

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DIRETORIA DE GRADUAÇÃO E EDUCAÇÃO PROFISSIONAL  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**JÉSSICA ÁGUIDA PEREIRA**

**AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE SUPORTE DE RESERVATÓRIO  
PARA OPERAÇÃO DE PARQUE AQUÍCOLA ATRAVÉS DE MODELO  
DE ESTIMATIVA – APLICAÇÃO NO BRAÇO SÃO FRANCISCO  
VERDADEIRO DO RESERVATÓRIO DE ITAIPU**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**MEDIANEIRA**

**2015**

**JÉSSICA ÁGUIDA PEREIRA**

**AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE SUPORTE DE RESERVATÓRIO  
PARA OPERAÇÃO DE PARQUE AQUÍCOLA ATRAVÉS DE MODELO  
DE ESTIMATIVA – APLICAÇÃO NO BRAÇO SÃO FRANCISCO  
VERDADEIRO DO RESERVATÓRIO DE ITAIPU**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental, da Diretoria de Graduação e Educação Profissional, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Profa. Dra. Carla Daniela Camara (Universidade Tecnológica Federal do Paraná).

Co-Orientadora: Ma. Simone Frederigi Benassi (Itaipu Binacional).

**MEDIANEIRA**

**2015**



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE SUPORTE DE RESERVATÓRIO PARA  
OPERAÇÃO DE PARQUE AQUÍCOLA ATRAVÉS DE MODELO DE ESTIMATIVA –  
APLICAÇÃO NO BRAÇO SÃO FRANCISCO VERDADEIRO DO RESERVATÓRIO  
DE ITAIPU

por

JÉSSICA ÁGUIDA PEREIRA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 18 de junho de 2015 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Profa. Dra. Carla Daniela Camara  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Profa. Dra. Eliane Rodrigues dos Santos Gomes  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Prof. Me. Ismael Laurindo Costa Junior  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso.

Aos meus pais Augusto e Miriam e minha  
irmã Beatriz, pelo carinho e confiança. Por  
não medirem esforços para me ajudar a  
completar esta etapa.

## **AGRADECIMENTOS**

Sou grata a todas as pessoas que contribuíram para que eu realizasse meus estudos, me orientaram, apoiaram e incentivaram nessa etapa.

Agradeço à minha orientadora Carla Daniela Camara e minha co-orientadora Simone Frederigi Benassi, pela condução deste trabalho, pela disposição em me auxiliar e pela paciência.

Ao professor Paulo Cesar Colonna Rosman da Universidade Federal do Rio de Janeiro, pela atenção em sanar minhas dúvidas sempre que precisei.

Aos profissionais da Itaipu Binacional da Divisão de Reservatório (MARR.CD) que foram muito solícitos em colaborar com meus estudos, em especial os servidores Hélio Martins Fontes Júnior, Caroline Heen, Carla Canzi e Celso Carlos Buglione Neto.

Meus agradecimentos aos meus professores da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, que contribuíram para o meu aprendizado. Sou grata ao PET (Programa de Educação Tutorial) pela bolsa de estudos e estímulos à pesquisa, ensino e extensão. Agradeço ao grupo PET Amb da qual fui membro, e ao tutor Carlos Alberto Mucelin pela orientação.

Para que eu alcançasse meus objetivos, minha família foi essencial em toda a minha trajetória, principalmente meus pais Augusto e Miriam, que sempre acreditaram na minha capacidade, me incentivaram e apoiaram em todas as minhas escolhas.

Agradeço às minhas amigas Carol e Dailza que estão morando longe, mas sempre estiveram ao meu lado me apoiando e animando.

Agradecimentos ao meu amigo Joás e especialmente à minha irmã Beatriz ao meu namorado Caio Henrique, que me acompanharam diariamente nessa trajetória.

E acima de tudo a Deus, por preparar realizações que não imaginava ter condições de alcançar, me dar entendimento e por colocar pessoas maravilhosas na minha vida.

## RESUMO

PEREIRA, Jéssica Águida. **Avaliação da capacidade de suporte de reservatório para operação de parque aquícola através de modelo de estimativa – Aplicação no braço São Francisco Verdadeiro do reservatório de Itaipu.** 2015. 47 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2015.

A aquicultura em tanque-rede é uma atividade de grande crescimento no Brasil e no mundo devido a possibilidade de aumento da produção e qualidade do pescado. Embora o cultivo em tanque-rede ser vantajoso, essa forma de criação em que os organismos são confinados pode apresentar risco ao meio ambiente, quando não manejado corretamente, uma vez que o aporte de nutrientes pode ocasionar eutrofização. Como a produção de peixes em tanques-rede é fortemente dependente da qualidade da água em que está inserido, pois os animais necessitam de boas condições ambientais para se desenvolver, os próprios resíduos da atividade podem prejudicá-la e inviabilizá-la, além de causar prejuízos socioambientais. Dessa forma, é necessário realizar estudos que avaliem a capacidade que o recurso hídrico tem em depurar por si só a carga de fósforo total proveniente do parque aquícola, prevenindo o desequilíbrio do sistema. Este estudo teve por objetivo avaliar a capacidade de suporte para operação de tanques-rede em áreas aquícolas no braço São Francisco Verdadeiro do reservatório da Usina Hidrelétrica de Itaipu utilizando o modelo matemático de estimativa de Dillon & Rigler. De acordo com a estimativa de capacidade de suporte é possível produzir 817,4 toneladas de peixes em 2015 no braço São Francisco Verdadeiro. Observa-se há correlação linear negativa entre o aumento no teor de fósforo total no corpo hídrico e a produção de pescado, o que acarreta grande perda em produção com o pequeno acréscimo na concentração de fósforo. Tal fato evidencia a importância do monitoramento e manejo para o controle de fontes pontuais e difusas de fósforo total. Com base nos resultados obtidos no presente estudo o modelo de Dillon & Rigler pode ser recomendado para gestão de parques aquícolas com informações e recursos limitados, ou que desejem praticidade de cálculo, de iniciar os estudos de capacidade de suporte, a fim de familiarizar o usuário com o assunto e adquirir experiência.

**Palavras-chave:** Aquicultura. Tanques-Rede. Eutrofização. Capacidade de Suporte. Dillon & Rigler.

## ABSTRACT

PEREIRA, Jéssica Águida. **Evaluation of support reservoir capacity for fish farming operation through estimation model - Application in Sao Francisco Verdadeiro affluent of Itaipu reservoir.** 2015. 47 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2015.

Aquaculture in cages is a high-growth activity in Brazil and in the world, due to the possibility of increased production and quality of fish. Although the cultivation in cages be advantageous, this form of creation in which organisms are confined presents a risk to the environment, when not properly managed, since the nutrient input can cause eutrophication. As the production of fish in cages is heavily dependent on water quality, because the animals need environmental conditions to develop their own waste activity can damage it and make it unfeasible, besides causing societal environmental damage. Thus, it is necessary to conduct studies to assess the ability of water resources has in debug alone the total phosphorus load from the aquaculture park, preventing the system unbalance. This study aimed to assess the carrying capacity for cages operation in aquaculture sites in São Francisco Verdadeiro affluent of the Itaipu hydroelectric plant reservoir using the mathematical model estimation Dillon & Rigler. According to the estimate of supportability is possible to produce 817.4 tonnes of fish in 2015 São Francisco Verdadeiro affluent. There is a negative linear correlation between the increase in phosphorus content in total water body and the production of fish, which result great loss in production with the small increase in the concentration of phosphorus. This fact highlights the importance of monitoring and management for the control of point and diffuse sources of total phosphorus. The model of Dillon freehold Rigler can be recommended for management of aquaculture parks with limited information and resources, or wishing to convenience of calculation, starting the studies of capacity to support, in order to familiarize the user with the subject and gain experience.

**Keywords:** Aquaculture. Cage Aquaculture. Eutrophication. Support capacity. Dillon & Rigler .

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Tanque-rede.....	17
Figura 2 – Fluxo de fósforo em um sistema de piscicultura em tanques-rede. ....	20
Figura 3 – Representação do mapa de Monitoramento Ambiental: Parque Aquícola São Francisco Verdadeiro. ....	27
Figura 4 – Representação do processo de cálculo de mapa de Pi.....	35
Gráfico 1 – Concentrações médias de fósforo total (mg/L) entre os anos de 2009 e 2014 em todas as estações do braço São Francisco Verdadeiro. ....	37
Gráfico 2 – Concentrações médias de fósforo total entre os anos de 2004 e 2014 na estação E8. ....	39
Gráfico 3 – Relação entre o acréscimo de fósforo total no corpo hídrico e a capacidade de suporte. ....	41
Quadro 1 – Dados da área de estudo .....	25



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Modelo empírico para calcular o coeficiente de retenção (R) de fósforo em diferentes categorias de corpos d'água.....	29
Tabela 2 - Dados hidrológicos do braço São Francisco Verdadeiro.....	32
Tabela 3 - Dados zootécnicos do Pacu ( <i>Piaractus mesopotamicus</i> ).....	34
Tabela 4 - Dados para cálculo de capacidade de suporte .....	36
Tabela 5 - Resultados do cálculo para capacidade de suporte com base nos dados da variação do fósforo total em 2014. ....	38
Tabela 6 - Resultados do cálculo para capacidade de suporte com base nos dados da variação do fósforo total no período de 2009 a 2014. ....	39
Tabela 7 - Resultados do cálculo para capacidade de suporte com base nos dados da variação do fósforo total no período de 2009 a 2014 com coeficiente de segurança.....	40

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	10
2 JUSTIFICATIVA .....	11
3 OBJETIVO GERAL .....	12
3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
4.1 AQUICULTURA.....	13
4.1.1 A aquicultura como estratégia contra a fome .....	13
4.2 PESCA E AQUICULTURA SUSTENTÁVEL .....	14
4.3 PANORAMA DA AQUICULTURA NO BRASIL E NO MUNDO .....	15
4.4 TANQUES-REDE OU GAIOLAS.....	16
4.4.1 Alterações no meio ambiente causadas pela implantação de tanques-rede....	18
4.5 ESTUDOS DE CAPACIDADE DE SUPORTE.....	20
4.5.1 Métodos de estimativa de capacidade de suporte .....	22
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
5.1 MODELO MATEMÁTICO DE DILLON & RIGLER .....	28
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
6.1 DADOS DE PROJETO APLICADOS AO BRAÇO SÃO FRANCISCO VERDADEIRO.....	32
7 CONCLUSÃO.....	43
REFERÊNCIAS.....	44

## 1 INTRODUÇÃO

A aquicultura é uma das atividades de produção de alimentos que mais cresce no Brasil e no mundo, responsável por grande parcela do abastecimento mundial de pescados. É declarada pela FAO - Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação como uma das estratégias mundiais de erradicação da fome, promoção de segurança alimentar e diminuição da pobreza. A prática atualmente desejável da aquicultura está fundamentada no conceito de aquicultura sustentável, ou seja, um modo de produção responsável, que concilie conservação ambiental, lucratividade e desenvolvimento social.

Para a produção sustentável de qualquer recurso são necessários estudos que analisem a capacidade do meio ambiente em sustentar tal atividade, isto é, a produtividade máxima que é possível em uma área sem prejudicar a qualidade ambiental. Este conceito é chamado de capacidade de suporte.

Conhecer e estimar a capacidade de suporte dos ecossistemas aquáticos em receber os resíduos advindos da atividade humana é essencial para o manejo dos recursos hídricos e para os usos múltiplos das águas, sobretudo para o uso aquícola. Tal atividade tem relação intrínseca com a qualidade da água principalmente no caso das culturas em tanques-rede, visto que os peixes necessitam do ambiente em condições próximas ao seu habitat natural para se desenvolver, e que a aquicultura pode gerar impactos ambientais prejudiciais à própria criação. A piscicultura em tanques-rede pode colaborar para a eutrofização do corpo d'água em que opera, devido ao aporte de nutrientes resultante do arraçoamento e dejetos dos peixes.

A estimativa da capacidade de suporte para planejamento da aquicultura pode ser avaliada através de vários métodos, dentre eles os modelos matemáticos e outros métodos que utilizam ferramentas de modelagem hidrodinâmica.

Este estudo teve por objetivo avaliar a capacidade de suporte para a operação de tanque-rede em áreas aquícolas através do modelo matemático de Dillon & Rigler, aplicando-o ao braço São Francisco Verdadeiro do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Itaipu.

## 2 JUSTIFICATIVA

A estimativa da capacidade de suporte é essencial no desenvolvimento da aquicultura sustentável, portanto é muito importante a compreensão do modelo aplicado para essa atividade. É necessário representar e modelar todos os fatores envolvidos, o que pode gerar incertezas e prejudicar o gerenciamento. Na área da aquicultura muito se discute sobre a validade da aplicação dos métodos de estimativa de capacidade de suporte em locais específicos, e a necessidade de adequação dos modelos.

Diante destes fatos percebe-se a necessidade de estudos que contribuam para o esclarecimento dos questionamentos referentes ao cálculo de estimativa da capacidade de suporte, indicando a forma adequada de aplicação dos modelos em reservatórios, como no caso do reservatório da hidrelétrica de Itaipu. Já foram desenvolvidos estudos de capacidade de suporte em áreas propícias para a aquicultura no reservatório citado, inclusive para a área do presente estudo. Porém devido o ecossistema ser dinâmico e possivelmente ocorrer alterações nos parâmetros considerados pelo modelo há necessidade de atualização da estimativa, que é o escopo desse trabalho.

### 3 OBJETIVO GERAL

Este estudo teve por objetivo avaliar a capacidade de suporte para operação de tanques-rede em áreas aquícolas no braço São Francisco Verdadeiro do reservatório de Itaipu, utilizando o modelo matemático de estimativa de Dillon & Rigler.

#### 3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar as variáveis que compõe o modelo de Dillon & Rigler;
- Estimar a capacidade de suporte de implantação de taques-rede para desenvolvimento da atividade aquícola, no braço São Francisco Verdadeiro do reservatório de Itaipu.

## 4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 4.1 AQUICULTURA

A aquicultura é uma das atividades mais tradicionais da história da humanidade, praticada há milhares de anos por diversas culturas. Oliveira (2009, p.71) afirma que manuscritos chineses e hieróglifos egípcios evidenciam a utilização de um sistema simples de cultivo de peixes que consistia no “armazenamento de exemplares imaturos de diversas espécies de peixes, seu desenvolvimento condicionado a um ambiente propício, que não demandava adição de muitos insumos ou recursos externos”. A aquicultura propiciou o controle e regularidade da oferta de peixes, importante fonte de proteína animal (MPA, s.d.).

O Ministério da Pesca e Aquicultura (s.d.) define aquicultura como “o cultivo de organismos cujo ciclo de vida em condições naturais se dá total ou parcialmente em meio aquático”, e pode ser continental (água doce) ou marinha (água salgada). De forma mais abrangente,

Entende-se por aquicultura a atividade zootécnica que realiza a criação e/ou cultivo de organismos aquáticos, com a aplicação de técnicas de manejo em todo ou parte do ciclo de vida, com os mais variados objetivos e envolvendo variadas ações, tais como: sistemas de produção, estações de reprodução, manutenção de espécies, bancos de germoplasma, etc. (GTRA, 2007, p.19)

Existem vários grupos de organismos produzidos atualmente por aquicultura, dentre eles os peixes, crustáceos e moluscos com 346, 62 e 102 espécies exploradas, respectivamente. Os peixes constituem o mais importante grupo, atingindo 66,3% da produção mundial aquícola em 2011 (FAD, 2013).

#### 4.1.1 A aquicultura como estratégia contra a fome

Atualmente a aquicultura é uma das estratégias para suprir a demanda por alimentos, que aumenta concomitantemente com o crescimento populacional. Estimativas da Organização das Nações Unidas – ONU (DESA, 2013) indicam que a população mundial em 2015 será cerca de 7,3 bilhões de habitantes, mas em 2050

chegará à marca de 9,5 bilhões. Segundo Von Witzke (2011, *apud* Kinkartz, 2011) a produção de alimentos deverá duplicar ou até triplicar para que todos sejam atendidos, utilizando os mesmos recursos naturais que temos hoje. Será necessário investir em novas tecnologias para aumento da produtividade e eficiência dos cultivos, bem como ações de preservação os recursos naturais para as futuras gerações.

A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, na sigla em inglês) (2009) destaca a pesca e aquicultura para a erradicação da fome, promoção da saúde e redução da pobreza declarando que o peixe é “fonte de alimentação, meio de subsistência e de comércio, [...] contribui para a segurança alimentar em muitas regiões do mundo. Um grande número de países em desenvolvimento depende do peixe como principal fonte de proteína” (FAO, 2009, p.1).

#### 4.2 PESCA E AQUICULTURA SUSTENTÁVEL

A pesca e a aquicultura tem um papel importante no aumento da produção de alimentos, porém devem ser realizadas com responsabilidade. A FAO (2009, p.1) afirma que “aproximadamente 52% dos recursos pesqueiros marinhos do mundo estão “totalmente explorados”, ou atingiram o máximo admissível, enquanto que outros 28% dos estoques são “sobre pescados”, esgotados ou em via de recuperação”. Como forma de dar novas diretrizes aos aspectos de pesca e aquicultura a FAO lançou em 1995 o documento “Código de Conduta da Pesca Responsável”, assinado por todos os seus países membros da organização.

A aquicultura quando comparada à pesca apresenta diversos benefícios, como por exemplo a não exploração dos estoques pesqueiros e a previsão da produtividade e qualidade do pescado, havendo possibilidade de melhorá-los. Esses fatores contribuiriam para o crescimento da atividade no Brasil e no mundo.

Os benefícios de desenvolvimento criados a partir da aquicultura vão além da geração de alimento, abrangem a inclusão social e sustentabilidade. Dessa idealização foi criado o conceito de Aquicultura Sustentável (também chamado de Aquicultura Responsável), definido como “a forma desejável de se produzir

organismos aquáticos, sem degradar o meio ambiente, com lucro e com benefícios sociais” (VALENTI, 2002, p. 111). Nesse modelo busca-se a produção de pescado associado ao uso responsável dos recursos naturais e a adequada repartição dos benefícios sociais e econômicos, com o objetivo de desenvolver uma atividade lucrativa e perene (OSTRENSKY et al, 2008; VALENTI, 2002). Para que seja alcançada a Aquicultura Sustentável é necessário estudar o limite possível de produção de pescado que o ambiente em questão consegue suportar de modo que seu equilíbrio seja mantido. Tal estudo chama-se capacidade de suporte ambiental, desenvolvido para o ecossistema que recebe a aquicultura, como também todos os ecossistemas onde se desenvolvem outras atividades produtivas específicas ou a acomodação de uma população. As aplicações de estudos de capacidade de suporte ambiental são utilizadas para vários fins, como por exemplo, para a bovinocultura, silvicultura, atividades industriais, entre outros.

#### 4.3 PANORAMA DA AQUICULTURA NO BRASIL E NO MUNDO

O país de maior produção aquícola mundial é a China, responsável por 61,597% (38.621.269 t) do pescado em 2011. Com produção bastante inferior ao primeiro colocado está a Índia o Vietnã, com 7,294% (4.573.465 t) e 4,538% (2.845.600 t) da produção aquícola em 2011, respectivamente. Nesse ranking o Brasil ocupou a 12<sup>a</sup> posição com 1,003% (629.309 t) da produção aquícola mundial. E 2011 houve um incremento considerável de 31,1% em relação à produção de 2010, o que evidencia o crescimento acelerado da atividade no país (FAD, 2013).

O Brasil é um país com grande potencial de produção aquícola em razão de sua disponibilidade de recursos hídricos, em especial a água doce represada em lagos e reservatórios. Segundo Kubitzka et al (2012, p.14) “nos últimos 10 anos a aquicultura brasileira cresceu a uma taxa média de 10% ao ano, contra um crescimento mundial de 6% ao ano no mesmo período”. Tal crescimento é resultado de ampliação de políticas públicas do governo brasileiro que favoreceram o acesso aos programas governamentais de incentivo ao setor, como o Plano Mais Pesca e Aquicultura (MPA, 2011). O governo criou também uma política pública de incentivo à aquicultura em águas da união, estabelecida pela publicação do Decreto 4.895 de



25 de novembro de 2003 e pelas Instruções Normativas Interministeriais nº06, de 31 de maio de 2004 e nº07, de 28 de abril de 2006 (GTRA, 2007). Entretanto para que a atividade cresça é necessário superar alguns obstáculos. As maiores dificuldades atualmente são relativas às limitações técnicas e estruturais do setor, ao abandono histórico do governo brasileiro com a aquicultura e principalmente a demora da regularização de projetos aquícolas que compreende a emissão de licença, outorga e autorização de uso (OSTRENSKY et al, 2008).

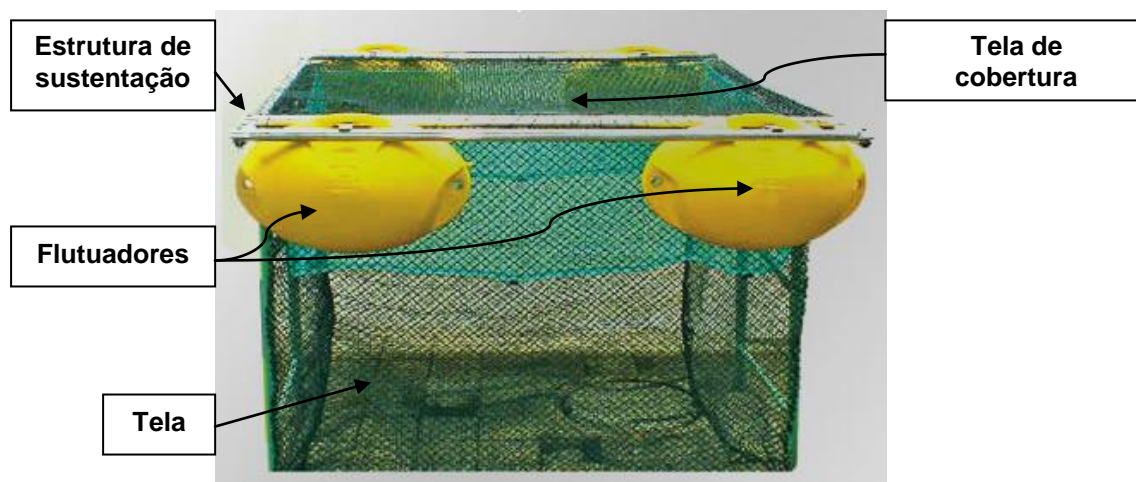
Essa é uma questão complexa, pois envolve uma gestão multiinstitucional entre a SEAP/PR, o IBAMA, a Marinha do Brasil (através da Capitania dos Portos), a Agência Nacional de Águas (ANA), a Secretaria de Patrimônio da União, do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (SPU/MP), além dos órgãos ambientais estaduais (OSTRENSKY et al, 2008, p.9).

O governo têm tomado providências para facilitar o desenvolvimento da aquicultura no país, a começar pela publicação das leis citadas anteriormente. A aquicultura em águas da união é uma estratégia para aumento da produção de pescados através da utilização de tanques-rede ou gaiolas, apropriada principalmente para águas represadas.

#### 4.4 TANQUES-REDE OU GAIOLAS

São estruturas destinadas à criação de peixes, instaladas em lagos, açudes, reservatórios, cursos d'água e no mar. Os tanques-rede ou gaiolas consistem em unidades de confinamento flutuantes que permitem a contínua renovação de água e saída de dejetos, fabricados em telas (Figura 1). São constituídos de uma estrutura de sustentação metálica, de madeira ou plástica de diversos formatos geométricos, onde se fixam redes ou telas flexíveis e retráteis, flutuadores e uma tela de cobertura, como ou sem comedouro automático. Pode-se utilizar telas com malhas de diferentes tamanhos e fabricadas em vários materiais como multifilamento de poliamida (nylon), telas de aço galvanizado revestida com PVC e aço inox. São chamados tanques-rede as estruturas flexíveis (como as fabricadas em nylon), e de gaiolas flutuantes as de material rígido (por exemplo: telas de aço, telas plásticas e ripas de madeira). Os materiais empregados na confecção de ambas unidades devem ser leves, não cortantes e resistentes à corrosão e às condições do cultivo

(vento, ondas, despesca, predadores, entre outros) (ONO, 2005; GTRA, 2007; CODEVASF, 2013).



**Figura 1 – Tanque-rede**  
**Fonte: Rural Pesca, s.d.**

A aquicultura em tanque-rede permite o cultivo de diversos de peixes exóticos e nativos que tolerem altas densidades de estocagem sem perdas expressivas de produtividade, porém é necessário ajustar o manejo do sistema para cada espécie. A espécie escolhida para o cultivo em tanque-rede deve ter as seguintes características:

1. Boa aceitação e bom valor comercial;
2. Facilidade de produção de juvenis em cativeiro;
3. Fácil adaptação à alimentação com rações secas;
4. Boa tolerância às pressões do cultivo intensivo;
5. Crescimento rápido e bom desempenho produtivo;
6. Boa resistência a doenças e parasitoses. (KUBITZA, 2003)

A espécie mais utilizada para cultivo em tanque-rede é a tilápia (*Oreochromis niloticus*), proveniente de um melhoramento genético do peixe africano Tilápia do Nilo desenvolvida pelos japoneses nas décadas de 40 e 60 (FERREIRA JÚNIOR, 2011). No Brasil há vários peixes nativos com potencial para cultivo em sistema de tanques-rede, porém faltam estudos para desenvolver técnicas de criação específicas que tornem a espécie tão produtiva quanto a tilápia. Algumas das espécies que se destacam na produção aquícola atualmente são: tambaqui

*Colossoma macropomum*, pacu *Piaractus Mesopotamicus* e jundiá-cinza *Rhamdia quelen* (CODEVASF, 2013).

#### 4.4.1 Alterações no meio ambiente causadas pela implantação de tanques-rede

A produção de peixes em tanques-rede é fortemente dependente da qualidade da água, pois o sistema está inserido no corpo hídrico e os animais necessitam de boas condições ambientais para se desenvolver. Como toda a atividade produtiva, no processo de transformação há geração de resíduos, que nesse caso são diluídos diretamente no corpo hídrico sem possibilidade de desvio ou tratamento. Logo, a carga orgânica aportada depende da capacidade de autodepuração do meio ambiente para sua estabilização (ARARIPE et al, 2006). Devido a esse fato, o manejo em tanque-rede contribui para a degradação do meio ambiente em que está instalado, afetando diretamente sua produtividade (ONO, 2005).

Os resíduos gerados pela piscicultura em tanque-rede elevam os níveis de nutrientes no corpo d'água e interferem em sua qualidade, pois são ricos em fósforo e nitrogênio provindos de ração não consumida, resíduos fecais e excrementos dos peixes. Tais nutrientes, em especial o fósforo, são limitantes para a produção primária (produção de fitoplâncton e macrófitas aquáticas) e favorecem a eutrofização (ARARIPE et al, 2006; FERREIRA JÚNIOR, 2011).

A eutrofização é um processo no qual o aumento da concentração de nutrientes leva ao aumento de populações (ESTEVES, 1998). Kubitza (1999, p. 48) completa que “a eutrofização favorece alguns tipos de organismos em detrimento de outros, alterando o equilíbrio da biocenose (conjunto de comunidades) aquática”. Apesar de ser um processo natural de envelhecimento de ecossistemas lênticos as atividades antrópicas podem acelerar consideravelmente esse fenômeno, causando a chamada eutrofização artificial (ESTEVES, 1998).

As formas de fósforo encontradas em águas naturais (tanto na forma iônica quanto nas formas complexadas) são chamadas de fosfato em limnologia. Os vários tipos de fosfatos solúveis e insolúveis são classificados em cinco grupos, dentre eles o fosfato inorgânico dissolvido ou ortofosfato ou fosfato reativo (P-orto). Essa fração

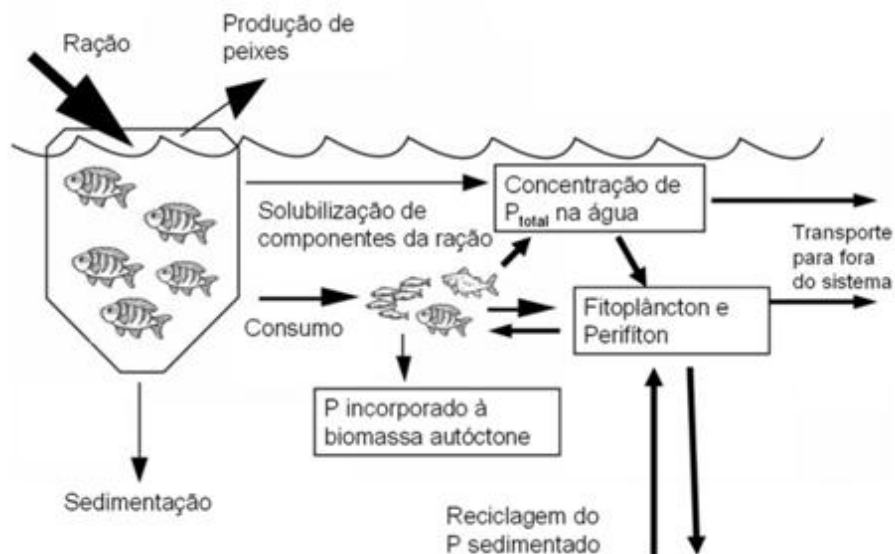
é principal forma de fosfato assimilada pelos vegetais aquáticos, portanto a de mais pertinência nos estudos da eutrofização. Em lagos tropicais naturais a concentração de P-orto é muito inferior à quantidade encontrada em lagos tropicais eutrofizados (ESTEVES, 1998).

Os sistemas de tanques-rede contribuem para a eutrofização através das perdas de nutrientes (especialmente o fósforo) resultantes do arraçamento da criação, sob forma de ração não consumida e de produtos do metabolismo dos peixes (ONO & KUBITZA, 2003). Os fosfatos dos detritos orgânicos são liberados no eplímnio e rapidamente disponibilizados para sua assimilação pelo fitoplâncton através de uma reação chamada “curto circuito” do fósforo. Através dele os fosfatos orgânicos são dissolvidos pela enzima fosfatase produzida por alguns tipos de bactérias, e em seguida decompostos por microrganismos. Logo após poderá ser absorvido pelos organismos e incorporado à sua biomassa. O fosfato inorgânico também é disponibilizado na água na forma de ortofosfato (P-orto) após seu processamento pela enzima fitase, produzida por bactérias e fungos (BOYD, 1995 *apud* ARARIPE et al, 2006). Em lagos tropicais os processos de liberação e assimilação de P-orto são mais rápidos devido o aumento do metabolismo dos organismos causados pela temperatura elevada (ESTEVES, 1998).

O principal impacto ambiental da piscicultura em tanque-rede é sua influência na qualidade da água devido ao aporte de nutrientes, causado pelo arraçamento. O manejo alimentar com a utilização de rações de alta qualidade (maior digestibilidade e conversão alimentar) diminuiriam os impactos ambientais além de melhorar a produtividade e a eficiência econômica do cultivo (ONO & KUBITZA, 2003; ARARIPE et al, 2006). O planejamento inadequado das quantidades de ração causam geração de resíduos diretos e indiretos, como descrito por Araripe et al (2006):

A alimentação excessiva causa sobra de ração e aumenta os resíduos no entorno dos tanques-rede, atraindo pequenos peixes, que terão suas excretas somadas as dos peixes cultivados, acelerando o efeito da decomposição uma vez que fezes são mais facilmente degradadas que partículas alimentares, causando assim prejuízo duplo para o cultivo (ARARIPE et al, 2006.).

A Figura 2 demonstra o fluxo fósforo em um sistema de piscicultura em tanques-rede e suas interações com o ecossistema aquático.



**Figura 2 – Fluxo de fósforo em um sistema de piscicultura em tanques-rede.**  
**Fonte: David & Carvalho (2013), adaptado de Hakanson (2005).**

Além do impacto ambiental principal sobre a concentração de nutrientes no corpo hídrico, Beveridge (2004) destaca outros três impactos principais: “1) a ocupação de espaço pela atividade e possível competição com os demais usos múltiplos da área, 2) alterações nas correntes de transporte de oxigênio, sedimentos, plâncton e larvas de peixes; e 3) impactos sobre os aspectos estéticos do local”.

#### 4.5 ESTUDOS DE CAPACIDADE DE SUPORTE

Na fase de planejamento da implantação da piscicultura em tanques-rede é necessária a realização de estudos sobre a capacidade de suporte da área, ou seja: “os níveis de utilização que os recursos ambientais podem suportar, garantindo-se a sustentabilidade e a conservação de tais recursos e o respeito aos padrões de qualidade ambiental” (GTRA, 2007, p.9). A capacidade de suporte para parques aquícolas é definida por Starling et al (2006, *apud* GTRA, 2007) como “o nível máximo de produção aquícola que um dado ecossistema pode sustentar sem extrapolar certos limites aceitáveis de indicadores de eutrofização”.

Os estudos de capacidade de suporte são imprescindíveis para garantir a compatibilidade ambiental do empreendimento piscícola e para presumir se a atividade terá sucesso ou não, visto que a qualidade da água é um fator limitante da produtividade (KUBITZA, 1999; ONO, 2005). O objetivo desses estudos é conhecer a concentração de nutrientes do corpo hídrico e estimar a quantidade máxima de nutrientes que a atividade poderá acrescentar ao meio sem que a qualidade da água seja prejudicada. Através desse trabalho é possível definir as áreas mais propícias a receber os tanques-rede (ARARIPE et al, 2006, GRTA, 2007).

A capacidade de suporte de um corpo d'água é determinada por sua capacidade de autodepuração, seus fatores morfométricos (profundidade e volume, por exemplo) e hidráulicos (tempo de residência e circulação interna da água). A autodepuração é um dos processos ecológicos de recuperação e estabilização dos ecossistemas aquáticos de resposta a distúrbios causados por ações antrópicas ou mesmo naturais. É formado pelo conjunto de processos físicos (diluição e sedimentação), químicos (oxidação dos redutores) e biológicos (ação de bactérias e algas) (GTRA, 2007).

Os estudos de capacidade de suporte devem considerar os seguintes aspectos:

- 1) As características das áreas onde serão implantados os parques aquícolas:  
áreas abertas, baías, enseadas entre outras; proximidade de áreas de captação de água para tratamento ou de áreas destinadas à recreação; capacidade volumétrica e recarga hídrica do local, que pode influenciar o potencial de diluição de nutrientes e de absorção do impacto ambiental.
- 2) As estratégias e índices de produção: conversão alimentar média observada nos parques aquícolas; potencial poluente das rações utilizadas estimado através do balanço em nutrientes.
- 3) O monitoramento das alterações ambientais: enriquecimento em nutrientes e estabelecimento das áreas de influência dos parques aquícolas; abundância ou desaparecimento de comunidades da biocenose aquática.
- 4) A definição dos limites toleráveis: das alterações na estrutura das comunidades aquáticas de enriquecimento em nutrientes de acordo com o nível trófico que se deseja manter nas áreas de influência dos parques aquícolas. (KUBITZA, 1999, p. 46)

Há vários fatores que interferem na qualidade ambiental em um recurso hídrico. No caso específico dos reservatórios a qualidade da água depende do uso e ocupação da bacia hidrográfica onde está inserido e de seus usos múltiplos, dado que juntos causam impactos ambientais como a eutrofização, toxicidade e contaminação, assoreamento e sedimentação, perda de biodiversidade da fauna aquática, anoxia do hipolímnio, entre outros. Portanto a instalação de tanques-rede

está condicionada ao aproveitamento da capacidade de suporte do corpo hídrico em conjunto com os demais usos (GTRA, 2007).

A capacidade de suporte para cultivo de peixes está relacionada com o potencial da atividade em contribuir com a eutrofização, causada pelo aumento da produção primária e estimulada pelo excesso de nutrientes no meio, principalmente o fósforo. De acordo com Starling et al (2006) “o fósforo tem sido considerado o principal nutriente limitante ao crescimento das algas planctônicas devido ao seu suprimento ser frequentemente inferior à sua demanda”. Dessa forma, a estimativa da capacidade de suporte é realizada através de modelos matemáticos desenvolvidos para antever a resposta do ecossistema lacustre ao aporte de cargas de fósforo geradas pela aquicultura em tanques-rede (STARLING et al, 2006).

No cálculo da estimativa de capacidade de suporte para empreendimentos de aquicultura intensiva em tanques-rede é necessário estabelecer quanto a concentração de fósforo total pode alcançar, de forma que a qualidade ambiental seja mantida. No Brasil o enquadramento do corpo hídrico na Resolução CONAMA 357/2005 estabelece a característica da água em determinada classe de qualidade em função de seus usos. Para cada tipo de sistema (lêntico, lótico ou intermediário, de acordo com seu tempo de residência) a resolução estipula limites para os parâmetros de água dentre eles o fósforo total. Sendo assim, cada estudo deve usar o valor de referência de acordo com o tipo de sistema e classe em que o corpo hídrico se enquadra antes da instalação do empreendimento aquícola. Para os rios e reservatórios em que não foram realizados estudos para determinar seu enquadramento na resolução CONAMA 357/2005 ou que não foi classificado pelo Plano de Bacia, a mesma legislação define que eles sejam considerados como de classe 2.

#### 4.5.1 Métodos de estimativa de capacidade de suporte

Os modelos matemáticos adotados para a avaliação da capacidade de suporte de ecossistemas aquáticos dão como resultado a carga pontual ou difusa de lançamento que determinado corpo hídrico pode receber e seja capaz de depurar por si só, sem que haja impactos ambientais significantes. Através desse resultado

calcula-se a quantidade máxima de biomassa de peixes que é possível produzir na área (GTRA, 2007). Tal resposta é baseada na quantidade máxima de fósforo total aportada pela aquicultura em tanques-rede que não promova a eutrofização e não ultrapasse o limite deste nutriente conforme o parâmetro de qualidade de água estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para o corpo hídrico.

A premissa básica de todos os modelos desenvolvidos para este fim é de que a abundância algal é negativamente correlacionada à qualidade da água e positivamente correlacionada ao aumento populacional, e de que o fósforo (P) é o fator limitante que controla o crescimento fitoplanctônico (STARLING et al, 2006).

Segundo Ferreira Júnior (2011) os modelos de capacidade de suporte fundamentam-se em balanços de massas, relacionando o teor de fósforo existente no sistema ( $P_e$ ); a concentração de fósforo máxima admissível provenientes do cultivo em tanques-rede ( $P_a$ ); e a concentração máxima que o corpo d'água pode atingir ( $P_{max}$ ) (o valor estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para a classe que o corpo hídrico está enquadrado) conforme a equação 1.

$$P_a = P_{max} - P_e \quad (1)$$

Os modelos de estimativa de capacidade de suporte permitem realizar simulações que auxiliam na tomada de decisões em todas as fases de um empreendimento piscícola, desde seu planejamento à gestão de sua operação. São ferramentas de grande utilidade na prevenção de impactos ambientais, porém a maior parte dos modelos é empírica, necessitando de constantes “calibrações, testes, verificações e modificações com base em estudos de campo” (STARLING et al, 2006, p.10).

Há modelos simples e modelos mais complexos, que consideram a hidrodinâmica do corpo d'água e fatores ecológicos, sendo o último grupo mais preciso. A modelagem consiste em modelos numéricos que representam a movimentação da água em um sistema de grandes ou pequenas dimensões (WASSERMAN, 2011). A aplicação de modelos de capacidade de suporte é limitada pela quantidade de informações do corpo hídrico, em especial os reservatórios. É necessário o levantamento de vários pré-requisitos singulares ao reservatório que podem não estar disponíveis “o que inviabiliza sua utilização, já que em muitos



reservatórios brasileiros o conhecimento destas variáveis é incipiente, ou então não está reunido em uma base de dados de fácil acesso” (GTRA, 2007).

Os pré-requisitos comumente exigidos para a aplicação dos modelos de capacidade de suporte são:

Usos preponderantes: zoneamento e enquadramento dos compartimentos;  
Dados morfométricos: profundidade (batimetria) e volume;  
Hidrodinâmica: tempo de residência, circulação da massa de água;  
Heterogeneidade espacial: áreas críticas já comprometidas ou a evitar;  
Aportes Externos: carga de fósforo em todos os tributários;  
Enriquecimento nutricional: teores de fósforo na massa de água (padrões espaço temporais);  
Compartimentação do fósforo: teores de fósforo no sedimento e taxa de sedimentação de fósforo. (STARLING et al, 2008)

O modelo mais utilizado na estimativa de capacidade de suporte é o de Dillon & Rigler, proposto em 1974 e modificado em 2004 por Beveridge. O modelo considera que a concentração de fósforo total no corpo hídrico (P) é determinada por sua morfologia (área, profundidade, capacidade de renovação da água) e as características do cultivo (quantidade de ração fornecida e biomassa produzida). Devido sua facilidade do cálculo e aplicabilidade em situações em que a disponibilidade de dados é reduzida, este método foi escolhido pela Agência Nacional das Águas (ANA) e o Ministério da Aquicultura e Pesca (MPA) para a estimativa de capacidade produtiva de reservatórios e emissão de outorgas, entretanto não é uma estimativa precisa, pois os processos de sua base conceitual foram simplificados (STARLING et al, 2006; ARARIPE et al, 2006).

Com relação aos métodos que utilizam modelos hidrodinâmicos, muitos programas podem ser utilizados para auxiliar nos estudos de capacidade de suporte, dentre eles o *software* livre brasileiro SisBaHiA - Sistema BAse de Hidrodinâmica Ambiental. Tal software foi aplicado para o planejamento da aquicultura, realizando o balanço de massa de modo mais preciso, pois considera a advecção, difusão, o tempo de residência, a importância da estratificação e os ventos em correntes residuais particulares de cada local (FERREIRA JÚNIOR, 2011). O programa de modelagem hidrodinâmica foi aplicado nos reservatórios de Furnas e Três Marias (MG) por Pinto-Coelho (2007) e no reservatório de Moxotó (PE/AL/BA) por Ferreira Júnior (2011).

## 5 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo de capacidade de suporte foi realizado com base no modelo de estimativa de Dillon & Rigler (Beveridge, 2004) e aplicado no braço São Francisco Verdadeiro formado pelo reservatório da hidrelétrica de Itaipu para aquicultura em tanque-rede de Pacu (*Piaractus mesopotamicus*). Para isso foram utilizados os dados de projeto empregados no relatório final do projeto MPA nº 18/2010 denominado "Aprimoramento metodológico da capacidade de suporte dos parques aquícolas do Reservatório de Itaipu, considerando a modelagem hidrodinâmica e limnológica como subsidio para sustentabilidade da aquicultura em águas públicas" (RELATÓRIO MPA, 2014) e do Plano de Controle Ambiental do Parque São Francisco Verdadeiro (PCA, 2007). Os dados gerais da área de estudo encontram-se no Quadro 1.

O histórico da variação da concentração de fósforo total no braço em estudo foi fornecido pela Divisão de Reservatório (MARR.CD) da Usina Hidrelétrica de Itaipu Binacional, sendo estes dados secundários coletados e analisados em laboratório pelo IAP – Instituto Ambiental do Paraná. Foram utilizados os dados de concentração de fósforo total coletados em 4 estações de monitoramento localizadas nas áreas propícias à aquicultura em tanques-rede no braço São Francisco Verdadeiro, no período de 6 anos (2009 a 2014). Na Figura 3 estão representadas as referidas estações, posicionadas nas seguintes coordenadas geográficas: E8 - 24°40'50.7"S e 54°14'34.9"O; APSFV01 - 24°41'20.0"S e 54°17'23.2"O; APSFV02 - 24°40'15.9"S 54°15'56.4"O; e APSFV04 - 24°39'27.7"S 54°16'12.7"O.

Nome da área	Braço São Francisco Verdadeiro
<b>Localização (Estado, Município)</b>	Paraná, entre os municípios Pato Bragado e Entre Rios do Oeste
<b>Nome do corpo hídrico formador</b>	Reservatório da Usina Hidrelétrica de Itaipu Binacional
<b>Bacia Hidrográfica</b>	Bacia Hidrográfica do Paraná 3

**Quadro 1 – Dados da área de estudo**  
**Fonte: PCA (2007).**

Para obter esses dados o IAP – Instituto Ambiental do Paraná realizou a coleta de água em alturas distintas, na superfície (amostras final -00) e a uma profundidade entre 1,5m a 2m (amostras final -FD), onde ficaria aproximadamente o fundo do tanque-rede geralmente utilizado no reservatório. Dessa forma esperava-se verificar se havia diferença nos dados devido ao acúmulo de matéria orgânica ou mesmo ração no fundo do tanque.

São planejadas coleta das de amostras em cada estação de monitoramento de superfície (-00) e de fundo (-FD) de forma trimestral, buscando realizar uma campanha de amostragem por estação (primavera, verão, outono e inverno), a fim de acompanhar a sazonalidade. Geralmente as campanhas de amostragens ocorriam nos meses de fevereiro, março, agosto e novembro, totalizando 4 duplas de dados (-00 e -FD) por coleta, por estação de monitoramento e por ano.

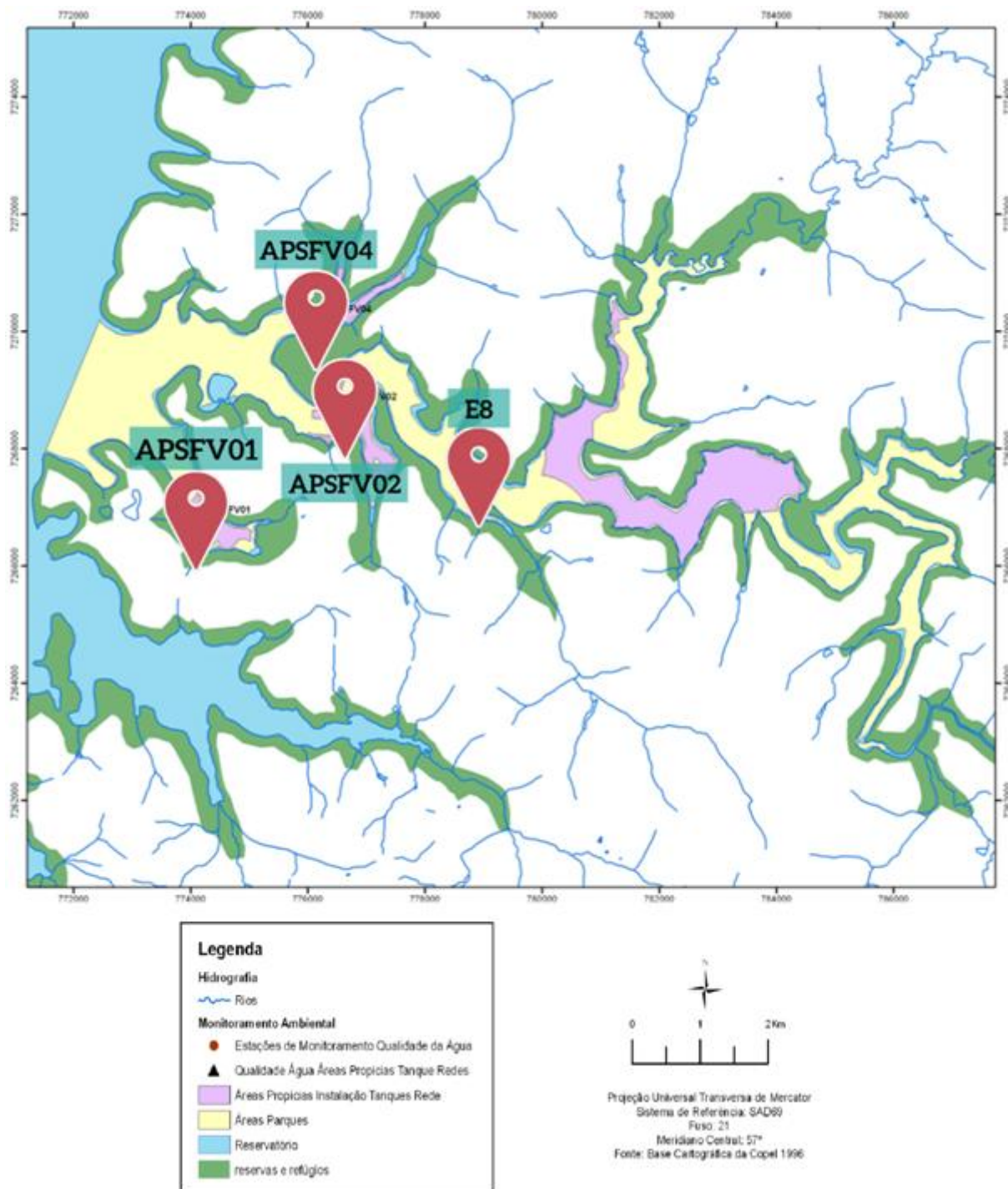


Figura 3 – Representação do mapa de Monitoramento Ambiental: Parque Aquícola São Francisco Verdadeiro.

Fonte: Adaptado de Relatório MPA (2014).

## 5.1 MODELO MATEMÁTICO DE DILLON & RIGLER

O modelo de Dillon & Rigler (BEVERIDGE, 2004) fundamenta-se na quantidade permissível de fósforo total provindo da aquicultura em tanques-rede de modo que não seja excedido o máximo determinado pelos gestores. No Brasil usa-se o padrão de qualidade da água definido na Resolução CONAMA 357/2005.

Por ser o modelo mais utilizado na implantação e gerenciamento de parques aquícolas no Brasil, houve a sistematização do modelo em planilhas eletrônicas e compartilhou-se os arquivos, facilitando os cálculos para aplicação em outras áreas. Para esse estudo utilizou-se como referência a planilha eletrônica elaborada pela Divisão de Reservatório (MARR.CD) da Usina Hidrelétrica de Itaipu Binacional. A seguir detalha-se o método utilizado.

a) Inicialmente calcula-se a massa de fósforo total incorporada na água gerada pela criação de uma tonelada de peixe confinada em tanque rede ( $Pe$ ). Ela é calculada considerando as características zootécnicas da espécie cultivada e na qualidade da ração utilizada. A variável  $Pe$  é calculada pela equação 2.

$$Pe = (Pf \cdot TCA) - Pa \quad (2)$$

Onde:

$Pe$  = concentração de fósforo gerada pela atividade (kg P/t de peixe) que é incorporado ao corpo d'água;

$Pf$  = concentração de fósforo no alimento (kg P/t de ração);

$TCA$  = taxa de conversão alimentar (kg de alimento/kg de peixe produzido);

$Pa$  = concentração de fósforo no peixe despescado (kg/t de peixe).

b) O próximo passo é calcular a quantidade de fósforo no corpo hídrico que naturalmente sedimenta provinda de qualquer fonte ( $R$ ). A sedimentação do fósforo ocorre através de sua adsorção aos íons (principalmente o férrico) ou argila (ESTEVEZ, 1998). A parcela sedimentada não está disponível ao fitoplâncton, portanto deve ser desconsiderada no cálculo. A estimativa da quantidade de fósforo total naturalmente retida pelo sedimento é baseada no período de residência da

água em anos ( $r$ ) e nas características limnológicas do tipo de corpo d'água a qual pertence o objeto de estudo (constantes  $m$  e  $n$  encontradas em pesquisas bibliográficas e relacionadas no trabalho de Araripe et al (2006), transcrito na Tabela 1.

O coeficiente de retenção de acordo com o modelo Dillon & Rigler (BEVERIDGE, 2004) é calculado pela equação 3.

$$R = 1(1 + mr^n)^{-1} \quad (3)$$

Onde:

$R$ = coeficiente de retenção (adimensional);

$r$ = taxa anual de renovação de água do reservatório (anos);

$m$  e  $n$ = constantes definidas pelas características limnológicas da categoria de corpo d'água, determinado pela literatura (Tabela 1).

**Tabela 1 - Modelo empírico para calcular o coeficiente de retenção (R) de fósforo em diferentes categorias de corpos d'água**

Tipo de modelo	Tamanho da amostra	Modelo matemático	Coeficiente de correlação	Fonte
Lagos e reservatórios da Europa	704	$R = 1/(1 + 0,614 r^{0,491})$	0,79	Larsen e Marcier (1976)
	73	$R = 1/(1 + r_{0,5})$	0,79	Larsen e Marcier (1976)
		$R = 0,426^{[-2,71qs]+0,574wxp(-0,00949qs)}$	0,71	Kirchner e Dillon (1975)
Reservatórios Norte Americanos	210	$R = 1(1 + 0,515r^{0,551})$	0,80	Larsen e Marcier (1976)
Lagos Naturais	151	$R = 1(1 + 0,747r^{0,507})$	0,80	Larsen e Marcier (1976)
Lagos com baixa taxa de renovação	53	$R = 0,201^{[(0,0425qs)+0,57 \exp(-0,00949qs)]}$	-	Ostrofsky (1978)

Fonte: Adaptado de Araripe et al (2006).

c) Em seguida calcula-se a variação de fósforo permissível entre a concentração de fósforo já existente no corpo hídrico e a legislação ambiental aplicável ( $\Delta P$ ), resultado da equação 4.

$$\Delta P = Pl - Pi \quad (4)$$

Onde:

$\Delta P$  =variação aceitável nas concentrações de fósforo ( $\text{mg}/\text{m}^3$ );

$Pl$ =concentração de fósforo limite estabelecido pela legislação ambiental aplicável ( $\text{mg}/\text{m}^3$ );

$Pi$ = quantidade de fósforo no existente no ambiente ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ).

d) Na etapa seguinte calcula-se a carga de fósforo máxima permissível gerada pela piscicultura ( $L$ ) através da equação 5, que utiliza os dados gerados pelas equações 3 e 4.

$$L = \frac{\Delta P \cdot z \cdot Tp}{1 - R} \quad (5)$$

Onde:

$L$ = carga de fósforo gerada pela atividade ( $\text{mg P}/\text{m}^2/\text{ano}$ );

$\Delta P$ = variação aceitável nas concentrações de fósforo ( $\text{mg}/\text{m}^3$ );

$z$ = profundidade média do reservatório (m);

$Tp$ = taxa de renovação da água (inverso do tempo de residência) ( $\text{ano}^{-1}$ );

$R$  = coeficiente de retenção (adimensional).

e) Na sequência efetua-se o cálculo da capacidade de carga do reservatório ( $CP$ ), ou seja, a quantidade máxima de fósforo total produzida pela piscicultura que a área pode receber de modo que a concentração final do nutriente não exceda a legislação ambiental, determinada pela equação 6 que utiliza os dados da equação 5.

$$CP = \frac{S \cdot L}{1000000000} \quad (6)$$

Onde:

$CP$  = capacidade de carga do reservatório (t P/ano);

$S$  = área do reservatório (m<sup>2</sup>);

$L$  = carga de fósforo gerada pela atividade (mg P/m<sup>2</sup>/ano).

f) Ao final obtém-se a produção máxima anual de peixes (ou capacidade de suporte da área) ( $MASSA_{Peixe}$ ) através do cálculo da quantidade máxima de ração anual ( $MASSA_{Ração}$ ) por meio das seguintes equações 7 e 8.

$$MASSA_{Ração} = 1000 \cdot \frac{CP}{Pf} \quad (7)$$

$$MASSA_{Peixe} = \frac{MASSA_{Ração}}{TCA} \quad (8)$$

Onde:

$MASSA_{Ração}$  = Quantidade máxima de ração anual (t/ano);

$CP$  = capacidade de carga do reservatório (t P/ano);

$Pf$  = concentração de fósforo no alimento (kg P/t de ração);

$MASSA_{Peixe}$  = Produção máxima anual de peixes (t/ano);

$TCA$  = taxa de conversão alimentar (kg de alimento/kg de peixe produzido).



## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 DADOS DE PROJETO APLICADOS AO BRAÇO SÃO FRANCISCO VERDADEIRO

Os dados de projeto aplicados nesse estudo foram obtidos do relatório final resultado do projeto MPA nº 18/2010 denominado "Aprimoramento metodológico da capacidade de suporte dos parques aquícolas do Reservatório de Itaipu, considerando a modelagem hidrodinâmica e limnológica como subsidio para sustentabilidade da aquicultura em águas públicas", entregue ao CNPQ - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em 2014 (RELATÓRIO MPA, 2014).

Com relação aos dados hidrológicos da área, foram aplicados os valores apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2 - Dados hidrológicos do braço São Francisco Verdadeiro**

Informação	Variável	Valor	Unidade
TEMPO DE RESIDÊNCIA A 32% DA CAPACIDADE	$r = \frac{1}{Tp}$	24	dias
		0,0658	ano
ÁREA DO ESPELHO D'ÁGUA MÉDIO	S	2104,516	ha
		21045160	m <sup>2</sup>
PROFUNDIDADE MÉDIA	z	12	m

Fonte: Relatório MPA (2014).

O dado de tempo de residência é obtido através de cálculos que envolvem a batimetria da região, porém este estudo da área está em andamento pela Divisão de Reservatório de Itaipu. Portanto o valor aplicado no projeto é resultante do relatório final do projeto referido anteriormente, em que foi utilizado o *software* de modelagem hidrodinâmica Delft 3D com período de simulação de 2008 a 2013. Tais estudos alcançaram bons resultados e concluíram que o tempo de residência possui

variação temporal e espacial em decorrência da variação da cota de operação e da vazão. Desta maneira utilizou-se nesse trabalho o resultado obtido pelo projeto MPA nº 18/2010 (RELATÓRIO MPA, 2014) em que o tempo de residência foi de 24 dias.

A profundidade média adotou-se a média entre as cotas máxima e a mínima operacional, definidas por Itaipu e também utilizada no projeto MPA nº 18/2010 (RELATÓRIO MPA, 2014).

Com relação ao coeficiente de retenção foram utilizados para esse estudo os dados de projeto dos estudos anteriores para o braço São Francisco Verdadeiro, o Plano de Controle Ambiental (PCA, 2007) e o Relatório Final do Projeto MPA nº 18/2010 (RELATÓRIO MPA, 2014), os mesmos aplicados na maioria dos trabalhos desenvolvidos no Brasil.

O coeficiente de retenção é motivo de grande discussão na academia sobre a forma de cálculo desse coeficiente, pois a equação proposta por Dillon & Rigler, e adotada até hoje, foi desenvolvida para clima temperado. Sabe-se que o clima temperado possui padrões de sedimentação muito diferentes dos encontrados no clima tropical devido à temperatura, portanto não seria conveniente adotar a mesma equação para ambos os ambientes. Outros modelos matemáticos de estimativa da capacidade de suporte consideram índices de sedimentação baseados nas características de reservatórios de clima tropical, diferente do coeficiente de retenção proposto no modelo de Dillon & Rigler. Quando aplica-se a equação de índices de sedimentação encontrados em outros modelos de estimativa de capacidade de suporte em substituição ao coeficiente de retenção de Dillon & Rigler, não é possível chegar a um resultado devido a diferença de bases matemáticas entre os modelos. Sendo assim, ainda utiliza-se a forma de cálculo do coeficiente de retenção proposta no modelo de Dillon & Rigler, mesmo sabendo que esta pode estar inadequada.

A equação aplicada foi desenvolvida para lagos e reservatórios da Europa por Larsen e Marcier (1976, *apud* ARARIPE et al, 2006) que determinou o valor das variáveis  $m = 0,614$  e  $n = 0,491$ . Portanto a equação 3 é aplicada da seguinte forma:

$$R = 1(1 + 0,614r^{0,491})^{-1} \quad (3)$$

Assim, se  $r = 0,0658$  (Tabela 2) o valor de  $R$  é igual a 0,30.

Com relação à espécie cultivada, o Pacu (*Piaractus mesopotamicus*) foi mantido, como nos estudos anteriores. Essa espécie de Pacu é nativa da bacia do Rio Prata e possui potencial para a aquicultura em tanque rede, entretanto os estudos de sua criação em tanque-rede são escassos. Os estudos estão concentrados na criação de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) por ser mais vantajosa e predominar os cultivos do tipo. Contudo a espécie é exótica na região e seu cultivo é vedado pelo decreto nº 4.256, de 3 de junho de 2002 (PCA, 2007).

As pesquisas relacionadas aos índices zootécnicos da aquicultura tropical estão, quase em sua totalidade, focadas na espécie Tilápia (*Oreochromis niloticus*), gerando significativa carência de dados com espécies nativas no cultivo em tanques– rede. Em decorrência deste fato, a ITAIPU Binacional, desde 1987, tem investido significativos recursos em pesquisa para o suprimento dessa carência de dados, os quais são fundamentais para o cálculo da capacidade produtiva do corpo hídrico. (PCA, 2007, p.59)

Os dados zootécnicos da espécie foram retirados do Plano de Controle Ambiental do Parque Aquícola São Francisco Verdadeiro e estão dispostos na Tabela 3.

**Tabela 3 - Dados zootécnicos do Pacu (*Piaractus mesopotamicus*)**

Informação	Variável	Valor	Unidade
CONVERSÃO ALIMENTAR	<i>TCA</i>	2,5	Kg de ração / kg de peixe
TEOR DE FÓSFORO NA RAÇÃO	<i>Pf</i>	12	kg P/t de ração
TEOR DE FÓSFORO NO PEIXE	<i>Pa</i>	5,4	kg P/t de peixe

Fonte: PCA (2007).

O histórico de concentração de fósforo total registrados da região foi necessário para o cálculo da quantidade de fósforo existente no ambiente ( $P_i$ ) e foram fornecidos pela Divisão de Reservatório (MARR.CD) da Usina Hidrelétrica de Itaipu Binacional. Os registros da concentração de fósforo total nas 4 estações de monitoramento localizadas nas áreas propícias à aquicultura em tanque-rede no braço (E8; APSFV01; APSFV02 e APSFV04) no período de 6 anos (2009 a 2014), estavam sistematizados em planilha eletrônica. Os dados estão transcritos no Apêndice A.

A respeito do período de estudo em 2009, 2010 e ocorreram 4 campanhas de amostragem por ano, como o planejado. Em 2011 aconteceram 2 campanhas, em 2012 somente 1 para as estações APSFV01; APSFV02 e APSFV04 e 2 para a estação E8, e em 2014 foram 3 campanhas. Portanto, na planilha eletrônica cedida por pela Divisão de Reservatório (MARR.CD) de Itaipu haviam 146 registros.

Primeiramente aplicou-se a média aritmética simples nos resultados de fósforo total nas amostras finais -00 e -FD para obter um valor único por estação a cada coleta. Após a aplicação da média os dados reduziram-se a 73 registros, somente com o nome da estação, sem código final. Em seguida fez-se a média aritmética simples de todos os valores encontrados no período de interesse e obteve-se o valor da variável  $P_i$ , quantidade de fósforo existente no ambiente ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ). O processo de cálculo encontra-se esquematizado na Figura 4.

Estação	Data de Coleta	Valor		Estação	Data de Coleta	Valor
APSFV01-00	05/06/2013 09:00:00	0,022	Cálc. Média	APSFV01	05/06/2013	0,023
APSFV01-FD	05/06/2013 09:15:00	0,023				
APSFV02-00	05/06/2013 10:00:00	0,021	Cálc. Média	APSFV02	05/06/2013	0,021
APSFV02-FD	05/06/2013 10:15:00	0,02				
APSFV04-00	05/06/2013 11:00:00	0,021	Cálc. Média	APSFV04	05/06/2013	0,021
APSFV04-FD	05/06/2013 11:15:00	0,021				
E8-II	09/05/2013 10:30:00	0,026	Cálc. Média	E8	09/05/2013	0,026
E8-I	09/05/2013 11:00:00	0,025				
E8-I	13/03/2013 08:30:00	0,041	Cálc. Média	E8	13/03/2013	0,043
E8-II	13/03/2013 09:15:00	0,044				
E8-II	15/08/2013 11:00:00	0,032	Cálc. Média	E8	15/08/2013	0,03
E8-I	15/08/2013 11:30:00	0,028				
APSFV02-00	19/09/2013 09:50:00	0,015	Cálc. Média	APSFV02	19/09/2013	0,015
APSFV02-FD	19/09/2013 10:10:00	0,014				
APSFV04-00	19/09/2013 10:40:00	0,015	Cálc. Média	APSFV04	19/09/2013	0,022
APSFV04-FD	19/09/2013 11:00:00	0,028				
APSFV01-00	19/09/2013 12:00:00	0,023	Cálc. Média	APSFV01	19/09/2013	0,021
APSFV01-FD	19/09/2013 12:10:00	0,019				

Cálculo da média das concentrações de fósforo total no braço =  $P_i$  em ( $\text{mg}/\text{L}$ )

Figura 4 – Representação do processo de cálculo de mapa de  $P_i$ .

Fonte: Dados disponibilizados pela ITAIPU BINACIONAL, divisão de Reservatório (MARR.CD) realizado em parceria com o IAP.

Para a variável concentração de fósforo limite estabelecido pela legislação ambiental aplicável ( $P_l$ ) foi adotada a referência de fósforo total para sistema lântico de classe 2 definido na Resolução CONAMA 357/2005, ou seja,  $30 \text{ mg}/\text{m}^3$ .

Em resumo, os dados de projeto para esse estudo estão dispostos na Tabela 4.

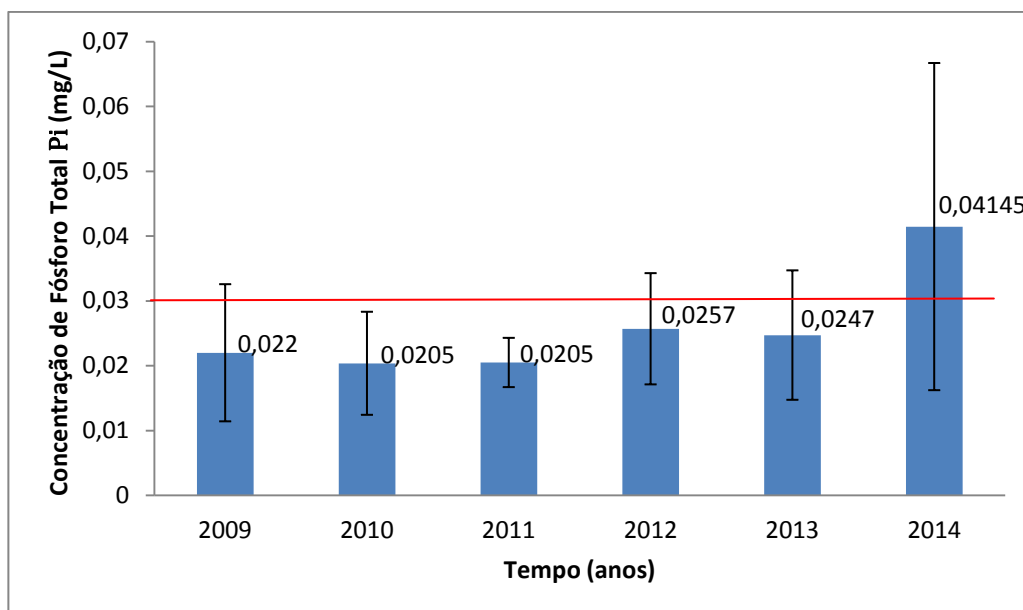
Tabela 4 - Dados para cálculo de capacidade de suporte

Informação	Variável	Valor	Unidade
TEMPO DE RESIDÊNCIA A 32% DA CAPACIDADE	$r = \frac{1}{Tp}$	24	dias
		0,0658	ano
ÁREA DO ESPELHO D'ÁGUA MÉDIO	$S$	2104,516	ha
		21045160	m <sup>2</sup>
PROFUNDIDADE MÉDIA	$z$	12	m
CONVERSÃO ALIMENTAR	$TCA$	2,5	Kg de ração / kg de peixe
TEOR DE FÓSFORO NA RAÇÃO	$Pf$	12	kg P/t de ração
TEOR DE FÓSFORO NO PEIXE	$Pa$	5,4	kg P/t de peixe
CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO GERADA PELA ATIVIDADE	$Pe$	24,6	(kg P/t de peixe)
COEFICIENTE DE SEDIMENTAÇÃO	$R$	0,3*	
ÍNDICE DE FÓSFORO LEGAL	$Pl$	30	mg/m <sup>3</sup>

\* Valor calculado para esse estudo.

Fonte: Adaptado de RELATÓRIO MPA (2014).

A análise a partir da planilha eletrônica dos dados de concentração média de fósforo total no período de estudo mostrou a oscilação desse parâmetro e um pico em 2014, como demonstrado no Gráfico 1.



**Gráfico 1 – Concentrações médias de fósforo total (mg/L) entre os anos de 2009 e 2014 em todas as estações do braço São Francisco Verdadeiro.**

**\* Destaca-se o valor padrão de referência de fósforo total para águas classe 2 - Resolução CONAMA 357/2005.**

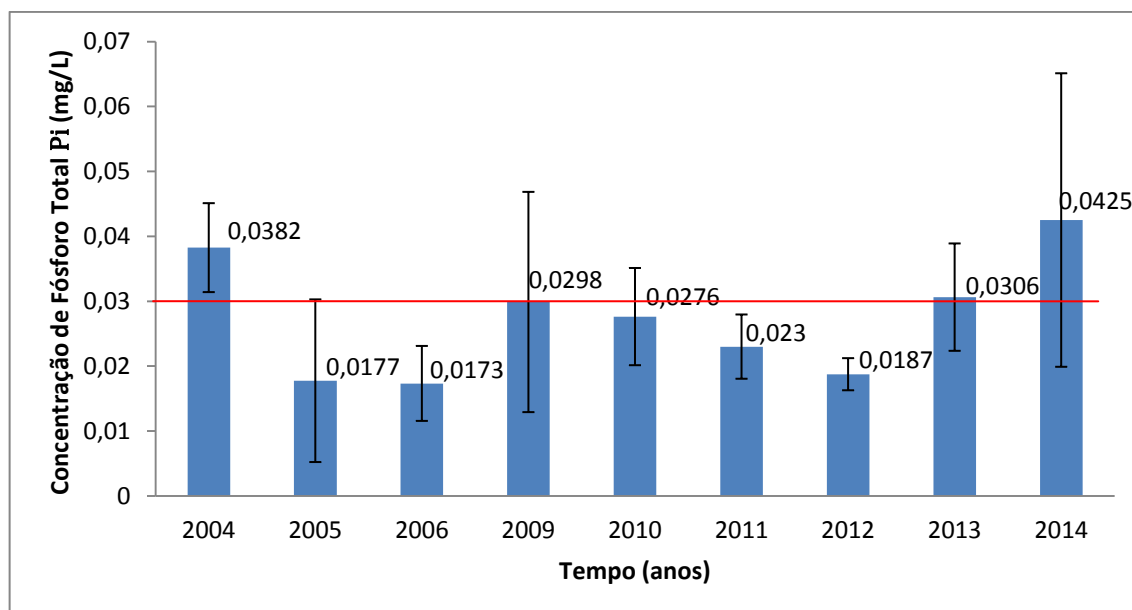
A oscilação da concentração de fósforo total no corpo hídrico é proveniente da alteração de diversos fatores físicos, químicos, biológicos, e são causados geralmente pelas atividades antrópicas tais como o manejo, uso e ocupação de solo, o lançamento de efluentes sem tratamento. Sendo assim, dificilmente pode-se determinar qual fonte de nutriente causou o aumento da concentração em 2014.

A partir das informações do Gráfico 1 foi possível verificar a diminuição da capacidade de suporte devido ao aumento da concentração de fósforo total, como também o pico dessa variável em 2014 que ultrapassa o índice legal e teoricamente inviabiliza o cultivo de peixes na área em 2015. O memorial de cálculo apresentado na Tabela 5 confirma essa conclusão.

**Tabela 5 - Resultados do cálculo para capacidade de suporte com base nos dados da variação do fósforo total em 2014.**

Informação	Variável	Valor	Unidade
QUANTIDADE DE FÓSFORO NO EXISTENTE NO AMBIENTE	$P_i$	41,458	mg/m <sup>3</sup>
<b>VARIAÇÃO ACEITÁVEL NAS CONCENTRAÇÕES DE FÓSFORO</b>	$\Delta P$	<b>-11,5</b>	<b>mg/m<sup>3</sup></b>
<b>CARGA DE FÓSFORO GERADA PELA ATIVIDADE</b>	$L$	<b>-2986,126</b>	<b>mg P/m<sup>2</sup>/ano</b>
<b>CARGA MÁXIMA DE CARGA DE FÓSFORO TOTAL</b>	$CP$	<b>-62,844</b>	<b>t P/ano</b>
<b>QUANTIDADE MÁXIMA DE RAÇÃO ANUAL</b>	$MASSA_{Ração}$	<b>-5237,0</b>	<b>t/ano</b>
<b>QUANTIDADE MÁXIMA DE PEIXES</b>	$MASSA_{Peixe}$	<b>-2094,78</b>	<b>t/ano</b>

De acordo com a Tabela 5 para 2015 não seria ambientalmente viável a produção pesqueira, pois em 2014 o corpo d'água apresentou nível de fósforo total acima do limite legal. Porém calcular a capacidade de suporte para 2015 com base nos dados de 2014 não seria o indicado, pois sabe-se que a concentração de fósforo total é altamente variável e possivelmente o valor encontrado em 2014 não se manterá em 2015. A fim de confirmar a variabilidade desse parâmetro verificaram-se nos dados de qualidade da água na estação E8, que foi a primeira a ser instalada e possui dados mais antigos, que em 2004 houve registro de concentração de fósforo total na água mais alta do que em 2014, e no ano seguinte observou-se a concentração mais baixa de todo o período documentado. A variação da concentração de fósforo total na estação E8 entre 2004 e 2014 é apresentado no Gráfico 2. Os registros anteriores a 2009 foram retirados do Plano de Controle Ambiental (PCA, 2007).



**Gráfico 2 – Concentrações médias de fósforo total entre os anos de 2004 e 2014 na estação E8.**

\* Destaca-se o valor padrão de referência de fósforo total para águas classe 2 - Resolução CONAMA 357/2005.

Diante da dinamicidade do ciclo do fósforo e alta variabilidade de sua concentração no corpo hídrico, optou-se pela utilização do valor médio de concentração de fósforo total no período de 2009 e 2014 no cálculo da estimativa de capacidade de suporte para o ano de 2015 (Tabela 6).

**Tabela 6 - Resultados do cálculo para capacidade de suporte com base nos dados da variação do fósforo total no período de 2009 a 2014.**

Informação	Variável	Valor	Unidade
QUANTIDADE DE FÓSFORO NO EXISTENTE NO AMBIENTE	$P_i$	25,53	mg/m <sup>3</sup>
<b>VARIAÇÃO ACEITÁVEL NAS CONCENTRAÇÕES DE FÓSFORO</b>	$\Delta P$	<b>4,5</b>	<b>mg/m<sup>3</sup></b>
<b>CARGA DE FÓSFORO GERADA PELA ATIVIDADE</b>	$L$	<b>1165,24</b>	<b>mg P/m<sup>2</sup>/ano</b>
<b>CARGA MÁXIMA DE CARGA DE FÓSFORO TOTAL</b>	$CP$	<b>24,52</b>	<b>t P/ano</b>
<b>QUANTIDADE MÁXIMA DE RAÇÃO ANUAL</b>	$MASSA_{Ração}$	<b>2043,5</b>	<b>t/ano</b>
<b>QUANTIDADE MÁXIMA DE PEIXES</b>	$MASSA_{Peixe}$	<b>817,42</b>	<b>t/ano</b>



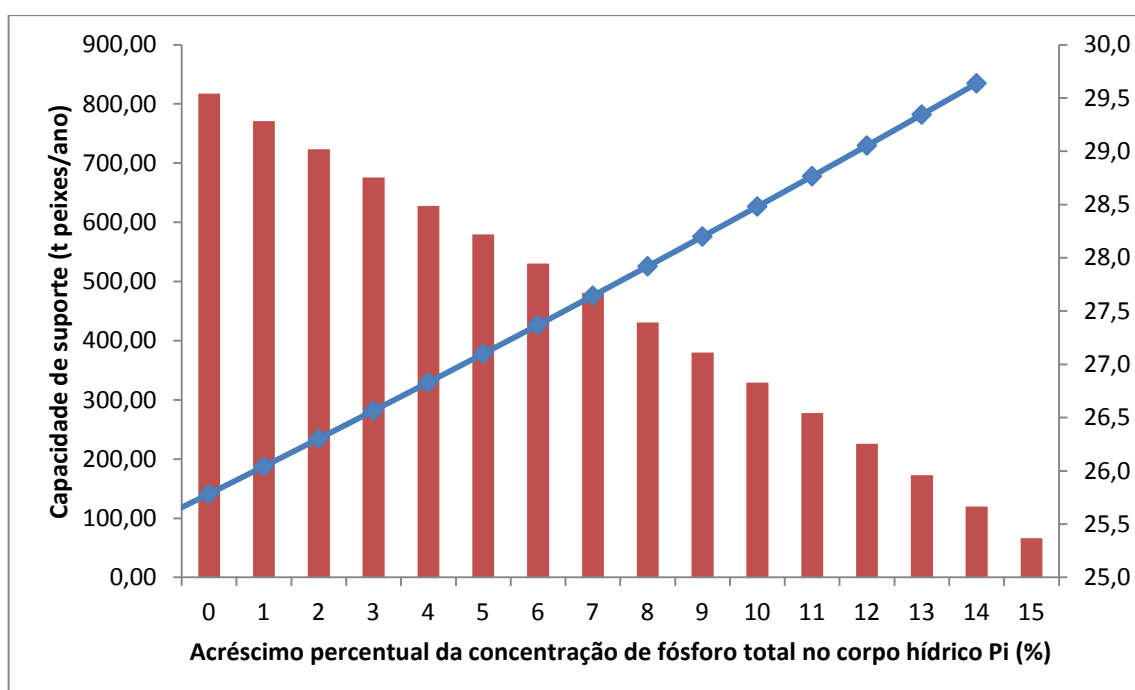
De acordo com a estimativa de capacidade de suporte é possível produzir 817,4 toneladas de peixes em 2015 no braço São Francisco Verdadeiro. Dessa forma considera-se que as fontes de fósforo total no ambiente mantenham-se praticamente estáveis e o excedente de capacidade do ambiente receber nutrientes sem prejudicar sua qualidade seja preenchida com a produção aquícola, porém sabe-se que essa hipótese é improvável. Prevendo essa variação é recomendado adicionar um coeficiente de segurança ao modelo, como foi feito no Plano de Controle Ambiental. No PCA (2007) adicionou-se  $5 \text{ mg/m}^3$  ao índice de fósforo total no corpo hídrico, contudo se fosse adicionado o mesmo coeficiente de segurança no estudo atual a variável excederia o limite de  $30 \text{ mg/m}^3$  referido na resolução CONAMA 357/05, então optou-se por um coeficiente de  $3 \text{ mg/m}^3$ . Com o novo índice de fósforo total no corpo hídrico a capacidade de suporte calculada foi de 268,97 toneladas de peixes em 2015 (Tabela 7).

**Tabela 7 - Resultados do cálculo para capacidade de suporte com base nos dados da variação do fósforo total no período de 2009 a 2014 com coeficiente de segurança**

Informação	Variável	Valor	Unidade
QUANTIDADE DE FÓSFORO NO EXISTENTE NO AMBIENTE	$P_i$	28,53	$\text{mg/m}^3$
<b>VARIAÇÃO ACEITÁVEL NAS CONCENTRAÇÕES DE FÓSFORO</b>	$\Delta P$	<b>1,5</b>	<b><math>\text{mg/m}^3</math></b>
<b>CARGA DE FÓSFORO GERADA PELA ATIVIDADE</b>	$L$	<b>383,41</b>	<b><math>\text{mg P/m}^2/\text{ano}</math></b>
<b>CARGA MÁXIMA DE CARGA DE FÓSFORO TOTAL</b>	$CP$	<b>8,07</b>	<b><math>\text{t P/ano}</math></b>
<b>QUANTIDADE MÁXIMA DE RAÇÃO ANUAL</b>	$MASSA_{Ração}$	<b>672,4</b>	<b><math>\text{t/ano}</math></b>
<b>QUANTIDADE MÁXIMA DE PEIXES</b>	$MASSA_{Peixe}$	<b>268,97</b>	<b><math>\text{t/ano}</math></b>

A estimativa da capacidade de suporte considerando um coeficiente de segurança de  $3 \text{ mg/m}^3$ , ou seja, um acréscimo de 11,75% na concentração de fósforo no braço São Francisco Verdadeiro reportou diminuição de 67,1% no limite sustentável de produção. Observa-se então que um pequeno aumento no teor de fósforo total no corpo hídrico acarreta grande perda em produção de pescado. Isso se deve à correlação entre as duas variáveis ser perfeitamente negativa,

determinada pelo coeficiente de correlação de Pearson. O Gráfico 3 relaciona o acréscimo percentual na concentração de fósforo no corpo hídrico e a resposta do modelo de estimativa de capacidade de suporte, comprovando essa afirmação. A correlação é perfeitamente negativa, com coeficiente de correlação de Pearson ( $\rho$ ) de -1, ou seja, quando a concentração de fósforo cresce a capacidade de suporte diminui, nesse caso expressivamente. Tal fato evidencia a importância do monitoramento e manejo para o controle de fontes pontuais e difusas de fósforo total.



**Gráfico 3 – Relação entre o acréscimo de fósforo total no corpo hídrico e a capacidade de suporte.**

Comparando-se o resultado do presente trabalho com o resultado do Plano de Controle Ambiental (PCA, 2007) que foi desenvolvido no mesmo corpo hídrico, mesma espécie de cultivo e utilizou o mesmo método de estimativa de capacidade de suporte, nota-se uma diminuição considerável na capacidade produtiva. O PCA (2007) estimou a capacidade de suporte em 1211,60 t/ano, e nesse estudo o valor foi de 268,97 t/ano, uma redução de 77,8%. A redução expressiva da capacidade produtiva tolerável pode acarretar a inviabilização ambiental e técnica do

empreendimento devido a escala necessária para compensar os investimentos em infraestrutura não ser alcançada.

A respeito da aplicabilidade do modelo de estimativa de capacidade de suporte ambiental proposto por Dillon & Rigler (BEVERIDGE, 2004), nota-se a praticidade, simplicidade e facilidade de entendimento dos cálculos, o que é um fator positivo muito importante. O modelo oferece uma boa introdução teórica no assunto, já que é base para os outros modelos de estimativa. Possivelmente com o desenvolvimento de outras metodologias de cálculo do coeficiente de retenção que inclua áreas de clima tropical produza resultados mais representativos e melhor aceitação do modelo pela academia.

## 7 CONCLUSÃO

O modelo de Dillon & Rigler é simples, prático, fácil de compreender, e apropriado para regiões com registros de informações limitadas, pois suas variáveis não exigem informações aprofundadas da área. O modelo não considera a hidrodinâmica e as características peculiares de cada corpo hídrico, tornando-se um modelo básico e generalista. O principal problema é o coeficiente de retenção não corresponder aos ambientes de clima tropical. Contudo, essa questão pode ser melhorada com estudos direcionados à resolução do problema.

A estimativa de capacidade de suporte para aquicultura em taques-rede para no braço São Francisco Verdadeiro do reservatório de Itaipu demonstrou a importância do monitoramento e manejo para o controle de fontes pontuais e difusas de fósforo total. O aumento da concentração do nutriente no corpo hídrico acarreta grande diminuição da capacidade de produção de pescado, prejudicando a viabilidade técnica e ambiental do empreendimento.

Com base nos resultados obtidos no presente estudo o modelo de Dillon & Rigler pode ser recomendado para gestão de parques aquícolas com informações e recursos limitados, ou que desejem praticidade de cálculo, de iniciar os estudos de capacidade de suporte, a fim de familiarizar o usuário com o assunto e adquirir experiência.

## REFERÊNCIAS

ARARIPE, Maria de Nasaré Bona de Alencar; FRANÇA SEGUNDO, Luis Francisco de; LOPES, João Batista; ARARIPE, Hamilton Gondim de Alencar. Efeito do cultivo de peixes em tanques rede sobre o aporte de fósforo para o ambiente. **Revista Científica de Produção Animal**, v.8, p.56-65, 2006. Disponível em: <<http://www.ojs.ufpi.br/index.php/rcpa/article/view/391/367>>. Acesso em: 2 dez. 2014.

BEVERIDGE, Malcolm C.M. **Cage and pen fish farming: carrying capacity models and environmental impact**. Rome: FAO, 1984. 131p. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/005/ad021e/ad021e00.htm>>. Acesso em: 2 dez. 2014.

BEVERIDGE, Malcolm C.M. **Cage Aquaculture**. India: Blackwell, 3 ed. 2004. 368 p.

CODEVASF - Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Paraíba (Org.). **Manual de criação de peixes em tanques-rede**. 2. ed. Brasília: 2013. 68 p.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357/05**. Estabelece a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional. Brasília, SEMA, 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 2 dez. 2014.

DAVID, Gianmarco Silva; CARVALHO, Edmir Daniel. Capacidade Suporte Ambiental de Reservatórios para a Produção de Peixes em Tanques-Rede: Estudo de Caso da Área Aquícola Denominada Ponte Pensa, no Reservatório de Ilha Solteira. In: SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS, 5., 2013, Jahu. **Anais...**. Jahu: Rima, 2013. p. 242 - 253. Disponível em: <[http://www.rimaeditora.com.br/18\\_5SIMAR.pdf](http://www.rimaeditora.com.br/18_5SIMAR.pdf)>. Acesso em: 27 jun. 2015.

DESA – Department of Economic and Social Affairs. ONU. **World Population Prospects The 2012 Revision**. New York: 2013. 1 v. Disponível em: <[http://esa.un.org/unpd/wpp/Documentation/pdf/WPP2012\\_Volume-I\\_Comprehensive-Tables.pdf](http://esa.un.org/unpd/wpp/Documentation/pdf/WPP2012_Volume-I_Comprehensive-Tables.pdf)>. Acesso em: 2 dez. 2014.

ESTEVES, Francisco de Assis. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 2ed, 602 p, 1998.

FAD - FISHERIES AND AQUACULTURE DEPARTMENT FAO. **Global Aquaculture Production Statistics For The Year 2011**. 2013. Disponível em: <<ftp://ftp.fao.org/fi/news/GlobalAquacultureProductionStatistics2011.pdf>>. Acesso em: 2 dez. 2014.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (Roma). ONU. **Pesca e Aquicultura: O peixe, fonte de alimentação, meio de subsistência e de comércio**. 2009. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/012/i0765pt/i0765pt09.pdf>>. Acesso em: 2 dez. 2014.

FERREIRA JÚNIOR, Modesto Guedes. **Uso de modelagem na avaliação da capacidade de suporte de reservatórios com projetos de aquicultura, tendo o fósforo como fator limitante**. 2011. 142 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Oceânica, Coppe - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

GTRA – Grupo de Trabalho Recursos Aquáticos. Subcomitê de Meio Ambiente do Grupo Eletrobrás (Org.). **Relatório sobre aspectos técnicos a serem considerados no desenvolvimento da aquicultura nas empresas do grupo Eletrobrás**. Rio de Janeiro: 2007. 53 p.

ITAIPU Binacional; UNIOESTE - Universidade Estadual do Oeste do Paraná; CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. **Parque Aquícola São Francisco: Plano de Controle Ambiental**. Foz do Iguaçu: 2007. 74 p.

ITAIPU Binacional; UNIOESTE - Universidade Estadual do Oeste do Paraná; CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. **Aprimoramento metodológico da capacidade de suporte dos parques aquícolas do Reservatório de Itaipu, considerando a modelagem hidrodinâmica e limnológica como subsídio para sustentabilidade da aquicultura em águas públicas**. Toledo: 2014. 168 p. (Relatório Final, MPA nº 18/2010)

KINKARTZ, Sabine. **Crescimento populacional e o desafio da alimentação**. 2011. Disponível em: <<http://www.dw.de/crescimento-populacional-e-o-desafio-da-alimentacao/a-15486766>>. Acesso em: 2 dez. 2014

KUBITZA, Fernando. Tanques-rede, rações e impacto ambiental. **Panorama da Aquicultura**, Laranjeiras, v. 9, n. 51, p.44-50, jan. 1999. Bimestral. Disponível em: <<http://www.panoramadaaquicultura.com.br/paginas/Revistas/51/tanque-rede.asp>>. Acesso em: 2 dez. 2014.

KUBITZA, Fernando. **Qualidade de água no cultivo de peixes e camarões**. Jundiaí: F. Kubitza, 2003.

KUBITZA, Fernando et al. Panorama da piscicultura no Brasil: Estatísticas, espécies, polos de produção e fatores limitantes à expansão da atividade. **Panorama da Aquicultura**, Laranjeiras, v. 22, n. 132, p.14-25, jul. 2012. Bimestral. Disponível em: <[http://www.acquaimagem.com.br/docs/Pan132\\_Kub\\_panor\\_piscicultura\\_brasil\\_parte1-1.pdf](http://www.acquaimagem.com.br/docs/Pan132_Kub_panor_piscicultura_brasil_parte1-1.pdf)>. Acesso em: 2 dez. 2014.

MPA – Ministério da Pesca e Aquicultura. **Significado e especialidades da aquicultura**. S.d. Disponível em: <<http://www.mpa.gov.br/index.php/aquicultura>>. Acesso em: 19 de novembro de 2014.

MPA – MINISTÉRIO DE ESTADO DA PESCA E AQUICULTURA. **Boletim estatístico da pesca e aquicultura 2011**. Brasília: 2011. 60 p. Disponível em: <[http://www.mpa.gov.br/images/Docs/Informacoes\\_e\\_Estatisticas/Boletim\\_MPA\\_2011FINAL.pdf](http://www.mpa.gov.br/images/Docs/Informacoes_e_Estatisticas/Boletim_MPA_2011FINAL.pdf)>. Acesso em: 2 dez. 2014.

OLIVEIRA, Rafael C de. O panorama da aquicultura no Brasil: a prática com foco na sustentabilidade. **Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade**. São Paulo, v. 2, n. 1, p.71-89, fev. 2009. Disponível em: <[www.intertox.com.br/documentos/v2n1/rev-v02-n01-05.pdf](http://www.intertox.com.br/documentos/v2n1/rev-v02-n01-05.pdf)>. Acesso em: 19 nov. 2014.

ONO, Eduardo A. Criação de peixes em tanques-rede. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 2005. Campo Grande. **Anais...**p. 1 – 14. Disponível em: <[http://www.abz.org.br/files.php?file=documentos/Eduardo\\_260341900.pdf](http://www.abz.org.br/files.php?file=documentos/Eduardo_260341900.pdf)>. Acesso em: 2 dez. 2014.

ONO, Eduardo A.; KUBITZA, Fernando. **Cultivo de peixes em tanques-rede**. 3ª ed.. Jundiaí: Eduardo A. Ono, 2003. 112p.

OSTRENSKY, Antonio; BORGHETTI, José Roberto; SOTO, Doris (Ed.). **Aquicultura no Brasil: O desafio é crescer**. Brasília: 2008. 276 p. Disponível em: <<http://projetopacu.com.br/public/paginas/202-livro-aquicultura-no-brasil-o-desafio-e-crescer.pdf>>. Acesso em: 2 dez. 2014.

PCA – Plano de Controle Ambiental. ITAIPU BINACIONAL (Brasil) (Org.). **Parque aquícola São Francisco Verdadeiro: Plano de Controle Ambiental - PCA**. Foz do Iguaçu: 2007. 68 p.

PINTO-COELHO, Ricardo Motta. **Modelagem da circulação e qualidade das águas nos reservatórios de Furnas e Três Marias - MG, para planejamento de aquicultura.** Belo Horizonte: Tirar, 2007. 126 p. Disponível em: <[http://ecologia.icb.ufmg.br/~rpcoelho/Parques\\_Aquicolas/website/pdfs/relatorios\\_consultores/03\\_coppetec\\_ufrj\\_pc\\_rosman.pdf](http://ecologia.icb.ufmg.br/~rpcoelho/Parques_Aquicolas/website/pdfs/relatorios_consultores/03_coppetec_ufrj_pc_rosman.pdf)>. Acesso em: 2 dez. 2014.

RELATÓRIO MPA. ITAIPU BINACIONAL; UNIVERSIDADE DO OESTE DO PARANÁ, (Brasil) (Org.). **Aprimoramento metodológico da capacidade de suporte dos parques aquícolas do Reservatório de Itaipu, considerando a modelagem hidrodinâmica e limnológica como subsidio para sustentabilidade da aquicultura em águas públicas.:** Relatório Final. Toledo, PR:, 2014. 168 p.

RURAL PESCA. **Tanque Rede.** S.d. Disponível em: < <http://ruralpesca.com.br/rp-tanque-rede/valores/>>. Acesso em: 2 jun. 2015.

STARLING, Fernando; Pereira, Carlos E.; Angelini, Ronaldo. **Definição da Capacidade Suporte do Reservatório de Três Marias para Cultivo Intensivo de Peixes em Tanques-Redes.** Estudo técnico-científico visando a delimitação de parques aquícolas no lago da usina hidroelétrica de Três Marias – MG. (convênio no 025/2005, processo:00350.000278/2005-20).2006.

STARLING, Fernando et al. **Capacidade de Suporte em Reservatórios.** Brasília: 2008. 46 slides, color. Disponível em: <[http://ecologia.icb.ufmg.br/~rpcoelho/Epamig/Curso EPAMIG/Aulas/Aula\\_5\\_Capacidade\\_Suporte.ppt](http://ecologia.icb.ufmg.br/~rpcoelho/Epamig/Curso EPAMIG/Aulas/Aula_5_Capacidade_Suporte.ppt)>. Acesso em: 2 dez. 2014.

VALENTI, Wagner Cotroni. Aquicultura Sustentável. In: CONGRESSO DE ZOOTECNIA, 12, 2002, Portugal. **Anais...** . Vila Real: Associação Portuguesa dos Engenheiros Zootécnicos, 2002. p. 111 - 118. Disponível em: <[http://www.caunesp.unesp.br/publicacoes/artigos/valenti/CPIL\\_VALENTI\\_Aquicultura%20sustentavel.pdf](http://www.caunesp.unesp.br/publicacoes/artigos/valenti/CPIL_VALENTI_Aquicultura%20sustentavel.pdf)>. Acesso em: 2 dez. 2014.

WASSERMAN, Julio Cesar. **Modelagem hidrodinâmica como ferramenta para a gestão da capacidade de suporte em projetos de aquicultura.** Niterói: Tirar, 2011. 33 slides, color. Disponível em: <[http://www.uff.br/remadsuff/BibVirtual/Cursos/Modelagem\\_Hidrodinamica\\_para\\_Gestao\\_Ambiental.pdf](http://www.uff.br/remadsuff/BibVirtual/Cursos/Modelagem_Hidrodinamica_para_Gestao_Ambiental.pdf)>. Acesso em: 2 dez. 2014.