



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PESCA**

Considerações sobre a capacidade de suporte em reservatórios: O fósforo como elemento limitante dos processos de eutrofização em ambientes aquáticos.

Raphael Venancio Alves da Silva

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia de Pesca do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheiro de Pesca.

**FORTALEZA - CEARÁ - BRASIL
JULHO/2007**

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Moisés Almeida de Oliveira, D.Sc
Orientador/Presidente

Profº. Wladimir Ronald Lobo Farias , D.Sc
Membro

Profº. David de Araújo Borges , M.Sc
Membro

VISTO:

Prof. Moisés Almeida de Oliveira, D.Sc
Chefe do Departamento de Engenharia de Pesca

Profª. Raimundo Nonato Lima Conceição, D.Sc
Coordenador do Curso de Engenharia de Pesca

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S583c Silva, Raphael Venancio Alves da.

Considerações sobre a capacidade de suporte em reservatórios: O fósforo como elemento limitante dos processos de eutrofização em ambientes aquáticos / Raphael Venancio Alves da Silva. – 2007.

42 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Engenharia de Pesca, Fortaleza, 2007.

Orientação: Prof. Dr. Moisés Almeida de Oliveira.

1. Eutrofização . 2. Aquicultura . 3. Recursos Hídricos. 4. Engenharia de Pesca. I. Título.

CDD 639.2

AGRADECIMENTOS

Aos meus maravilhosos e inesquecíveis pais, com gratidão, ternura e amor.

Aos meus avós por toda força e união.

Aos meus amigos pelo imensurável companheirismo e lealdade.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia de Pesca da Universidade Federal do Ceará.

Ao meu orientador, professor Moisés Almeida de Oliveira, por toda sua dedicação, paciência e sabedoria.

Agradeço de forma sincera a COGERH, na pessoa do Sr. Walt Disney Paulino por ter concedido gentilmente todos os dados sobre o açude Sítios Novos utilizados neste trabalho.

Aos Engenheiros do Centro de Pesquisas do DNOCS e a todos os funcionários que me apoiaram.

Aos amigos e companheiros que fiz de forma graciosa na CORAQ, que com muito respeito pude conviver por este valioso tempo.

Em especial a DEUS por permitir todas as realizações de minha vida.

SUMÁRIO

1. Introdução	01
2. Caracterização da área de estudo	04
2.1 Bacia Hidrográfica Metropolitana	05
2.2 Açude Sítios Novos	05
2.2.1 Outorga de Água de concessão do uso para aqüicultura	08
3. Material e Métodos	11
4. Resultados e discussão	15
5. Conclusão	33
6. Referências	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Vista da bacia hidráulica do Açude Sítios Novos com a plotagem dos pontos em vermelho representando os limites dos tanques-rede	6
Figura 2 – localização dos pontos de coleta das amostras de água para análise	7
Figura 3 – Fluxograma de procedimentos para obtenção de licenciamento e outorga de projeto de aquicultura no Estado do Ceará.	9
Figura 4 - Situação atual das outorgas por m ² do espelho d'água outorgável do açude Sítios Novos - Ce até o final do ano de 2006 (SRH 2006).	10
Figura 5 – gráfico representativo da disponibilidade atual para solicitação de outorga no açude Sítios Novos (SRH, 2006)	10
Figura 6 – concentração de fósforo total no ponto Sin 01	19
Figura 7 – concentração de clorofila “a” no ponto 01	19
Figura 8 – concentração de fósforo total no ponto Sin 02	19
Figura 9 – concentração de clorofila “a” no ponto 02	20
Figura 10 – concentração de fósforo total no ponto Sin 09	20
Figura 11 – concentração de clorofila “a” no ponto 09	20
Figura 12 – concentração de fósforo total no ponto Sin 14	21
Figura 13 – concentração de clorofila “a” no ponto Sin 14	21
Figura 14 – concentração de fósforo total no ponto Sin 16	21
Figura 15 – concentração de clorofila “a” no ponto Sin 16	22
Figura 16 – concentração de fósforo total no ponto Sin 17	22
Figura 17 – concentração de clorofila “a” no ponto Sin 17	22
Figura 18 – concentração de fósforo total no ponto Sin 18	23
Figura 19 – concentração de clorofila “a” no ponto Sin18	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - informações do açude Sítios Novos	8
Tabela 2 - Faixas aproximadas de valores de fósforo total para os principais graus de trofia em reservatórios tropicais.	14
Tabela 3 - Contribuições unitárias de fósforo típicas	30
Tabela 4 – previsão de concentração utilizando modelos para previsão da concentração de fósforo.	31

RESUMO

Este trabalho enfoca a problemática do uso dos recursos hídricos pela aquicultura em tanques-rede com abordagem sobre aspectos do uso e da ocupação do solo de bacias hidrográficas de reservatórios do semi-árido nordestino em estudo de caso no açude Sítios Novos mediante aplicação de modelos para estimativa da capacidade de suporte de reservatórios em relação ao processo de eutrofização. Onde a carga máxima sustentável de fósforo total é o parâmetro considerado como base para as discussões dos resultados obtidos na presente pesquisa. O açude Sítios Novos está localizado no município de Caucaia – Ce e está inserido na Bacia hidrográfica Metropolitana de Fortaleza, que tem como finalidade o abastecimento tanto da capital do estado do Ceará quanto de toda a zona metropolitana da mesma. Os dados de monitoramento da qualidade de água, apresentados no presente trabalho, foram cedidos pela COGERH – Companhia de Gerenciamento dos Recursos Hídricos. Os níveis trofia analisados no estudo da capacidade de suporte de carga de fósforo ao açude Sítios Novos, levou em consideração a concentração máxima de fósforo estabelecida pela classe 2 da resolução 357 do CONAMA e limites aproximados de graus de trofia definidos por concentrações médias de fósforo total em reservatórios tropicais apresentados por von Sperling (1994). Na avaliação da capacidade de suporte do açude Sítios Novos, foram utilizados estudos comparativos de balanço de massa do fósforo em reservatórios, utilizando os métodos de: Salas e Martino (1991); Vollenweider (1976) adaptado por Castagnino (1982) e o modelo de Dillon & Rigler (1974). No balanço de massa do fósforo total, observado com a utilização de modelos matemáticos de qualidade de água empregados na previsão de concentração de fósforo total na água de reservatórios constatou-se que 29,1% da concentração média observada pode ser atribuído aos dejetos dos peixes cultivados no parque aquícola composto pelos seis empreendedores que exploram a atividade da aquicultura no reservatório.

Considerações sobre a capacidade de suporte em reservatórios: O fósforo como elemento limitante dos processos de eutrofização em ambientes aquáticos.

RAPHAEL VENANCIO ALVES DA SILVA

1. INTRODUÇÃO

O Brasil nas últimas décadas tem despertado reais interesses para o desenvolvimento da piscicultura, pois possui condições altamente favoráveis, tem em seu clima um enorme fator favorável ao cultivo de inúmeras espécies de peixes, nas mais diferentes regiões do Brasil, onde a região nordeste do país, se destaca por possuir temperaturas regulares na maior parte do ano. Esta região caracteriza-se como a mais adequada para o cultivo de peixes de climas tropicais, por este motivo esta possui hoje o maior crescimento no que se diz respeito à piscicultura.

A piscicultura pode ser uma alavanca de desenvolvimento social e econômico, possibilitando o aproveitamento efetivo dos recursos naturais locais, principalmente os hídricos e a criação de postos de trabalhos. Com ela, pode-se produzir alimento de alto valor nutritivo, aproveitando diferentes resíduos agropecuários, além de proporcionar ao piscicultor uma rentabilidade, gerando renda, com ganhos significativos para a economia regional, melhorando assim, a qualidade de vida da população local. Porém, assim como qualquer outra atividade econômica, necessita de uma estratégia ou planejamento para produzir bons resultados.

Com a intensificação a produção agropecuária ficou mais exposta à competição internacional e foram desafiados a buscar novas alternativas, para viabilizar econômica e socialmente. Dentre as alternativas, a piscicultura vem ganhando importância por contribuir para a preservação ambiental e cultural, para a produção de alimentos diferenciados, e a valorização do agricultor no seu trabalho e principalmente como uma nova alternativa de renda.

Na produção intensiva, na qual os peixes são confinados sob altas densidades, pode-se destacar o cultivo de peixes em tanques-rede, que tem despertado cada vez mais investimentos, pois este tipo de cultivo necessita de um investimento inicial relativamente baixo, se levarmos em consideração outros sistemas empregados para a piscicultura. Assim, aproveitando-se os recursos hídricos disponíveis, existem grandes perspectivas para uma rápida expansão da piscicultura industrial no Brasil.

O ambiente aquático apresenta características particulares, e uma delas é a alta solubilização das substâncias orgânicas e inorgânicas, fazendo com que os nutrientes estejam presentes em todo o corpo de água. As características físicas e químicas do meio aquático devem ser preservadas da melhor forma possível para que assim possa proporcionar condições satisfatórias à vida dos peixes cultivados (ESTEVES, 1998).

As utilizações dos recursos hídricos, se forem utilizados de forma exploratória não racional, podem gerar uma série de impactos negativos capazes de comprometer o equilíbrio ambiental e gerar conflitos entre os diversos usos das águas; tanto do ponto de vista quantitativo como do ponto de vista qualitativo.

O uso racional dos recursos hídricos, de forma geral vem sendo discutido de forma intensa nos últimos anos. Hoje, como a intensificação do uso dos corpos d'água pela piscicultura tem levado as autoridades competentes e a comunidade científica de modo geral a se mobilizarem no sentido de conhecer e participar das decisões e dos rumos desta questão, hoje já percebida como fundamental para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental da atividade, fazendo assim com que o setor produtivo privado assuma um papel de destaque nas iniciativas em prol de uma correta administração dos recursos hídricos, para que desta forma possa ser realizada de forma eficiente uma aqüicultura sustentável.

Estimular a criação de peixes de água doce, incentivar as organizações comunitárias e capacitar os recursos humanos, são alternativas para o processo de inclusão social uma vez a piscicultura representa uma excelente alternativa e ótima oportunidade de negócio diante da demanda desse alimento.

Assim, o presente trabalho tem como abordagem principal aspectos inerentes ao desenvolvimento responsável da piscicultura com base na racionalização do uso dos

recursos hídricos mediante abordagem do estudo de balanço de massas e metabólicos produzidos em reservatórios.

A eutrofização é o crescimento excessivo das plantas aquáticas, tanto de algas planctônicas e de macrofitas, a níveis tais que sejam considerados como causadores de interferências com os usos desejáveis dos corpos d'água (Thomann e Mueller, 1987). Neste aspecto o principal fator de estímulo é o nível excessivo de nutrientes nos corpos d'água, principalmente nitrogênio e fósforo.

Enfocando assim uma descrição geral das feições morfológicas da seqüência na participação relativa dos diversos tipos de ocupação da bacia hidrográfica de açudes, com estudo de caso para o açude Sítios Novos, localizado no município de Caucaia na bacia metropolitana (Ceará), mais precisamente na bacia hidrográfica, afluenta à barragem do referido reservatório. Assim, como o processo de eutrofização em uma represa reflete a condição de equilíbrio entre o aporte de nutrientes resultantes do uso e ocupação do solo predominante na bacia hidrográfica, será analisada e avaliada a real carga poluidora referente à piscicultura, que nos últimos anos vem crescendo de forma exponencial no referido açude a ser estudado (COGERH, 2002).

Tendo em vista a caracterização do estágio de eutrofização do reservatório de Sítios Novos, será analisado o grau de trofia de forma a se propor possíveis medidas preventivas e/ou corretivas fundamentadas na avaliação das cargas afluentes anteriormente mencionadas. Para isso, serão estudados índices de estado trófico para água do reservatório nas zonas de rio, transição e de lago (próximo à barragem).

O presente trabalho tem como objetivos:

- Analisar os parâmetros de monitoramento da água do reservatório com vista a oferecer parâmetro indicativo real sobre o incremento da produção primária no ambiente onde se processa o cultivo de tilápia em tanques-rede.
- Quantificar a carga de fósforo e suas relações com: produção primária de alimentação natural e produção de peixes por unidade de área (produção primária /hectare /ano) e dessa forma obter um nível controlado de fertilização.
- Analisar processos de intensificação de cultivos de forma racional, tanto pelo uso da água quanto pela engorda intensificada de organismos cultivados tendo como base a

sustentabilidade de produção em níveis (condições) de qualidade do ambiente, que não comprometam o desenvolvimento dos peixes através da ocorrência de mortalidade por organismos oportunistas.

- Realizar estudos comparativos de balanço de massa do fósforo em reservatórios, utilizando os métodos de: Salas e Martino (1991); Vollenweider (1976) adaptado por Castagnino (1982) e o modelo de Dillon & Rigler (1974).

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Estado do Ceará, que ocupa 148.016 Km², está inserido totalmente no "polígono das secas", no qual a aridez do solo é uma constante (SRH, 1992).

O clima da Região Metropolitana de Fortaleza (R.M.F.), assim como da maior parte da área onde estão assentadas as Bacias Metropolitanas, é condicionado pela proximidade do litoral, onde os índices pluviométricos são mais elevados e as temperaturas mais estáveis, e pelo relevo acidentado, favorecendo a ocorrência de precipitações orográficas e temperaturas mais baixas em decorrência da maior altitude e exposição aos ventos (SRH, 1999).

A R.M.F. apresenta muitos problemas comuns a outras regiões urbano-industriais do Brasil e do mundo, caracterizadas pela enorme concentração populacional e acelerado desenvolvimento econômico, tendo como conseqüências problemas relacionadas com o uso e ocupação do solo (SRH, 1999).

2.1 Bacia Hidrográfica Metropolitana

A formação de grandes centros urbanos e indústrias, com a crescente necessidade de água para o abastecimento doméstico e industrial, além da irrigação e lazer, torna as atividades humanas cada vez mais dependentes da disponibilidade das águas continentais (ESTEVES, 1998).

A bacia a ser estudada compreende os municípios da Região Metropolitana de Fortaleza, os açudes que fazem parte do Sistema de Abastecimento de Água de Fortaleza, tendo como os principais deles o Pacajus, Acarape do Meio, Pacoti, Riachão, Gavião, Cauhipe e Sítios Novos, a integração destes foi realizada em função da demanda, o uso e a distribuição de água de forma ordenada, racional e sustentada (COGERH, 2002).

Encontra-se situada nos sedimentos do grupo barreira, preciano e aluvial, além do complexo cristalino. Apresentando uma área total de 446,85 Km², esta bacia tem como domínio o complexo litorâneo, tendo em segundo lugar a tipologia vegetal da caatinga, seguido dos ambientes serranos nos seus principais maciços residuais.

2.2 Açude Sítios Novos

Os parâmetros quantitativos e qualitativos do açude a ser analisado, foram disponibilizados pelo departamento de monitoramento de água da COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará.

Na figura 1 pode-se observar através de fotografia por satélite a bacia hidráulica do açude Sítios Novos, onde se pode visualizar a localização de empreendimentos de tanques-rede.

As amostras qualitativas foram coletadas em 07 pontos ao longo de toda a bacia hidráulica do açude Sítios Novos, como pode ser visualizado na figura 2, que como observamos procura-se ocupar uma maior área possível para a realização das coletas.

Posteriormente da realização das coletas, as amostras foram encaminhadas e analisadas no NUTEC- Núcleo de Tecnologia Industrial, que se localiza na UFC – Universidade Federal do Ceará.



Figura 1 - Vista da bacia hidráulica do Açude Sítios Novos com a plotagem dos pontos em vermelho representando os limites dos tanques-rede

Na tabela 1 é possível ser observada algumas características morfológicas sobre o açude Sítios Novos.

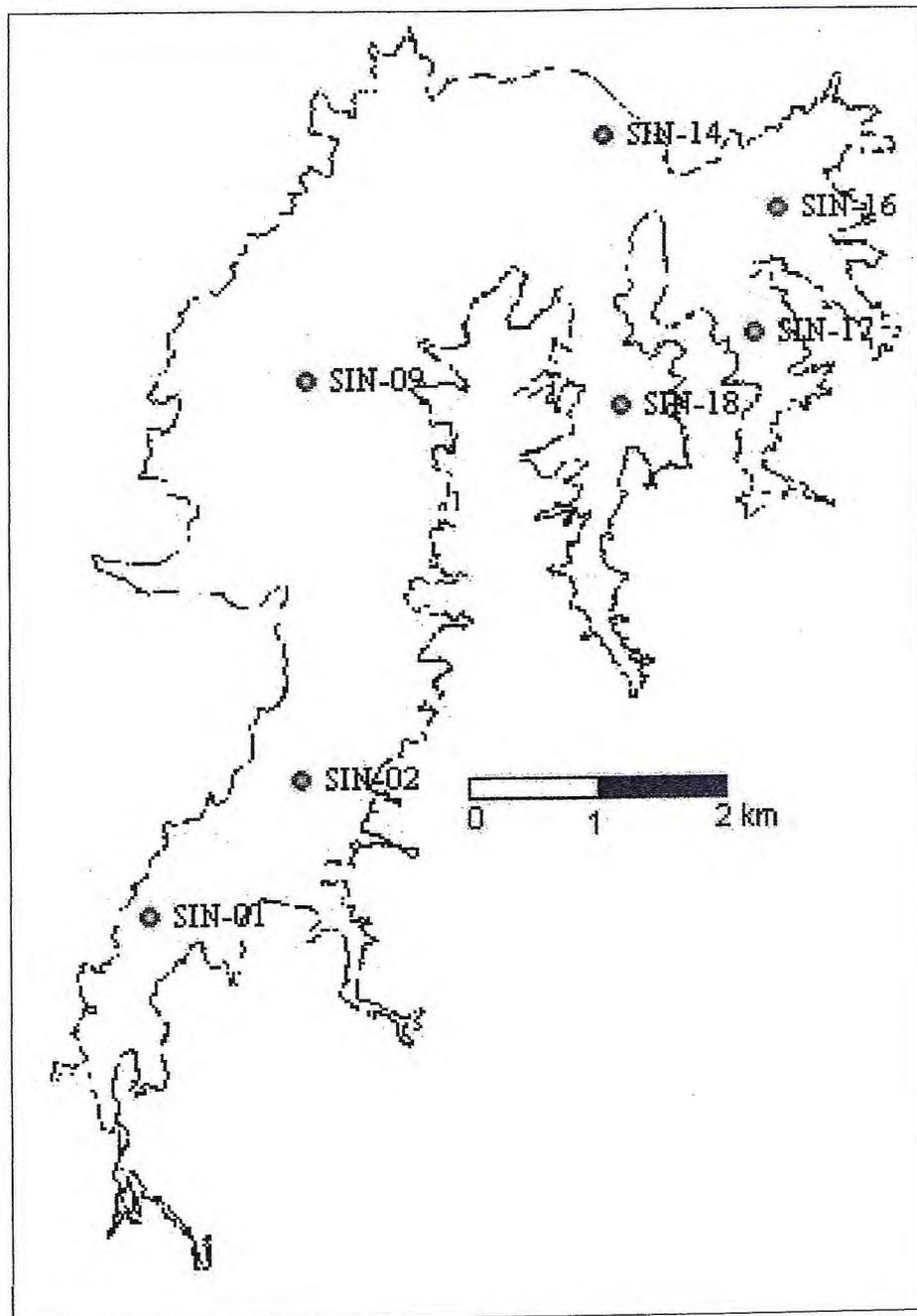


Figura 2 – localização dos pontos de coleta das amostras de água para análise

Tabela 1: informações do açude Sítios Novos (COGERH,2004)

Localização	
Município:	Caucaia
Sistema:	Metropolitana
Rio/riacho barrado:	São Gonçalo
Bacia Hidrográfica (Km ²)	446,85
Barragem	
Capacidade (m ³):	126.000.000,00
Vazão regularizada (m ³ /s):	1,09
Comprimento do Coroamento(m):	1.818,00
Largura do Coroamento(m):	6,5
Sangradouro	
Cota (m):	45,15
Largura (m):	100,00

Os dados foram obtidos tendo como profundidade de coleta variando entre 0,3 e 1,2 m no sentido de se obter uma amostragem com mais representatividade da concentração destes constituintes químicos na coluna d'água.

2.2.1 Outorga de água de concessão do uso para aquicultura

A outorga é uma autorização concedida pela Secretaria dos Recursos Hídricos (SRH) que permite o usuário fazer o uso da água em um determinado local, retirando-a de uma determinada fonte, em uma quantidade definida, por um período estabelecido e para uma finalidade também definida.

Desde 1994, a SRH vem desenvolvendo, através da Diretoria de Administração dos Recursos Hídricos, com o apoio técnico da COGERH, um conjunto de atividades que visa sensibilizar os usuários de água da importância da outorga.

O objetivo é que, gradualmente, todo o processo de alocação de água no Estado seja legitimado com base na implementação da outorga. Atualmente, a SRH dispõe de uma câmara técnica específica, composta por técnicos da SRH e suas vinculadas - COGERH, SOHIDRA – Superintendência de Obras Hidráulicas e FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, para análise de solicitação de outorga encaminhada pelos usuários.

A tramitação de processos para implantação de projetos de aqüicultura em tanques-rede no Estado do Ceará segue o fluxograma representado na figura 3, ressaltando-se os aspectos referentes à legislação vigente pela Agencia Nacional de Águas (ANA).

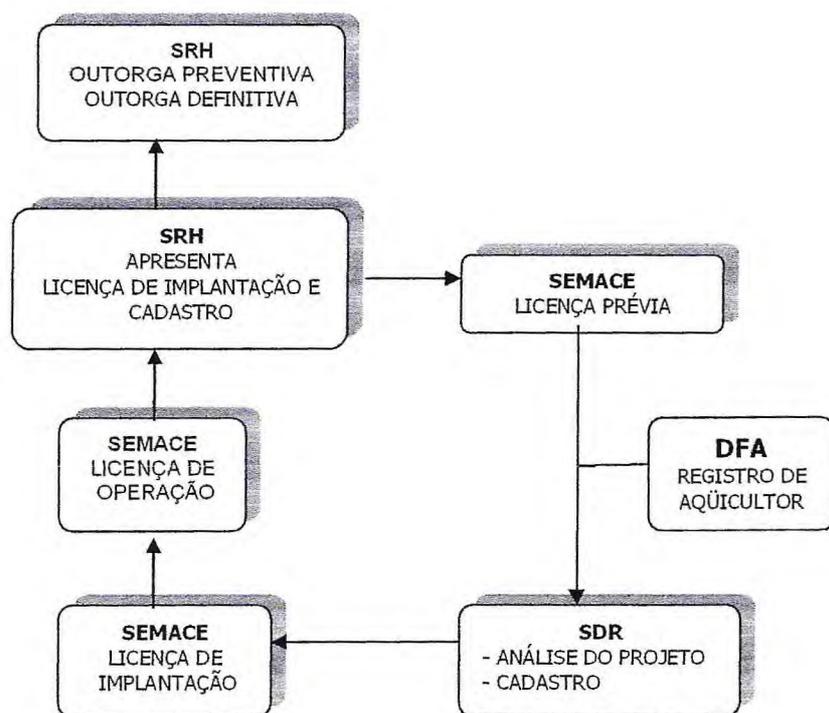


Figura 3 – Fluxograma de procedimentos para obtenção de licenciamento e outorga de projeto de aqüicultura no Estado do Ceará.

De acordo com dados obtidos junto a COGERH, observa-se nas figuras 4 e 5 a situação atual das outorgas pelo uso da água do açude Sítios Novos, onde se verifica que toda a outorga relacionada a projetos particulares, em conformidade com o período outorgado, encontra-se esgotado, já que da capacidade máxima outorgável do açude apenas 50% esta destinada para particulares, não comportando assim, no momento a possibilidade de concessão de novos empreendimentos.



Figura 4 - Situação atual das outorgas por m² do espelho d'água outorgável do açude Sítios Novos - Ce até o final do ano de 2006 (SRH 2006).



Figura 5 – gráfico representativo da disponibilidade atual para solicitação de outorga no açude Sítios Novos (SRH, 2006)

3. MATERIAL E MÉTODOS

Muitos são os processos bioquímicos que podem afetar a qualidade da água, principalmente a biodegradação da matéria orgânica que pode acelerar o processo de eutrofização. Tais atividades podem mudar significativamente a concentração de várias substâncias no meio aquático, gerando grandes impactos ambientais e impactos no uso dos recursos hídricos.

Os modelos matemáticos podem ser considerados como um instrumento eficaz para avaliar das alternativas propostas de planejamento e gerenciamento dos meios ambientes. O conhecimento dos processos da natureza que ocorrem nos lagos e açudes é necessário para que os resultados da simulação sejam representativos e possam dar uma informação preciosa sobre o comportamento da qualidade da água nestes ambientes.

No referido trabalho, será observado o posicionamento da aquicultura em termos de: capacidade de suporte ambiental do reservatório em absorver pulsos eutrofizantes tendo como elemento constituinte básico o fósforo total e níveis de concentração recomendados pela legislação vigente (Resolução CONAMA 357). Será abordada também, a relação entre qualidade x quantidade de água a ser demandada pela aquicultura e a influência sobre aspectos sociais e econômicos no desenvolvimento da aquicultura.

Para se estudar a capacidade de suporte do reservatório foi realizado inicialmente a estimativa do tempo de detenção hidráulica do reservatório, observando a relação entre o volume de acumulação de água na bacia hidráulica e a determinação do volume afluente anual (**Vaf**) através da equação do Engenheiro Aguiar (OLIVEIRA, 2005), bem como dados relativos a cultivos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) realizados tradicionalmente por piscicultores da região tais como: qualidade da ração em termos de concentração de fósforo (%), pesos médio inicial e final, tempo de cultivo, ganho de peso, concentração de fósforo em peso natural de tilápia, volume útil

das gaiolas, fator de conversão alimentar etc, para se estimar a produção máxima sustentável em relação aos níveis tróficos obtidos no trabalho.

Para estimativa de capacidade de suporte em relação à concentração de fósforo no reservatório foram analisados e comparados equações de sedimentação e balanço anual de carga e concentração de fósforo em reservatórios desenvolvidos por: Salas e Martino (1991); Vollenweider (1976) adaptado por Castagnino (1982) e as equações finais do modelo de Dillon & Rigler (1974);

O uso da equação de sedimentação do fósforo em ambientes tropicais sugerida por Salas e Martino em sua forma mais conveniente aos objetivos deste trabalho será representada por:

$$P = \frac{L \cdot 10^3}{V \cdot \left(\frac{1}{t} + \frac{2}{\sqrt{t}} \right)}$$

Já o modelo de Vollenweider (1976), desenvolvido predominantemente para lagos temperados foi adaptado para as condições de ambientes tropicais mediante substituição do coeficiente sedimentação proposto por Castagnino (1982), cujo coeficiente de sedimentação foi corrigido para lagos tropicais, em valor de K_s igual a 2,5 vezes maior que o valor de K_s de Vollenweider. Este coeficiente de majoração a ser utilizado no presente trabalho é um fator composto de 1,3 para a sedimentação facilitada pelas maiores temperaturas e 1,9 pela aceleração na taxa de crescimento de fitoplâncton ($1,3 \times 1,9 = 2,5$). Assim a forma conveniente para as convenções do presente estudo, será:

$$P = \frac{L \cdot 10^3}{V \cdot \left(\frac{1}{t} + \frac{2,5}{\sqrt{t}} \right)}$$

Na estimativa da capacidade de suporte de reservatórios, mediante utilização do modelo de Dillon & Rigler (1974) in Beveridge (1987), para se calcular a quantidade de fósforo gerada por cultivo de peixe em função de parâmetros como: concentrações de fósforo observadas; na ração e no peixe despedido; fator de conversão alimentar; volume útil de tanques-rede; etc.

$$L = \frac{\Delta P \cdot Z \cdot tp}{(1 - K_s)}$$

onde:

P = concentração de fósforo no corpo d'água (gP/m³)

L = carga afluyente de fósforo (kgP/ano)

V = volume da represa (m³)

t = tempo de detenção hidráulica (ano)

Foram realizadas ainda considerações sobre o processo de eutrofização, no sentido de se propor aplicação de índices do estado trófico a reservatórios da região do semi-árido, mais particularmente no Estado do Ceará e considerações gerais sobre a qualidade da água em ambientes aquáticos tropicais, com ênfase ao estudo de caso para o açude Sítios Novos.

O trabalho aborda aspectos relacionados com o processo de eutrofização, que pode ser descrito como o aumento da concentração de nutrientes, especialmente fósforo e nitrogênio, nos ecossistemas aquáticos, que tem como consequência o aumento de suas produtividades.

Em geral o processo da produção primária se limita pelos três fatores: temperatura de água, iluminação necessária para fotossíntese e alimentação das algas pelos nutrientes. Os primeiros dois fatores submetem-se a zonalidade geográfica e em geral não podem ser controlados pelo homem.

De forma a se poder caracterizar o estágio de eutrofização em que se encontra o reservatório submetido a uma carga de nutriente, tendo como caso particular o fósforo foram observados níveis deste nutriente a fim de se possibilitar a tomada de

medidas preventivas e /ou corretivas, é interessante a adoção de um sistema classificatório. Usualmente, têm-se os seguintes níveis de trofia: *oligotrófico* (lagos claros e com baixa produtividade), *mesotrófico* (lagos com produtividade intermediária), *eutrófico* (lagos com elevada produtividade, comparada ao nível natural básico).

A inexistência de índices representativos sobre níveis de estados tróficos em reservatórios do semi-árido na região onde se encontra localizado o açude Sítios Novos, utilizou-se de sugestão apresentada por Von Sperling (1994) resultante da análise de uma coletânea de diversas referências, em termos de concentração de fósforo total, clorofila *a* e transparência, a qual ressalta a grande amplitude das faixas propostas por esses diversos autores. Além disso, a referência citada apresenta ainda outros possíveis índices a serem utilizados, sempre com a ressalva da dificuldade de se generalizar dados de um corpo d'água para outro. Adotou-se ainda, informações gerais de que corpos d'água tropicais apresentam uma maior capacidade de assimilação e decaimento natural de fósforo que corpos d'água de climas temperados. Uma interpretação da síntese relatada por Von Sperling e utilizada com referência neste trabalho é apresentada na tabela 2.

Tabela 2 - Faixas aproximadas de valores de fósforo total para os principais graus de trofia em reservatórios tropicais.

Classe de trofia	Concentração de fósforo total na represa (mg/m³)
Ultraoligotrófico	< 5
Oligotrófico	< 10 - 20
Mesotrófico	10 - 50
Eutrófico	25 - 100
Hipereutrófico	> 100

Fonte: Von Sperling (1994).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O fósforo é de fundamental importância para todos os organismos vivos, desempenha um importante papel no sistema genético, no armazenamento e na transferência de energia da célula (CHAPRA, 1997). Em comparação com os outros nutrientes estruturais e nutricionais (carbono, nitrogênio e enxofre) para a composição da biota, o fósforo é menos abundante e comumente limita produtividade biológica em ecossistemas aquáticos (WETEZEL e LIKENS, 1990).

Quanto ao nitrogênio, que é outro importante elemento no metabolismo dos ecossistemas aquáticos, devendo-se esta importância serem principalmente, por está envolvido na formação das proteínas, quando em baixas concentrações pode atuar como fator limitante na produção primária de ecossistemas aquáticos (ESTEVES, 1998).

A relação N/P é muito importante, uma vez que pode indicar qual nutriente limitara primeiro o crescimento do fitoplâncton. Esta relação apresenta ainda tendência decrescente com o aumento da eutrofização (Oliveira, 2001).

Amorim (2001) analisou 10 reservatórios do Estado do Ceará e observou que o nutriente limitante varia entre o fósforo e nitrogênio, porém o fósforo dissolvido mostrou-se de forma criteriosa limitante para maioria dos reservatórios.

Para verificação em base na legislação federal e estadual do uso da água dos recursos hídricos observou-se inicialmente aspectos relacionados as limitações relacionadas na resolução 357 para classe 2 do CONAMA e concentrações limitantes de fósforo total na água em conformidade com os graus de trofia apresentados, mais especificamente, o limite de 20 mg/m³ definidos pela resolução acima mencionada, pois esta classe de água também possui o uso para consumo humano. Como sugestão, o nível de 50mg/m³ considerando como a transição entre níveis tróficos de mesotrofia e eutrofia estabelecidos por Sperling (1994) e Beverindge (1984) foi analisado como limite de capacidade de suporte. Para se analisar as situações de equilíbrio do elemento constituinte fósforo total, com os limites acima considerados, obteve-se dados de monitoramento deste parâmetro químico apartir de 2004, no sentido de se definir a

concentração média total no reservatório em estudo, para se verificar o incremento possível na concentração deste constituinte até a capacidade máxima definida por atos normativos do governo federal e aspectos limitantes do processo de eutrofização sem comprometimento de outros usos da água. A seguir apresenta – se, nas figuras de 6 a 19 das sete estações de coletas distribuídas na bacia hidráulica do açude.

De uma maneira geral, na maioria das estações de coletas, observa-se que os níveis de concentração de clorofila “a” e fósforo total foram influenciados em maior magnitude pela estação chuvosa onde se observa uma diminuição gradual destes elementos no início da quadra invernososa com um posterior incremento em razão do transporte de fósforo lançados por diversas fontes diretamente sobre a bacia hidrográfica contribuinte ao açude. Ou seja, com relação à concentração de clorofila, ocorre uma diminuição de concentração repentina em função da diluição da água, seguido de um posterior incremento de concentração em razão do aporte de fósforo carregado pelas enxurradas que foram lançadas na bacia hidrográfica por diversas fontes pontuais ou difusas.

Embora não tenha sido apresentados neste trabalho dados de transparência do disco de Secchi, em função da turbidez não algal apresentados por materiais em suspensão de origem terrígena resultantes do processo de erosão do solo, verifica-se que após a sedimentação deste material que ocorre apartir do mês de maio até o final de junho favorece provavelmente a uma maior penetração de luz e uma maior produção de clorofila “a” coincidindo assim com o aspecto no favorecimento de duas condições propicias ao desenvolvimento das algas, uma maior facilidade da penetração de luz e maior concentração de fósforo que é observado neste período.

No entanto para os objetivos deste trabalho o mais importante é definir a concentração média de fósforo na água para a utilização deste parâmetro nos modelos apresentados na metodologia deste trabalho.

Considerando-se que os reservatórios constituem-se barramentos de rios ou riachos perenes ou não, existem na bacia hidráulica destas obras hidráulicas três zonas distintas: zona de influencia das águas afluentes que são mais sujeitas ao processo de assoreamento e a influência de turbidez não a algal, a zona de transição e

a zona com características de lago nas proximidades da barragem. Assim a concentração média de fósforo total na primeira zona, onde se estabeleceu às estações Sin 01 e Sin 02 com média geral entre 2004 e 2006 foi de $115 \text{ mg/m}^3 \text{ Pt}$, na zona intermediária do reservatório onde estão situadas as estações de coleta Sin 09 e Sin 18 obtiveram média de $140 \text{ mg/m}^3 \text{ Pt}$, já onde se localiza a zona do açude cujo apresenta características típicas de lago em que foram definidas as estações de coleta Sin 14, Sin16 e Sin 17 situadas próximas a obra de barramento a média foi de $76,7 \text{ mg/m}^3 \text{ Pt}$. Considerando que as estações de coleta foram distribuídas a se fornecer dados de monitoramento o mais compatível possível com a realidade, ou seja todas elas situadas na área de domínio do espelho médio de água correspondente da capacidade máxima do reservatório, a concentração média de fósforo total envolvendo todas as estações correspondente a $111 \text{ mg/m}^3 \text{ Pt}$ que caracteriza em conformidade com a tabela 3, o açude de Sítios Novos como um reservatório hipereutrofizado, a despeito de ser um açude relativamente novo, construído apenas há 10 anos (1997). Isto reflete, sem nenhuma dúvida que em terras de montante o uso e a ocupação do solo da bacia hidrográfica esta ocorrendo de forma desordenada e sem o respeito devido às questões ambientais.

Neste aspecto será necessário um estudo aprofundado sobre os diversos usos e ocupação da bacia hidrográfica visando, estimar a carga de fósforo e verificar o disciplinamento do lançamento de nutrientes na rede de drenagem, seja ele de origem agrícola, industrial ou de esgotos domésticos. Esse resultado esta bem acima concentração máxima estabelecida pela resolução 357 CONAMA que é de apenas 20 mg Pt /m^3 e também acima da faixa de transição entre a mesotrofia e a eutrofia (50 mg Pt /m^3). Deve-se ressaltar que na zona próxima da barragem, onde a concentração media deste nutriente é mais baixa encontra-se instalada a piscicultura em tanques-rede. Considerando-se que esta zona é a mais distante da influência do aporte de nutrientes originados por outros usos que não possuem vínculos com a aqüicultura, estas são as zonas com maior índice de eutrofização.

Assim será necessária uma avaliação geral em toda a bacia contribuinte ao açude Sítios Novos com relação à quantificação de áreas agrícolas, número de

habitantes, zonas de matas nativas preservadas no sentido de se estimar a carga total de fósforo afluente ao reservatório e pela diferença entre a concentração média de fósforo total na água e modelo de Salas e Martino (1991) avaliar também o potencial das fontes difusas.

A finalidade do estabelecimento de concentração máxima de 20 mg/m³ Pt em média nos reservatórios é para garantir a preservação do recurso hídrico para o uso mais nobre da área, que é o abastecimento para uso humano, já que com essa concentração limite o custo de tratamento é baixo pela quase inexistência que conferem sabor e odor a água. Considera-se ainda que dependendo da importância da finalidade do reservatório para o uso mais nobre da água o nível de tratamento da água deverá ser mais sofisticado, entretanto, considerando a compatibilização entre o uso deste reservatório para aquicultura e abastecimento humano o seu uso deverá ser realizado com acompanhamento de um monitoramento preventivo sobre a qualidade de água. Porém, encontrando-se em situação acima da capacidade de suporte de introdução de carga de fósforo, já que segundo metodologia proposta por Beveridge (1987) o cálculo da capacidade de carga do nutriente anteriormente citado, em kg/ano, é realizado em função da carga que poderá ser gerada pela atividade da piscicultura em conformidade com o incremento da concentração de fósforo na água em mg/m³ considerada como: $\Delta p = \text{concentração de fósforo limitante vigente menos a concentração média anual de fósforo obtidas nas estações de coletas, representativas das três zonas típicas de reservatórios anteriormente comentadas.}$ Se levarmos em consideração a resolução do CONAMA Δp é negativo, com uma concentração de fósforo total que extrapola essa concentração em 91 mg/m³ Pt e se levamos em consideração uma legislação mais branda que considere o limite entre a mesotrofia e a eutrofia da água como norma de preservação do recurso hídrico, mesmo assim o limite da capacidade de suporte já estaria extrapolado em uma concentração de 61 mg/m³, ou seja, o açude vem sofrendo prematuramente um processo de eutrofização proveniente de cargas orgânicas lançadas da bacia de contribuição. Todos os valores de clorofila "a" e fósforo total estão representadas nos gráficos a seguir com média e desvio padrão das amostras no período de estudo qualitativo.

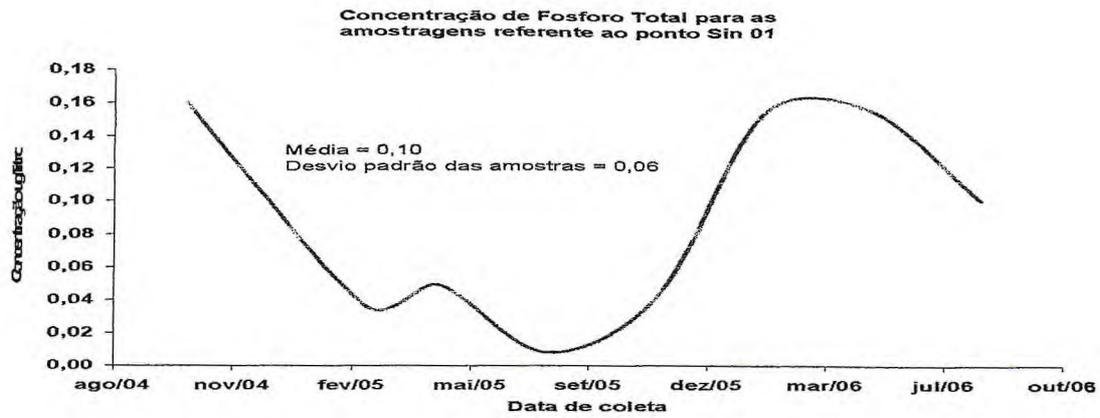


Figura 6 – concentração de fósforo total no ponto Sin 01

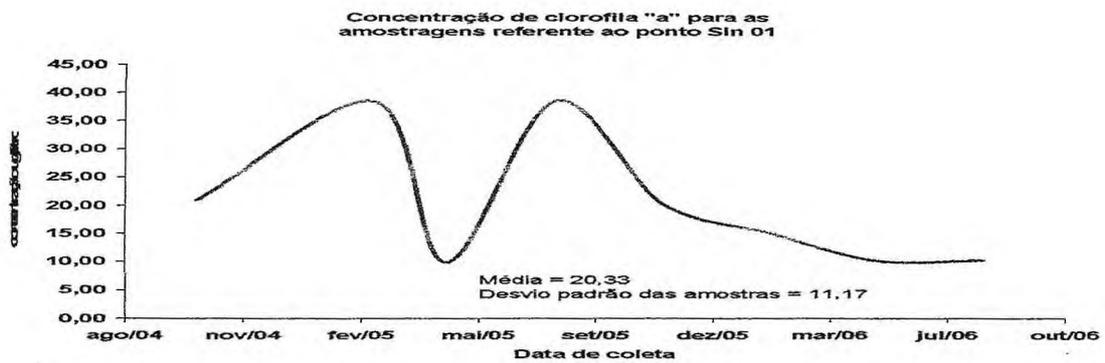


Figura 7 – concentração de clorofila "a" no ponto 01

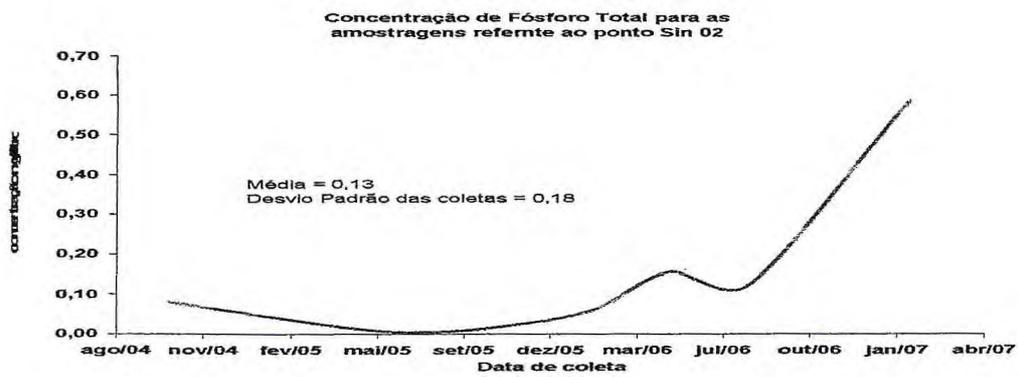


Figura 8 – concentração de fósforo total no ponto Sin 02

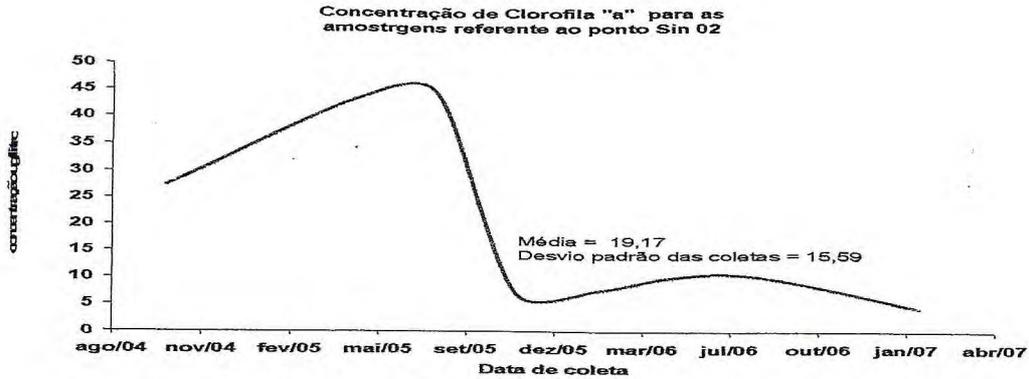


Figura 9 – concentração de clorofila "a" no ponto 02

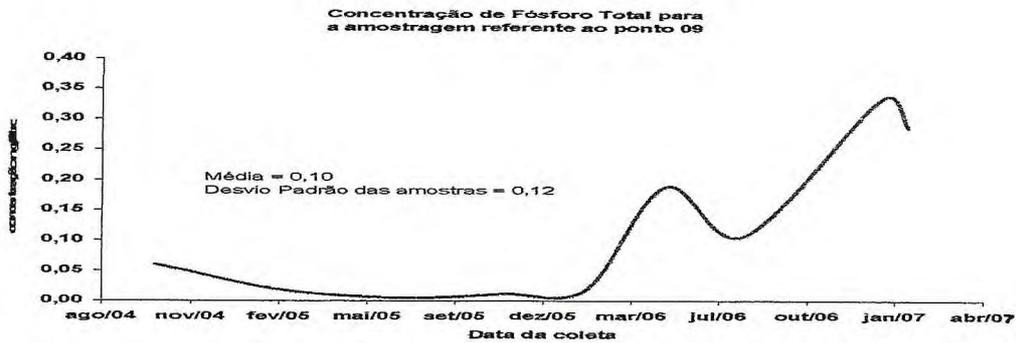


Figura 10 – concentração de fósforo total no ponto Sin 09

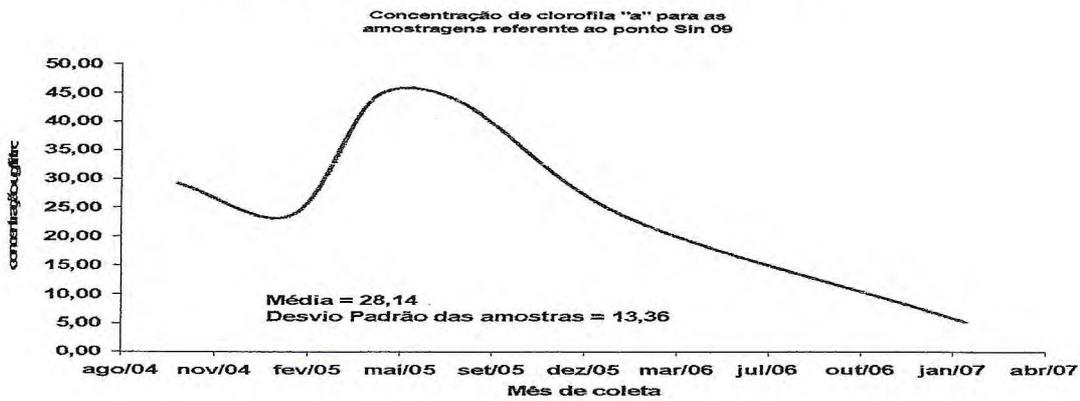


Figura 11 – concentração de clorofila "a" no ponto 09

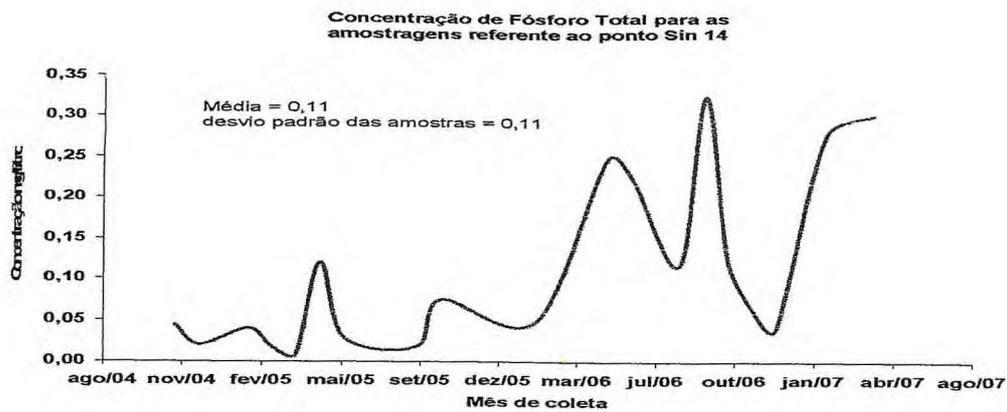


Figura 12 – concentração de fósforo total no ponto Sin 14



Figura 13 – concentração de clorofila "a" no ponto Sin 14

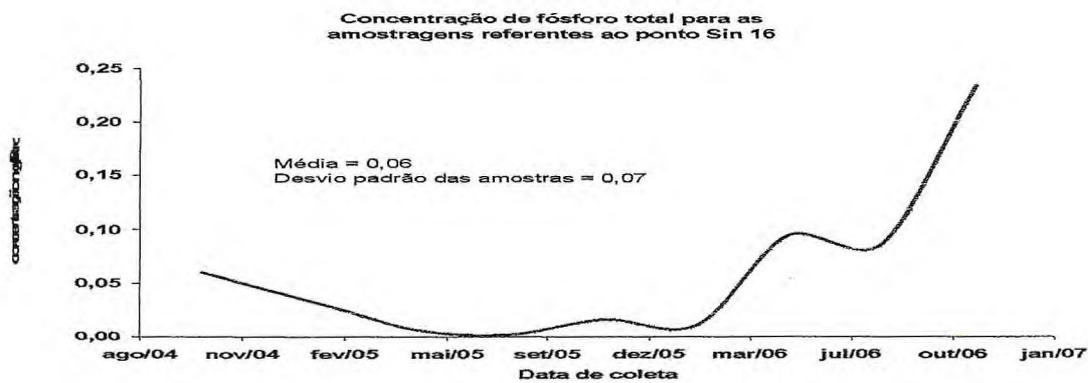


Figura 14 – concentração de fósforo total no ponto Sin 16

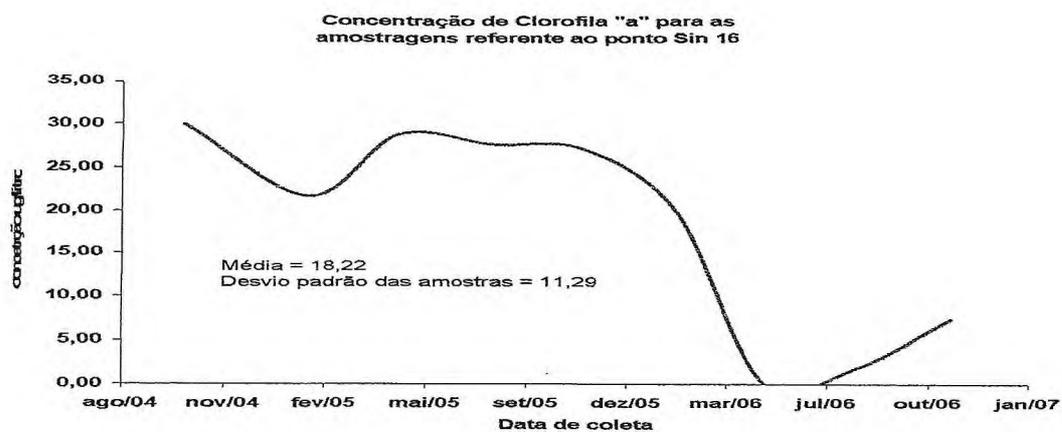


Figura 15 – concentração de clorofila "a" no ponto Sin 16

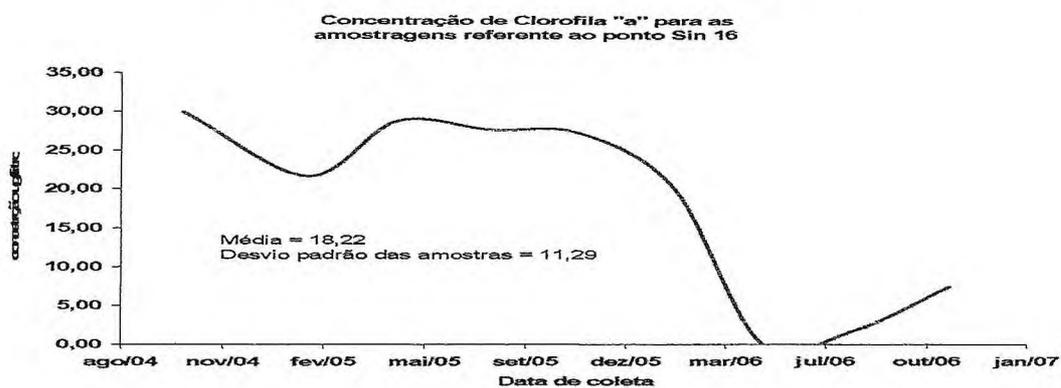


Figura 16 – concentração de fósforo total no ponto Sin 17

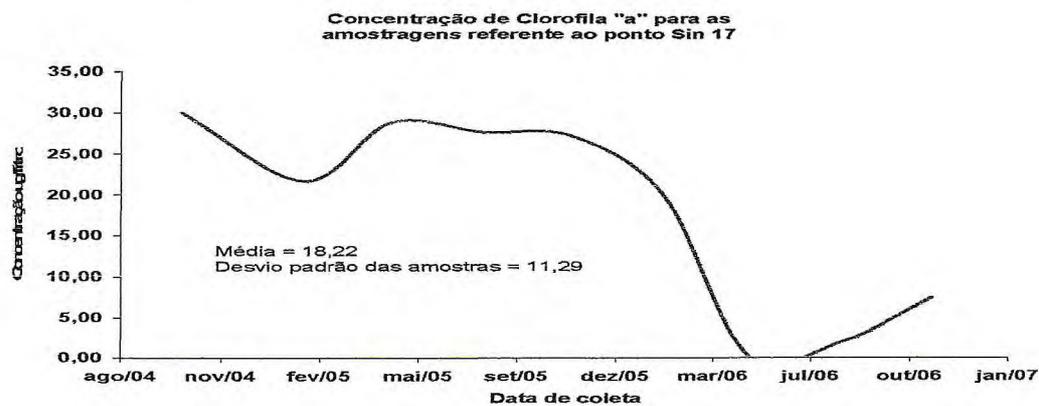


Figura 17 – concentração de clorofila "a" no ponto Sin 17

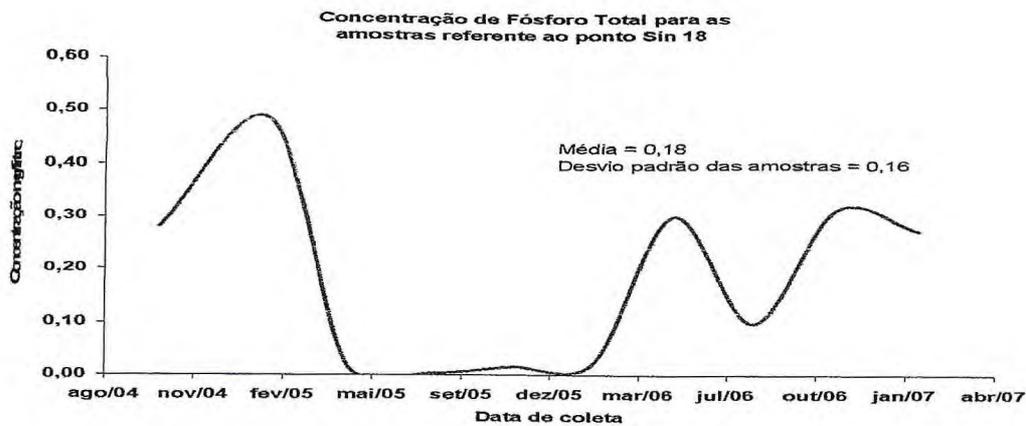


Figura 18 – concentração de fósforo total no ponto Sin 18



Figura 19 – concentração de clorofila "a" no ponto Sin 18

Mesmo constatando-se que a capacidade de suporte foi extrapolada, através do uso de metodologia proposta por Beveriger (1987), calculou-se para efeitos de estudo da capacidade de suporte os seguintes parâmetros:

I) Estudos hidrológicos: o corpo hídrico formador do açude é composto por rios e riachos barrados no Município de São Gonçalo, a sua bacia hidrográfica possui uma área de 446.850.000 m² e uma precipitação média sobre a bacia que conforme Porto et al (2004) de 936 mm. Como a capacidade máxima do reservatório é de 126.000.000 m³, o tempo de residência da água para a capacidade máxima de armazenamento

poderá ser calculado, calculando-se o volume afluente anual pela fórmula do Engenheiro Aguiar conforme metodologia apresentada em Oliveira(2005).

$$V_a = (R_{mm} \cdot U \cdot S) / 1000$$

Em que:

S= área da bacia hidrográfica do açude

U= Fator de correção, que para bacias com declividade do tipo da bacia estudada é igual à 1 (tipo média).

$R_{mm} = 28,53H - 112,95H^2 + 351,91H^3 - 118,74H^4$, onde $H = 0,936$ m

Que confere ao açude um volume afluente anual médio de:

$$V_a = 124 \times 1 \times 446.850.000 = 55.409.400 \text{ m}^3$$

O tempo de residência calculado como a relação entre a capacidade máxima de armazenamento e o volume afluente médio anual define o tempo de residência para a capacidade máxima do reservatório como sendo:

$$T = 126.000.000 \text{ m}^3 / 55.409.400 \text{ m}^3 = 2,27 \text{ anos}$$

Isso quer dizer que a barragem foi construída para suportar sem problemas 18 meses de estiagem. Entretanto considerando que a legislação no Estado do Ceará estabelece como cálculo para concessão de outorga pelo uso da água pela atividade de piscicultura um volume médio correspondente a 50% da capacidade máxima do reservatório, o tempo de residência da água para efeitos de cálculo da capacidade de suporte nos reservatórios deste estado e também da federação, já que a ANA resolveu considerar neste tipo de cálculo este mesmo procedimento, calculando-se o tempo de residência da capacidade T, tem se:

$$T_{50\%} = \frac{1}{2} \cdot T(\text{anos}) = 1,135 \text{ anos}$$

- II) Cálculo da quantidade gerada em um cultivo de tanques-rede, este cálculo depende dos seguintes parâmetros:
- % De fósforo na ração;
 - % De fósforo no peixe cultivado (peso natural);
 - Da taxa de conversão alimentar esperada.

Este último parâmetro, em cultivo de tanques-rede considera-se uma taxa alimentar média concedida pelos produtores que atuam na região ou mesmo no reservatório. Considerando-se que no açude Sítios Novos existe empresas instaladas cujo taxa de conversão média para a obtenção de peixes com 800g, as quais estocam com juvenis de tilápia entorno de 35g, em uma estocagem media de 220 peixes/m³ de gaiola para uma taxa de mortalidade media entorno de 10%. A taxa de mortalidade de 10% foi calculada em função da produção média dos aquicultores que ficou entorno de 160 Kg/m³ de tanques-rede com peso final de 800g. Levando em consideração esta proporção a estocagem final se restringia a 200 peixes/m³ e como eram estocados 220 peixes/m³ deduziu-se sem nenhuma dificuldade que a taxa de mortalidade na piscicultura local girava entorno de 10%. Considerando que o parque aquícola destinado aos tanques-rede é integrado pelos seguintes empreendedores: Associação dos aquicultores do distrito de Sítios Novos (agropeixe) com 25 gaiolas (100 m³); Pecém agroindustrial LTDA com 205 gaiolas (1200 m³); Ronaldo Gadelha Leitão com 205 gaiolas (1200 m³); Associação dos piscicultores do Açude Sítios Novos (apasino) com 350 gaiolas (1400 m³); Antônio Nailton Virgínio Mota com 24 gaiolas (96 m³) e; Power Aquinocultura Cearense Ltda com 74 gaiolas (888 m³) totalizando 883 unidades para uma área total útil de 4.884 m³.

Considerando-se que a produção média anual total de todos os empreendedores, acima mencionados, gira entorno de 781,44 toneladas/ano. Calculando-se a quantidade de fósforo gerada por cada tonelada produzida no açude Sítios Novos, observa-se que no sistema de cultivo, a quantidade de fósforo que vai para o ambiente aquático segue a seguinte estimativa: quantidade de fósforo na ração; 9,0 Kg/ton de ração; taxa de conversão alimentar média dos produtores informados é 1,6 kg de ração/kg de peixe produzido; quantidade de fósforo retirado do sistema de cultivo por incorporação na biomassa de uma tonelada de peixe produzido será de 3,4 Kg de fósforo/ton de peixe produzido (a tilápia possui 0,34% de fósforo em peso natural). Assim a quantidade fósforo gerada pela atividade de piscicultura em tanques-rede poderá ser obtido pela seguinte equação:

$$Pe = (Pf.TCA) - Pa$$

$$Pe = (9,0 \times 1,6) - 3,4 = 11 \text{ Kg de P/ton de peixe}$$

Considerando-se a média de produção anual total no açude Sítios Novos está sendo repassado anualmente ao meio ambiente uma carga de fósforo correspondente a 8.595.84 kg de P/ano.

III) Cálculo do coeficiente de sedimentação do fósforo

Para cultivo em tanques-rede Beveridge (1987) propôs se que, o cálculo da capacidade de suporte em reservatórios tropicais, fosse determinada mediante utilização do modelo de Dillon & Rigler (1974) representado pela seguinte equação:

$$L = \frac{\Delta P \cdot Z \cdot t_p}{(1 - K_s)}$$

Onde: $\Delta P = P_t$ /final - P_t /inicial (incremento de fósforo); Z = profundidade média do reservatório; t_p = inverso do tempo de residência ($1/t_{(50\%)}$) que no açude em estudo foi de $t_p = 0,88$, e K_s = coeficiente de sedimentação dado pela equação:

$$K_s = \left[\frac{1}{1 + 0,614(0,88)^{0,491}} \right] = 0,633$$

O resultado de K_s obtido para o açude Sítios Novos revela que 63,3% da carga de fósforo afluyente ao referido reservatório passa por um processo de decaimento natural por processo de sedimentação e retirada pela vazão regularizada que de acordo com dados fornecidos pela COGERH é de 1,09 m³/s.

Observado-se a equação de Dillon & Rigler (1974) utilizada no cálculo da capacidade de suporte de reservatórios e de observações anteriormente apresentadas em que $\Delta p = 0$, o reservatório já se encontra com a capacidade de suporte esgotada para aprovação de outorga pelo uso da água na piscicultura com tanques-rede. Considerando-se, hipoteticamente, que as entidades ambientais responsáveis pelo

gerenciamento da bacia hidrográfica do açude Sítios Novos conseguissem através do disciplinamento do uso e da ocupação do solo na bacia hidrográfica, que o tratamento de esgotos e demais medidas para reduzir a carga de fósforo afluyente ao referido açude, reduzisse a concentração de equilíbrio de fósforo total na água para uma média de 27 mg/m³ e que o limite à legislação estadual considerasse como capacidade limite a concentração máxima de 50mg/m³ (limite entre mesotrofia e a eutrofia), para efeitos de cálculo ilustrativo sobre capacidade de suporte do reservatório para desenvolvimento sustentável da atividade de piscicultura relacionada a um incremento de concentração que permitisse passar de uma concentração média de 27 para 50 mg/m³ ($\Delta p = 23$ mg), a capacidade de suporte em toneladas passíveis de serem produzidas no açude, levaria, se fosse o caso, em consideração os seguintes parâmetros:

- $\Delta p = 23$ mg/m³ (incremento permissível)
- $Z = 7,2$ m (profundidade média do açude)
- $T_p = 0,88$ (inverso do tempo de residência para 50% da capacidade do açude)
- $K_s = 0,633$ (coeficiente de sedimentação para o açude de Sítios Novos)
- $L =$ carga de fósforo que poderia ser gerada sem comprometimento da capacidade de suporte

$$L = \frac{\Delta P \cdot Z \cdot t_p}{(1 - K_s)} = \frac{23 \times 7,2 \times 0,88}{(1 - 0,633)} = 397,08 \text{ mgP} / \text{m}^2 / \text{ano}$$

Considerando-se que a área do espelho médio do açude (50% da capacidade de armazenamento d'água) é de 17.500.000 m², neste caso o açude comportaria uma carga anual de 6,95 toneladas, que ainda estaria abaixo da carga produzida pela atividade desenvolvida pelos empreendedores outorgados, já que, para cada tonelada de peixe produzida o valor obtido de repasse foi de 11 Kg do nutriente fósforo para o ambiente, assim a capacidade de suporte seria de:

CP = capacidade de suporte em fósforo / quantidade fósforo repassada ao meio ambiente para se produzir uma tonelada de peixe com ração na base de 0,9% de fósforo em sua composição.

$$CP = 6.950 / 11 = 631,82 \text{ ton de peixe}$$

Comparando-se esse resultado (631,82 ton de peixe) com a produção anual média dos produtores (781,44 toneladas/ano), ainda assim, essa última produção ficaria acima produção máxima estabelecida pelo limite entre a mesotrofia e a eutrofia. Tratando-se de um reservatório com construção relativamente recente (1997), a observação de valores elevados na concentração de fósforo total em períodos anteriores ao ano de 2004 (Figuras 5 a 19), pode ter ocorrido possivelmente, por decomposição de árvores e arbustos, e quaisquer outros resíduos vegetais que possam ter contribuído para a eutrofização prematura da água do açude. Vale ressaltar que o lançamento de detritos orgânicos ou inorgânicos contendo fósforo lançados sobre a bacia de drenagem contribuinte ao açude redundam em uma carga que poderá ser estimada pelo método de Salas e Martino (1991). Isto decorre da possibilidade de se estabelecer através do modelo anteriormente citado, uma relação entre a concentração média de equilíbrio anual da concentração de fósforo total na água de um reservatório com aquilo que está acontecendo na bacia hidrográfica, em que as principais fontes de fósforo são: em ordem crescente de importância: drenagem pluvial; áreas com matas e florestas; áreas agrícolas; áreas urbanas e esgotos. Caso os procedimentos ambientais para minimização dos impactos ambientais durante a construção do reservatório em questão não tenham sido realizados em conformidade com as exigências dos órgãos de proteção ambiental, neste cálculo pode estar ocorrendo também uma alimentação em decorrência ainda, da decomposição dos restos de arbustos e raízes das árvores existentes da área inundada.

De qualquer forma os esgotos domésticos veiculados por sistemas de esgotamento dinâmico, podem ser, na realidade a maior fonte de contribuição de fósforo. Este encontra-se presente nas fezes humanas, nos detergentes para limpeza doméstica e em outros subprodutos das atividades humanas.

Assim, fazendo-se uma relação entre a concentração media anual de fósforo obtidas nas sete estações em um período de aproximadamente dois anos e meio com a carga total de fósforo afluyente a bacia hidráulica do açude obteve-se mediante equação derivada do modelo acima mencionado os seguintes resultados:

$$L = \frac{V_{50\%} \cdot P \left(\frac{1}{T_{50\%}} + \frac{2}{\sqrt{T_{50\%}}} \right)}{10^3} = 22.855,72 \text{ kgP / ano}$$

Isto representa, a carga total anual de fósforo que entra por diversas fontes no açude de Sítio Novos, cabendo assim um estudo apurado sobre a contribuição individual de cada fonte contribuinte deste nutriente para a água, ou seja, através de satélites mapear toda a zona de mata nativa, delimitar as áreas desmatadas para atividade agrícola, avaliar a população humana que ocupa as terras de montante, o problema do lixo (aterros sanitários), industria de alimento e outras fontes difusas para se obter um diagnóstico da situação ambiental relacionada ao uso e ocupação da bacia de drenagem e se diagnosticar, ou mesmo sugerir medidas de preservação ambiental que possam ser efetivas para redução da carga de fósforo afluyente ao açude. Para se ter uma idéia do problema, seria necessária uma redução drástica do aporte de fósforo proveniente das enxurradas ocorrente na estação chuvosa correspondente a seguinte estimativa: deduzindo-se a carga total de fósforo afluyente ao açude, que foi de 22.855,72 Kg P/ano, da carga de fósforo produzida pela atividade da piscicultura em tanques-rede pelos empreendedores instalados na área do parque aquícola próximo a barragem, que foi da ordem de 8.595,84 kg P/ano, ocorre uma diferença com uma magnitude de 14.259,88 Kg P/ano. Considerando-se que o açude estivesse encravado em uma região totalmente desprovida de atividades antrópica, ou seja, que ele tivesse sido construído em uma área de mata vigem, neste caso a contribuição de fósforo atual seria de acordo com dados da tabela 3, onde se observa que a contribuição de áreas unitárias/ Km² de floresta é de apenas 10 kgP/km².ano.

Tabela 3. Contribuições unitárias de fósforo típicas

Fonte	Tipo	Valores típicos	Unidade
Drenagem	Áreas de matas e florestas	10	kgP/km ² .ano
	Áreas agrícolas	50	kgP/km ² .ano
	Áreas urbanas	100	kgP/km ² .ano
Esgotos	Domésticos	1,0	kgP/hab.ano

Fonte: Sperling (1986)

A tabela 3 apresenta valores típicos da contribuição unitária de fósforo, compilados de diversas referências nacionais e estrangeiras (von Sperling, 1986). A unidade de tempo adotada é "ano", conveniente para modelagem matemática.

Considerando-se que a área da bacia hidrográfica é de 446,85 Km², 4.468,5 Kg P/ano. Considerando assim que a resolução do CONAMA estabelece que a concentração máxima de fósforo seja de apenas 20 mg/m³, e considerando ainda que água do açude fosse totalmente isenta deste nutriente (imediatamente ao seu enchimento), e usando novamente o modelo de Dillon & Rigler (1974), teríamos um Δp de acréscimo com capacidade de suporte de 20 mg/l, e uma concentração de equilíbrio superior normatizada pela resolução anteriormente citada, concentração por tanto mesmo nessa condição hipotética o açude já estaria inviabilizado para o uso na aquicultura o que seria no mínimo uma incoerência

$$L = \frac{20 \times 7,2 \times 0,88}{(1 - 0,633)} = 374,06 \text{ mgP} / \text{m}^2 / \text{ano}$$

Tabela 4 – previsão de concentração utilizando modelos para previsão da concentração de fósforo.

Fonte de Fósforo	Influência provável da concentração na água do açude.	Modelo
Piscicultura em tanques-rede	Participação de incremento de 32,3 mg/m ³ da concentração média observada no açude	$P = \frac{L.(1 - Ks)}{S_{50\%} \cdot Z \cdot \frac{1}{T_{50\%}}}$
Matas típicas + agricultura + esgotos + outras fontes difusa	78,7 mg/m ³ , proveniente da atividade antrópica + carreamento natural	$P = \frac{L \cdot 10^6}{V_{50\%} \cdot \left(\frac{1}{t} + \frac{2}{\sqrt{t}} \right)}$
Condição hipotética com ausências de usos antrópicos na bacia e cobertura vegetal integralmente constituída por mata nativa.	21,7 mg/m ³	$P = \frac{L \cdot 10^6}{V_{50\%} \cdot \left(\frac{1}{t} + \frac{2}{\sqrt{t}} \right)}$

Pelos resultados apresentados na tabela 4, justifica-se o constante conflito entre empreendedores solicitantes de outorga para o desenvolvimento da piscicultura em tanques-rede em posicionamento contrário ao que firma resolução 357 do CONAMA por considerá-la inadequada e que traz em seus critérios situação de inviabilização da atividade em reservatórios tropicais, como é o caso do açude de Sítios Novos. Neste aspecto o mais viável seria o monitoramento dos reservatórios direcionado para a

definição do limite entre estados tróficos, mediante a aplicação equações e parâmetros relacionados a índices de estados tróficos através de estudos de qualidade da água dos reservatórios direcionados a essa finalidade, visando definir para cada região o limite entre os estados de mesotrofia e de eutrofia, de tal maneira a se definir uma concentração de fósforo total limitante, adequada à realidade regional, no sentido de se permitir o desenvolvimento sustentável da atividade. Nesse caso, a diferença entre a concentração de fósforo total observada no monitoramento da qualidade da água e o limite definido através de pesquisas seria considerado como o Δp (incremento de concentração) recomendado pelos gestores dos recursos hídricos no cálculo da capacidade suporte.

Com base em estudos de aplicação de indicadores de estados tróficos e aplicação de metodologia de utilização dos modelos apresentados no presente trabalho poderia ser definida a produção máxima sustentável, que serviria como parâmetro para definição das outorga em quantidade de tanques-rede, considerando-se a área útil de cada gaiola, a densidade de estocagem na fase inicial e adulta, peso médio individual na despesca, quantidade de ração por ano em função da conversão alimentar média e controle rigoroso na quantidade (%) de fósforo na ração administrada pelos produtores.

Neste aspecto, deve ser considerada ainda, a legislação pertinente para acesso ao recurso hídrico como também a observância da lei na instalação dos parques aquáticos.

Considere-se ainda que, empreendimentos em tanques-rede representam fontes pontuais de emissão de despejos orgânicos, muito mais fáceis de serem controlados e monitorados do que os demais usos e ocupação de solo nas terras de montante aos recursos hídricos, os quais também tem uma parcela de contribuição significativa para a degradação e eutrofização dos mananciais, conforme constatação neste trabalho.

5. CONCLUSÃO

Com base na aplicação de modelos matemáticos para previsão de concentração de fósforo na água de reservatórios tropicais verificou-se que o Açude Sítios Novos, apresenta uma concentração de fósforo total de (111 mg/m^3), bem acima do nível recomendado pela classe 2 da resolução 357 do CONAMA.

As variações das concentrações de fósforo total e clorofila "a" ao longo de aproximadamente dois anos e meio de monitoramento (2004 a 2006) variaram em função da influência da estação chuvosa sobre variação de volume do açude e pelo transporte de fósforo, nutriente "outflow" (escoamento superficial) representado pelo volume afluente.

No balanço de massa do fósforo total, observado com a utilização de modelos matemáticos de qualidade de água empregados na previsão de concentração de fósforo total na água de reservatórios constatou-se que 29,1% da concentração média observada pode ser atribuído aos dejetos dos peixes cultivados no parque aquícola composto pelos seis empreendedores que exploram a atividade da aquicultura no reservatório, enquanto que o restante decorre provavelmente do desmatamento parcial da bacia hidráulica, ocorrido durante a construção do açude e demais atividades relacionadas ao uso e ocupação de solo na bacia hidrográfica.

Em simulação com aplicação da equação de sedimentação de fósforo de Salas e Martino (1991), onde se considerou a hipótese de que toda bacia hidrográfica permanecesse intocável para qualquer tipo de atividade antropica após a construção da barragem e a mesma ficasse coberta totalmente por vegetação nativa, o açude estudado adquiriria uma concentração media anual de $21,7 \text{ mg/m}^3$, ou seja, acima da concentração estabelecida pela resolução 357 da classe 2 do CONAMA. Conclui-se

assim, que por esta resolução, ainda que não se concedesse nenhum tipo de outorga para uso e ocupação em qualquer local da bacia hidrográfica (terras de montante), a piscicultura em tanques-rede já estaria inviabilizada na elaboração do projeto de construção da obra.

Recomenda-se aos gestores dos recursos hídricos estaduais e aos representantes do comitê da bacia metropolitana uma maior atenção aos lançamentos orgânicos nas áreas de montante especialmente o lançamento de esgotos.

Será necessário um estudo liminológico da água do açude, visando analisar índices de estados tróficos para assim possamos enquadrar a água do açude Sítios Novos em mesotrófico ou eutrófico, bem como os limites de fósforo total representado por cada um destes dois níveis tróficos.

6. REFERÊNCIAS

AMORIM, B. – Análise comparativa de processos de eutrofização da água em reservatórios do Estado do Ceará e sua relação com as características morfológicas, hidrológicas e climatológicas. 2001. 178 p. **Dissertação** (mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Recursos Hídricos, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza.

BEVERIDGE, M. C. MALCOLM – Cage and pen fish farming: Carrying capacity models and environmental impact. *FAO Fisheries Technical Paper N° 255*, Republic of Philippines, 130 p. 1984.

BARROS, F. F. – Estudo da Qualidade da Água e do Balanço de Sais em Reservatórios Superficiais da Bacia do Rio Curu. **Dissertação de Mestrado**, DEHA /CT/UFC, 79p., 1994.

CHAPRA, S. C. - *Surface water-quality modeling*. Boston: McGraw-Hill, 1997. 844p.

COGERH. Rede de monitoramento da qualidade de água operada pela COGERH. Fortaleza, 2002. 36p.

DILLON, P. J. & RIGLER, F. H. – A test of a simple nutrient budget model predicting the phosphorus concentration in lake water. *J. Fish. Res. Board Can.*, v.31, 1771 – 1778, 1974.

ESTEVES, Francisco de Assis, 1950. – *Fundamentos de Limnologia*. 2ª Ed. Rio de Janeiro, Interciência, 602p. 1998 a.

OLIVEIRA, M.A. *Engenharia para Aqüicultura Vol. I, 1ª. Ed.*, Fortaleza, 2005.

ODUM, E. P. - *Ecologia*; trad. Cristopher J. Tribe . Ed. Guanabara, Rio de Janeiro, 574p. 1983.

PORTO, M.M. *et al* – Identificação de bacias hidrográficas com características físicas similares no Estado do Ceará – Brasil , *Revista Ciência Agronômica* vol 35, nº 1 Jan-Jun, na bacia hidrográfica, 2004, 17 – 25.

SALLAS, H. J. and MARTINO, P. 1991. A simplified phosphorus trophic state model for warm water tropical lakes. *Wat.Resarch*, p. 341-350.

SPERLING, E. v. – Gerenciamento de Recursos Hídricos: Técnicas de recuperação de ambientes aquáticos. *DESA/UFMG/UFC*, 182p. 1986 (Apostila).

SRH. Secretaria dos Recursos Hídricos. A nova política das águas do Ceará. Fortaleza, 1992. Não paginado

SRH. Secretaria dos Recursos Hídricos. Companhia de gestão dos Recursos Hídricos. Projeto de desenvolvimento urbano e gestão dos recursos Hídricos (PROURB – Ce): Plano de gerenciamento das águas das bacias metropolitanas. Relatório de fase I, Tomo I: Diagnóstico e estudos básicos. Fortaleza, 1999.

THOMANN, R. V. & MUELLER, J. A. – *Principles of Surface Water Quality .Modeling and Control*. Harper Collins Publishers, Ney York, 644p. 1987.

VOLLENWEIDER, R. A. – *Advances in Defining Critical Loading Level for Phosphorus in Lake Eutrophication..* Mem. Inst. Ital. Idrobiol., 33 :53-83, 1976.

WETZEL, R. A.; LIKENS, G.E. *Limnological analyses*. 2ed. Springer New york, Inv. 1990. 391p.