses limites ele não consegue produzir peixes de até 400 gramas com a densidade de 300 peixes/m³.

A Tabela 13 apresenta os lucros obtidos pelo produtor em função da quantidade de fósforo aportadas ao ambiente menores do que 1,285117 Kg/m³ para a densidade de 250 peixes/m³.

Tabela 13. Relação entre lucro e quantidades de fósforo aportadas para a densidade de estocagem de 250 peixes/m³.

Quantidade de fósforo alocada no ambiente (Kg/m³)	Tamanho do peixe (g)	Quantidade de ração utilizada (Kg/m³)	Biomassa acumulada (Kg/m³)	Lucro (R\$/m³)
1,055983	400	107,3833	100	175,43
1,083956	407,11	110	101,777	177,73
1,116132	415,14	113	103,784	180,27
1,14842	423,03	116	105,758	182,71
1,180817	430,8	119	107,7	185,06
1,213321	438,44	122	109,611	187,31
1,245931	445,96	125	111,49	189,47
1,285114	454,8	128,592	113,701	191,93



**Figura 12 - Relação entre lucro e quantidades de fósforo alocadas para a densidade de estocagem de 250 peixes/m³.**

A Figura 12 apresenta um gráfico da curva de lucro em função da quantidade alocada de fósforo para a densidade de 250 peixes/m³. Através desse conjunto de pontos foi estimada a forma analítica de uma função que representasse esses pontos. A equação encontrada foi:

$$L(P) = 84,47316045 * \ln(P) + 171,02 \quad (3)$$

Onde:

L = Lucro (R\$/m³)

P = quantidade de fósforo alocada (Kg/m³)

A equação 3 permite que seja determinado o lucro do produtor para diferentes quantidades alocadas de fósforo no intervalo de 1,285117 Kg/m³ e 1,055983 Kg/m³.

Para quantidades de fósforo permitidas menores do que 1,055983 Kg/m³, o produtor terá que diminuir a densidade porque para esses limites ele não consegue produzir peixes de até 400 gramas com a densidade de 250 peixes/m³.

A Tabela 14 apresenta os lucros obtidos pelo produtor em função da quantidade de fósforo aportadas ao ambiente menores do que 1,055983 Kg/m³ para a densidade de 200 peixes/m³.

Tabela 14. Relação entre lucro e quantidades de fósforo aportadas para a densidade de estocagem de 200 peixes/m<sup>3</sup>.

Quantidade de fósforo alocada no ambiente (Kg/m <sup>3</sup> )	Tamanho do peixe (g)	Quantidade de ração utilizada (Kg/m <sup>3</sup> )	Biomassa acumulada (Kg/m <sup>3</sup> )	Lucro (R\$/m <sup>3</sup> )
0,85934	400	87,0262	80	139,05
0,89094	410,38	90	82,076	141,83
0,922941	420,67	93	84,135	144,52
0,955065	430,78	96	86,1574	147,11
0,987309	440,72	99	88,144	149,59
1,01967	450,48	102	90,097	151,97
1,055982	461,19	105,3535	92,239	154,51

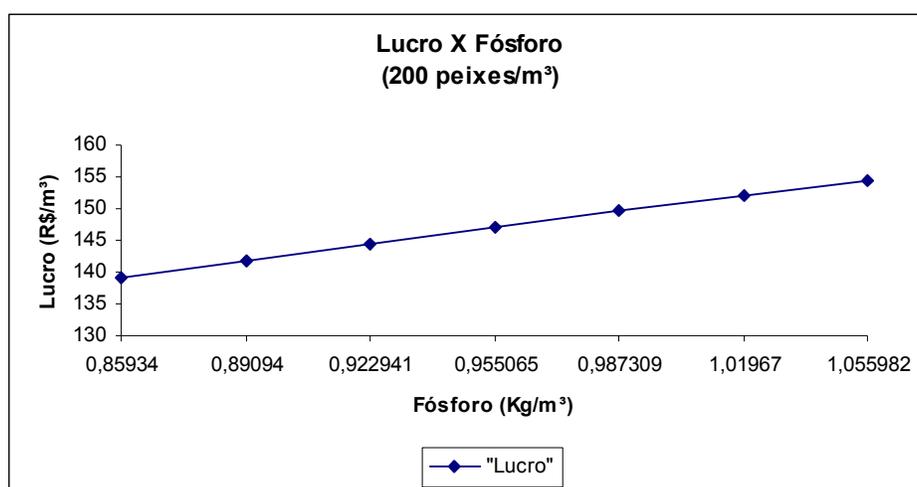


Figura 13 - Relação entre lucro e quantidades de fósforo alocadas para a densidade de estocagem de 200 peixes/m<sup>3</sup>.

A Figura 13 apresenta um gráfico da curva de lucro em função da quantidade alocada de fósforo para a densidade de 200 peixes/m<sup>3</sup>. Através desse conjunto de pontos foi estimada a forma analítica de uma função que representasse esses pontos. A equação encontrada foi:

$$L(P) = 75,09776461 * \ln(P) + 150,5648 \quad (4)$$

Onde:

L = Lucro (R\$/m<sup>3</sup>)

P = quantidade de fósforo alocada (Kg/m<sup>3</sup>)

A equação 4 permite que seja determinado o lucro do produtor para diferentes quantidades aportadas de fósforo no intervalo de 1,055983 Kg/m<sup>3</sup> e 0,85934 Kg/m<sup>3</sup>.

Para quantidades de fósforo permitidas menores do que 0,85934 Kg/m<sup>3</sup>, o produtor terá que diminuir a densidade porque para esses limites ele não consegue produzir peixes de até 400 gramas com a densidade de 200 peixes/m<sup>3</sup>.

A Tabela 15 apresenta os lucros obtidos pelo produtor em função da quantidade de fósforo alocada no ambiente menores do que 0,85934 Kg/m<sup>3</sup> para a densidade de 150 peixes/m<sup>3</sup>.

Tabela 15. Relação entre lucro e quantidades de fósforo alocadas para a densidade de estocagem de 150 peixes/m<sup>3</sup>.

Quantidade de fósforo alocada no ambiente (Kg/m <sup>3</sup> )	Tamanho do peixe (g)	Quantidade de ração utilizada (Kg/m <sup>3</sup> )	Biomassa acumulada (Kg/m <sup>3</sup> )	Lucro (R\$/m <sup>3</sup> )
0,659435	400	66,4181	60	102,95
0,686782	412,19	69	61,828	105,45
0,718693	426,09	72	63,916	108,22
0,750748	439,71	75	65,956	110,87
0,782943	453,05	78	67,958	113,39
0,815275	466,12	81	69,919	115,8
0,859338	483,44	85,0685	72,515	118,87

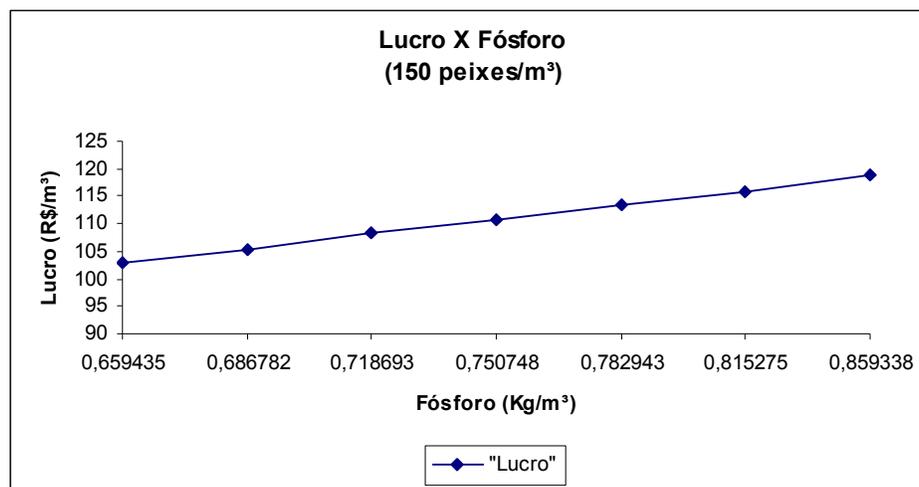


Figura 14 - Relação entre lucro e quantidades de fósforo alocadas para a densidade de estocagem de 150 peixes/m<sup>3</sup>.

A Figura 14 apresenta um gráfico da curva de lucro em função da quantidade aportada de fósforo. Através desse conjunto de pontos foi estimada a forma analítica de uma função que representasse esses pontos. A equação encontrada foi:

$$L(P) = 60,19771478 * \ln(P) + 128,1278 \quad (5)$$

Onde:

$$L = \text{Lucro (R\$/m}^3\text{)}$$

$$P = \text{quantidade de fósforo alocada (Kg/m}^3\text{)}$$

A equação 5 permite que seja determinado o lucro do produtor para diferentes quantidades alocadas de fósforo no intervalo de 0,85934 Kg/m<sup>3</sup> e 0,659435 Kg/m<sup>3</sup>.

Para quantidades de fósforo permitidas menores do que 0,659435 Kg/m<sup>3</sup>, o produtor não consegue produzir peixes de até 400 gramas utilizando as densidades estudadas. Ou seja, para limites menores do que esse valor não haverá produção.

A Tabela 16 resume os lucros obtidos pelos produtores e consequentes custos sofridos em função dos limites impostos à quantidade de fósforo que pode ser aportada ao ambiente.

Tabela 16. Relação entre o limite de fósforo permitido, o lucro obtido e o custo para o produtor em função da imposição desse limite.

Limite de fósforo (Kg/m <sup>3</sup> )	Fósforo alocado (kg/m <sup>3</sup> )	Lucro (R\$/m <sup>3</sup> )	Custo Social (R\$/m <sup>3</sup> )
Sem limite	4,538366	334,36	-
[ 3,020467 ; 4,538366 ]	3,020467	321,94	12,42
[ 2,169972 ; 3,020467 [	2,169972	258,78	75,58
[ 1,285117 ; 2,074043 [	Limite estabelecido	$65,76449537 * \ln(P)+195,7244$	x*
[ 1,055983 ; 1,285117 [	Limite estabelecido	$84,47316045 * \ln(P)+171,02$	y**
[ 0,85934 ; 1,055983 [	Limite estabelecido	$75,09776461 * \ln(P)+150,5648$	z***
[ 0,659435 ; 0,85934 [	Limite estabelecido	$60,19771478 * \ln(P)+128,1278$	w****
] 0 ; 0,659435 [	0	0	334,36

$$* x = 334,36 - (65,76449537 * \ln(\text{limite})+195,7244)$$

$$** y = 334,36 - (84,47316045 * \ln(\text{limite})+171,02)$$

$$*** z = 334,36 - (75,09776461 * \ln(\text{limite})+150,5648)$$

$$**** w = 334,36 - (60,19771478 * \ln(\text{limite})+128,1278)$$

Analisando a Tabela 16, verifica-se que para limites de fósforo menores do que 0,659435 Kg/m<sup>3</sup>, o custo para o produtor é de R\$ 334,36/m<sup>3</sup>, uma vez que ele deixa de criar peixes. Para limites entre 0,659435 e 2,074043 Kg/m<sup>3</sup>, o custo para o produtor será igual a R\$ 334,36/m<sup>3</sup> menos o maior lucro que ele pode obter com a restrição de fósforo, lucro esse que é calculado utilizando as equações apresentadas na Tabela 16. A equação a ser utilizada vai depender de qual intervalo se encontra o limite estabelecido. Para limites de fósforo entre 2,169972 e 2,074043 Kg/m<sup>3</sup>, o lucro praticamente não se altera, sendo igual a R\$ 258,00/m<sup>3</sup>, enquanto a quantidade de fósforo alocada será igual ao limite estabelecido. Para limites entre 2,169972 e 3,020467 Kg/m<sup>3</sup>, o custo para o produtor é de R\$ 75,58/m<sup>3</sup> independentemente do limite estabelecido. Já para limites de fósforo entre 3,020467 e 4,538366 Kg/m<sup>3</sup>, o custo para o produtor é de R\$ 12,42/m<sup>3</sup>, também independentemente do limite estabelecido.

## 6. CONCLUSÕES

O cultivo de peixes em tanques-rede em alta densidade e com alimentação artificial vem se tornando cada vez mais freqüente, devido à sua alta produção e rápido retorno econômico. No entanto, a introdução da piscicultura intensiva em reservatórios de uso múltiplo gera conflitos qualitativos entre estes usos, uma vez que esta atividade libera no ambiente resíduos (alimentos não consumidos e material fecal) que provocam a eutrofização do mesmo. É neste contexto que está inserido o reservatório da usina hidrelétrica de Xingó, que possui além da piscicultura outros usos quantitativos e qualitativos como turismo, irrigação nos assentamentos, geração de energia elétrica e abastecimento humano. Assim, por introduzir conflitos de uso, concorrer para o desenvolvimento da região, e ao mesmo tempo impactar o ambiente, a piscicultura intensiva nas áreas do reservatório requer estudos utilizando instrumentos econômicos. Os mesmos devem ser utilizados de forma a possibilitar a resolução do conflito entre os vários usos de forma eficiente, ou seja, maximizando o bem-estar ao mesmo tempo respeitando a classe de qualidade à qual o corpo aquático pertence. Por isso, foi desenvolvido o estudo para mensurar os benefícios econômicos da produção de tilápias em tanques-rede para diferentes quantidades de fósforo aportadas ao ambiente, para diferentes cenários de mercado, objetivando determinar funções-benefício dessa atividade. Funções como as determinadas permitem que se calculem custos sociais de eventuais limitações ao aporte de fósforo no ambiente que terão que ser internalizadas pelos usuários. Na continuidade desta pesquisa pretende-se construir para o reservatório de Xingó, um modelo econômico-hidrológico integrado, que identifique a alocação ótima das cargas orgânicas (nível ótimo de poluição), no referido ambiente, entre os usos, maximizando o benefício de todos. Esta função benefício social será representada pela soma das funções benefício de todos os usuários.

Assim, funções benefício como as propostas neste trabalho, podem através de modelos integrados subsidiar decisões e políticas públicas que eliminem o conflito entre os diferentes usos no reservatório de Xingó, possibilitando o desenvolvimento econômico da região com sustentabilidade. A questão da distribuição equânime dos custos sociais pode ser avaliada, uma vez que se calcule esta referência ótima, podendo-se comparar esquemas de compensação ou formas de subsídios cruzados adequados.

Os principais resultados obtidos foram:

- Para o primeiro cenário simulado, no qual os produtores possuíam recursos suficientes para cultivar peixes em qualquer densidade e o mercado aceitava peixes de qualquer tamanho, verificou-se que os produtores optam pela densidade de 425 peixes/m<sup>3</sup>. Sendo assim, a função estimada que relaciona

o lucro obtido pelo produtor em função da quantidade de fósforo alocada no ambiente foi  $L(P) = 147,4221 * \ln(P) + 310,6048$ , função esta que poderá ser utilizada caso considerem-se as hipóteses feitas pelo cenário 1.

- Para o segundo cenário no qual o mercado demandava peixes maiores do que 800 gramas, observou-se que os produtores escolheriam a densidade de 250 peixes/m<sup>3</sup>, caso não existisse limite para a quantidade de fósforo aportada ao ambiente. À medida que se estabelecessem limites e estes impossibilitassem a produção de peixes de, no mínimo 800 gramas, o produtor seria obrigado a diminuir a densidade para atender o mercado. Sendo assim, foram determinados intervalos aos quais os limites impostos pertencessem. Neles, se identifica a densidade que o produtor escolheria e conseqüentemente o lucro que ele obteria e a quantidade de fósforo aportada ao ambiente, além de permitir que fosse calculado o custo para o produtor de uma imposição desses limites.
- Para o terceiro e último cenário, foi considerado que o mercado demandava peixes de no mínimo 400 gramas e que os peixes maiores do que 800 gramas valiam R\$ 4,00 Kg, enquanto que os peixes menores de 800 gramas tinham o preço de R\$ 3,00 Kg. Com essas hipóteses, foi observado que os produtores optariam por produzir peixes de 800 gramas, com a densidade de 250 peixes/m<sup>3</sup>, caso não houvesse limites de fósforo. À medida que os limites fossem impostos, os produtores diminuiriam a densidade para continuar produzindo os peixes de no mínimo 800 gramas, até que se chegasse a um limite que não permitisse mais a produção de peixes desse tamanho. A partir daí os produtores passariam a produzir peixes com a densidade de 300 peixes/m<sup>3</sup> e somente diminuiriam esta densidade quando o limite de fósforo não permitisse a produção de peixes de no mínimo 400 gramas para aquela densidade. Sendo assim, para limites que permitem a produção de peixes maiores do que 800 gramas foram determinados intervalos que dependendo em qual deles os limites impostos pertencem, se pudesse saber o lucro que o produtor estaria obtendo e a quantidade de fósforo que estaria sendo aportada ao ambiente, e para limites que impossibilitavam a produção de peixes maiores do que 800 gramas foram estimadas funções que relacionam o lucro obtido pelo produtor, em função da quantidade de fósforo aportada ao ambiente que devem ser utilizadas dependendo do intervalo em que se encontrar o limite estabelecido, uma vez que este determinará a densidade escolhida.

- Finalmente, com estes limites, intervalos e funções definidas e estabelecidas pode-se calcular para esta atividade de piscicultura, com os componentes padrão como definidos anteriormente, as reduções de benefícios ou custos sociais de limitações de aporte de fósforo impostos aos produtores.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). *Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco*. Brasília, 2004.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). *Outorga de direito de uso*. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: 10 de setembro de 2008.

ANA/GEF/PNUMA/OEA. *Determinação do Uso da Terra no Baixo São Francisco (Subprojeto 2.1)*. Brasília, 2002. 1 v.

ALMEIDA, J. R. *Gestão Ambiental para o Desenvolvimento Sustentável*. Ed. Thex. Rio de Janeiro, 2006. p. 495-496.

BALARIN, J. D.; HALLER, R. D. *The intensive culture of tilapia in tanks, raceways and cages*. In: MUIR, J. F.; ROBERTS, R. J. (Ed.). RECENT ADVANCES IN AQUACULTURE. Londres: Croom Helm, 1982. p.267-355.

BARBOSA, D. S.; OLIVEIRA, M. D. de; NASCIMENTO, F. L.; SILVA, E. L. V. *Avaliação da Qualidade da Água na Piscicultura em Tanques-Rede, Pantanal, MS. Anais... III Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-econômicos do Pantanal. Os Desafios do Novo Milênio*. Corumbá-MS, 2000.

BEVERIDGE, M.C.M. *Cage and pen fish farming: carrying capacity models and environmental impact*. Rome: FAO, 1984. 131p.

BEVERIDGE, M. C. M. *Cage aquaculture*. England: Fishing News Book Ltd., 1987. 356p.

BORGHETTI, N. R. B.; OSTRENSKY, A.; BORGHETTI, J. R. *Aqüicultura: Uma Visão Geral sobre a Produção de Organismos Aquáticos no Brasil e no Mundo*. Curitiba: Grupo Integrado de Aqüicultura e Estudos Ambientais (GIA), 128p, 2003.

BOZANO, G. L. N.; RODRIGUES, S. R. M.; CASEIRO, A. C.; CYRINO, J. E. P. *Desempenho da tilápia nilótica *Oreochromis niloticus* (L.) em gaiolas de pequeno volume*. *Sciencia Agrícola*, Piracicaba, v. 56, n. 3, p. 1-11, jul. 1999.

BOZANO, G.L.N.; CYRINO, J.E.P. *Produção intensiva de peixes em tanques-rede e gaiolas - Estudos de casos*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E NUTRIÇÃO DE PEIXES, 3, 1999, Campinas. **Anais...** Campinas: CBNA, 1999. p 53-60.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Departamento de Pesca e Aqüicultura. *Programa Nacional de Apoio à Competitividade e à Sustentabilidade da Cadeia da Tilápia*. Brasília, DF. 35 p, 2000.

BROWN, L. *Fazendas de Peixes*. WWWI-Worldwatch Institute / UMA-Universidade Livre da Mata Atlântica 2001. Disponível em: <www.wwiuma.org.br>. Acesso em: julho/2008.

CAMARGO, S. G. O. de; POUHEY, J. L. O. F. *Aqüicultura – Um Mercado em Expansão*. Revista Brasileira de Agrociência, Pelotas, v. 11, n. 4, p. 393-396, out. – dez., 2005.

CAP-NET, Capacity Building for Integrated Water Resources Managemen. “*Economics in Sustainable Water Management*”, 2008.

CARNEIRO, P. C. F.; MARTINS, M. I. E. G.; CYRINO, J. E. P. *Estudo de caso da criação comercial da tilápia vermelha em tanques-rede – Avaliação econômica*. Informações Econômicas, v.29, n.8, p. 52-61, 1999b.

COCHE, A. G. *Cage culture of tilapia*. In: PULLIN, R. S. V.; LOWE McCONNEL, R. H. (Ed.). *BIOLOGY AND CULTURE OF TILAPIAS*. Philippines: International Center for Living Aquatic Resources Management, 1982. cap.3, p.205-246.

COCHE, A. G. *Revue des pratiques d'élevage de poissons en gages dans les eaux continentales*. Aquaculture, v. 13, p. 157-189, 1978.

CODEVASF. Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco. *Plano Diretor para o Desenvolvimento do Vale do São Francisco. Programa para o Desenvolvimento da Pesca e da Aqüicultura*. Brasília: PLANVASF, 1989. 192 p.

COLT, J.; MONTGOMERY, J. M. *Aquacultura production system*. Journal of Animal Science, n. 69, p.4183-4192, 1991.

CONTE, L. *Produtividade e Economicidade da tilapicultura em Gaiolas na Região Sudoeste do Estado de São Paulo: Estudos de Caso*. Piracicaba, 2002.

CYRINO, J. E. P. et al. *Desenvolvimento da Criação de Peixes em Tanques-Rede*. In: **Anais... AQUICULTURA BRASIL**, v. 1, p. 409-33, 1999.

DUARTE, S.A.; NELSON, R.G.; MASSER, M.P. *Profit maximizing stocking rates for channel catfish in cages*. Journal of the World Aquaculture Society, v.25, n.3, p.442-447, 1994.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations - Aquaculture Production. *Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030*. Roma, 2002. 98 p.

FAO. *État de l'Aquaculture dans le monde*. Rome. FAO, 114 p, 2003.

FAO. *Fishery statistics. Aquaculture production 2001*. Rome. FAO, 186 p, 2003.

FAO. *Review of the state of world Aquaculture*. Rome, 95p, 2003.

GONZALEZ, C. E. *Manejo Industrial de Lás Tilápias*. Curso Lance en Acuacultura. Monterrey Nuevo León, México, 26-30, 2001.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais. Brasília, 2004. Disponível em: <[www.ibama.gov.br/recursospesqueiros](http://www.ibama.gov.br/recursospesqueiros)>. Acesso em: julho/2008.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. *Estatística da Pesca 2002 – Brasil – Grandes Regiões e Unidades da Federação*. Tamandaré, 2004. 97 p.

IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE. *Estatística da Pesca, 2005*. Disponível em: <[www.ibama.gov.br](http://www.ibama.gov.br)>. Acesso em: julho/2008.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>. Acesso em: junho/ 2008.

INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY CENTRE – IETC. *Planejamento e Gerenciamento de Lagos e Reservatórios: Uma Abordagem Integrada ao Problema da Eutrofização*. Edição em português. UNEP-IETC, São Carlos, 2001. 385 p.

JOLLY, M.J.; CLONTS, H.A. *Economics of Aquaculture*. Food Products Press. New York, 1993. 319p.

KUBITZA F. *Qualidade de Água, Sistemas, Planejamento da Produção, Manejo Nutricional e Alimentar e Sanidade*. Panorama da Aqüicultura, v.10, n.59, p. 44-53, 1999.

KUBITZA F. *Tilápia: Tecnologia e Planejamento na Produção Comercial*. Jundiaí, 2000.

KUBITZA, F. *Tanques-rede, Ração e Impacto Ambiental*. *Revista Panorama da Aqüicultura*. 1999. 51: 44-50 p. In: ARTIGOS PUBLICADOS. Disponível em: <<http://www.acquaimagem.com.br>>. Acesso em: julho/2008.

LAZZARO, X. V. et al. *Biologie, Écologie et Abondance des Communautés Piscicoles des Réservoirs du Pernambuc Semi-Aride*. Workshop Projeto Açudes. UFRPE/IRD/CNPq. Recife, 1999.

LIMA, E. B. N. R. *Modelagem integrada para gestão da qualidade da água na Bacia do rio Cuiabá*. 186 p. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos). Programa de Engenharia Civil - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2001.

LOVSHIN, L. L. *Red Tilapia or Nile Tilapia: which is the best culture fish?* In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E NUTRIÇÃO DE PEIXES, 2., 1998, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: CBNA, 1998. p, 179.

LOVSHIN, L. L. *Status of commercial fresh water fish culture in Brazil.* In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E NUTRIÇÃO DE PEIXES, 2., 1998, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba, 1998. p.1-20.

MCGINTY, A. S.; RAKOCY, J. E. *Cage culture of tilapia.* Alburn: SRAC, 1999. v. 281, p. 1- 4.

MEDEIROS, F.C. *Tanque-Rede: Mais Tecnologia e Lucro na Piscicultura.* ISBN 85-902369-1-9. Cuiabá/MT, 110 p., 2002.

MORAES, M. M. G. A. *Modelo Econômico-Hidrológico Integrado para Alocação Ótima de Água em Diferentes Usos e Vinhoto em Áreas Plantadas de Cana na Bacia do Rio Pirapama.* Tese de doutoramento, UFPE, Julho de 2003.

NOGUEIRA, A.; RODRIGUES, T. *Criação de tilápias em tanques-rede.* Salvador. SEBRAE-BA, 2007.

ONO, E.A.; KUBITZA, F. *Cultivo de Peixes em Tanques-rede.* Jundiaí: E.A. Ono. 112p, 2003.

OSTRENSKY, A.; BORGHETTI, J. R.; PEDINI, M. *Situação Atual da Aquicultura Brasileira e Mundial.* p. 353 – 381. In: VALENTI, W. C. AQUICULTURA NO BRASIL: BASES PARA UM DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Brasília, CNPq. 2000.

PAIVA, Maria de Fátima Araújo; ASFORA, Marcelo Cauás; CIRILO, José Almir; ROSA, Albert Bartolomeu de Sousa. *Os usos múltiplos e a gestão dos recursos hídricos na bacia do rio São Francisco.* In: O ESTADO DAS ÁGUAS NO BRASIL - 2001-2002. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2003. p. 419-434

PEREZ, M.T., ROBLEDILLO, J.M.M. *Piscicultura en jaulas flotantes.* Madrid: Hojas Divulgadoras, 1989. 24p.

PERU. Produce: Ministério de La Produccion. Vice Ministério de Pesqueria, Direccion nacional de Acuicultura. *Cultivo de Tilápia,* Lima – Peru, 2004.

PHILLIPS, M. J., BEVERIDGE, M. C. M. & CLARK, R. M. 1991 *Impact of Aquaculture on Water Resources.* In: BRUNE, D. E. & TOMASSO, J. R. (Editors) 1991 AQUACULTURE AND WATER QUALITY, Baton Rouge, The World Aquaculture Society, pp. 568-591.

POPMAN, T. J., LOVSHIN, L. L. *Worldwide prospects for commercial production of tilapia*. Alabama: International Center for Aquaculture and Aquatic Environments, 1996. 23 p. (Research and Development, 41).

POPMA, T.; MASSER, M. *Tilapia: life history and biology*. Local: SRAC - Southern Regional Aquaculture Center, 1999. (Publication n. 283).

RAMOS, Francisco de Sousa. *Qualidade do Meio-Ambiente e Falhas de Mercado*. Análise Econômica, ano 14, p. 39-51, Março/Setembro 1996.

ROSA, A. B. S., SILVA, A. L. O. C., MELO, A. F., TURRA, I. J. C. C., SANTOS, L. F. S., NETO, T. F. R. *Arranjo Produtivo Local de Aqüicultura do Baixo São Francisco*. Brasília, 2006.

ROSA, Albert Bartolomeu de Sousa. *Cadeia Produtiva da Aqüicultura no Vale do São Francisco*. In: VI SEMINÁRIO NORDESTINO DE PECUÁRIA, v. 1 - Aqüicultura, FAEC, Ronaldo Oliveira Sales (ed.), Fortaleza, 2002. p. 18-27.

SAMPAIO, A.V.; ONO, E.A.; KUBITZA, F.; LOVSHIN, L.L. *Planejamento da produção de peixes*. Campo Grande, 82 p, 1998.

SCORVO FILHO, J. D.; AYROSA, L. M. S. *A situação da piscicultura no Estado de São Paulo*. Panorama da Aqüicultura, v.35, n.6, p.18-19, 1996.

SCORVO FILHO, J. D.; MARTIN, N. B.; AYROSA, L. M. S. *Preços na piscicultura no Estado de São Paulo, 1995 e 1997*. Informações Econômicas, v.29, n.3, p.1-10, 1999.

SCHIMITTOU, H. R. *High density fish culture in low volume cages*. Singapore: American Soybean Association, 1993. 78 p.

SCHIMITTOU, H. R. *Produção de peixes em alta densidade em tanques rede de pequeno volume*. Campinas: Mogiana Alimentos e Associação Americana de Soja, 1997. 78p.

SEBRAE. *Aqüicultura e Pesca: Tilápias – Estudos de Mercado SEBRAE/ESPM 2008*. Relatório Completo. Brasília, 2008.

SEVERI, W. *Zoneamento da Piscicultura em Tanques-rede nos Reservatórios do Submédio São Francisco: Zoneamento do Reservatório de Moxotó*. Recife: FADURPE. 2000. Relatório.

SILVA, A. L. N. da; SIQUEIRA, A. T. de. *Piscicultura em tanques-rede: princípios básicos*. Recife: SUDENE; UFRPE, 1997. 72 p.

SMITH, V. H.; TILMAN, G. D.; NEKOLA, J. C. *Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestria ecosystems*. Environ. Poll., v. 100, p. 176-196, 1999.

SONODA, D.Y. *Análise econômica do sistema de produção de tilápias em tanques rede para diferentes mercados*. Piracicaba, 2002. 90p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

SOUZA, R. S.; HAYASHI, C. *Avaliação do Farelo de Algodão na Alimentação de Alevinos de Tilápia do Nilo (Oreochromis niloticus L.)*. Universidade Estadual de Maringá, Paraná – BR. 2003.

SPRINGBORN, R.R.; JENSEN, A. L.; CHANG, W. Y. B.; ENGLE, C. *Optimum harvest time in aquaculture: an application of economic principles to a Nile tilapia, Oreochromis niloticus (L.), growth model*. Aquaculture and Fisheries Management, v.23, p.639-647, 1992.

SUVALE/SUDENE/BUREC/USAID. *Reconhecimento dos Recursos Hidráulicos e de solos da Bacia do Rio São Francisco*. Rio de Janeiro, 1970.

TACON, A. G. J. *The nutrition and feeding of farmed fish and shrimp*. In: A TRAINING MANUAL: THE ESSENTIAL NUTRIENTS. Brasília: FAO, 1987, v. 1, 117 p.

TANAKA, R. H. *Prejuízos provocados pelas plantas aquáticas*. In: WORKSHOP CONTROLE DE PLANTAS AQUÁTICAS, 1998, Brasília-DF. **Resumos...** Brasília: IBAMA, 1998. p.36-38.

VARIAN, H. R. *Microeconomia*. Tradução da 6ª edição americana. Rio de Janeiro, editora Campus, 2003.

ZANIBONI FILHO, E. et al. *Cultivo de peixes em tanques-rede e impactos ambientais*. In: CULTIVO DE PEIXES EM TANQUES-REDE: DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA UM DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Belo Horizonte: EPAMIG, 2005. 104 p.

**APÊNDICES**

**APÊNDICES**

## APÊNDICE A

\$title Determinação da Função de Produção para diferentes densidades -  
Biomassa = F(ração)

Sets

densidade Diferentes níveis de densidade de estocagem (peixes por m<sup>3</sup>)  
dens1 = 150 dens2 = 200 dens3 = 250 dens4 = 300 dens5 = 425  
/dens1, dens2, dens3, dens4, dens5/

dados Dados de campo  
/d1, d2, d3, d4, d5, d6, d7/

;  
parameter

a(densidade) coeficiente alfa da função de produção (Kg por m<sup>3</sup>)  
/dens1 165,dens2 200,dens3 225,dens4 240,dens5 255/

producao(densidade,dados) quantidades produzidas (kg por m<sup>3</sup>) para diferentes  
densidades de estocagem

/  
dens1.d1 96.875,dens1.d2 147.75,dens1.d3 92.0075,dens1.d4 130.75,dens1.d5  
96,dens1.d6 90  
dens2.d1 150.62,dens2.d2 94.141666,dens2.d3 79.88666,dens2.d4  
75.865,dens2.d5 118.69,dens2.d6 197  
dens3.d1 125.37037,dens3.d2 246.25,dens3.d3 142.7275,dens3.d4  
118.4973404,dens3.d5 80,dens3.d6 72.7712766,dens3.d7 140  
dens4.d1 150,dens4.d2 136.4875,dens4.d3 166.375,dens4.d4  
168.4425,dens4.d5 173.1375,dens4.d6 158.9375,dens4.d7 295.5  
dens5.d1 178.9475,dens5.d2 251.88,dens5.d3 119.6230114  
/

Qtd\_racao(densidade,dados) quantidade utilizada de ração (kg por m<sup>3</sup>) de cada  
observação

/  
dens1.d1 153.675,dens1.d2 224.625,dens1.d3 135.162181,dens1.d4  
182.076,dens1.d5 146.4692308,dens1.d6 125.0177419  
dens2.d1 233.3909667,dens2.d2 122.358333,dens2.d3 98.101666,dens2.d4  
88.233333,dens2.d5 172.0026,dens2.d6 299.5  
dens3.d1 154.306481,dens3.d2 374.375,dens3.d3 206.3817,dens3.d4  
151.9322981,dens3.d5 86.68723404,dens3.d6 70.64508511,dens3.d7 205  
dens4.d1 199.921875,dens4.d2 177.685,dens4.d3 233.625,dens4.d4  
247.25,dens4.d5 250.25,dens4.d6 241.25,dens4.d7 449.25  
dens5.d1 244.2725,dens5.d2 335.664,dens5.d3 186.7415227  
/

solu\_gama(densidade) parametro auxiliar para a representação da estimação de  
gama

solu\_delta(densidade) parametro auxiliar para a representação da estimação de delta

variable

OBJfunc variavel que representa a função objetivo  
erro(densidade,dados) variavel que representa o erro

;

Positive variables

    gama(densidade)    coeficiente que será estimado em função da densidade  
    delta(densidade)    coeficiente que será estimado em função da densidade

;

equation

    Eq\_OBJfunc  
    Eq\_erro(densidade,dados)

;

    Eq\_erro(densidade,dados).. erro(densidade,dados) =e= (a(densidade) \* (1 - (10\*\*(-  
gama(densidade)\*(Qtd\_racao(densidade,dados)+ delta(densidade)))))) -  
producao(densidade,dados);

    Eq\_OBJfunc.. OBJfunc =e= sum((densidade,dados),  
(power(erro(densidade,dados),2)));

MODEL Fproducao /ALL /;

option nlp = CONOPT3;

option sysout = on;

solve Fproducao using NLP minimizing OBJfunc;

solu\_gama(densidade)= gama.l(densidade); solu\_delta(densidade) = delta.l(densidade);

option decimals = 8; display solu\_gama, solu\_delta;

## APÊNDICE B

\$title Maximização do Lucro para diferentes densidades

Sets

densidade diferentes níveis de densidade de estocagem (peixes por m<sup>3</sup>)  
/dens1, dens2, dens3, dens4, dens5/

;

parameter

v\_densidade(densidade) valores das densidades (peixes por m<sup>3</sup>)  
/dens1 150,dens2 200,dens3 250,dens4 300,dens5 425/

preco\_peixe preço do kg do peixe estimado  
/4/

preco\_racao preço do kg da ração estimado  
/1.16/

alfa(densidade) coeficiente alfa da função de produção  
/dens1 165,dens2 200,dens3 225,dens4 240,dens5 255/

gama(densidade) coeficiente gama da função de produção  
/dens1 0.00295544,dens2 0.00254922,dens3 0.00237721,  
dens4 0.00231137,dens5 0.00218694/

delta(densidade) coeficiente delta da função de produção  
/dens1 0,dens2 0,dens3 0,dens4 0/

solu\_racao(densidade) parametro auxiliar para a representação da estimacão da  
ração otima

solu\_lucro(densidade) parametro auxiliar para a representação da estimacão do lucro

solu\_produto(densidade) parametro auxiliar para a representação da estimacão da  
produçao

variable

OBJfunc variavel que representa a função objetivo

;

Positive variables

racao(densidade) quantidade de ração ótima para cada densidade (kg por m<sup>3</sup>)

produto(densidade) kg por m<sup>3</sup>

lucro(densidade) R\$ por m<sup>3</sup>

tamanho(densidade) tamanho final medio dos peixes

;

equation

Eq\_OBJfunc

Eq\_produto(densidade)

Eq\_lucro (densidade)

Eq\_tamanho(densidade)

;

```

Eq_OBJfunc.. OBJfunc =e= sum(densidade,(preco_peixe * (alfa(densidade) * (1 -
(10**(-gama(densidade)*(racaos(densidade) + delta(densidade))))))) - (preco_racao *
racaos(densidade)));
Eq_produto(densidade).. produto(densidade) =e= (alfa(densidade) * (1 - (10**(-
gama(densidade)*(racaos(densidade) + delta(densidade))))));
Eq_lucro(densidade).. lucro(densidade) =e= ((preco_peixe * produto(densidade))-
(preco_racao * racaos(densidade)));
Eq_tamanho(densidade).. tamanho(densidade) =e=
produto(densidade)/v_densidade(densidade);

```

```

MODEL MaxLucro /ALL /;
option nlp = CONOPT3;
option sysout = on;
solve MaxLucro using NLP maximizing OBJfunc;
solu_racao(densidade)= racaos.l(densidade); solu_produto(densidade) =
produto.l(densidade);solu_lucro(densidade) = lucro.l(densidade);
option decimals = 8; display solu_racao, solu_produto, solu_lucro;

```

## APÊNDICE C

\$title Estimação da função Lucro para diferentes quantidades de fósforo para a densidade de 425 peixes/m<sup>3</sup>

Sets

dados diferentes níveis de densidade de estocagem (peixes por m<sup>3</sup>)  
/ d1,d2,d3,d4,d5,d6,d7,d8,d9,d10,d11,d12,d13,d14,d15,d16,d17,d18,d19,d20,d21,d22/

;

parameter

fosforo(dados)

/  
d1 0.457019,d2 0.652443,d3 0.854054,d4 1.06126,d5 1.273523,d6 1.49036,  
d7 1.711332,d8 1.823243,d9 1.936043,d10 2.049688,d11 2.169972,d12 2.279347,  
d13 2.395284,d14 2.511913,d15 2.584736,d16 2.629118,d17 2.747107,  
d18 2.849773,d19 2.86561,d20 2.990787, d21 3.104283, d22 3.170032  
/

lucro(dados)

/  
d1 169.03,d2 221.8079,d3 267.3067,d4 306.2122,d5 339.173,d6 366.75,  
d7 389.4684,d8 399.149,d9 407.7845,d10 415.4263,d11 422.439,d12 427.9214,  
d13 432.8653,d14 436.9967,d15 439.173,d16 440.3556,d17 442.9798,  
d18 444.688,d19 444.9052,d20 446.214,d21 446.7968,d22 446.885  
/

solu\_x

solu\_y

variable

OBJfunc,x,y

;

Positive variables

erro(dados)

;

equation

Eq\_OBJfunc

Eq\_erro(dados)

;

Eq\_erro(dados).. erro(dados) =e= (x\*log(fosforo(dados)) + y) - lucro(dados);

Eq\_OBJfunc.. OBJfunc =e= sum(dados, (power(erro(dados),2)));

MODEL Flucro /ALL /;

option nlp = CONOPT3;

option sysout = on;

solve Flucro using NLP minimizing OBJfunc;

solu\_x= x.l; solu\_y = y.l;

option decimals = 8; display solu\_x, solu\_y;