

RELATÓRIO DA MODELAGEM MATEMÁTICA DE QUALIDADE DA ÁGUA DOS IGARAPÉS DE ALTAMIRA

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	3
2. OBJETIVOS	3
3. MÉTODOS	5
4. RESULTADOS	6
5. CONCLUSÕES	18
6. RECOMENDAÇÕES	18
7. PROFISSIONAIS RESPONSÁVEIS PELA ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO	19

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – Mapa de localização do Igarapé Panelas, Igarapé Altamira e Igarapé Ambé, em Altamira, PA.....	4
FIGURA 4.1 – Simulação dos NA's (deplecionamento) do Reservatório do Xingu para atendimento aos 300m ³ /s, usando histórico de dados.....	7
FIGURA 4.2 – Permanência dos NA's (deplecionamento) do Reservatório do Xingu para atendimento aos 300m ³ /s.....	7
FIGURA 4.3 – Qualidade da água ao longo do Igarapé Panelas, o reservatório está localizado à direita do eixo horizontal. Vazão de estiagem extrema (120 litros/s) e Reservatório do Xingu deplecionado em 90 m. Linha cheia = condições atuais. Linha tracejada = 50% de tratamento de esgoto.....	9
FIGURA 4.4 – Qualidade da água ao longo do Igarapé Panelas, o reservatório está localizado à direita do eixo horizontal. Vazão normal (10 m ³ /s) e Reservatório do Xingu deplecionado em 90 m. Linha cheia = condições atuais. Linha tracejada = 50% de tratamento de esgoto.....	10
FIGURA 4.5 – Qualidade da água ao longo do Igarapé Panelas, reservatório está localizado à direita do eixo horizontal. Vazão de cheia (610 m ³ /s) e Reservatório do Xingu no nível normal em 97 m. Linha cheia = condições atuais. Linha tracejada = 50% de tratamento de esgoto.....	11
FIGURA 4.6 – Qualidade da água ao longo do Igarapé Altamira, reservatório está localizado à direita do eixo horizontal. Vazão de estiagem extrema (100 litros/s) e Reservatório do	

Xingu deplecionado em 90 m. Linha cheia = condições atuais. Linha tracejada = 50% de tratamento de esgoto.....12

FIGURA 4.7 – Qualidade da água ao longo do Igarapé Altamira, reservatório está localizado à direita do eixo horizontal. Vazão normal ($2 \text{ m}^3/\text{s}$) e Reservatório do Xingu deplecionado em 90 m. Linha cheia = condições atuais. Linha tracejada = 50% de tratamento de esgoto.....13

FIGURA 4.8 – Qualidade da água ao longo do Igarapé Altamira, reservatório está localizado à direita do eixo horizontal. Vazão de cheia ($30 \text{ m}^3/\text{s}$) e Reservatório do Xingu no nível normal em 97 m. Linha cheia = condições atuais. Linha tracejada = 50% de tratamento de esgoto.....14

FIGURA 4.9 – Qualidade da água ao longo do Igarapé Ambé, reservatório está localizado à direita do eixo horizontal. Vazão de estiagem extrema (100 litros/s) e Reservatório do Xingu deplecionado em 90 m. Linha cheia = condições atuais. Linha tracejada = 50% de tratamento de esgoto.....15

FIGURA 4.10 – Qualidade da água ao longo do Igarapé Ambé, reservatório está localizado à direita do eixo horizontal. Vazão normal ($4,7 \text{ m}^3/\text{s}$) e Reservatório do Xingu deplecionado em 90 m. Linha cheia = condições atuais. Linha tracejada = 50% de tratamento de esgoto.....16

FIGURA 4.11 – Qualidade da água ao longo do Igarapé Ambé, reservatório está localizado à direita do eixo horizontal. Vazão de cheia ($160 \text{ m}^3/\text{s}$) e Reservatório do Xingu no nível normal em 97 m. Linha cheia = condições atuais. Linha tracejada = 50% de tratamento de esgoto.....17

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 3.1 - Vazões (m^3/s) dos Igarapés modelados.....5

TABELA 3.2 - Medidas de parâmetros de qualidade da água usados no modelo.....6

1. INTRODUÇÃO

Este relatório foi elaborado para atender a Condicionante 2.7 item **a** da Licença de Instalação nº 795/2011 da UHE Belo Monte emitida pelo IBAMA em 01/06/11. A condicionante acima mencionada estabelece a necessidade de apresentação num prazo de 180 dias, da *“modelagem matemática de qualidade da água para os igarapés em Altamira, contemplando: (i) simulações que considerem os piores cenários de rebaixamento do reservatório do Xingu; e (ii) propostas que visem melhorar a qualidade da água nos igarapés de Altamira para as condições de reservatório com nível inferior à cota 97 m”*.

O estudo complementar denominado “Modelagem Matemática da Qualidade da Água” da Norte Energia S. A., protocolado no IBAMA em 21/03/11 (CE NE nº 62) apresenta em detalhes informações sobre os modelos utilizados, o qual constitui ponto de partida para este novo estudo. Desta forma, esse relatório apresenta aspectos de circulação hidrodinâmica e de qualidade da água obtidos com modelagem computacional nos cenários em que o Xingu esteja em regime de cheia e de estiagem e, para os igarapés de Altamira, foram consideradas as vazões de estiagem extrema, vazão normal e vazão de cheia, para atendimento do item a (i) da condicionante 2.7.

O relatório também apresenta simulações considerando tratamento de esgoto e apresenta sugestões para melhoria de qualidade da água dos Igarapés, atendendo o item a (ii) da condicionante 2.7. A justificativa para considerar o deplecionamento com vazões baixas (simulação 1) é o fato dos igarapés, nesta situação, praticamente não sofrerem efeito de remanso na área urbana de Altamira e, conseqüentemente, terem pouco volume de água para diluição das cargas lançadas. As simulações com vazão média (simulação 2) e com vazões altas (simulação 3) nos igarapés foram feitas para fins de comparação com os resultados da simulação 1. Todas as simulações foram feitas para dois casos de carga: carga estimada do esgoto atual, e carga com 50% de tratamento (ou seja, as concentrações foram reduzidas à metade para estes casos).

2. OBJETIVOS

Este relatório apresenta simulações matemáticas visando prever a qualidade da água do Igarapé Panelas, Igarapé Altamira e Igarapé Ambé, situados na área urbana de Altamira, PA (**FIGURA 2.1**), para as seguintes situações:

1. Reservatório do Xingu no nível deplecionado de 90 m e vazão de estiagem extrema dos Igarapés (muito baixa, correspondendo aos meses de setembro a novembro);
2. Reservatório do Xingu no nível deplecionado de 90 m e vazão típica dos igarapés (média, correspondendo aos meses de maio/junho); e,
3. Reservatório do Xingu no nível normal de 97 m e vazão de cheia (vazões retiradas dos estudos de remanso do projeto da UHE Belo Monte).

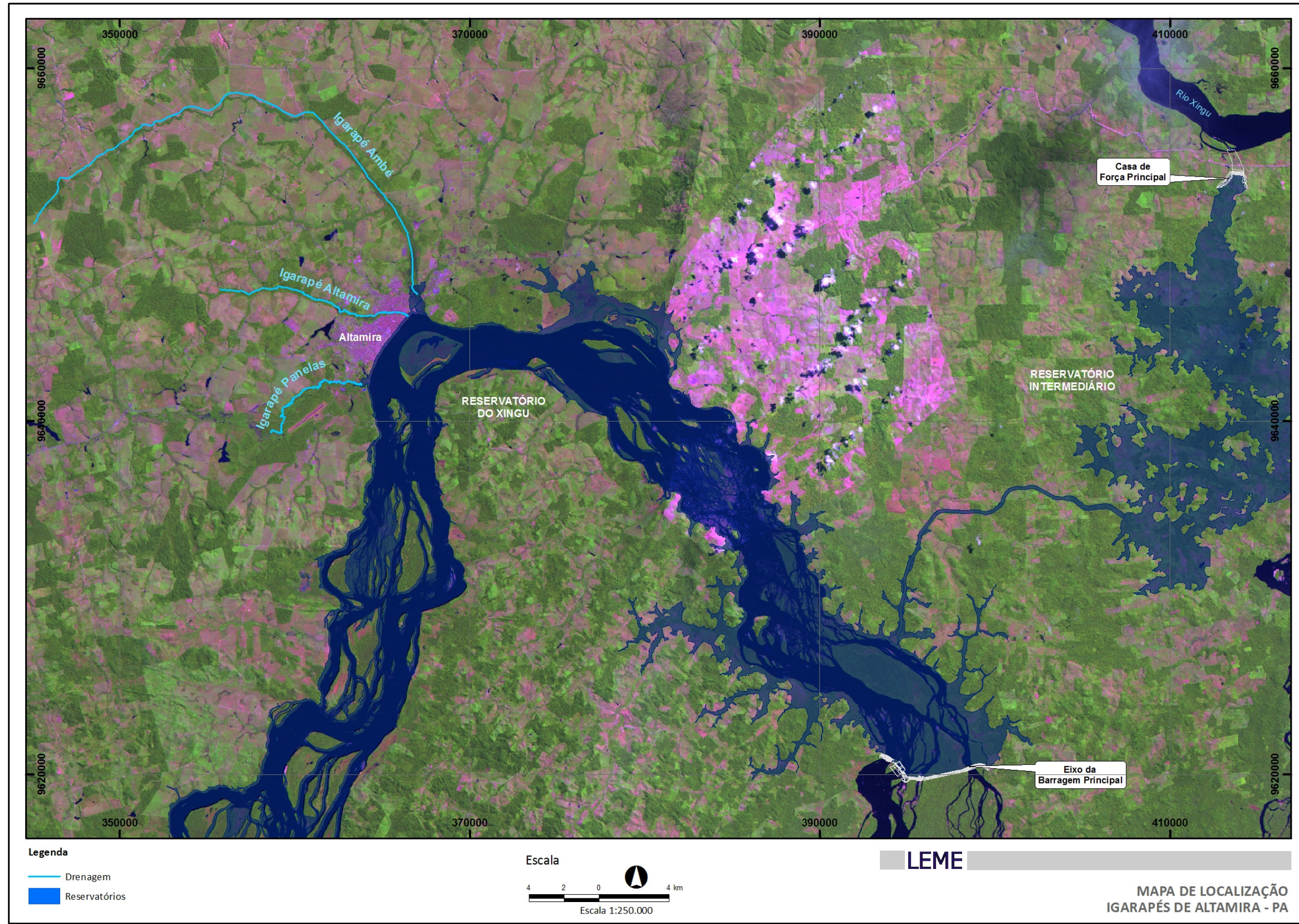


FIGURA 2.1 – Mapa de localização do Igarapé Panelas, Igarapé Altamira e Igarapé Ambé, em Altamira, PA.

3. MÉTODOS

Teoria

Para a elaboração deste relatório, a teoria usada na modelagem de qualidade da água, as variáveis modeladas e as estimativas dos parâmetros do modelo foram as mesmas utilizadas na modelagem feita para o Reservatório do Xingu e Reservatório Intermediário, já apresentadas em relatório anterior do Estudo Complementar denominado “Modelagem Matemática da Qualidade da Água” (protocolado no IBAMA em março de 2011, CE NE nº 62).

Dados

Os dados utilizados como condições iniciais e de fronteira foram também os mesmos utilizados naquele relatório (do Estudo Complementar denominado “Modelagem Matemática da Qualidade da Água”) e advém de campanhas realizadas nos próprios Igarapés. Como não há histórico de medições de seções, níveis ou vazões nestes igarapés, os dados usados para se determinar a geometria foram coletados durante os levantamentos topobatimétricos, e nas modelagens chuva-vazão (modelo SWAT – *Soil and Water Assessment Tool*) feitas para o presente projeto. O modelo necessita de dados de velocidades, áreas de seção transversal no canal principal e profundidade hidráulica. Para fins práticos, no trecho modelado foi usada uma vazão constante para cada caso modelado, e, para os casos de deplecionamento, foi desprezado o efeito de remanso, supostamente válida, considerando a hipótese de escoamento permanente baseada na declividade do fundo e na geometria das seções. Foram usados resultados de vazão da modelagem do modelo SWAT, típicos para cada mês. As vazões de cada igarapé estão mostradas na **TABELA 3.1**. Para casos em que há forte efeito de remanso (reservatório em 97 m) foram usados os resultados do estudo de remanso do relatório de diagnóstico da AII e AID – Meio Físico – EIA UHE Belo Monte (Eletrobrás, 2009).

TABELA 3.1 – Vazões médias mensais (m³/s) dos Igarapés modelados

MÊS	VAZÕES MÉDIAS (m ³ /s)		
	PANELAS	ALTAMIRA	AMBÉ
Janeiro	12	1.3	3
Fevereiro	24	3.1	7
Março	56	8.5	19
Abril	45	7	16
Maiο	10	2	4.7
Junho	4.5	1	2.4
Julho	1.3	0.4	0.8
Agosto	0.46	0.1	0.2
Setembro	0.1	0.1	0.1
Outubro	0.1	0.1	0.1
Novembro	0.6	0.1	0.1
Dezembro	3.7	0.3	0.6

Quanto aos estudos de remanso, é importante mencionar que na sua foz, a declividade do Igarapé Altamira é de aproximadamente 0,18% (1,8 m/km). Com isso, estima-se que ao deplecionar-se o Xingu para 90 m (7 metros abaixo do nível normal), a foz do Igarapé irá recuar-se até 4 km.

Para utilizar o modelo proposto, é preciso que as condições iniciais, de fronteira, e as fontes de nutrientes reflitam o que ocorre no corpo d'água de forma minimamente realista. Os dados de entrada utilizados em todas as simulações foram os dados presentes no diagnóstico de qualidade da água constantes no EIA – UHE Belo Monte, adicionalmente, foram estimadas as cargas difusas baseadas na população e em valores típicos de concentrações em esgoto doméstico para a cidade de Altamira. Como o número de coletas foi muito reduzido, optou-se por utilizar-se a pior medida, ou seja, o valor de concentração mais alto medido quando se tratava de um “poluente”, e o valor mais baixo quando se tratava de oxigênio dissolvido (OD). No caso das cargas difusas, foram utilizados valores altos, porém dentro da faixa tipicamente encontrada em esgotos. Como não houve medida de clorofila-*a*, utilizou-se o valor de 10 µg/L como condição inicial e de contorno à montante e o valor nulo nas cargas difusas.

A **TABELA 3.2** mostra os valores usados nas simulações. Os dados foram obtidos do Anexo 7.8.3-1, Vol 15, ADA e AID biótico – qualidade da água (EIA – UHE Belo Monte).

TABELA 3.2 - Parâmetros de qualidade da água usados no modelo.

PARÂMETROS	IGARAPÉS		
	PANELAS	ALTAMIRA	AMBÉ
OD (mg/L)	6200	5980	4670
DBO (mg/L)	15750	1794	1854
Fósforo (µg/L)	39.29	53.13	19.48
Amônio (µg/L)	442.85	166.94	243.31
Nitrato (µg/L)	7278	1779	2379

As cargas de esgoto estimadas foram as mesmas utilizadas nas simulações do mencionado relatório. Para a implementação das cargas difusas foram feitas as seguintes considerações:

- A população total foi projetada em 95.000 habitantes: Igarapé Panelas (10.000 hab), Igarapé Altamira (61.000 hab), e Igarapé Ambé (24.000 hab), com as características:

- 80% da população lançam esgoto diretamente nos igarapés;
- O volume de esgoto lançado é de 150 litros/hab/dia;
- A concentração de oxigênio dissolvido do esgoto lançado é nula;
- A concentração de amônia é de 35 mg/l;
- A concentração de nitrogênio total é de 50 mg/l;
- A concentração de fósforo dissolvido total é de 15 mg/l;
- A carga de DBO do esgoto é de 54 g/hab/dia; e,
- A carga em cada igarapé é uniformemente distribuída ao longo do comprimento habitado e é diretamente proporcional a este comprimento.

4. RESULTADOS

As simulações de níveis do reservatório Xingu são mostradas na **FIGURA 4.1** e na **FIGURA 4.2**. Com a vazão de 300 m³/s no Reservatório Intermediário, o Reservatório do Xingu irá sofrer deplecionamento com razoável frequência, chegando a níveis abaixo de 95 m em 5%

do tempo, e abaixo de 90 m em aproximadamente 1,5% do tempo (**FIGURA 4.1**). Com a vazão de 300 m³/s no Reservatório Intermediário, a permanência da cota em 94 m no Reservatório do Xingu em 97% do tempo, da cota em 95 m em 95 % do tempo e da cota em 96 m em 89% do tempo (**FIGURA 4.2**).

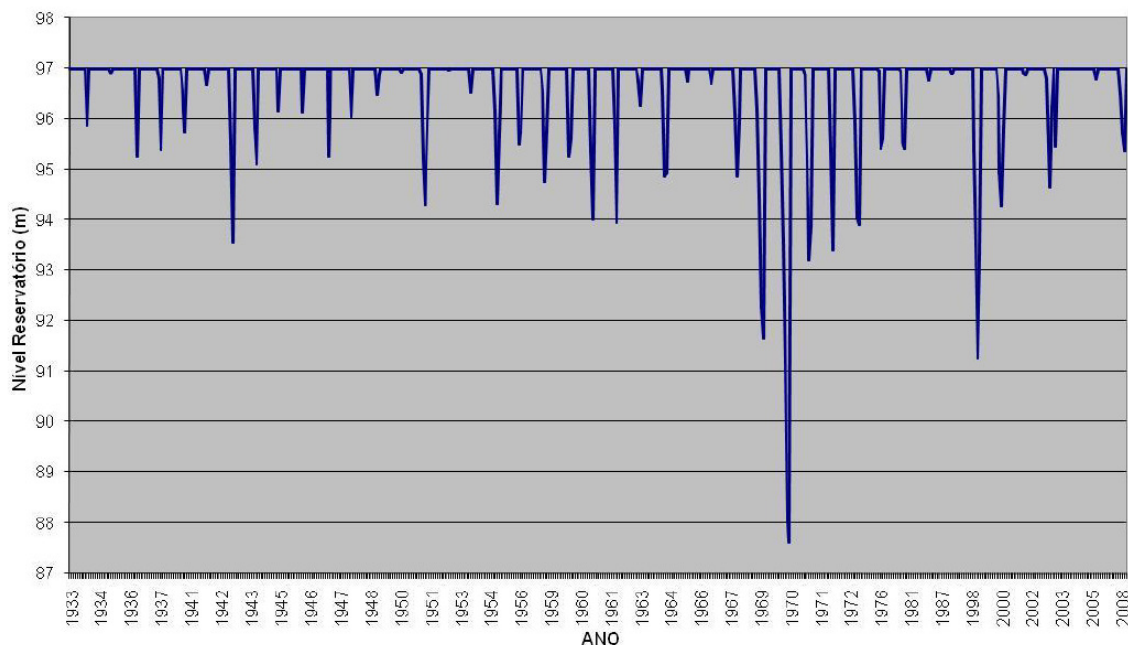


FIGURA 4.1 – Simulação dos NA's (deplecionamento) do Reservatório do Xingu para atendimento aos 300m³/s, usando histórico de dados.

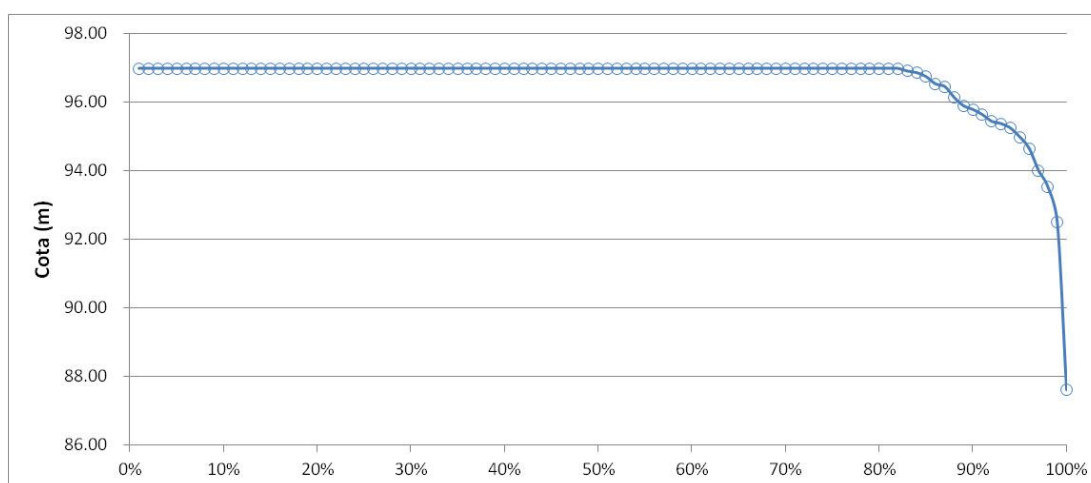


FIGURA 4.2 – Permanência dos NA's (deplecionamento) do Reservatório do Xingu para atendimento aos 300m³/s.

É importante mencionar que, para todos os gráficos mostrados quanto à simulação da qualidade da água (**FIGURA 4.3** a **FIGURA 4.11**), a concentração usada no contorno a montante (esquerda do eixo horizontal) é sempre uma concentração medida ou metade desta concentração medida no caso do tratamento de 50% (exceto no caso do oxigênio dissolvido onde o valor foi mantido o mesmo). Portanto, os resultados devem ser vistos em perspectiva considerando este valor no contorno, medido.

A **FIGURA 4.3** mostra resultados da simulação 1 (NA Xingu = 90 m, vazão de estiagem) considerando as concentrações das variáveis simuladas ao longo do Igarapé Panelas. Vê-se, claramente, que o tratamento do esgoto traria uma ligeira melhora na qualidade da água. Vê-se também que, como este igarapé é pouco povoado, mesmo para esta baixa vazão e para o NA do Xingu bastante deplecionado, a qualidade da água se manteria dentro de um nível aceitável.

A **FIGURA 4.4** mostra resultados da simulação 2 (NA Xingu = 90 m, vazão média) e vê-se claramente uma melhoria em relação à simulação 1 nas condições do igarapé, devido à maior vazão e, conseqüentemente, maior capacidade de transporte e de diluição. A **FIGURA 4.5** reforça a tendência mostrada na **FIGURA 4.4**, ou seja, maiores vazões melhoram a qualidade da água.

Resultados análogos são mostrados para o Igarapé Altamira (**FIGURA 4.6**, **FIGURA 4.7** e **FIGURA 4.8**). Este é o mais importante e mais povoado dos três igarapés, e a sua situação é agravada pelo fato de ser o de menor área de drenagem, e, conseqüentemente, menor vazão, e menor capacidade de diluição e transporte. A **FIGURA 4.6** mostra a péssima qualidade da água com OD chegando a zero, da metade até a foz do trecho simulado do Igarapé, ou seja, por aproximadamente 2 km. Os valores de DBO também são altíssimos (típicos de esgoto). Com tratamento de 50%, a situação melhora, mas, aparentemente, não o suficiente. A **FIGURA 4.7** e **FIGURA 4.8** mostram que, com vazões maiores, a situação do Igarapé melhora consideravelmente, e que o tratamento do esgoto acentua esta melhora.

Resultados análogos são mostrados para o Igarapé Ambé (**FIGURA 4.9**, **FIGURA 4.10** e **FIGURA 4.11**). A situação é semelhante ao Igarapé Altamira, porém, aparentemente, o fato deste igarapé ser menos povoado e ter área de drenagem maior, sua condição se torna um pouco melhor ao de Altamira. Novamente, com o reservatório deplecionado e com vazão baixa, as concentrações dos parâmetros simulados (por exemplo, de OD e DBO) ficam em valores muito críticos.

As oscilações presentes em alguns parâmetros simulados são devido ao fato de, nestes igarapés, haver descontinuidade e perda de carga na seção transversal devido à presença de pontes (principalmente no Igarapé Ambé). Estas descontinuidades foram incluídas nas modelagens para que elas fossem o mais realista possível, mas causaram efeito numérico colateral, fazendo a simulação oscilar um pouco. Este artefato numérico não prejudica a interpretação e a validade dos resultados se for considerado o valor médio (filtrando-se as oscilações espúrias).

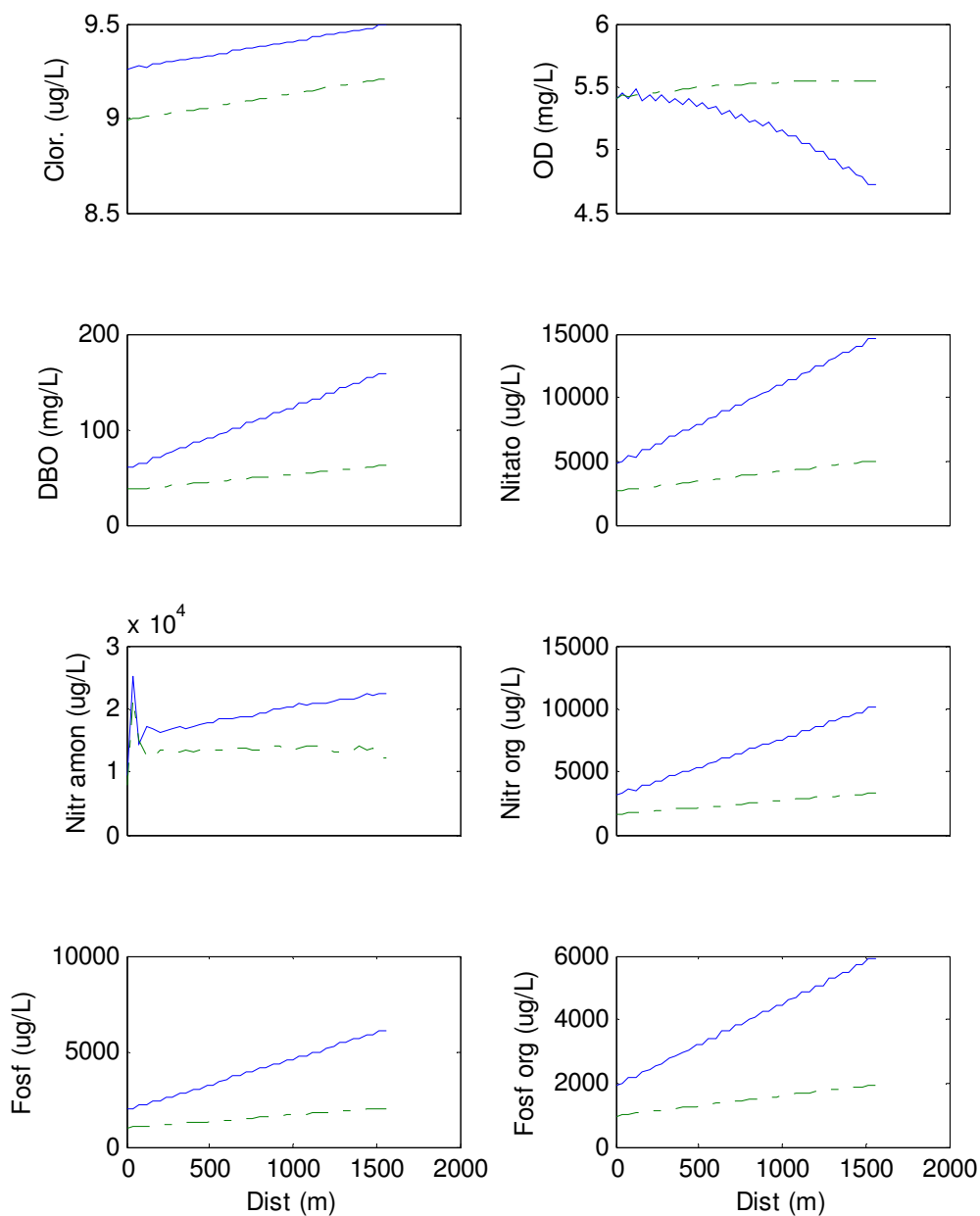


FIGURA 4.3 – Qualidade da água ao longo do Igarapé Panelas, o reservatório está localizado à direita do eixo horizontal. Vazão de estiagem extrema (120 litros/s) e Reservatório do Xingu deplecionado em 90 m. Linha cheia = condições atuais. Linha tracejada = 50% de tratamento de esgoto.

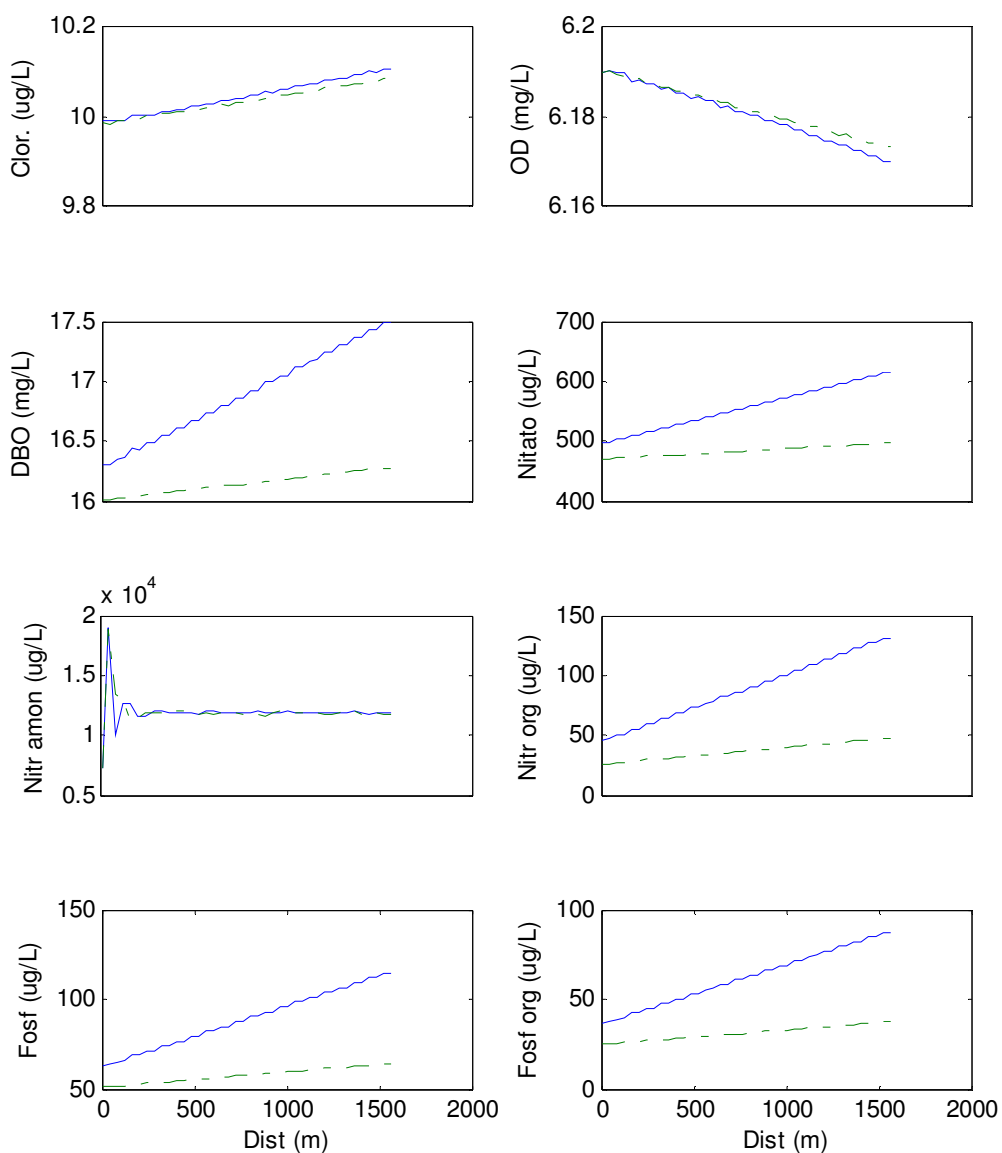


FIGURA 4.4 – Qualidade da água ao longo do Igarapé Panelas, o reservatório está localizado à direita do eixo horizontal. Vazão normal (10 m³/s) e Reservatório do Xingu deplecionado em 90 m. Linha cheia = condições atuais. Linha tracejada = 50% de tratamento de esgoto.

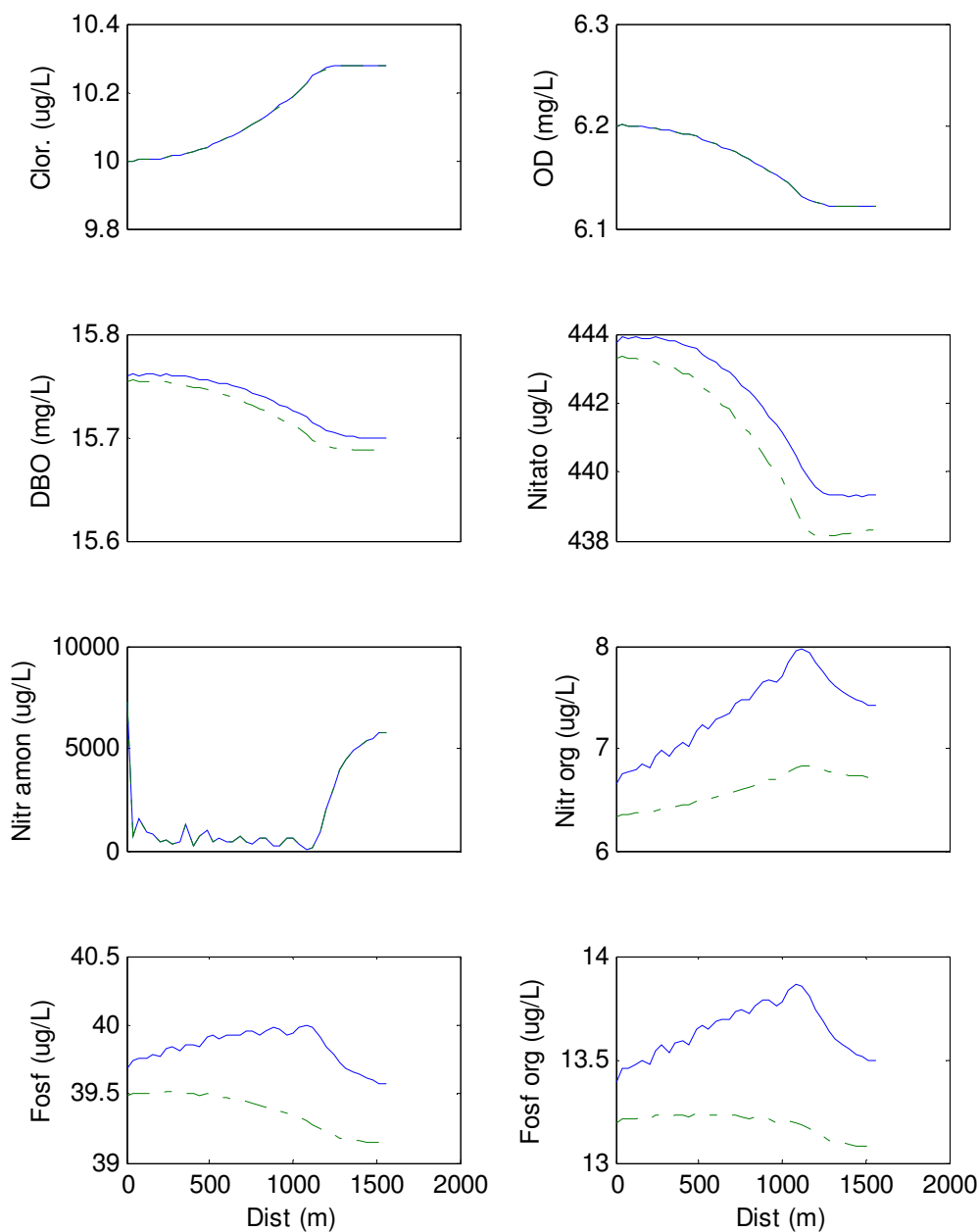


FIGURA 4.5 – Qualidade da água ao longo do Igarapé Panelas, reservatório está localizado à direita do eixo horizontal. Vazão de cheia ($610 \text{ m}^3/\text{s}$) e Reservatório do Xingu no nível normal em 97 m. Linha cheia = condições atuais. Linha tracejada = 50% de tratamento de esgoto.

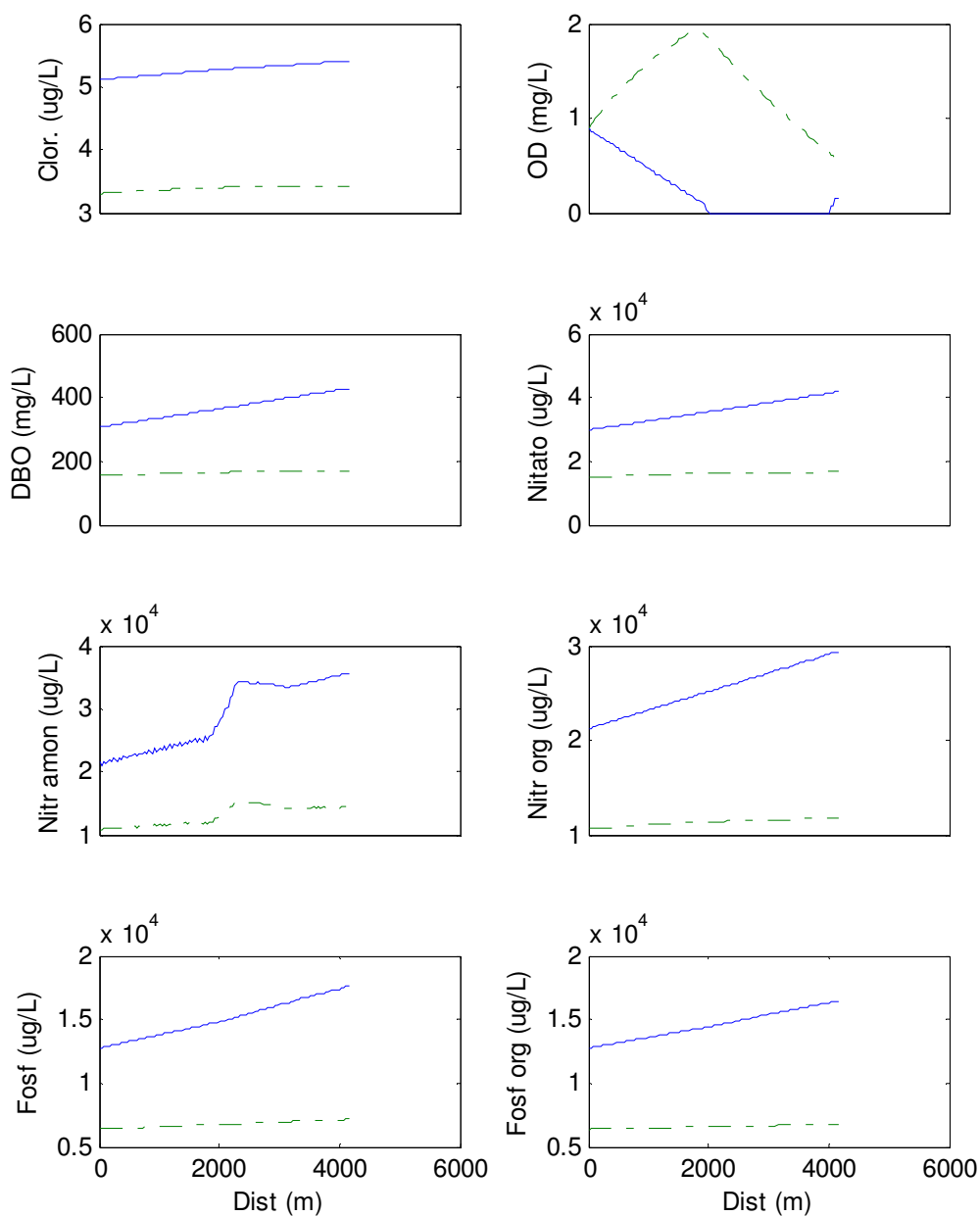


FIGURA 4.6 – Qualidade da água ao longo do Igarapé Altamira, reservatório está localizado à direita do eixo horizontal. Vazão de estiagem extrema (100 litros/s) e Reservatório do Xingu deplecionado em 90 m. Linha cheia = condições atuais. Linha tracejada = 50% de tratamento de esgoto.

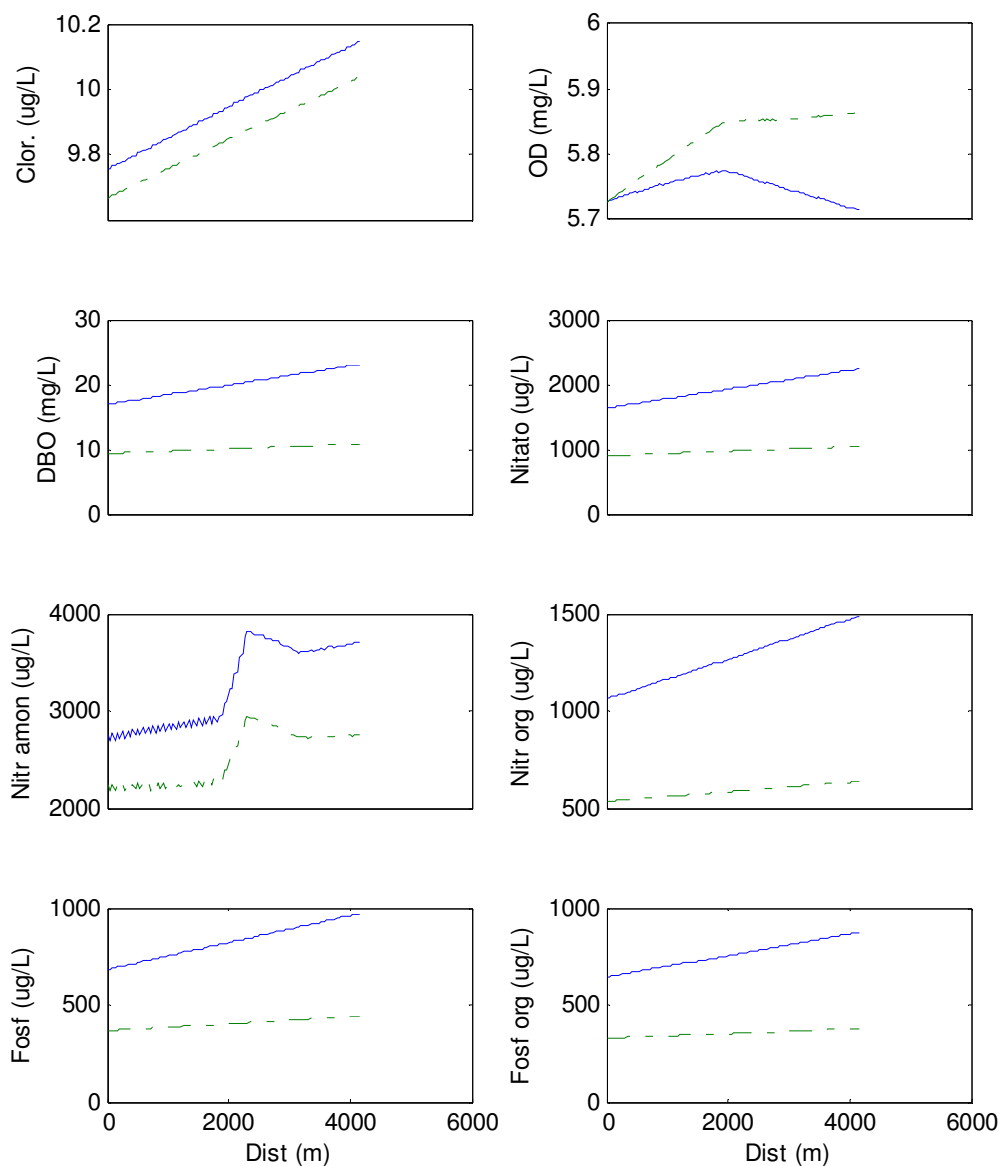


FIGURA 4.7 – Qualidade da água ao longo do Igarapé Altamira, reservatório está localizado à direita do eixo horizontal. Vazão normal ($2 \text{ m}^3/\text{s}$) e Reservatório do Xingu deplecionado em 90 m. Linha cheia = condições atuais. Linha tracejada = 50% de tratamento de esgoto.

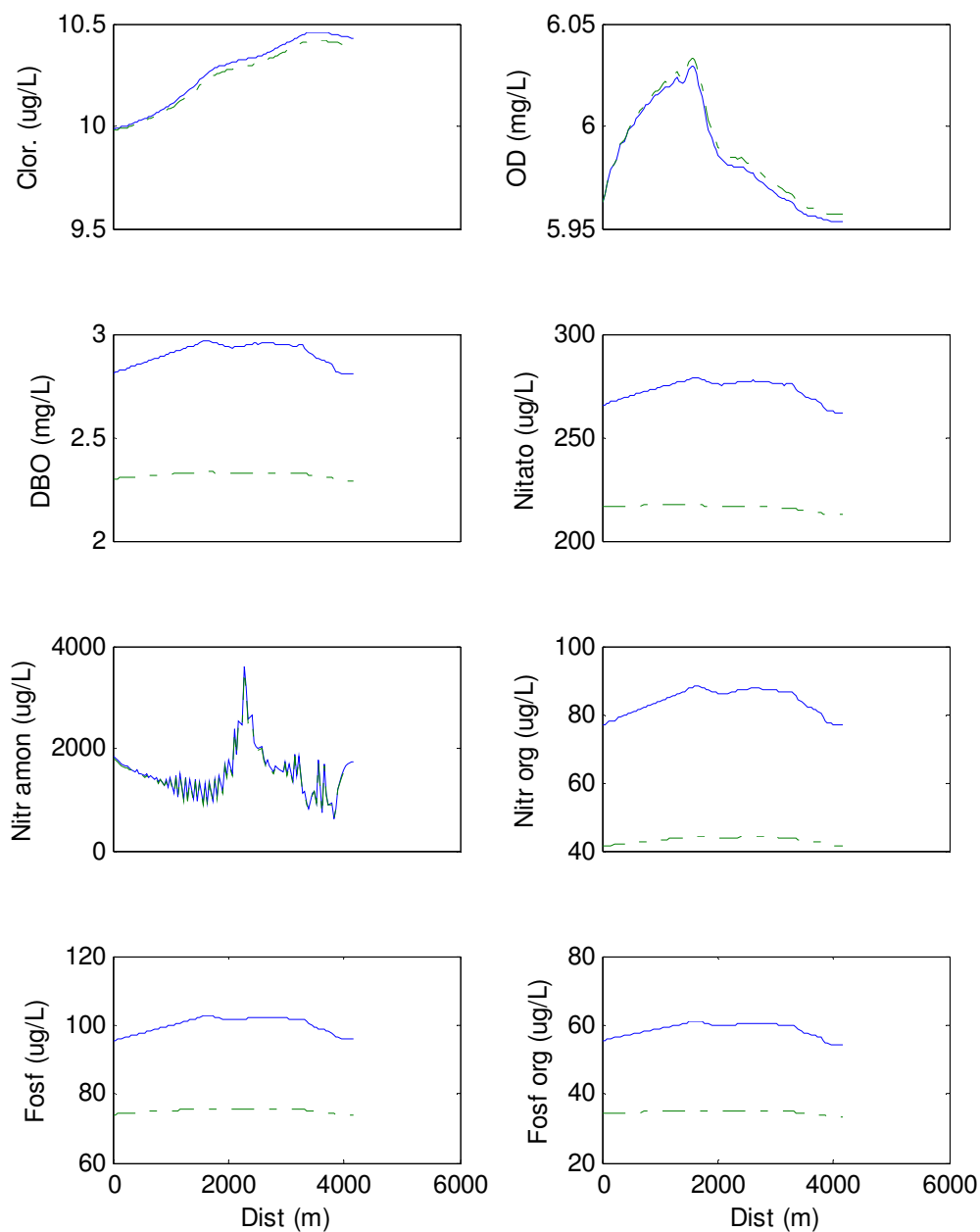


FIGURA 4.8 – Qualidade da água ao longo do Igarapé Altamira, reservatório está localizado à direita do eixo horizontal. Vazão de cheia ($30 \text{ m}^3/\text{s}$) e Reservatório do Xingu no nível normal em 97 m. Linha cheia = condições atuais. Linha tracejada = 50% de tratamento de esgoto.

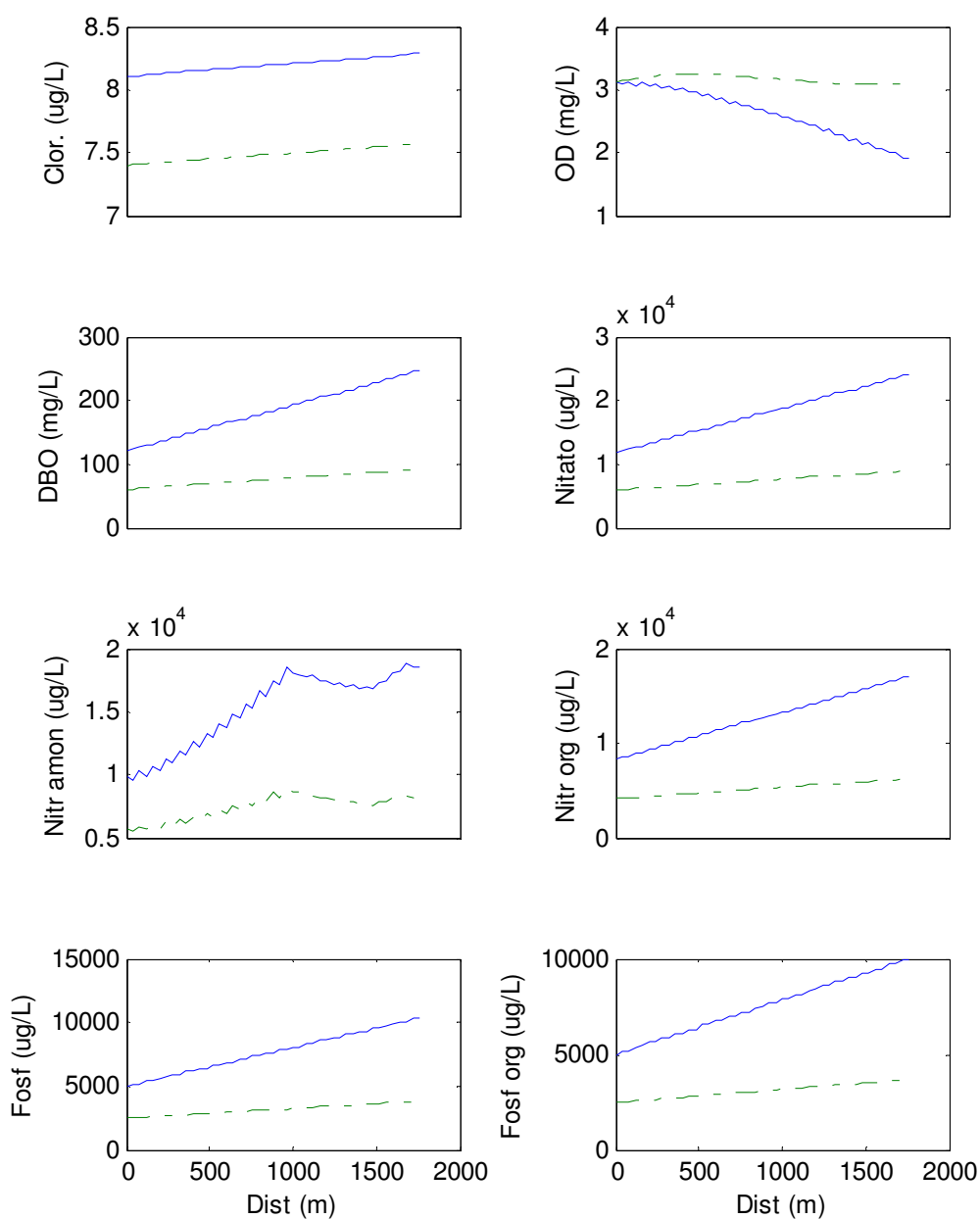


FIGURA 4.9 – Qualidade da água ao longo do Igarapé Ambé, reservatório está localizado à direita do eixo horizontal. Vazão de estiagem extrema (100 litros/s) e Reservatório do Xingu deplecionado em 90 m. Linha cheia = condições atuais. Linha tracejada = 50% de tratamento de esgoto.

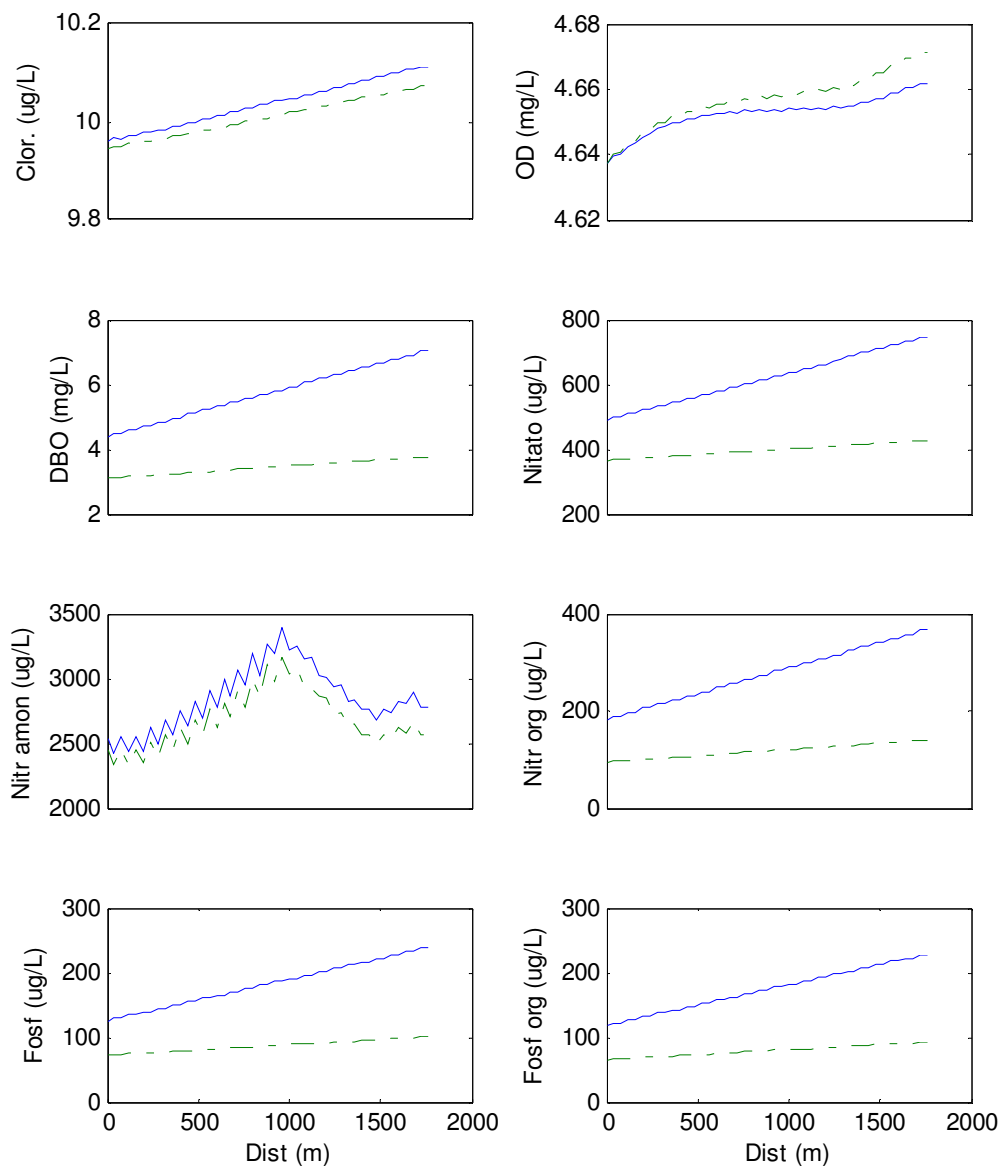


FIGURA 4.10 – Qualidade da água ao longo do Igarapé Ambé, reservatório está localizado à direita do eixo horizontal. Vazão normal ($4,7 \text{ m}^3/\text{s}$) e Reservatório do Xingu deplecionado em 90 m. Linha cheia = condições atuais. Linha tracejada = 50% de tratamento de esgoto.

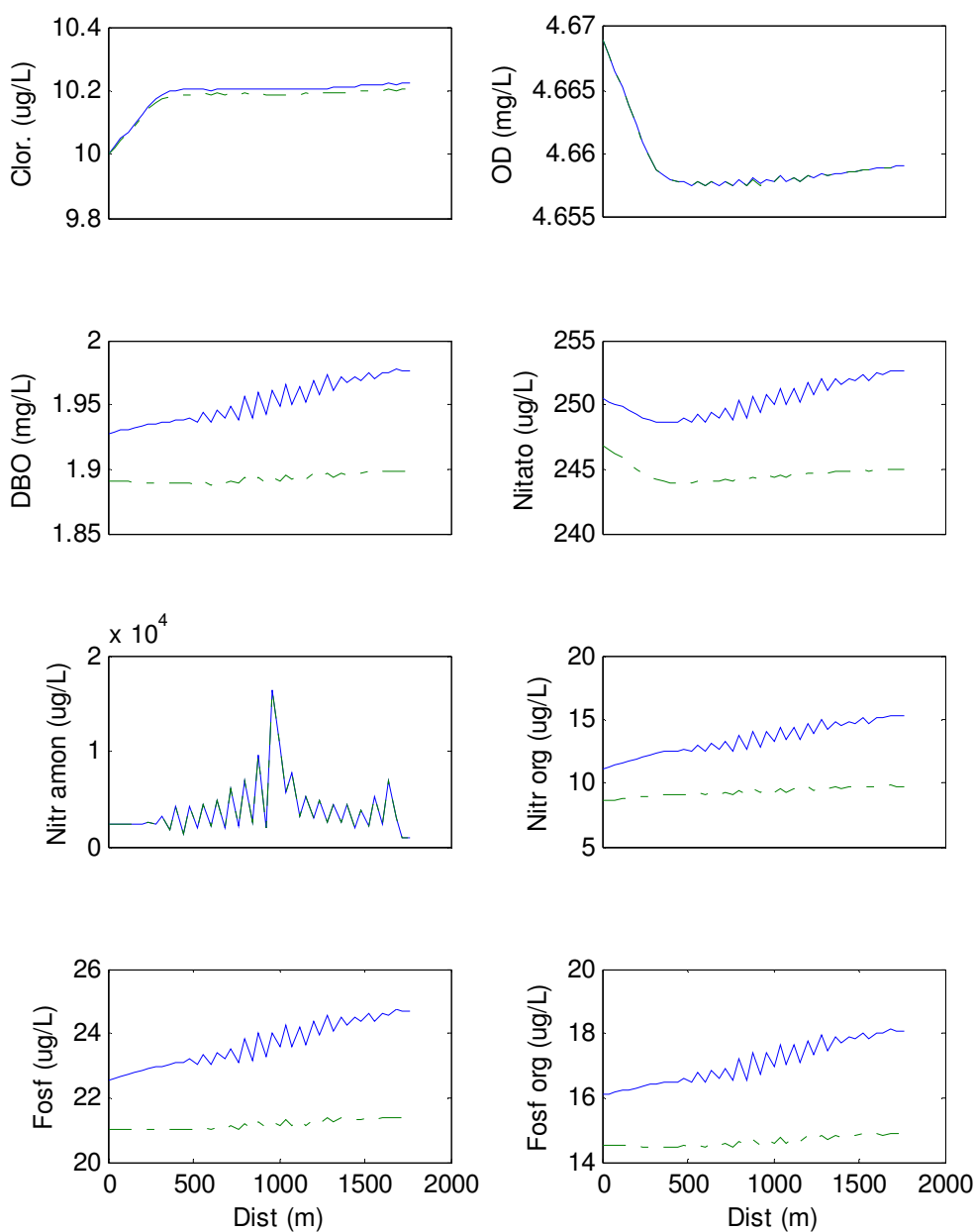


FIGURA 4.11 – Qualidade da água ao longo do Igarapé Ambé, reservatório está localizado à direita do eixo horizontal. Vazão de cheia ($160 \text{ m}^3/\text{s}$) e Reservatório do Xingu no nível normal em 97 m. Linha cheia = condições atuais. Linha tracejada = 50% de tratamento de esgoto.

5. CONCLUSÕES

Igarapé Panelas: não apresentou grandes problemas de qualidade da água em nenhuma das simulações, embora haja uma clara degradação no caso em que o Reservatório do Xingu se depleciona muito e a vazão é baixa (época de estiagem). Nesta situação, o tratamento de esgoto simulado (50% das cargas atuais) mostrou-se útil na diminuição das concentrações de DBO, fósforo, e nitrogênio. É importante notar que este igarapé possui as maiores vazões dos três simulados e a menor população.

Igarapé Altamira: as simulações para este igarapé mostraram que a situação é crítica para a condição de baixa vazão e em que o Reservatório do Xingu se depleciona muito. O oxigênio dissolvido chega a ser zero neste caso e a DBO atinge níveis de esgoto. O tratamento de 50% alivia bastante a situação, a concentração de oxigênio ficou acima de zero, mas os níveis de concentração de nutrientes continuaram altos. Para as situações de vazão mais alta e do Reservatório do Xingu no nível 97 m, a situação é melhor. O tratamento de 50% se mostrou novamente uma forma eficiente de melhorar os indicadores de qualidade da água.

Igarapé Ambé: as simulações para o Igarapé Ambé revelaram uma situação intermediária entre os dois outros igarapés. Isto não é surpresa, já que tanto a população quanto as vazões deste igarapé encontram-se em valores intermediários. Para o caso de vazão baixa e forte deplecionamento, as concentrações de OD chegam ao valor de 2 mg/l, e melhoram para 3 mg/l com 50% de tratamento. Para as situações de vazão média a alta e nível do Xingu em 97 m, a situação é bem mais aliviada.

6. RECOMENDAÇÕES PRELIMINARES

Os estudos apresentados consideraram cenários para o deplecionamento, aliando-os a qualidade da água nos igarapés da região urbana de Altamira. Neste sentido, são apresentadas a seguir recomendações preliminares, haja vista que deverão ser considerados outros parâmetros e ações previstas no PBA de forma integrada:

- O tratamento de 50% (ou mais) do esgoto certamente proporcionará melhorias significativas na qualidade da água dos três igarapés. No caso do Igarapé Altamira, o percentual/nível de tratamento deve ser ainda mais elevado, especialmente nas situações de forte estiagem. Além disso, deverá ser considerado o Programa de Requalificação Urbana para a cidade de Altamira que prevê a revitalização das áreas marginais da região dos igarapés;
- Opcionalmente, pode-se considerar, também, um emissário que lançasse o esgoto tratado do Igarapé Altamira para o leito mais profundo do rio Xingu com vistas a uma diminuição da carga de esgoto (descontaminação); e,
- Os mais graves problemas de qualidade da água ocorrerão com o Reservatório do Xingu deplecionado. Neste sentido, vale lembrar que, em condições de deplecionamento a qualidade da água deste Reservatório também sofrerá influência dos usos do entorno, pela população ribeirinha rural (cargas difusas), o que não foi considerado neste trabalho. A condição de deplecionamento deverá ser evitada, e recomenda-se que a gestão da usina proporcione a manutenção, sempre que possível, do efeito de remanso do Xingu adentrando os igarapés com o objetivo de aumentar a capacidade de diluição das cargas de esgoto e a vazão de base dos próprios igarapés.

7. PROFISSIONAIS RESPONSÁVEIS PELA ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO

Este projeto foi elaborado pelos seguintes especialistas e consultores lotados no Departamento de Engenharia Ambiental, UFPR:

- Maurício F. Gobbi, PhD
- Cynara Nóbrega Cunha, MSc