

SIMULAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM TRECHO DE RIO SUJEITO A ATIVIDADES DE CARCINICULTURA

FELIPE FERNANDES VIANA DE ARAÚJO
MARCO AURÉLIO HOLANDA DE CASTRO
MARIA CLÉA BRITO DE FIGUEIREDO

SETEMBRO / 2006

Objetivos

✓ Objetivo Geral:

- Avaliar a capacidade de suporte de um trecho do rio Jaguaribe onde são praticadas atividades de carcinicultura através de simulação.

✓ Objetivos Específicos:

- Monitoramento e avaliação quali-quantitativa da água do rio Jaguaribe e dos efluentes da carcinicultura na situação atual;
- Seleção de modelo de qualidade da água e de modelo hidráulico compatível com as condições do trecho em estudo para realização de simulações;
- Determinação das variáveis hidráulicas, calibração e validação do modelo de qualidade da água através da reprodução de eventos monitorados;
- Elaboração de diferentes cenários e simulação, considerando a situação atual e possíveis situações futuras de cargas poluentes, para avaliar impactos dos efluentes da carcinicultura e dos esgotos domésticos sobre o rio Jaguaribe.

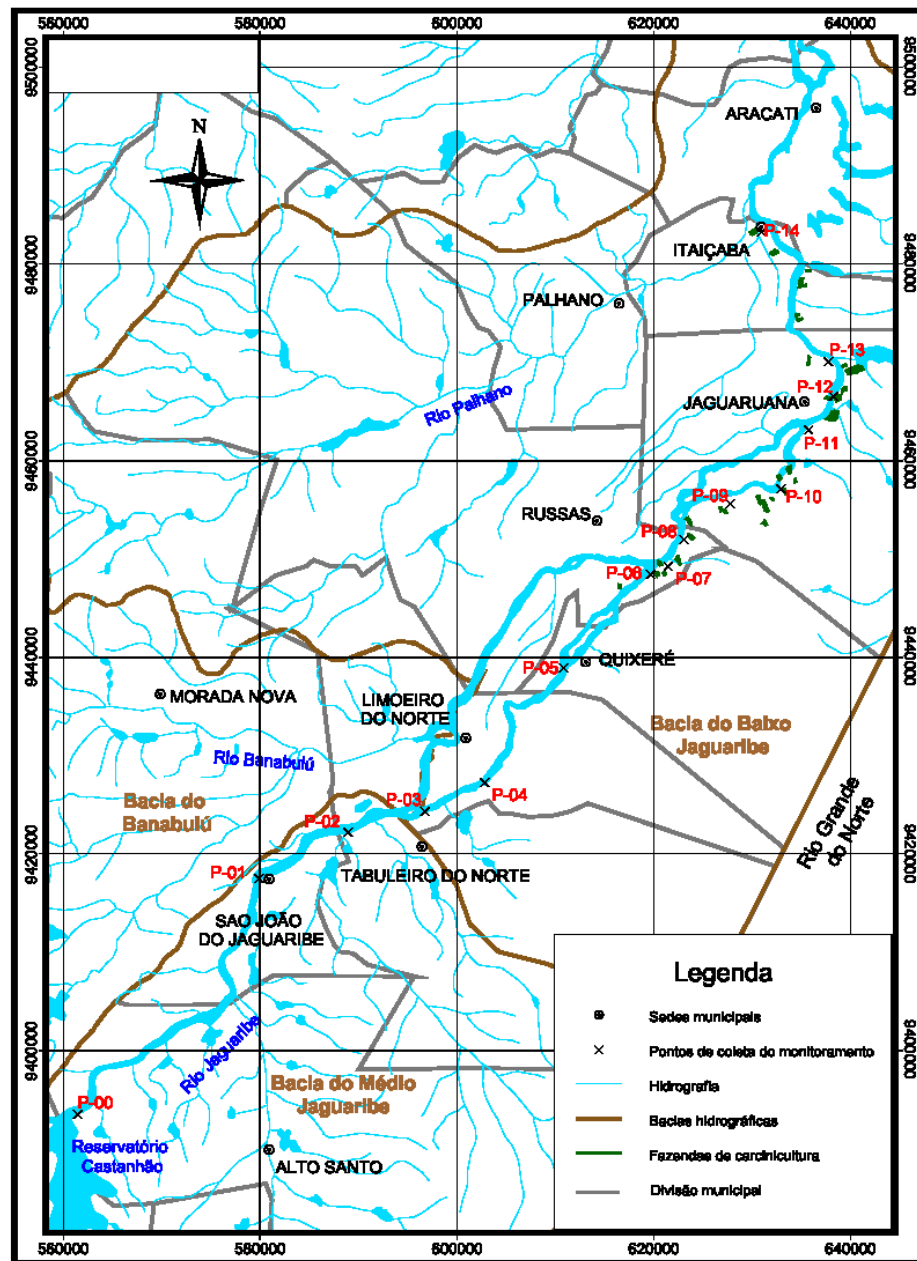
Introdução

- ✓ A atividade da carcinicultura e impactos ambientais relacionados:
 - Evolução no Brasil: crescimento anual de 33% no período 2000-2003. Área de 14.824 ha em 2003. Maiores produtores: CE e RN.
 - Impactos ambientais: degradação dos mangues ou áreas ribeirinhas, lançamento de efluentes nos corpos hídricos, risco de proliferação de doenças, etc. Problemas ambientais em: Taiwan, China e Equador.
- ✓ Características da carcinicultura no Jaguaribe a montante do estuário:
 - Evolução: crescimento anual de 54% no período 2000-2003. Área de 381 ha em 2003 e de 142 ha 2004. Municípios: Russas, Quixeré, Jaguaruana e Itaiçaba.
 - Adaptação da espécie *Litopenaeus vannamei*. Tamanho dos viveiros: entre 1 a 6 ha. Estocagem média: 42 cam/m². Período da engorda: entre 90 a 160 dias.
 - As fazendas demandam água freqüentemente para repor as perdas por infiltração e por evaporação e para renovação da água dos viveiros.
 - Lançamento de efluentes principalmente no rio Jaguaribe, mas também em lagoas, córregos ou tributários.

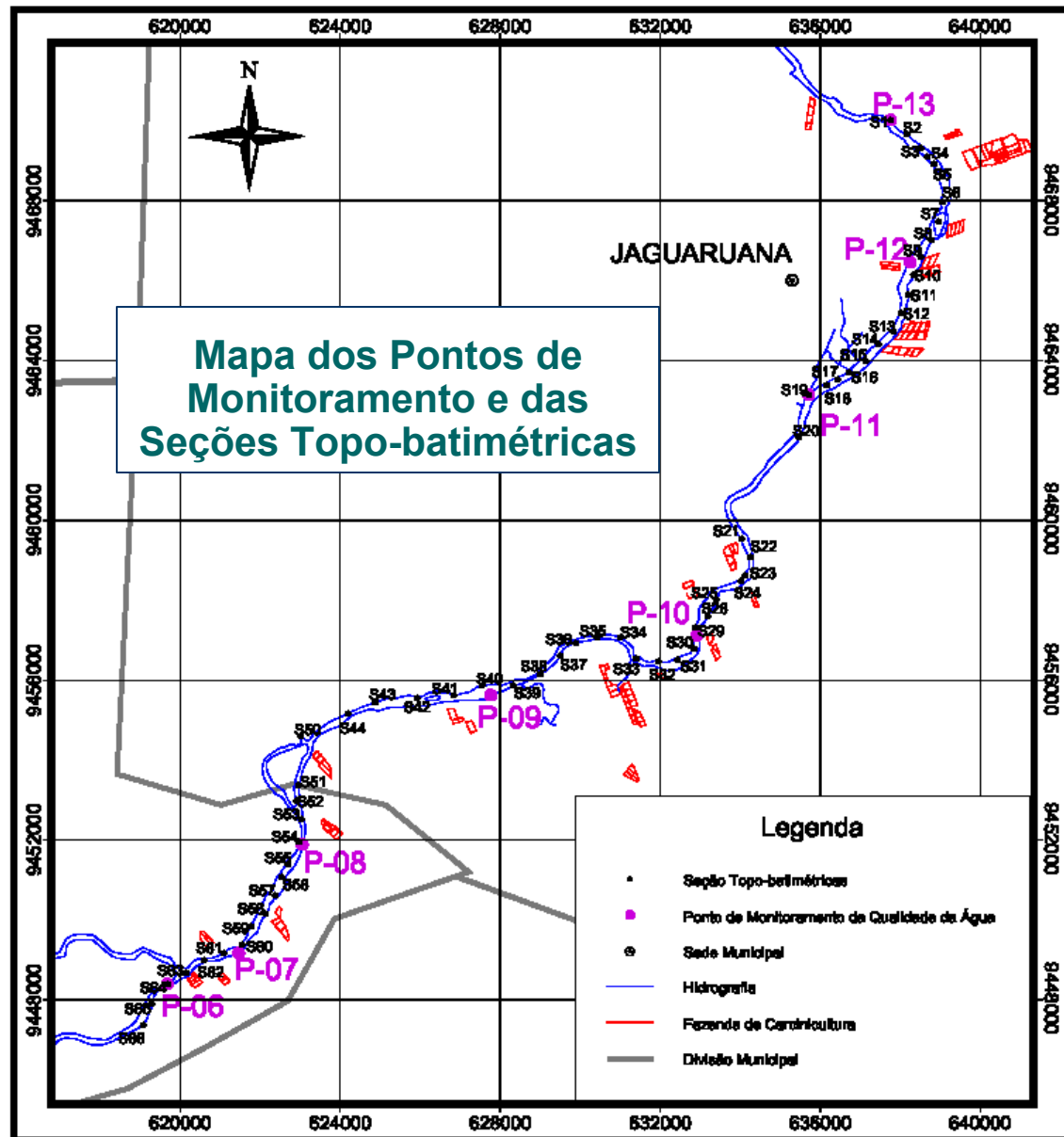
Introdução

- ✓ Características da carcinicultura no Jaguaribe:
 - Técnicas de cultivo: fertilização com aeração (07 faz. em 2003), aeração sem fertilização (18 faz.) e sem fertilização e sem aeração (07 faz.).
 - A fertilização é praticada com o objetivo de aumentar o fitoplâncton, que serve de alimento natural ao camarão, reduzindo a quantidade de ração ofertada. Insumos utilizados: ração farelada com proteína, calcário dolomítico ou calcítico e fertilizantes superfosfato triplo, uréia, MAP.
 - Utilização do metabissulfito para evitar o escurecimento da carapaça do camarão.
- ✓ Monitoramento de vazões e da qualidade da água do rio Jaguaribe e dos efluentes da carcinicultura.
- ✓ Simulação da qualidade da água para avaliar os impactos dos efluentes da carcinicultura.

SIMULAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM TRECHO DE RIO SUJEITO A ATIVIDADES DE CARCINICULTURA



SIMULAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM TRECHO DE RIO SUJEITO A ATIVIDADES DE CARCINICULTURA



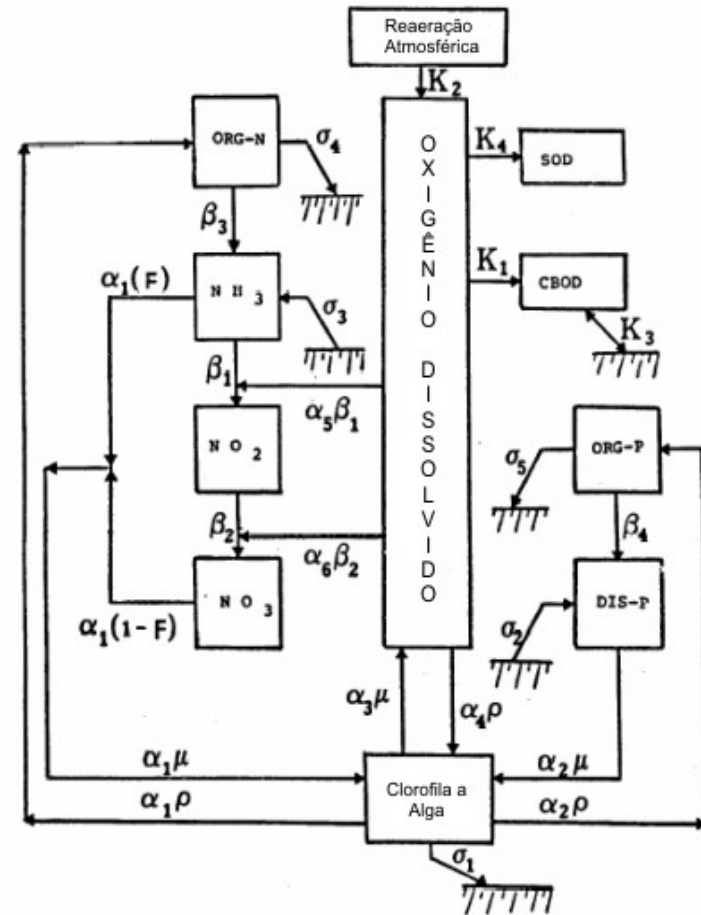
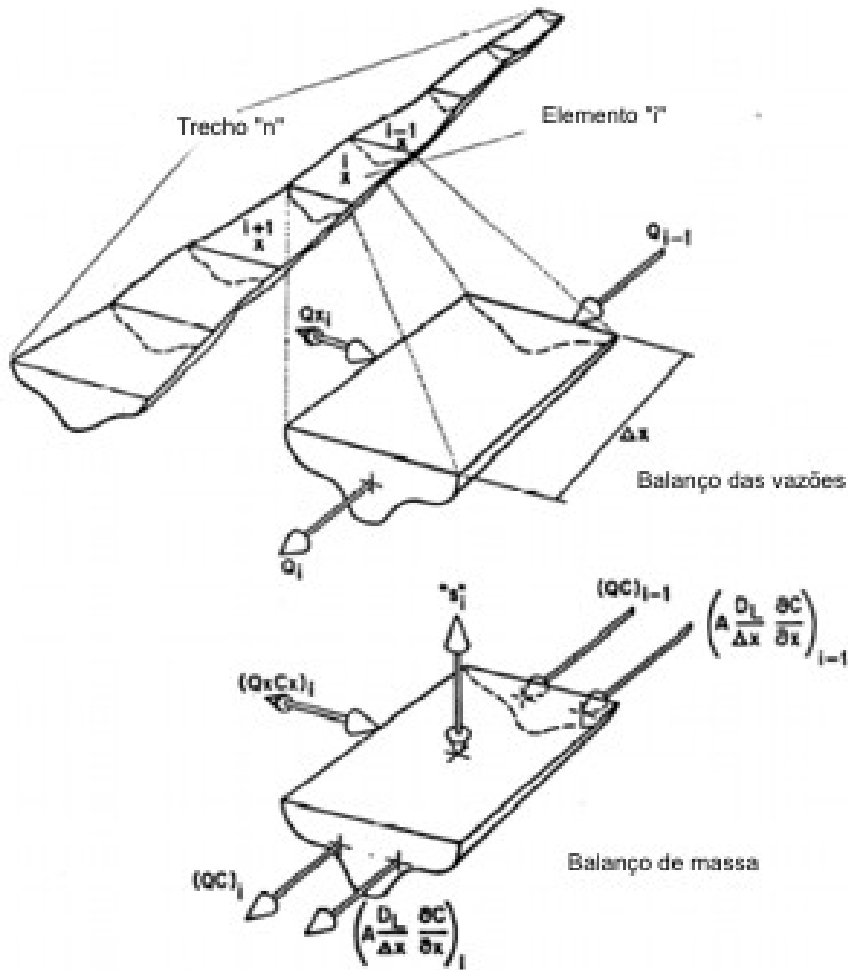
Metodologia – Modelo QUAL2E

- ✓ Modelo de qualidade da água em rios mais utilizado no Brasil e no mundo;
- ✓ Evolução: QUAL I (TWDB, 1970) → QUAL II (EPA, 1976) → QUAL2E – UNCAS (EPA, 1987);
- ✓ Simula até 15 parâmetros em qualquer combinação desejada: Temperatura, OD, DBO, Nitrogênio, Fósforo, CT, Algas, 3 CCA e 1 CNCA
- ✓ Apresenta uma representação unidimensional e considera o regime permanente de vazões;

$$\rightarrow \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial (A_x D_L \frac{\partial C}{\partial x})}{A_x \partial x} - \frac{\partial (A_x \bar{u} C)}{A_x \partial x} + \frac{dC}{dt} + \frac{s}{V}$$

- ✓ Resolve numericamente a equação de transporte através do método das diferenças finitas, mais especificamente o método implícito clássico regressivo de diferenças;

Metodologia – Modelo QUAL2E



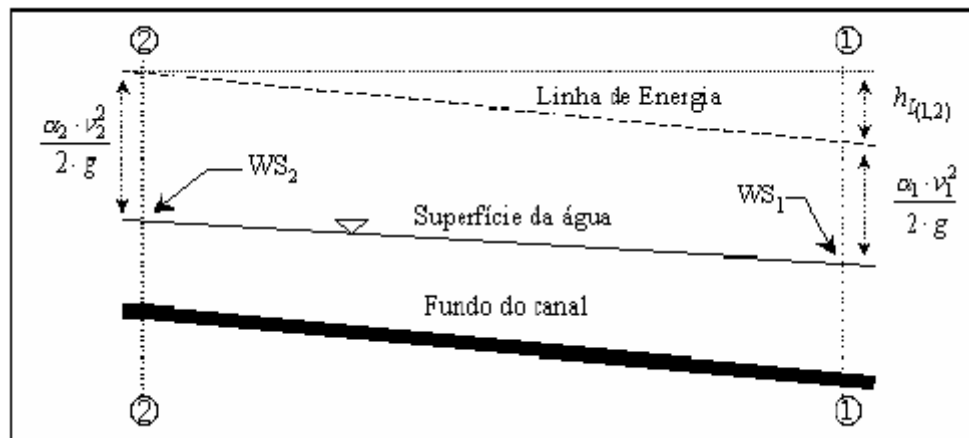
Representação unidimensional

Interação das variáveis

Metodologia – Modelo HEC-RAS

- ✓ Desenvolvido pela USACE, realiza cálculos hidráulicos de redes de canais naturais ou artificiais envolvendo escoamento em regime permanente ou não-permanente, que podem incluir vários dispositivos hidráulicos: pontes, bueiros, barramentos, etc.
- ✓ Para a simulação de escoamento permanente gradualmente variado, o modelo computa o perfil da linha d'água de uma seção transversal para outra solucionando a Equação da Energia com um procedimento iterativo chamado *standard step method*.

$$\rightarrow Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \rightarrow h_e = L \overline{S_f} + C \left[\frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right]$$



Metodologia

- ✓ Monitoramento do Rio Jaguaribe:
 - Coletas mensais de amostras em 15 pontos do rio, entre a barragem do Castanhão e Itaçaba, e 2 pontos das lagoas São Bento e Rasa, entre julho/2003 a julho/2004.
- ✓ Monitoramento de Vazões no Rio Jaguaribe:
 - Realizadas por técnicos da COGERH da gerência de Limoeiro;
 - Associadas ao monitoramento da qualidade da água;
 - Materiais: molinete, régua de nível e trena;
- Monitoramento das Fazendas de Carcinicultura:
 - Efluentes contínuos: Coletadas amostras quinzenais de 3 fazendas com técnicas diferentes de cultivo, em 10 ocasiões, durante os meses de outubro/03 a março/04.
 - Despesca: Coletadas amostras em duas fazendas, localizadas em Jaguaruana e Russas, com frequência variando de 30 min a 2 h.
 - Foi monitorado o nível dos tanques para determinar a vazão dos efluentes lançados no rio Jaguaribe tanto na despesca quanto ao longo do cultivo.

Metodologia

- ✓ **Levantamento Topo-batimétrico:**
 - Realizado com objetivo de obter informações para simular as variáveis hidráulicas através do modelo HEC-RAS (Setembro/04);
 - Levantado o perfil transversal de seções de aproximadamente 500 em 500 m do rio Jaguaribe , totalizando 59 seções;
 - A largura do levantamento foi feita de modo que se compreendesse todo o leito principal do rio e áreas inundáveis das margens esquerda e direita;
 - Material: Estação Total e GPS;
 - As seções foram referenciadas em coordenadas UTM, e as cotas foram obtidas em relação ao nível do mar, tendo como referencial o marco do IBGE localizado próximo à igreja da cidade de Jaguaruana

Metodologia (Fotos de campo)

- ✓ Monitoramento do rio Jaguaribe:



- ✓ Levantamento Topo-batimétrico:



Metodologia

- ✓ Simulações Hidráulicas no HEC-RAS:
 - Configurações geométricas: perfis do levantamento topo-batimétrico;
 - Coeficientes de contração e expansão: 0,1 e 0,3 respectivamente;
 - Coeficiente de rugosidade de Manning: 0,040 para o leito principal e 0,045 para as margens direita e esquerda;
- ✓ Procedimentos para Calibração e Validação do QUAL2E:
 - Determinação do K_2 : Equação de O'Connor e Dobbins (1958);
 - Constante de dispersão: 200 (Powell River);
 - Calibração: dez/2003. Variando os parâmetros e procurando obter o melhor ajuste entre os valores observados e simulados;
 - Validação: ago/2003 e out/2003;
 - Procurou-se limitar na calibração os valores das constantes e taxas de acordo com faixas de valores referenciados na literatura

Metodologia (Definição dos Cenários)

- ✓ **Cenário 01:** Situação atual das áreas dos viveiros em 2004 (142 ha), considerando as cargas poluentes dos efluentes contínuos dos viveiros e de Jaguaruana.
- ✓ **Cenário 02:** Incluídas as cargas poluentes da despesca da carcinicultura, considerando que este tipo de despejo acontecia simultaneamente em duas fazendas com técnicas de cultivo diferentes.
- ✓ **Cenário 03:** Diminuição da atividade de carcinicultura, considerando uma redução de 63%, igual a redução observada entre 2003 e 2004.
- ✓ **Cenário 04:** Crescimento da carcinicultura considerando um aumento de 70% da área das fazendas existentes em 2004, variação semelhante à ocorrida no período de 2001 a 2003.
- ✓ **Cenário 05:** Crescimento de 70% da área das fazendas existentes em 2004 e a implantação de duas fazendas de grande porte (80 ha cada).

SIMULAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM TRECHO DE RIO SUJEITO A ATIVIDADES DE CARCINICULTURA

Trecho Simulado

Legenda

- Fazendas que despejam efluentes no rio Jaguaribe
- Fazendas que despejam efluentes em Lagoas
- Fazendas que despejam efluentes no rio Palhano
- ▼ Cidade de Jaguaruana

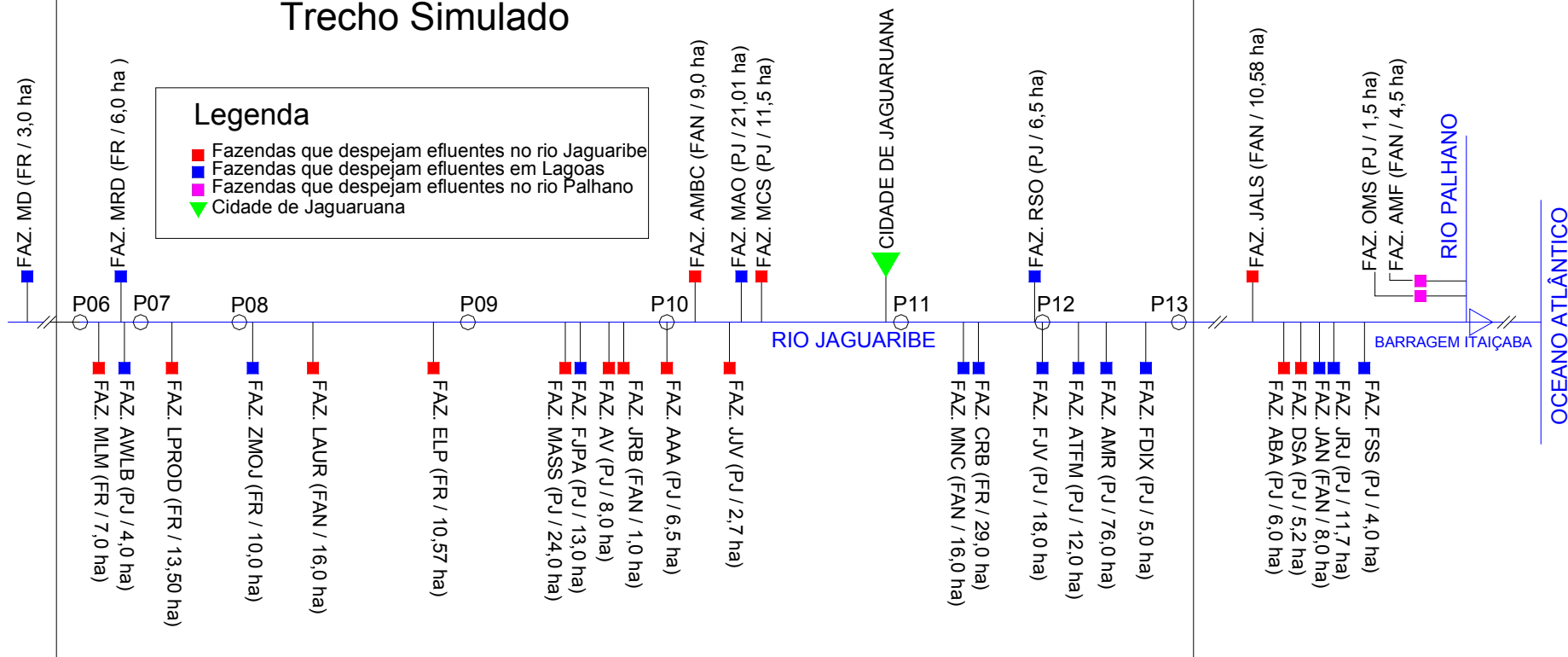


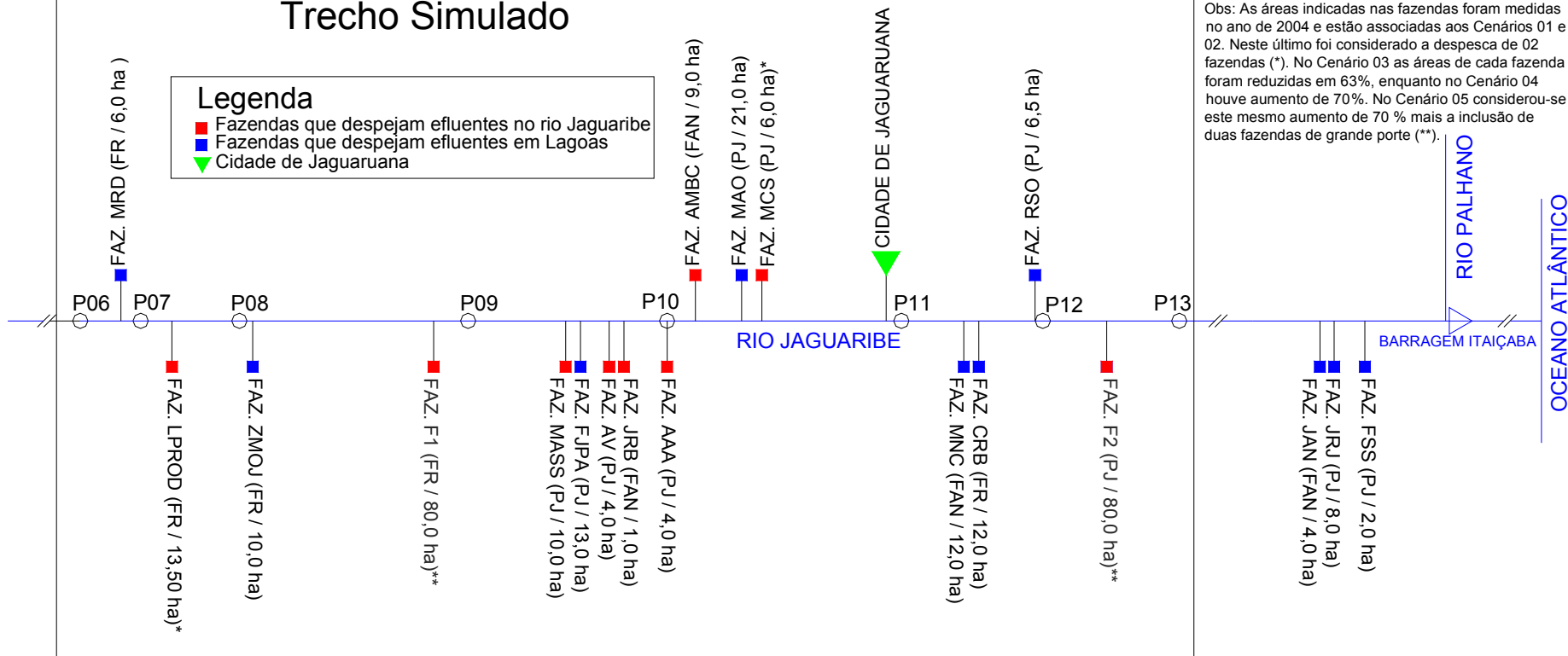
Diagrama de Captações e Cargas Poluentes no Trecho Simulado do Rio Jaguaribe no Ano de 2003

SIMULAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM TRECHO DE RIO SUJEITO A ATIVIDADES DE CARCINICULTURA

Trecho Simulado

Legenda

- Fazendas que despejam efluentes no rio Jaguaribe
- Fazendas que despejam efluentes em Lagoas
- ▼ Cidade de Jaguaruana



* Faz. consideradas fazendo despesca no Cenário 02.

** Fazendas fictícias consideradas no Cenário 05.

Obs: As áreas indicadas nas fazendas foram medidas no ano de 2004 e estão associadas aos Cenários 01 e 02. Neste último foi considerado a despesca de 02 fazendas (*). No Cenário 03 as áreas de cada fazenda foram reduzidas em 63%, enquanto no Cenário 04 houve aumento de 70%. No Cenário 05 considerou-se este mesmo aumento de 70 % mais a inclusão de duas fazendas de grande porte (**).

Diagrama de Captações e Cargas Poluentes no Trecho Simulado do Rio Jaguaribe no Ano de 2004

Resultados

- **Avaliação do Monitoramento no rio Jaguaribe:**

- ✓ Resolução CONAMA N° 357, de 17 de março de 2005:
 - Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências
- ✓ Os valores médios de OD encontraram-se acima do limite da classe 2 (5mg/l) em quase todas as estações, com exceção do ponto PB-14;
- ✓ Os valores medianos de DBO, amônia total, nitratos e CT foram inferiores aos padrões da classe 2 em quase todas as estações
- ✓ Os valores médios de fósforo total estão acima do limite da classe 2 para ambientes lóticos (0,1 mg/l) em quase todas as estações;
- ✓ Outros parâmetros: Temp, pH, Cor, Turbidez, Cloretos, Cianobactérias ...
- ✓ Especialmente observou-se de modo geral uma piora dos parâmetros no município de Jaguaruana. Temporalmente verificou-se que o período chuvoso apresentou valores mais críticos dos poluentes;
- ✓ As vazões observadas tiveram um máximo e mínimo de 4,81 a 2,06 m³/s a montante do trecho simulado e 1,36 e 0,86 m³/s a jusante.

Resultados

- Avaliação das Cargas Poluentes:
 - ✓ Efluentes contínuos: De modo geral houve uma piora dos parâmetros entre o ponto de captação e o lançamento. Consumo médio = 243 m³/ha/dia e Despejo médio = 127 m³/ha/dia. Carga_{DBO} = 1,97 kg/ha/dia, Carga_{amônia} = 0,051 kg/ha/dia e Carga_{fósforo} = 0,034 kg/ha/dia.
 - ✓ Despesca: O final da despesca é o momento mais crítico. Despejo médio = 65 L/ha/s (44 vezes > Efluente Contínuo).;
 - ✓ Efluentes domésticos: Estimada pela população e pela característica dos esgotos brutos. Considerada uma atenuação de 70% da carga bruta.
- Condições de AA, ES e RS dos Municípios:
 - ✓ Russas: AA (60%, Poços, ETA, ES (60%, ETE), RS (lixão)
 - ✓ Jaguaruana: AA (100%, Jaguaribe, TP), Sem ES, RS (lixão)
 - ✓ Quixeré: AA (36%, Poços, Cloração), Sem ES, RS (lixão)
 - ✓ Itaíçaba: AA (60%, Canal do Trabalhador, Cloração), Sem ES, RS (lixão)

Resultados

✓ Simulações Hidráulicas:

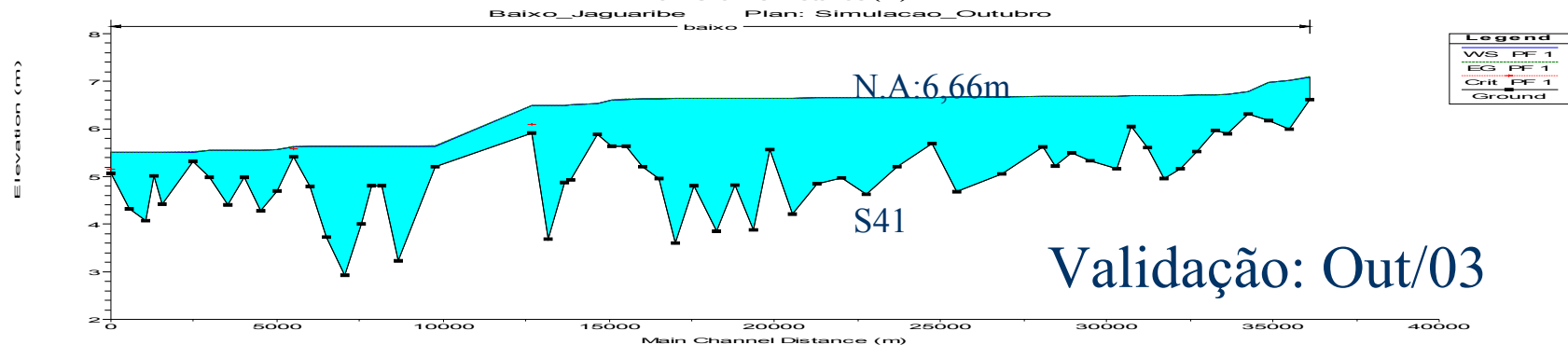
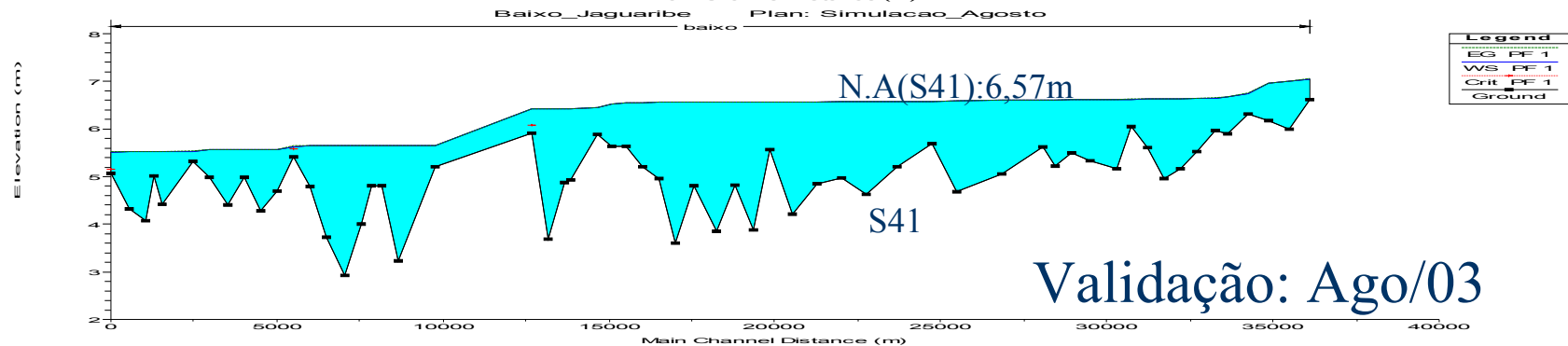
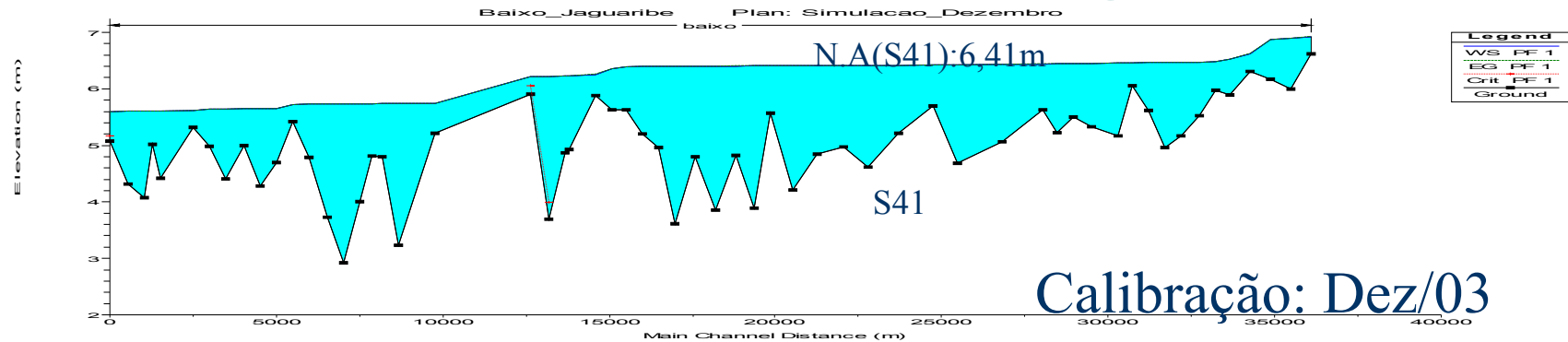
- Trecho de baixa declividade: $3,27 \times 10^{-5}$ m/m
- Vazão média: 2,16 a 3,08 m³/s;
- Profundidade média: 0,70 a 0,78 m;
- Velocidade média: 0,08 a 0,09 m/s;
- Froude: Escoamento sub-crítico. Valor máximo de 0,66 (S6);
- Largura no topo: 86,13 a 89,06 m.

✓ Calibração / Validação:

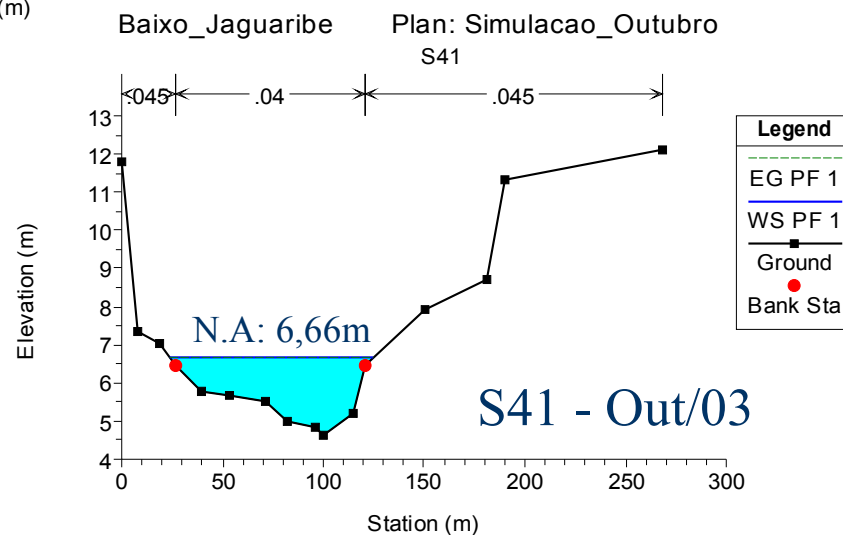
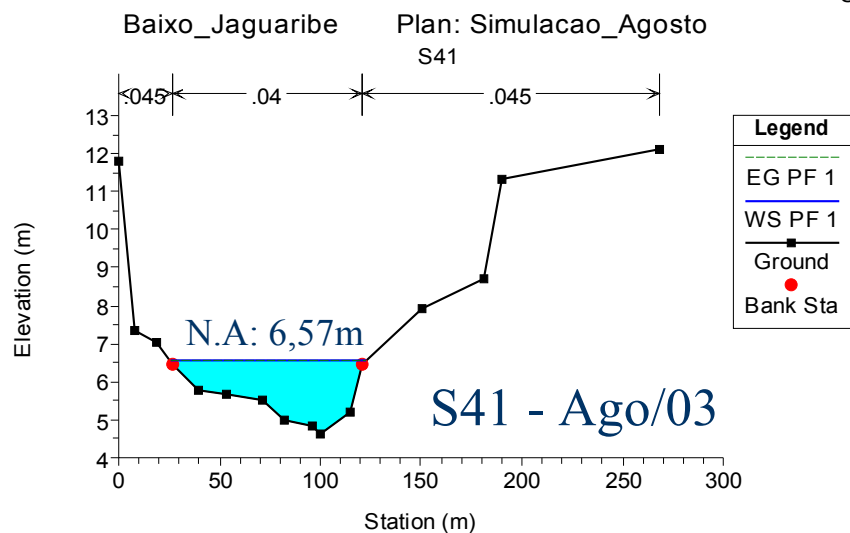
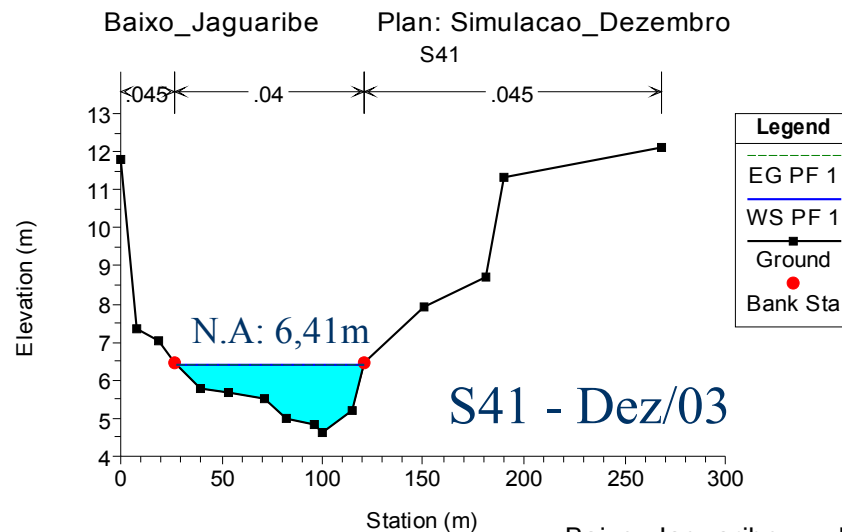
- Os ajustes obtidos na calibração e validação entre os valores observados e simulados foram satisfatórios.
- Os valores das taxas e constantes calibradas estiveram dentro das faixas ou intervalos apresentados na literatura.

SIMULAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM TRECHO DE RIO SUJEITO A ATIVIDADES DE CARCINICULTURA

Resultados – Perfis Longitudinais

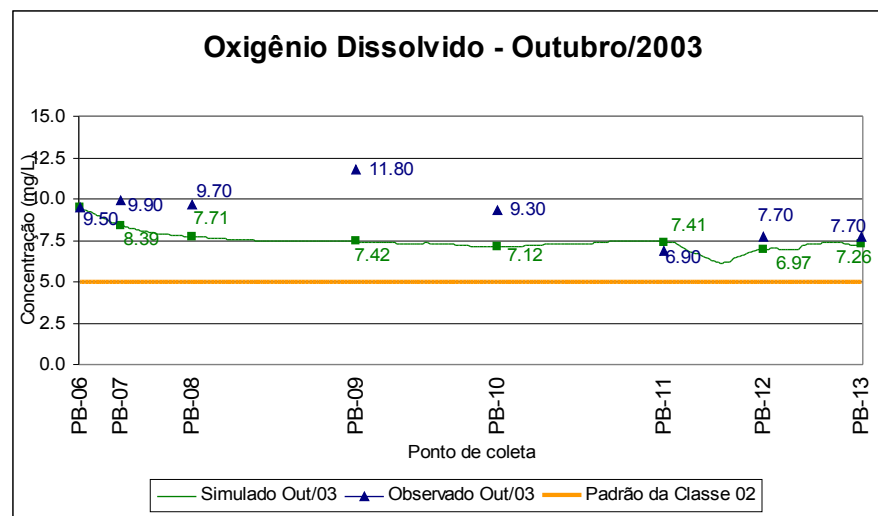
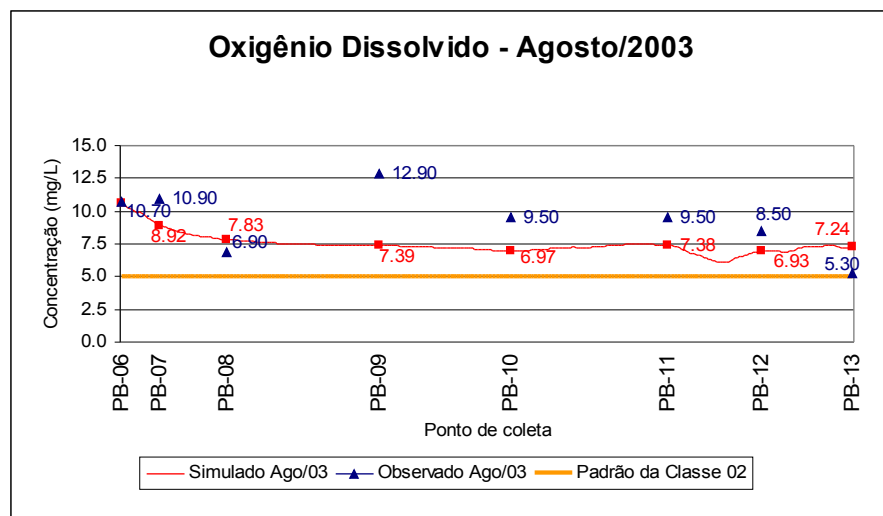
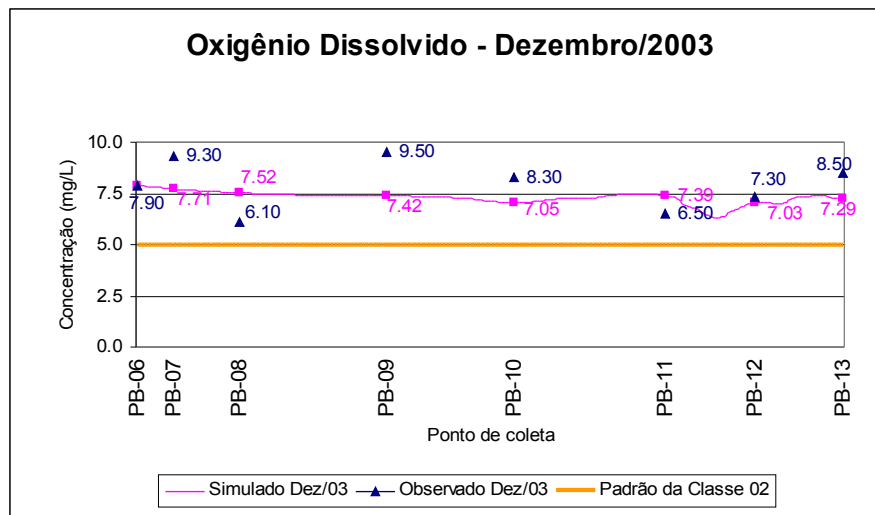


Resultados – Perfis Transversais



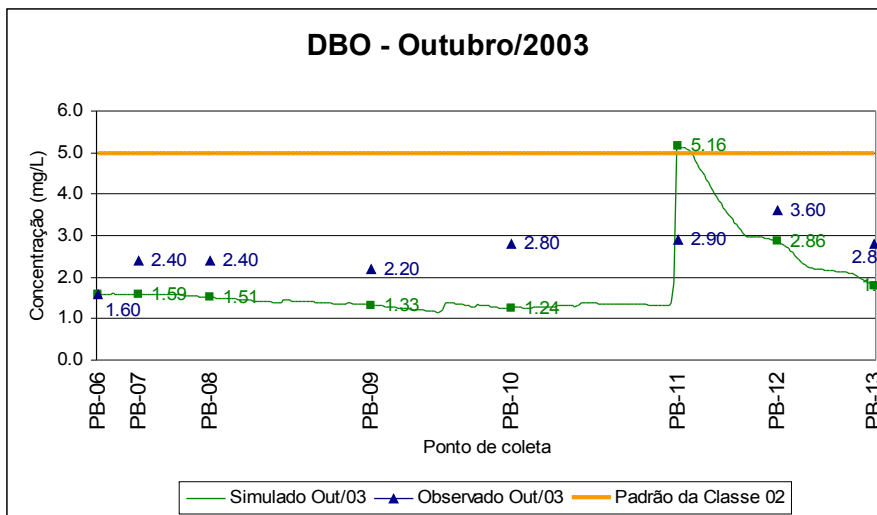
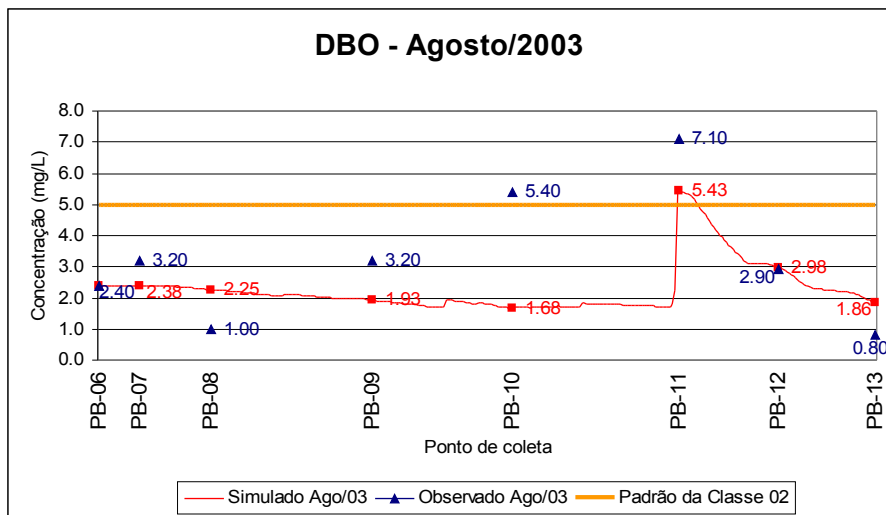
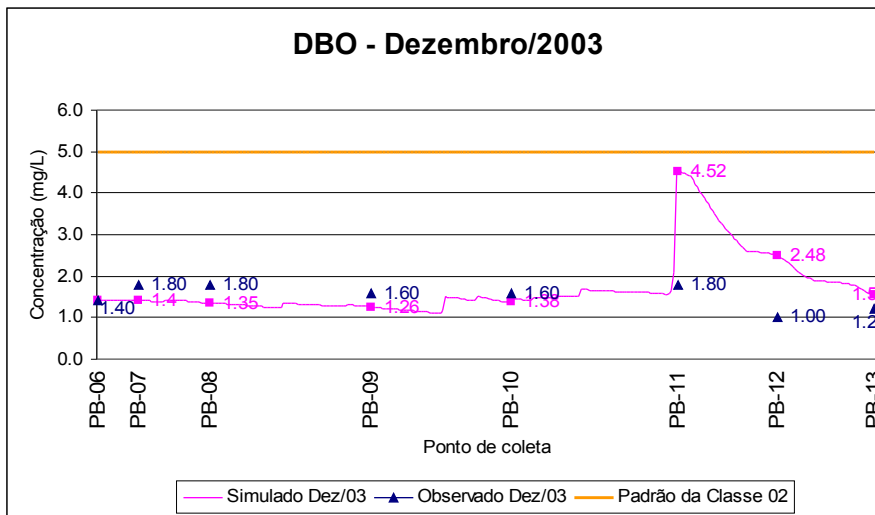
SIMULAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM TRECHO DE RIO SUJEITO A ATIVIDADES DE CARCINICULTURA

Resultados – Calibração / Validação (OD)



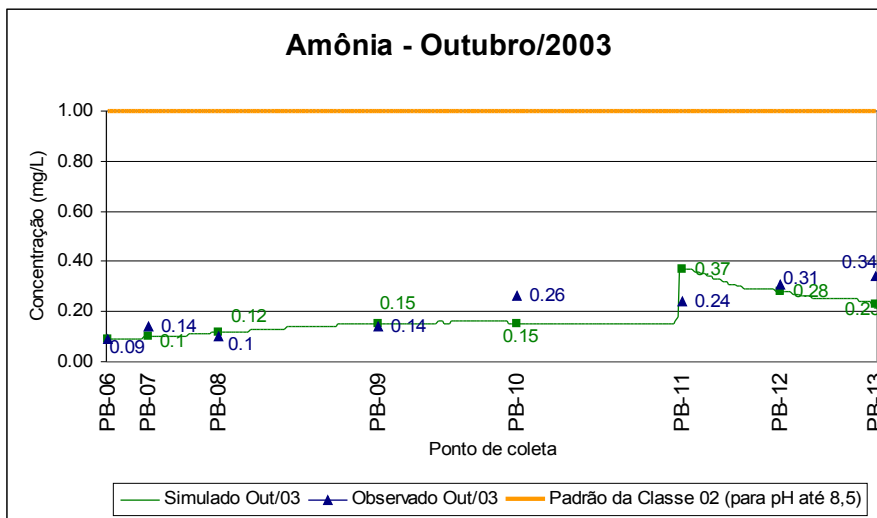
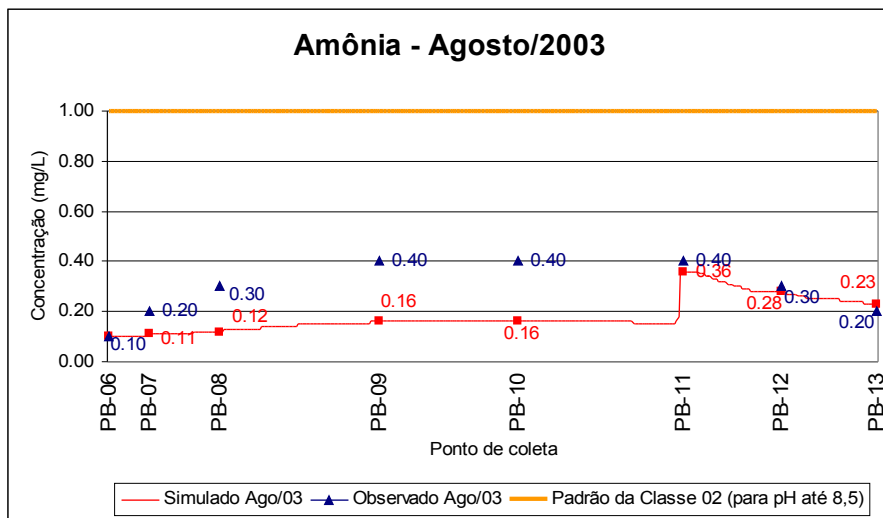
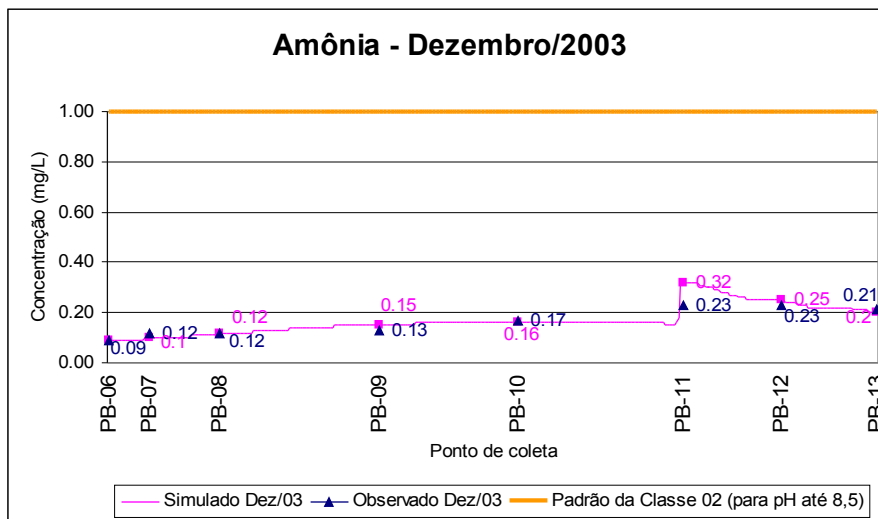
SIMULAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM TRECHO DE RIO SUJEITO A ATIVIDADES DE CARCINICULTURA

Resultados – Calibração / Validação (DBO)



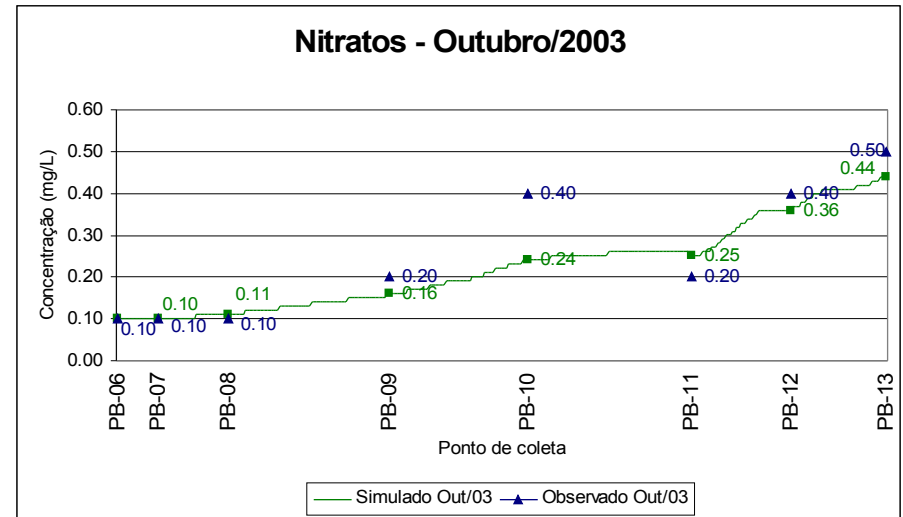
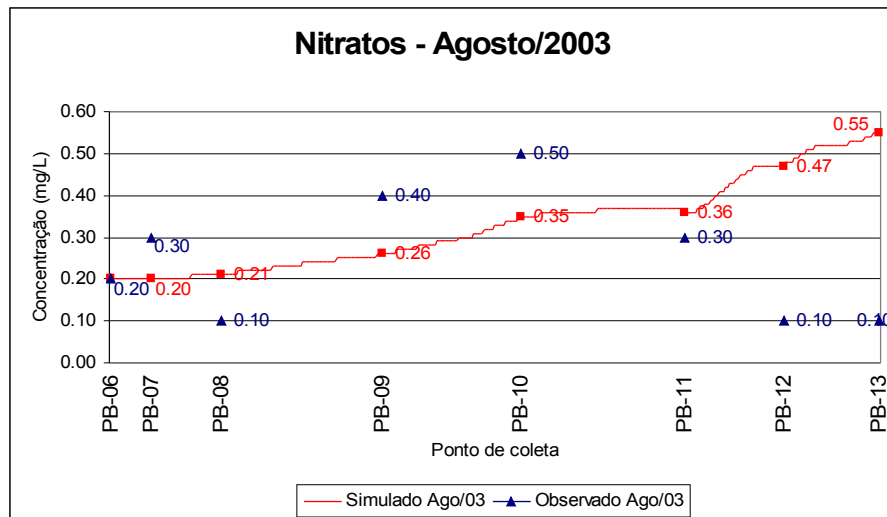
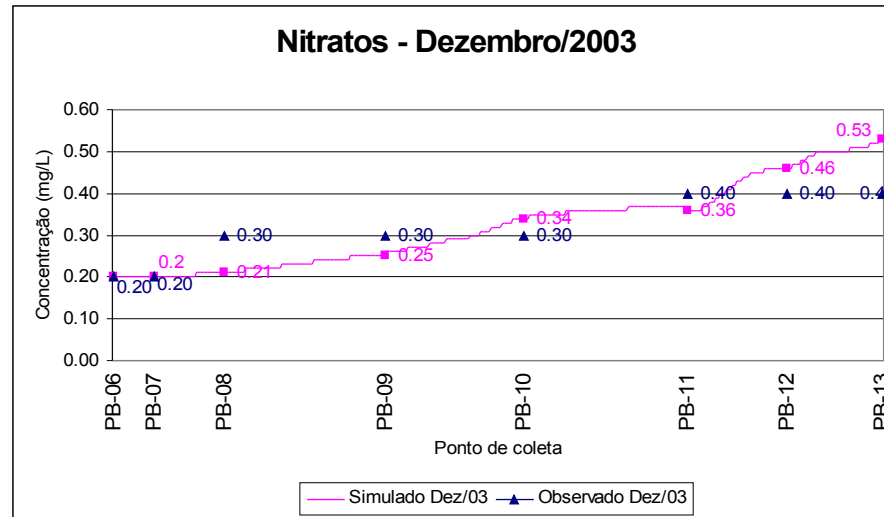
SIMULAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM TRECHO DE RIO SUJEITO A ATIVIDADES DE CARCINICULTURA

Resultados – Calibração / Validação (Amônia)



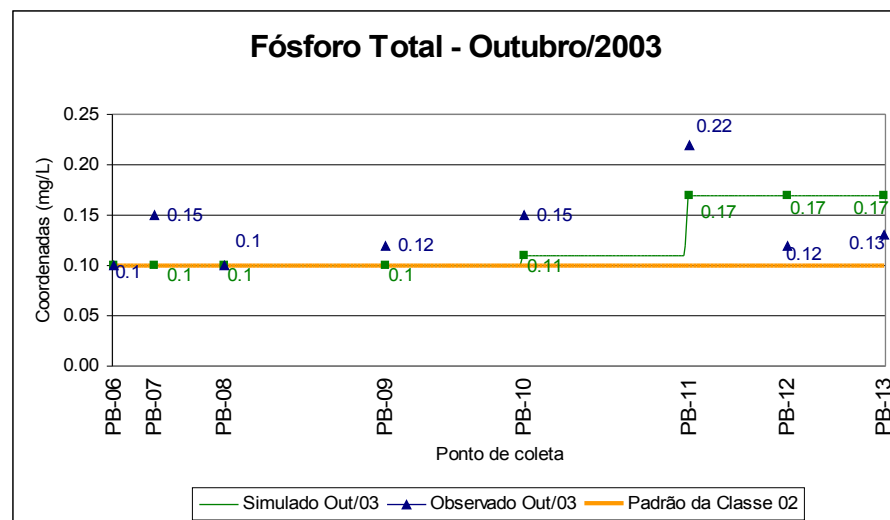
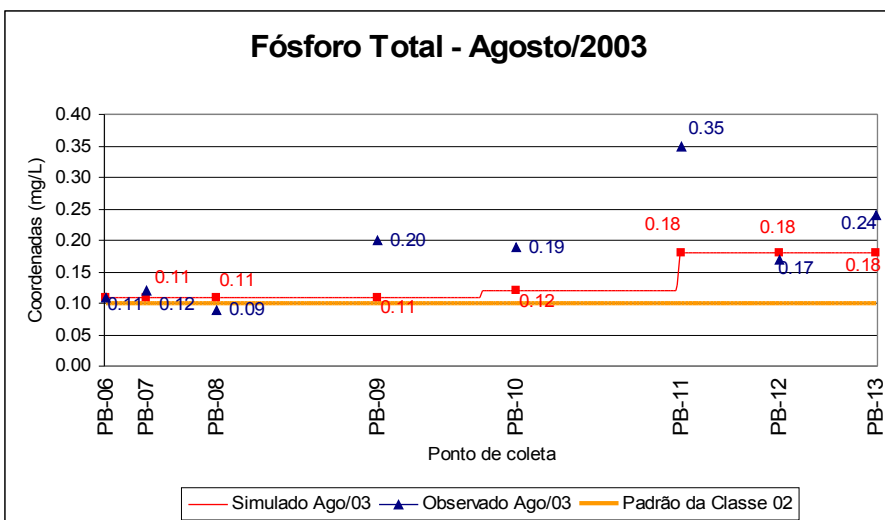
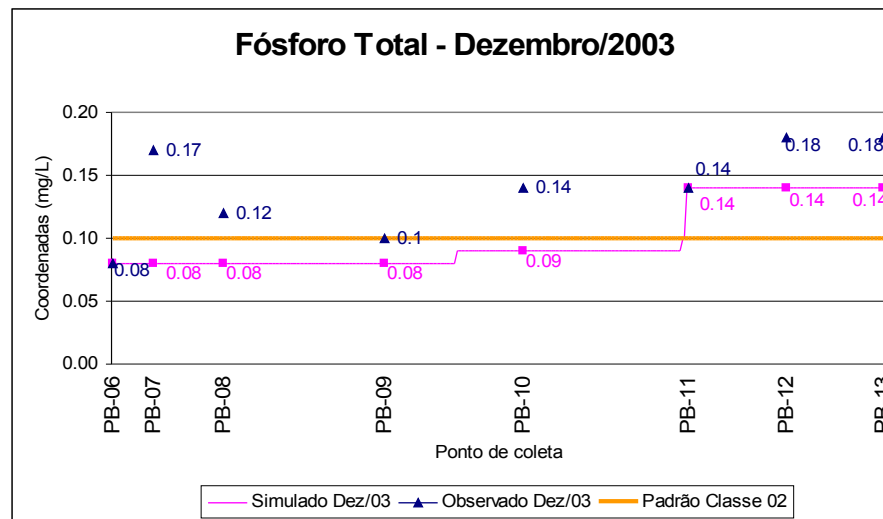
SIMULAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM TRECHO DE RIO SUJEITO A ATIVIDADES DE CARCINICULTURA

Resultados – Calibração / Validação (Nitrato)



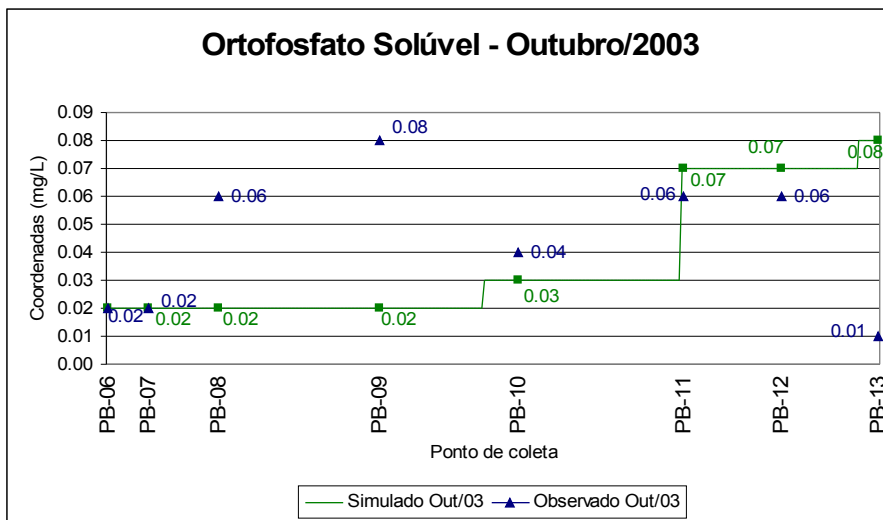
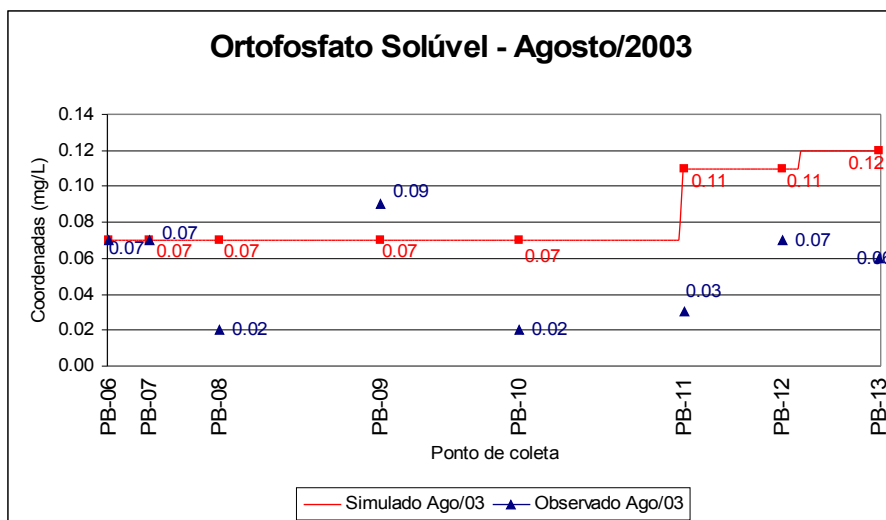
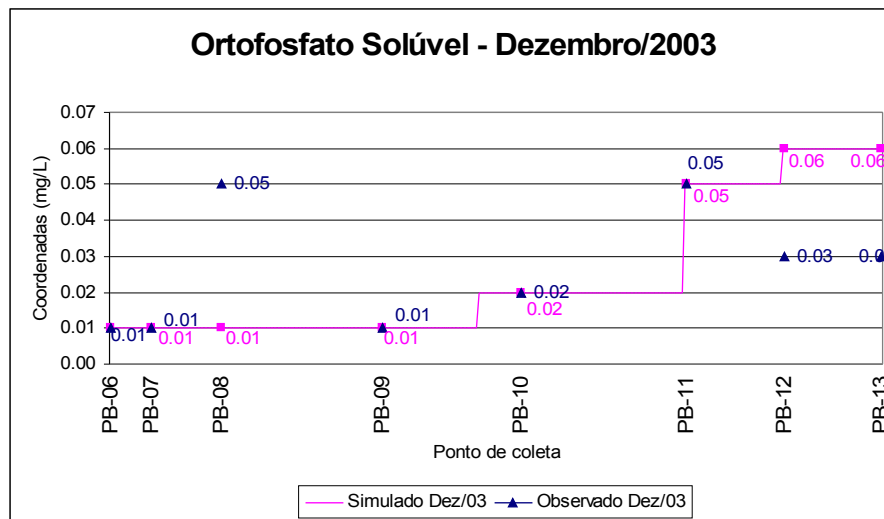
SIMULAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM TRECHO DE RIO SUJEITO A ATIVIDADES DE CARCINICULTURA

Resultados – Calibração / Validação (FT)



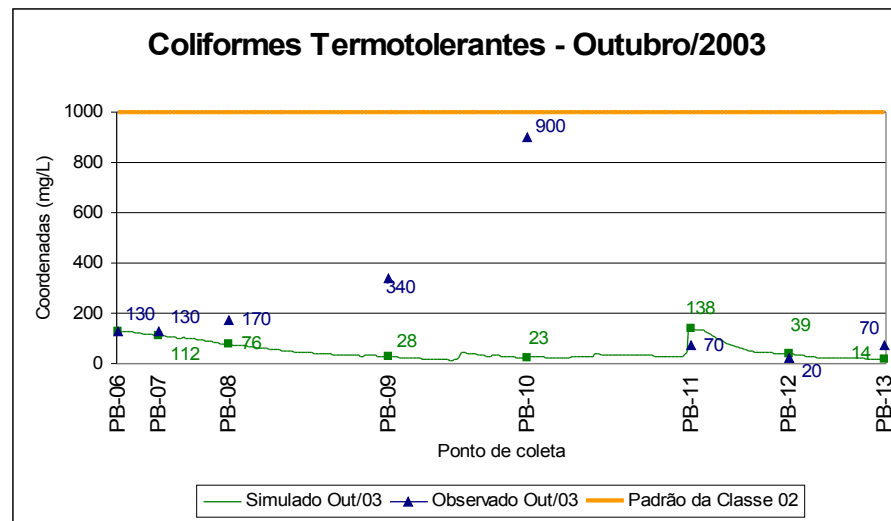
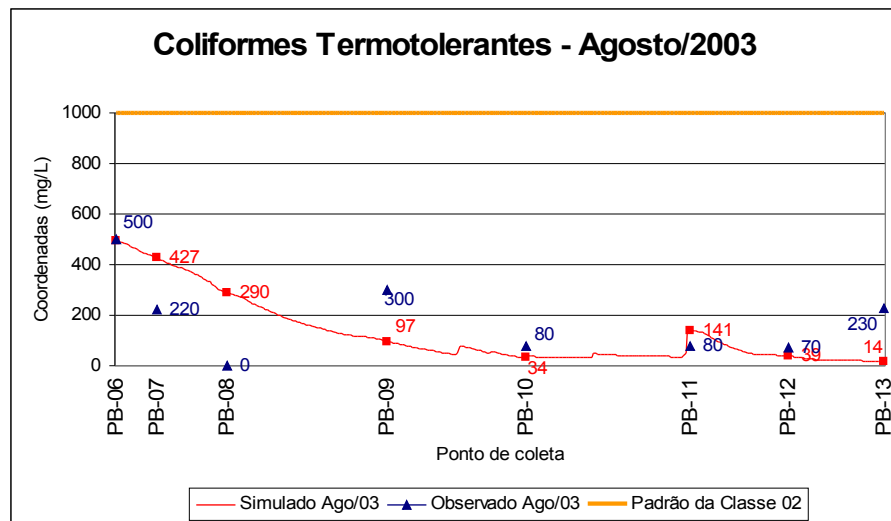
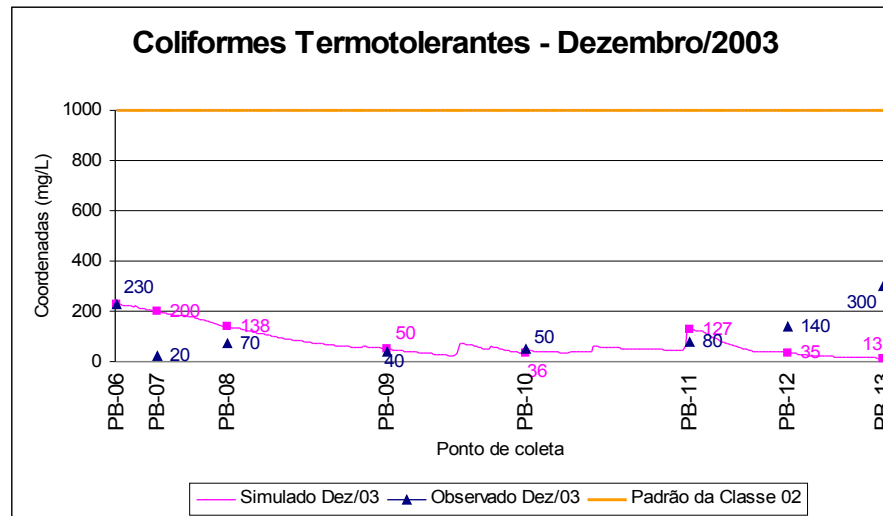
SIMULAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM TRECHO DE RIO SUJEITO A ATIVIDADES DE CARCINICULTURA

Resultados – Calibração / Validação (Ortofosfato S.)



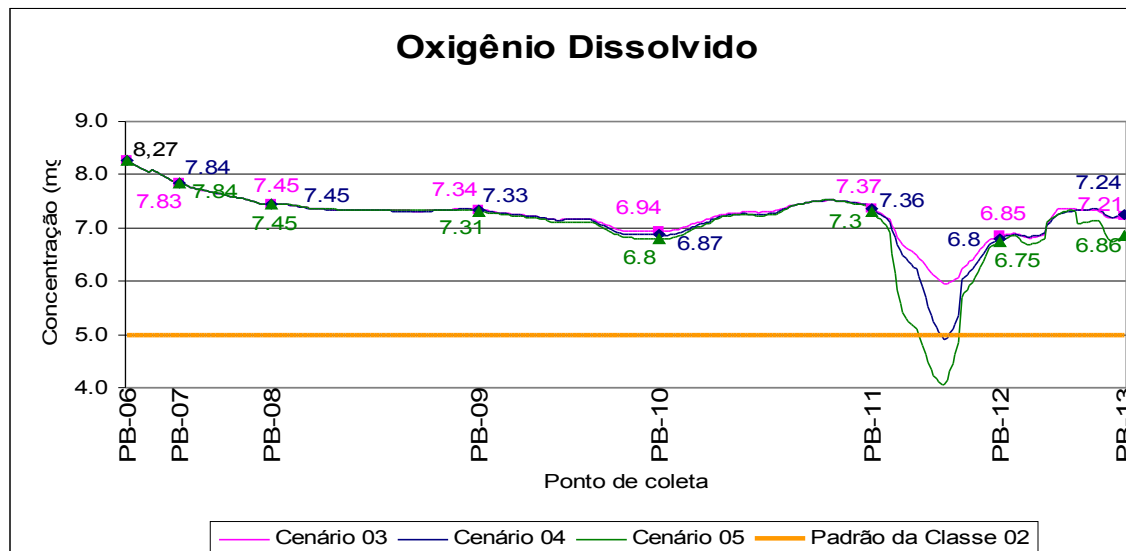
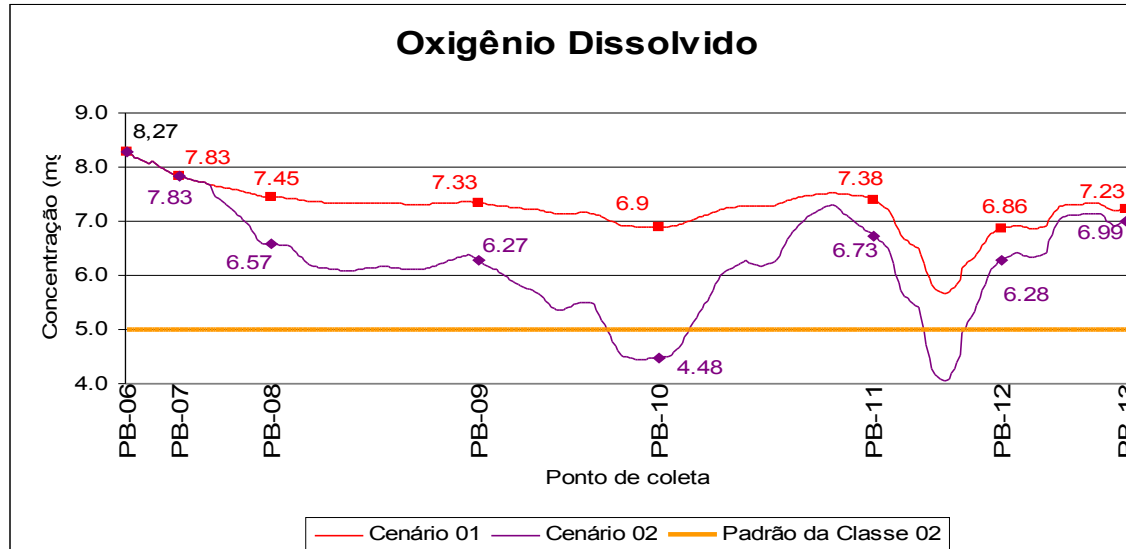
SIMULAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM TRECHO DE RIO SUJEITO A ATIVIDADES DE CARCINICULTURA

Resultados – Calibração / Validação (CT)



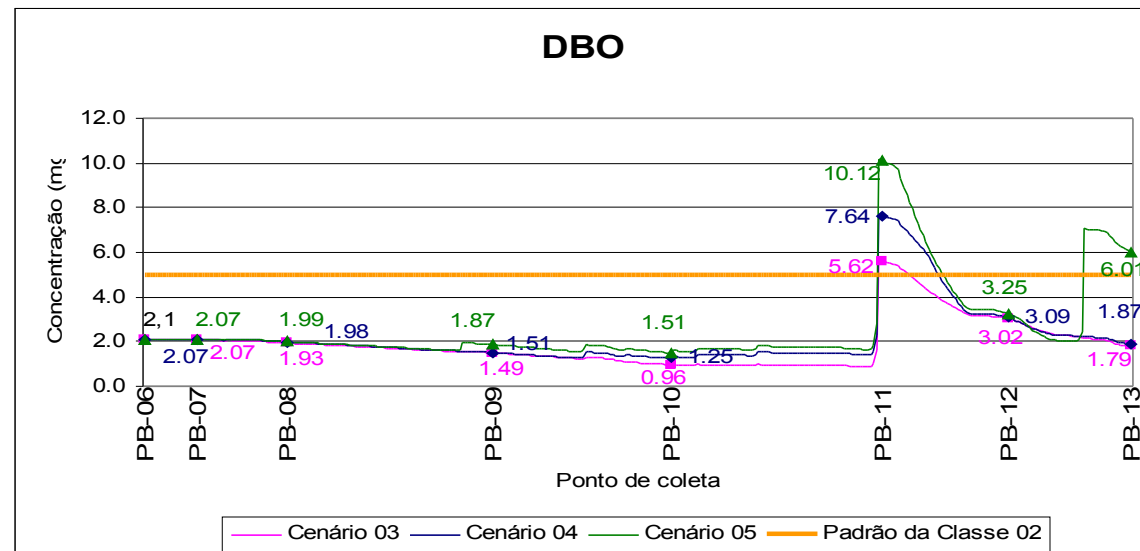
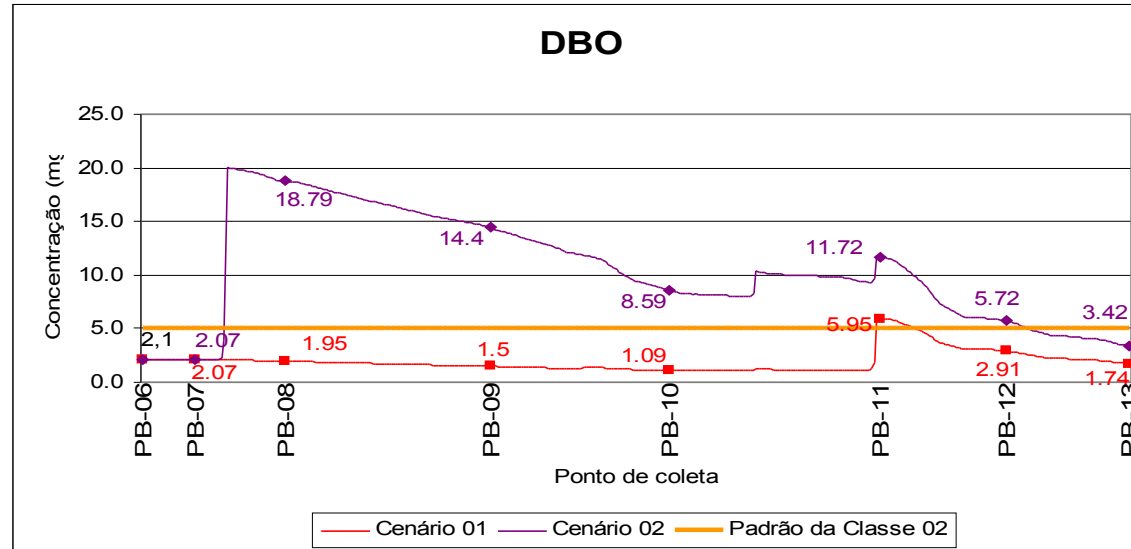
SIMULAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM TRECHO DE RIO SUJEITO A ATIVIDADES DE CARCINICULTURA

Resultados – Simulações Cenários (OD)

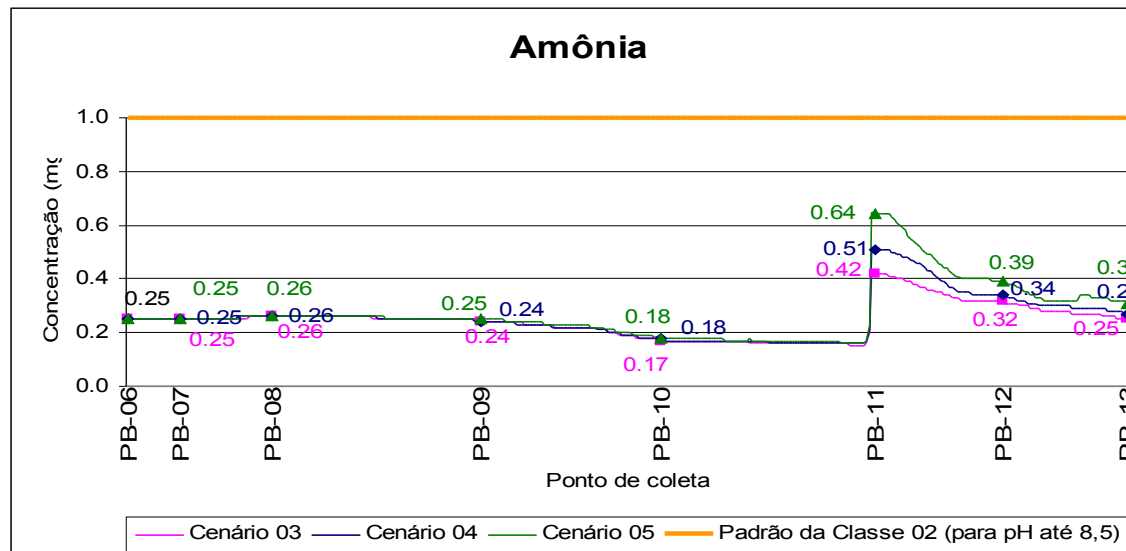
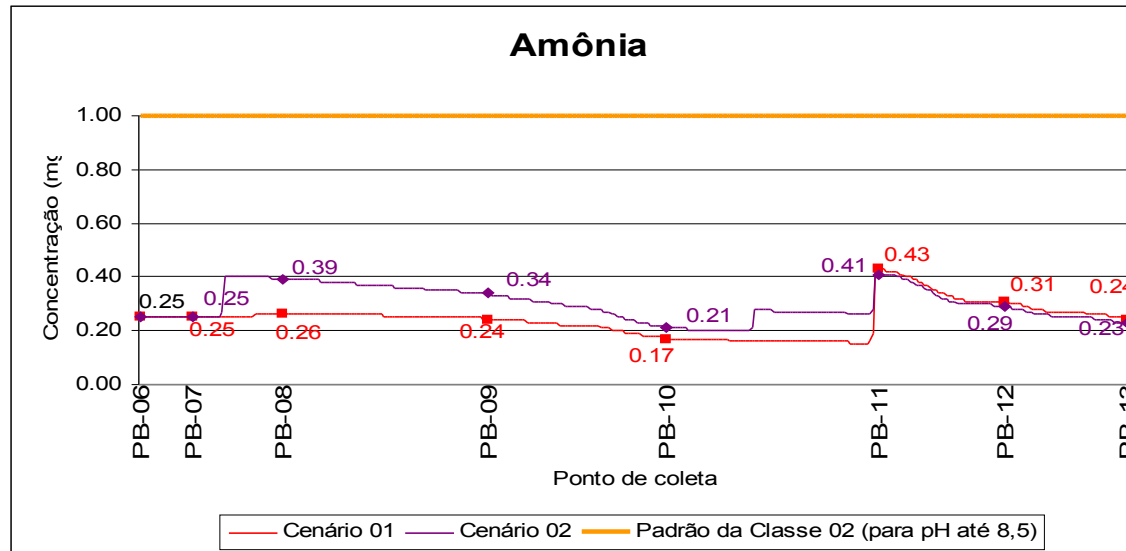


SIMULAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM TRECHO DE RIO SUJEITO A ATIVIDADES DE CARCINICULTURA

Resultados – Simulações Cenários (DBO)

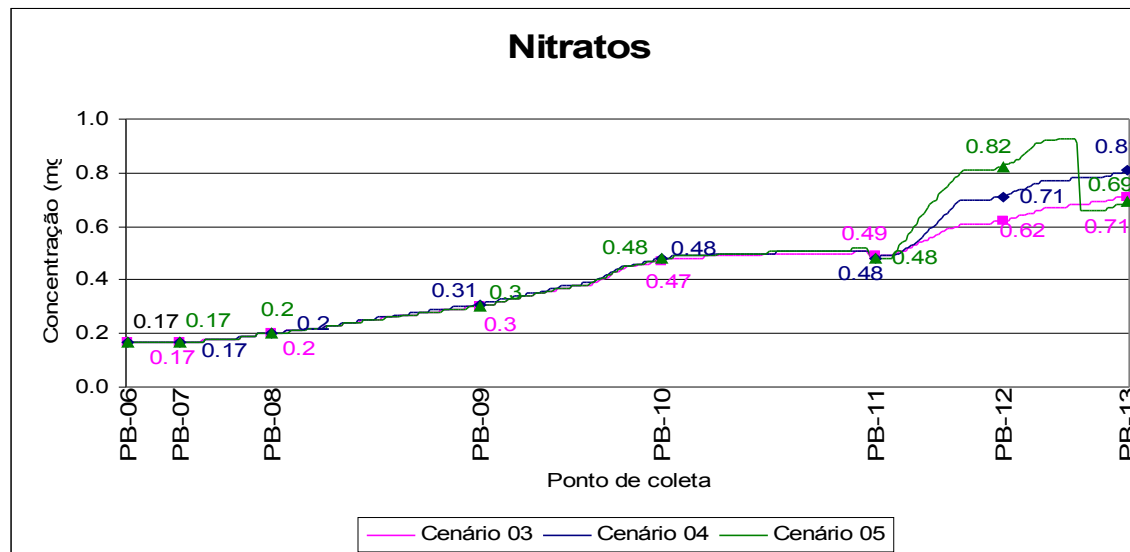
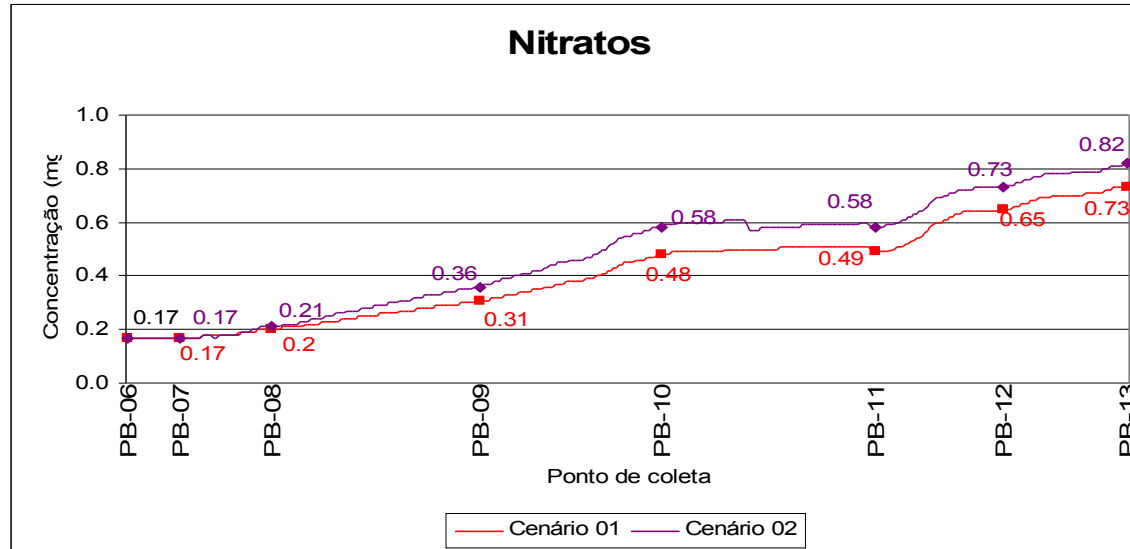


Resultados – Simulações Cenários (Amônia)



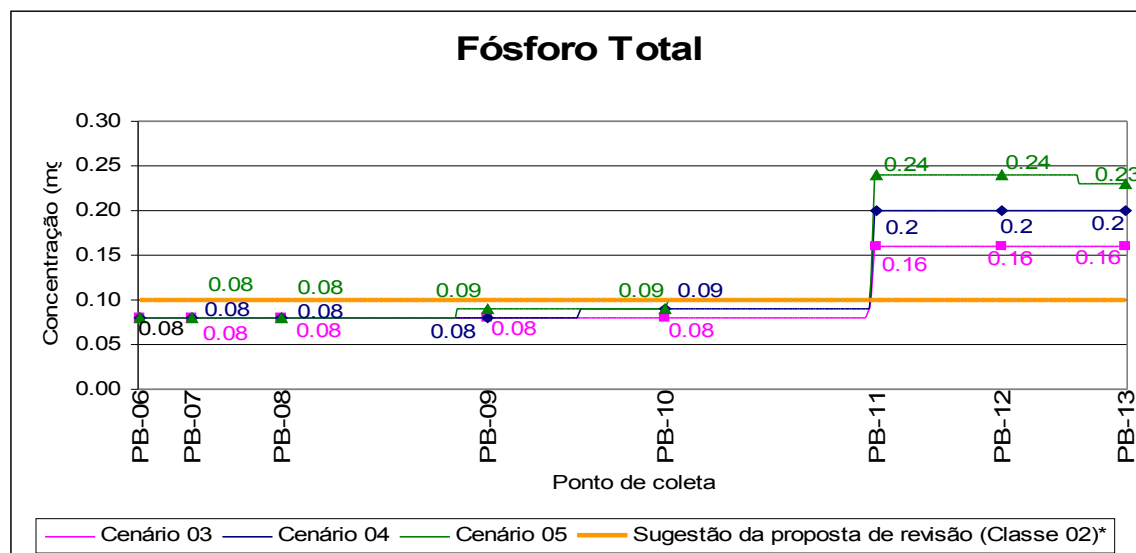
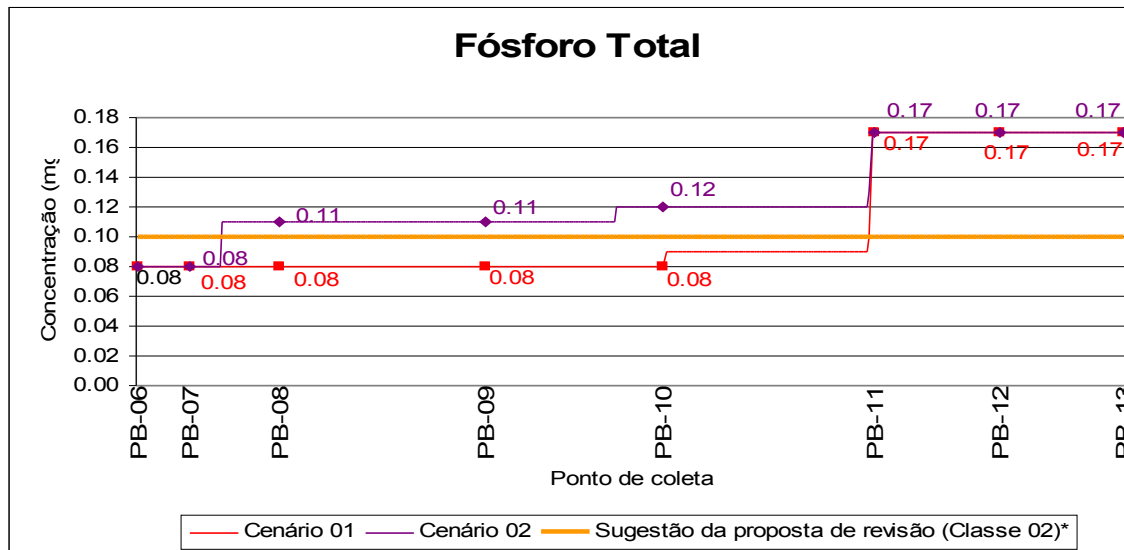
SIMULAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM TRECHO DE RIO SUJEITO A ATIVIDADES DE CARCINICULTURA

Resultados – Simulações Cenários (Nitrato)



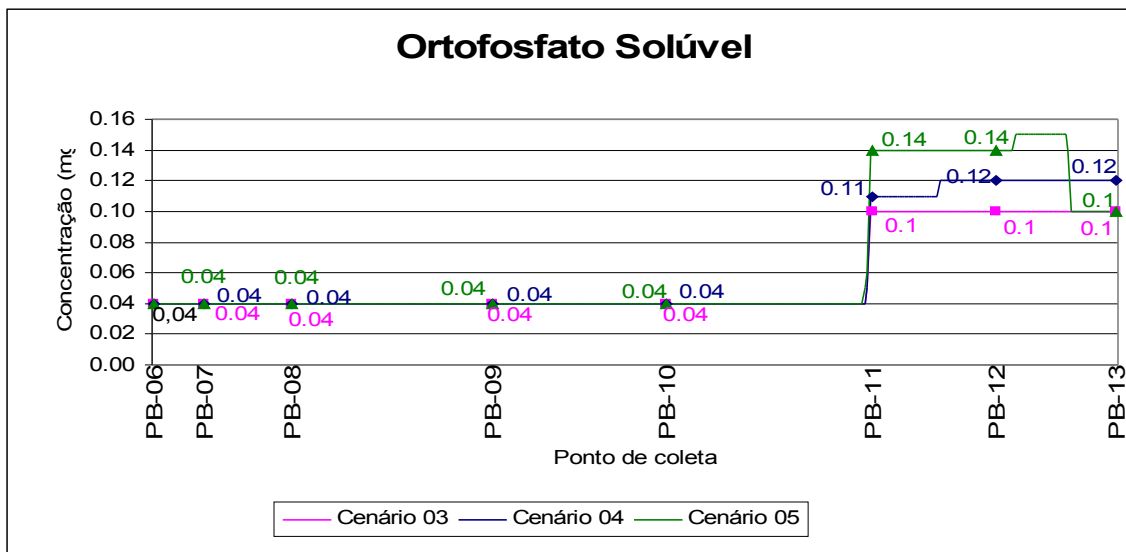
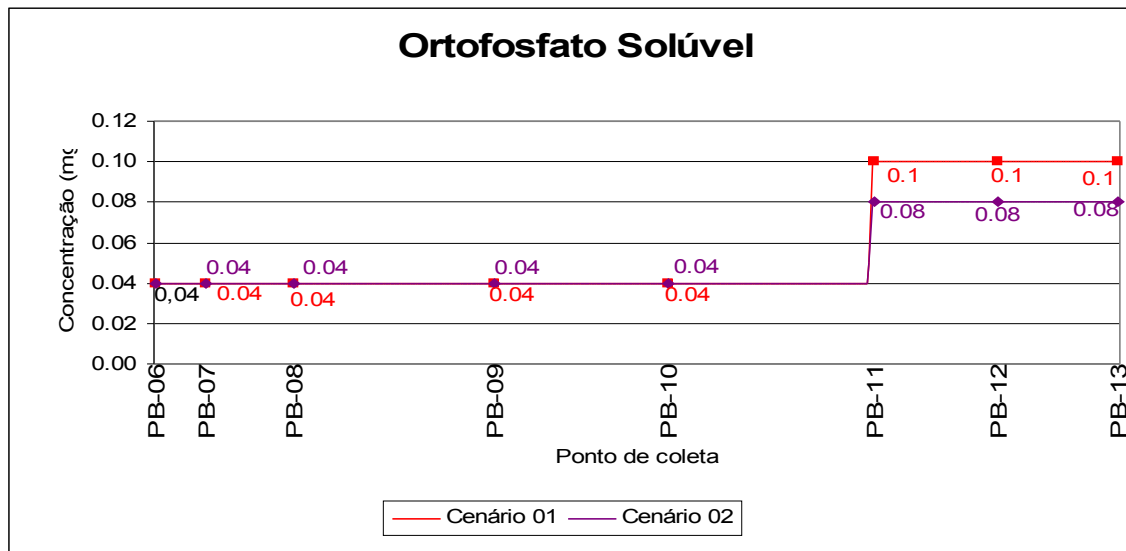
SIMULAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM TRECHO DE RIO SUJEITO A ATIVIDADES DE CARCINICULTURA

Resultados – Simulações Cenários (FT)

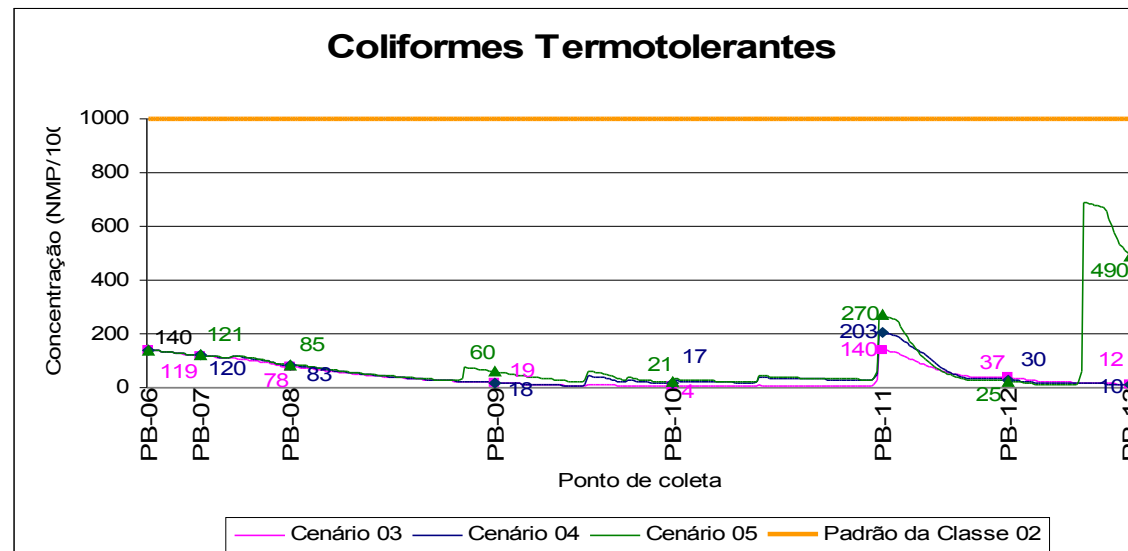
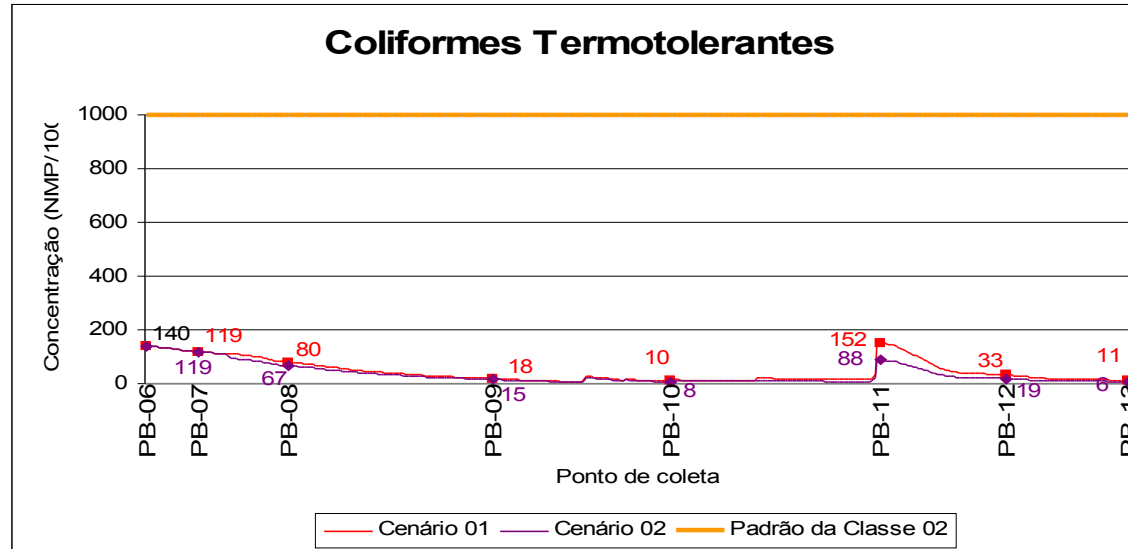


SIMULAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM TRECHO DE RIO SUJEITO A ATIVIDADES DE CARCINICULTURA

Resultados – Simulações Cenários (Ortofosfato S.)



Resultados – Simulações Cenários (CT)



Resultados – Análise por parâmetro dos cenários

- ✓ As concentrações de OD nos Cenários 01 e 03 estiveram dentro dos padrões da classe 02 em todo o trecho. No Cenário 02 (despesca de 02 fazendas) foi observado concentrações abaixo de 5 mg/l (padrão da classe 02) em dois sub-trechos a jusante dos pontos de lançamento da despesca. Nos Cenários 04 e 05 foram observados valores abaixo de 5 mg/l (padrão da classe 02) próximo a cidade de Jaguaruana.
- ✓ As simulações de DBO apontaram valores acima de 5 mg/l (padrão da classe 02) nas proximidades de Jaguaruana. No Cenário 02 (despesca de 02 fazendas) foi observado o valor mais crítico (20 mg/l) e praticamente todo o trecho simulado esteve fora dos padrões da classe 02 do CONAMA N° 357 .
- ✓ Os valores máximos de amônia total ocorreram nas proximidades de Jaguaruana, sendo o valor crítico de 0,64 mg/l observado no Cenário 05. Observou-se que a despesca provoca pouca variação da concentração de amônia quando próxima a Jaguaruana, onde a concentração já é alta, mas em outros pontos pode elevar a concentração em até 50%. O CONAMA N° 357 estabelece 1,0 mg/l para a águas da classe 2, desde que o pH seja igual ou inferior a 8,5.

Resultados – Análise por parâmetro dos cenários

- ✓ Os valores de nitratos estiveram em todas as simulações abaixo dos padrões da classe 02 (10 mg/l), e o valor máximo observado foi inferior a 1 mg/l (10% do padrão da classe 02). A despesca ou o aumento de cargas poluentes influenciam um pouco para mais as concentrações deste parâmetro.
- ✓ Para fósforo total o CONAMA N° 357 estabelece em ambientes lóticos o valor de 0,10 mg/l para a classe 02. As concentrações praticamente dobraram a partir da cidade de Jaguaruana, superando a partir daí o padrão da classe 2 em todos os cenários, e com valor crítico de 0,24 mg/l no Cenário 05. No Cenário 02 o padrão foi violado já a partir do ponto de lançamento da despesca.
- ✓ Para o ortofosfato solúvel o CONAMA N° 357 não estabelece padrão. O valor crítico foi de 0,15 mg/l no Cenário 05. O comportamento é semelhante ao do fósforo total.
- ✓ Coliformes termotolerantes estiveram abaixo do valor de referência da classe 02 (1.000 NMP/100ml) em todas as simulações. O valor crítico foi de quase 700 NMP/100ml no Cenário 05.

Conclusões

- ✓ A redução das cargas de efluentes contínuos (Cenário 03) apresentou pouco impacto para melhor na qualidade da água no trecho simulado quando comparado a situação em 2004 (Cenário 01). Nos cenários 04 e 05 (aumento da carga poluente) houve piora dos parâmetros simulados. A despesca (Cenário 02) tem grande impacto no OD e na DBO, embora também cause piora nos outros parâmetros.
- ✓ A situação da qualidade da água é pior a partir de Jaguaruana, onde a capacidade de autodepuração já está reduzida devido à menor vazão e concentração de despejos domésticos e da carcinicultura.
- ✓ Para que o trecho atenda aos padrões da classe 02 recomenda-se que sejam realizados investimentos em saneamento nos centros urbanos e implantados técnicas de reuso dos efluentes das fazendas de carcinicultura.

Conclusões

- ✓ A capacidade de suporte no trecho analisado do rio já se encontra próximo da saturação. Cargas poluentes adicionais tornariam a situação ainda mais crítica. Redução de cargas poluentes de apenas uma origem, como observado nas simulações do Cenário 03 para os efluentes da carcinicultura, trariam ligeiros benefícios
- ✓ Vale ressaltar que os resultados devem ser interpretados com critérios já que se trata de uma modelagem matemática, onde foram considerados valores médios das cargas poluentes, regime permanente e mistura completa em cada elemento da modelagem.
- ✓ Deve-se frisar que as simulações reproduziram eventos na estação de estiagem, período em que foi possível monitorar vazões em pontos distintos do trecho em estudo. Eventos do período chuvoso, o regime transiente, assim como outras cargas pontuais e não pontuais devem ser mais bem estudados.