

Artigo Técnico

Enquadramento e avaliação do índice de qualidade da água dos igarapés Rabo de Porco e Precuá, localizados na área da Refinaria Premium I, município de Bacabeira (MA)

*Ordination and evaluation of the water quality index
for the creeks Rabo de Porco and Precuá, located in the
Premium I Refinery area, municipality of Bacabeira (MA), Brazil*

**Diranneide Gomes Amorim¹, Paulo Roberto Saraiva Cavalcante²,
Leonardo Silva Soares³, Patrycia Elen Costa Amorim⁴**

RESUMO

O objetivo deste estudo foi realizar um diagnóstico da qualidade das águas dos igarapés Rabo de Porco e Precuá, localizados na área de implantação da Refinaria Premium I, no município de Bacabeira, Maranhão. Foram avaliadas as características físico-químicas e microbiológicas da água em pontos a montante e a jusante de cada corpo d'água, confrontando os resultados com a Resolução CONAMA nº 357/2005 e com o índice de qualidade da água (IQA). No período de maio a agosto de 2012, foram efetuadas amostragens mensais dos seguintes parâmetros físicos e químicos da água: temperatura, turbidez, pH, sólidos totais (ST), oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅), nitrogênio total, fósforo total (PT) e coliformes fecais. Os resultados mostraram diferenças significantes dos parâmetros entre os pontos a montante e a jusante apenas para as variáveis ST e turbidez, especialmente no Precuá. A análise dos componentes principais (PCA) revelou uma correlação moderada entre as variáveis. Os resultados obtidos enquadraram as águas da maioria dos pontos amostrados predominantemente na classe 3, seguida da classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005. O IQA evidenciou ligeiras diferenças espaciais e temporais entre os corpos d'água investigados: o igarapé do Rabo de Porco registrou o melhor IQA, enquanto o pior IQA ocorreu na coleta de maio no ponto amostral Precuá a jusante. As informações levantadas servirão de base para avaliações de mudanças nas características e na qualidade dos corpos d'água estudados no decorrer da implantação e operação do empreendimento.

Palavras-chave: Resolução CONAMA nº 357/2005; índice de qualidade de água; igarapés; Rabo de Porco, Precuá.

ABSTRACT

The aim of this study was to assess the water quality for the creeks Rabo de Porco and Precuá, located in the area of deployment of the Premium I refinery in the municipality of Bacabeira, Maranhão, Brazil. The physico-chemical and microbiological characteristics of the water at points upstream and downstream of each water body were evaluated, comparing the results with the CONAMA Resolution 357/2005 and the water quality index (WQI). In the period from May to August 2012, monthly samples of the following physical and chemical parameters of water were made: temperature, turbidity, pH, total solids, dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, total nitrogen, total phosphorus and fecal coliforms. The results showed significant differences in the parameters between upstream and downstream points, only for the parameters total solids and turbidity, especially for the Precuá creek. The principal component analysis revealed a moderate correlation between the parameters. The data indicated that water from most of the points can be classified in the class 3, followed by the class 2 of the CONAMA Resolution 357/2005. The WQI showed slight spatial and temporal differences between the water bodies investigated: Rabo de Porco creek registered the best WQI, while the worst one occurred in sampling at the downstream Precuá point in May. The information registered will be used as a basis for changes evaluation in characteristics and quality of water bodies studied during the deployment and operation of the enterprise.

Keywords: CONAMA Resolution 357/2005; water quality index; creeks, Rabo de Porco, Precuá.

¹Mestre em Sustentabilidade de Ecossistemas Aquáticos pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA) - São Luís (MA), Brasil.

²Doutor em Geologia/Geoquímica Ambiental pela Universidade de Nantes, França. Professor aposentado do Departamento de Oceanografia e Limnologia da UFMA - São Luís (MA), Brasil.

³Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Federal do Piauí (UFPI). Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA) - São Luís (MA), Brasil.

⁴Engenheira Agrônoma pela Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) - São Luís (MA), Brasil.

Endereço para correspondência: Diranneide Gomes Amorim - Rua 05, número 03 - Vila Cafeteira - 65130-000 - Paço do Lumiar (MA), Brasil -

E-mail: diranneide.amorim@gmail.com

Recebido: 25/02/14 - **Aceito:** 03/06/16 - **Reg. ABES:** 131212

INTRODUÇÃO

No tocante às intervenções antrópicas, a alteração topográfica e outras formas de intervenção produzidas na bacia de drenagem com supressão de vegetação, o uso inadequado do solo, além do despejo de efluentes domésticos e industriais nos corpos d'água, constituem formas de degradação dos recursos hídricos e também de disseminação de doenças de veiculação hídrica, uma vez que os sistemas aquáticos são fortemente influenciados por condicionantes geológicas, climáticas e antrópicas (Toledo & Nicollela, 2004).

No Brasil, a classificação de enquadramento dos corpos d'água, estabelecendo as condições e os padrões de lançamento de efluentes, é obtida pela Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 (Brasil, 2005), do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Além da resolução, tem-se utilizado o índice de qualidade de água (IQA), desenvolvido pela *National Sanitation Foundation Institution* (NSF), para avaliação da qualidade da água. O IQA converte informações de diversas variáveis em um valor numérico que possibilita o seu enquadramento em classes ou categorias de qualidade (Lima; COSTA; SOARES, 2007).

O presente trabalho insere-se no âmbito do Programa de Monitoramento da Qualidade da Água do Projeto Básico Ambiental, decorrente da implantação da Refinaria Premium I da Petrobrás, em Bacabeira, Maranhão, na busca de um diagnóstico da qualidade dos igarapés Rabo de Porco e Precuá por meio do enquadramento das águas pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e da aplicação do IQA. Finalmente, espera-se que os dados gerados possam contribuir para o monitoramento da qualidade da água nos igarapés estudados e subsidiar medidas de controle e mitigação dos impactos gerados pelo empreendimento.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

Os igarapés Precuá e Rabo de Porco estão inseridos na área de implantação da Refinaria de Petróleo Premium I da Petrobrás, compreendida entre as coordenadas geográficas 2°40' e 3°46' S e 44°02' e 44°7' W, no distrito industrial do município de Bacabeira, situado na mesorregião Norte Maranhense, distante 60 km de São Luís, capital do Estado do Maranhão (Figura 1).

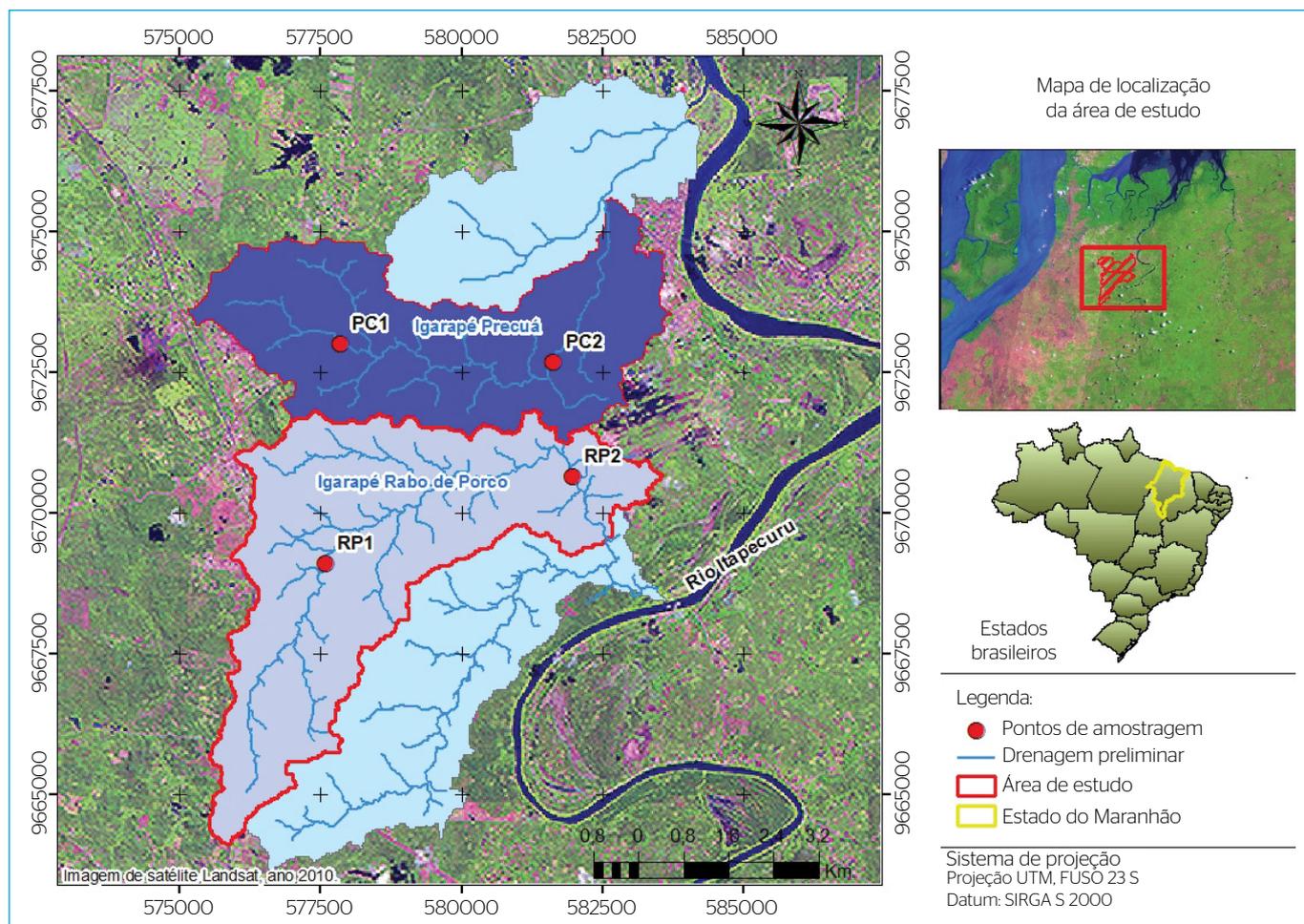


Figura 1 - Localização e delimitação da área em estudo e pontos de amostragem nos igarapés Rabo de Porco e Precuá, em Bacabeira, Maranhão.

Tais igarapés pertencem à bacia hidrográfica do Itapecuru. O Precuá possui extensão de 1,3 km e o Rabo de Porco de 2,4 km, apresentando, respectivamente, vazões médias de 0,90 e 0,87 m³.s⁻¹ e média densidade de drenagem desenvolvida, respectivamente, sobre superfícies de 23,4 e 41,2 km² (UFMA/FSADU, 2011).

O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é tropical úmido, com duas estações bem definidas: uma chuvosa nos meses de janeiro a junho, favorecida pela Zona de Convergência Intertropical, e outra seca, que se estende de julho a dezembro, decorrente do efeito de inversão térmica dos ventos alísios, em que somente podem ocorrer precipitações esporádicas. A temperatura média anual é de 27,4°C, o índice de umidade relativa do ar em torno de 81%, a precipitação média anual de 2.328 mm.ano⁻¹ e evaporação média de 1.166 mm.ano⁻¹ (UFMA/FSADU 2011).

O relevo da região é predominantemente plano (65%) a suavemente ondulado (28%), e a classe de solo dominante da área em estudo é a Plintossolo mal drenado, que ocupa, em geral, as porções rebaixadas e de relevo plano da paisagem. A vegetação da área caracteriza-se por cerrado, onde a mata de capoeira marca a fisionomia da vegetação local (UFMA/FSADU, 2009).

Malha amostral e análises *in situ* e laboratorial

Parte dos procedimentos de campo, em laboratório e dos dados utilizados neste estudo foi obtida no âmbito do plano de monitoramento dos cursos d'água da área de implantação da Refinaria Premium I em Bacabeira, Maranhão, desenvolvido mediante convênio entre a Universidade Federal do Maranhão (UFMA), a Fundação Sôsândrade de Apoio e Desenvolvimento da UFMA e a Petrobrás, como parte das exigências legais para outorga de intervenção decorrente das obras da citada planta.

As coletas abrangeram o período de maio a agosto de 2011, realizando-se amostragem mensal de água superficial (± 30 cm abaixo da superfície), diretamente em garrafas plásticas, em 4 estações distribuídas nos igarapés Rabo de Porco e Precuá, 2 localizados nas entradas NW e SW (a montante) e 2 nas saídas NE e SE (a jusante) do polígono da refinaria, cobrindo os períodos chuvoso e seco da região.

A metodologia utilizada na amostragem, na preservação e no acondicionamento de água seguiu as recomendações adotadas pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos definidos para a avaliação da qualidade da água foram aqueles utilizados na determinação do IQA multiplicativo. Em cada ponto de coleta foram medidas, *in situ*, as variáveis ambientais: temperatura, pH e oxigênio dissolvido (OD) por meio de multiparâmetro modelo Hach.

Em laboratório, foram determinados: a turbidez (unidade nefelométrica de turbidez – NTU), os sólidos totais (ST) (mg.L⁻¹), a demanda bioquímica oxigênio (DBO₅) (mg.L⁻¹), o nitrogênio total (NT) (mg.L⁻¹),

o fósforo total (PT) (mg.L⁻¹) e os coliformes fecais (número mais provável – NMP), de acordo com os critérios adotados pela *American Public Health Association* (APHA, 2005).

Enquadramento e índice de qualidade da água

A partir dos dados gerados no campo e das análises de laboratório, aplicou-se tratamento estatístico convencional, para obtenção de médias, mínimos, máximos das variáveis analisadas, as quais foram então comparadas com padrões qualidade da água estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (BrasiL, 2005). O IQA foi calculado pelo produto ponderado das notas atribuídas a cada um dos nove parâmetros indicadores, enquadrando-se, assim, os corpos d'água em cinco classes de qualidade (Tabela 1).

A combinação multiplicativa com pesos potências dos subíndices obtidos a partir de curvas de qualidade da água, adotada pela CETESB (2006), foi utilizada para o cálculo do IQA segundo a Equação 1, proposta por Landwehr & Deininger (1976, *apud* BRASIL, 2001).

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (1)$$

Onde:

IQA: índice de qualidade da água (limites de 0 a 100);

qi: qualidade do parâmetro i, obtido pela curva média específica de qualidade;

wi: peso atribuído ao parâmetro em função de sua importância na qualidade entre 0 e 1.

Tratamento estatístico

Os dados relativos às variáveis físicas, químicas e microbiológicas foram submetidos à análise estatística descritiva. Utilizou-se o teste *t* de Student para avaliar a existência de diferenças entre os pontos a montante e a jusante dos riachos e nos valores do IQA obtidos entre os pontos e os corpos d'água monitorados. Foi realizada análise dos componentes principais (PCA), a partir de correlações entre as variáveis determinadas pelo coeficiente de correlação de Pearson (Digby & Kempton, 1987, *apud* Krupek; BRANCO; PERES, 2010). Tais testes foram realizados com o auxílio do pacote estatístico *Statistic 7.0*.

Tabela 1 – Índice de qualidade da água.

Índice de qualidade da água	Categoria
80 a 100	Ótima
52 a 79	Boa
37 a 51	Regular
20 a 36	Ruim
0 a 19	Péssima

Fonte: CETESB (2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ficou evidente, no presente estudo, que as características físico-químicas das águas sofrem influência de fatores de natureza hidrológica, sazonal e antrópica, provocando reflexos na composição química, biológica e qualidade dos corpos d'água investigados.

No período de monitoramento, os igarapés apresentaram profundidades entre 0,8 e 2,0 m, no Rabo de Porco, e entre 0,2 e 0,6 m, no Precuá (classificado como intermitente por não apresentar vazão no período seco). A precipitação pluviométrica alcançou médias de 375,2; 188,2; 86,4 e 46,4 mm, respectivamente, nos meses de maio, junho, julho e agosto (UFMA/FSADU, 2011).

A Figura 2 mostra uma marcante variação da temperatura da água ao longo do período amostral, nos dois corpos d'água monitorados, apresentando temperaturas mínimas geralmente nos meses de junho e julho e máximas em agosto, tanto para o igarapé Rabo de Porco como para o Precuá, refletindo as características térmicas da região. A amplitude térmica máxima (7,2°C) entre os pontos a montante e a jusante foi registrada no igarapé do Precuá, provavelmente em função da drástica redução do volume d'água desse igarapé.

A elevação da temperatura observada no estudo pode ser atribuída à redução da precipitação pluviométrica e ao aumento da radiação solar nessa época do ano na região. Segundo Tundisi, Bicudo e Matsumura-Tundisi (1995) e Calijuri (1998), o elevado regime térmico relaciona-se com a característica básica da tipologia dos corpos aquáticos tropicais.

De maneira geral, os resultados da temperatura da água estão de acordo com os valores característicos da região e de corpos aquáticos tipicamente tropicais (UFMA/FSADU, 2011). A Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005) não estabelece padrões para esse parâmetro em seu texto, no entanto, a temperatura exerce considerável influência nas características físicas e nas reações químicas e bioquímicas da água, além de notadamente refletir em processos biológicos da biota aquática, ciclagem de nutrientes, etc. (ESTEVES, 1998; TUNDISI; MATSUMARA-TUNDISI; ROCHA, 1999).

Em relação às concentrações da turbidez, houve uma ampla variação com marcante sazonalidade, apresentando concentrações mais elevadas

nos meses de junho e agosto, apresentando médias de 29,7 unidades nefelométricas de turbidez (UNT) para o Precuá, com limites entre 6,7 e 926,0 UNT, e média de 27,7 UNT para o Rabo de Porco, com amplitude de 10,2 a 471,0 UNT (Figura 3).

Do total dos resultados amostrados, 56% permaneceram dentro dos limites estabelecidos para a classe 1 (até 40 UNT) e 43% ultrapassaram o limite de 100 UNT, exigido para a classe 2 pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005), conferindo a essas águas a condição de classe 4.

Considerando os pontos a montante e a jusante, os valores da turbidez apresentaram diferenças significativas, principalmente no igarapé Precuá ($t=0,000013$; $p<0,005$), relacionado à presença de sólidos provenientes das intervenções de desmatamento e terraplenagem das obras da refinaria, processo que disponibiliza uma carga adicional de partículas somada ao aporte de sedimentos da bacia de drenagem carreados pela água de escoamento proveniente da precipitação pluviométrica na área (UFMA/FSADU, 2011).

Quanto aos valores do pH apresentados na Figura 4, observou-se um gradiente crescente entre maio e agosto nos dois igarapés, caracterizando as suas águas como levemente ácidas em todas as coletas, com acidez mais

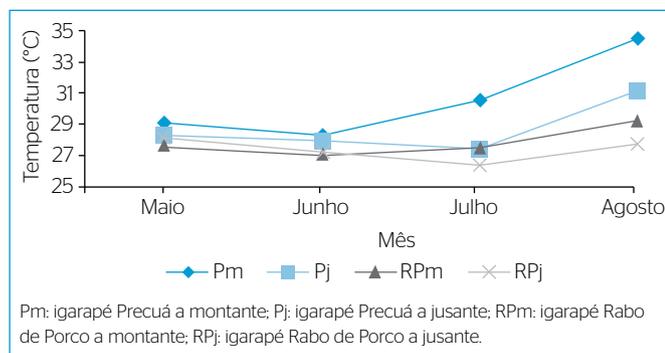


Figura 2 - Temperatura da água nos igarapés Precuá e Rabo de Porco, monitorados no período de maio a agosto de 2011, na área da Refinaria Premium I, em Bacabeira, Maranhão.

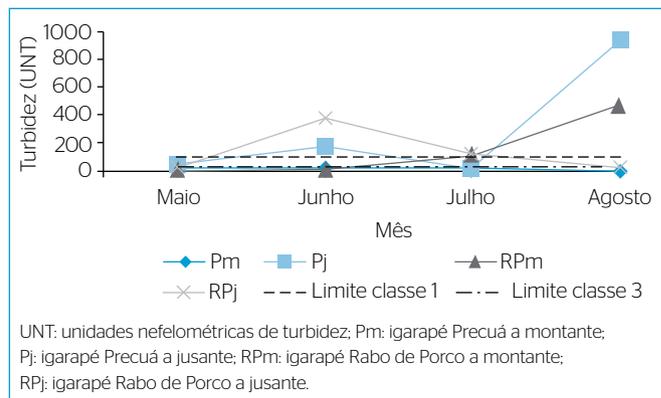


Figura 3 - Turbidez da água, nos igarapés Precuá e Rabo de Porco, monitorados no período de maio a agosto de 2011, na área da Refinaria Premium I, em Bacabeira, Maranhão.

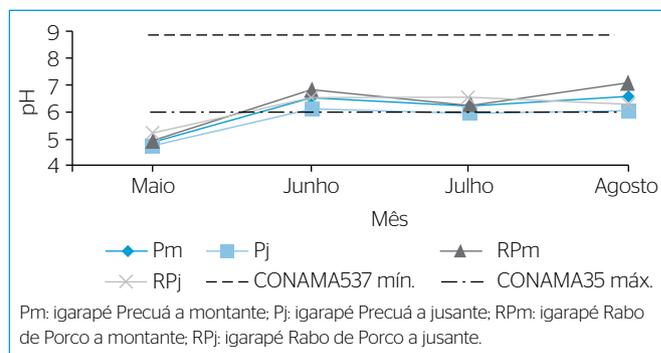


Figura 4 - pH da água nos igarapés Precuá e Rabo de Porco, monitorados no período de maio a agosto de 2011, na área da Refinaria Premium I, em Bacabeira, Maranhão.

acentuada no mês de maio e uma ligeira elevação entre o período chuvoso e o período seco. Resultados similares foram obtidos por Brito (1997) e Moraes (2001) no igarapé Rabo de Porco, registrando valor médio de pH de 5,0, caracterizando igualmente as águas como ligeiramente ácidas.

Ao confrontar os resultados com os limites definidos na Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005), constata-se que, em geral, os pontos amostrais encontram-se em conformidade com a citada norma, cujo limite situa-se entre 6 e 9, exceto na coleta de maio, em que foram registrados valores inferiores.

Destaque-se que os rios brasileiros tendem a apresentar pH que varia de neutro a ácido (VON SPERLING, 1995). No Maranhão, a maioria dos corpos d'água continentais é ácida, como reflexo da presença de ácidos orgânicos dissolvidos carregados durante o período de chuvas para os corpos d'água, oriundos da decomposição de matéria orgânica. Além desse fator, o pH na área de estudo pode ter sido influenciado pela tipologia dos solos locais, visto que são de natureza ácida (solos lateríticos) e ocorrem de forma bastante expressiva na região.

Quanto às concentrações de ST, na maioria dos pontos amostrais mostraram-se constantes, apresentando um aumento somente no mês de agosto, exceto para o ponto igarapé Rabo de Porco a jusante, que apresentou uma diminuição brusca no último mês de monitoramento. Destaca-se que os valores extremos alcançados para o Rabo de Porco foram de 89 mg.L⁻¹ a montante e 1.060 mg.L⁻¹ a jusante, enquanto no Precuá os valores foram de 62 mg.L⁻¹ a jusante e 665 mg.L⁻¹ a montante.

Os valores de ST acompanharam a distribuição da turbidez, apresentando alta correlação positiva ($r=0,980$) com a intensificação da res-suspensão em junho e agosto, caso possivelmente associado também à atividade de terraplenagem na bacia hidrográfica, gerando um aporte adicional de partículas dos pontos a montante e a jusante, principalmente no Precuá ($t=0,00018$; $p<0,05$), associando-se ainda à redução significativa da vazão verificada nos corpos d'água ao longo do período de amostragem (UFMA/FSADU 2011).

Altas concentrações dessa variável podem provocar danos à biota aquática, pois limitam a penetração da radiação solar e, com isso, reduzem a fotossíntese, além de provocar alterações nos processos de reprodução e crescimento dos peixes (ZUCCARI, 1992 *apud* CUNHA & SILVA, 2002).

Em relação ao OD, verificou-se, em geral, um comportamento semelhante ao pH, com um marcante aumento nas concentrações de maio a agosto nos dois igarapés e uma ligeira diferença entre os pontos a montante e a jusante, podendo-se concluir que as atividades da refinaria ainda não apresentam relevantes interferências nesse parâmetro.

Durante o período de estudo OD apresentou taxas médias de 4,71 mg.L⁻¹ para o riacho Precuá e 5,91 para o Rabo de Porco, indicando um médio índice de saturação (71%) de oxigenação.

Os resultados das concentrações do OD indicaram um nível médio de oxigenação dos corpos d'água estudados, sendo que 35,5% dos dados atenderam ao limite da classe 1; 35,5%, da classe 2; 12,5%, da classe 3;

e 12,5%, da classe 4. O oxigênio constitui-se em um dos parâmetros mais empregados para a avaliação dos ecossistemas aquáticos, fornecendo informações sobre a qualidade e a capacidade de autodepuração da água.

O comportamento do OD mostrou-se análogo ao pH, quanto à sazonalidade, com $r=0,558$, sendo que no período chuvoso as águas enquadraram-se na classe 4 da Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005), quando verifica-se um elevado incremento no aporte natural e antrópico de matéria orgânica, o que acarreta um aumento no consumo de oxigênio na atividade de oxidação da matéria orgânica nos ambientes aquáticos (VON SPERLING, 1995).

Quanto às concentrações de ST, na maioria dos pontos amostrais mostraram-se constantes, apresentando um aumento somente no mês de agosto, exceto para o ponto igarapé Rabo de Porco a jusante, que apresentou uma diminuição brusca no último mês de monitoramento. Destaca-se que os valores extremos alcançados para o Rabo de Porco foram de 89 mg.L⁻¹ a montante e 1.060 mg.L⁻¹ a jusante, enquanto no Precuá os valores foram de 62 mg.L⁻¹ a jusante e 665 mg.L⁻¹ a montante (Figura 5).

Em relação ao OD (Figura 6), verificou-se, em geral, um comportamento semelhante ao pH, com um marcante aumento nas concentrações de maio a agosto nos dois igarapés e uma ligeira diferença entre os pontos a montante e a jusante, podendo-se concluir que as

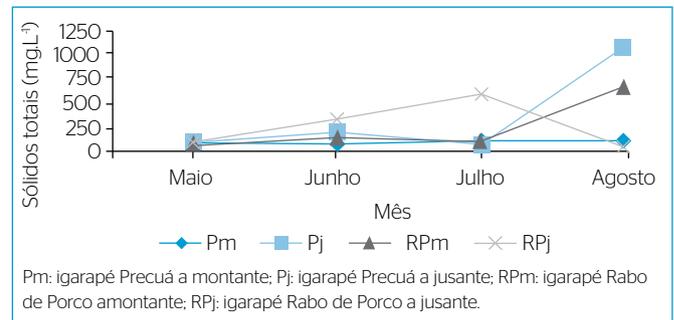


Figura 5 - Concentração dos sólidos totais da água nos igarapés Precuá e Rabo de Porco, monitorados no período de maio a agosto de 2011, na área da Refinaria Premium I, em Bacabeira, Maranhão.

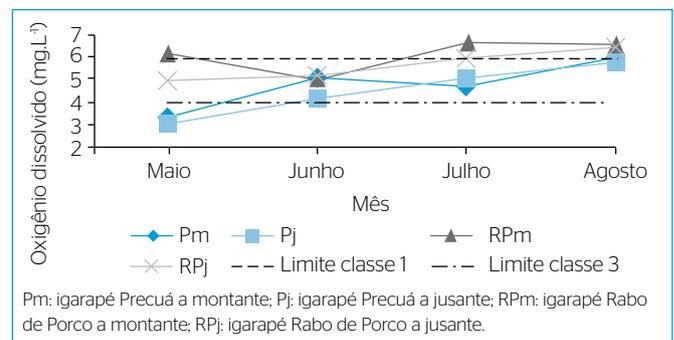


Figura 6 - Concentração do oxigênio dissolvido na água nos igarapés Precuá e Rabo de Porco, monitorados no período de maio a agosto de 2011, na área da Refinaria Premium I, em Bacabeira, Maranhão.

atividades da refinaria ainda não apresentam relevantes interferências nesse parâmetro.

A DBO₅ apresentou relação temporal inversa ao OD e ao pH, com coeficientes de correlação de $r=0,558$ e $r=-0,778$, respectivamente, com as maiores concentrações registradas no período chuvoso (Figura 7), levando as águas à condição de classe 3 (até 10 mg.L⁻¹), segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005). Esse fato pode ser decorrente do aumento da carga de matéria orgânica durante os eventos de precipitação pluviométrica, conforme já evidenciado para o oxigênio.

Nas demais coletas a DBO₅ permaneceu dentro dos limites impostos pela referida norma para a classe 2 (até 4 mg.L⁻¹), sendo que no mês de agosto os pontos amostrados se enquadraram na classe 1 (até 3 mg.L⁻¹). De acordo com a CETESB (2006), águas com DBO inferior a 4 mg.L⁻¹ são classificadas como águas limpas, e águas com valores de DBO superiores 10 mg.L⁻¹, como poluídas. A partir desse critério, as águas dos igarapés monitorados são consideradas como limpas em 50% do período de amostragem.

Quanto às concentrações de NT, essas apresentaram uma marcante oscilação ao longo do período amostral, com valores mínimos nas coletas de junho e agosto e valores máximos nos meses de maio e julho (Figura 8).

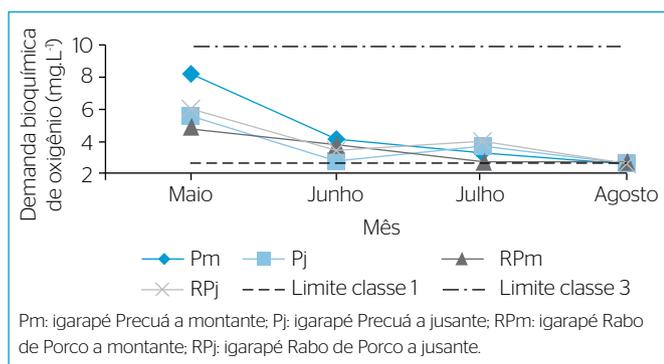


Figura 7 - Concentração da demanda bioquímica de oxigênio nos igarapés Precuá e Rabo de Porco, monitorados no período de maio a agosto de 2011, na área da Refinaria Premium I, em Bacabeira, Maranhão.

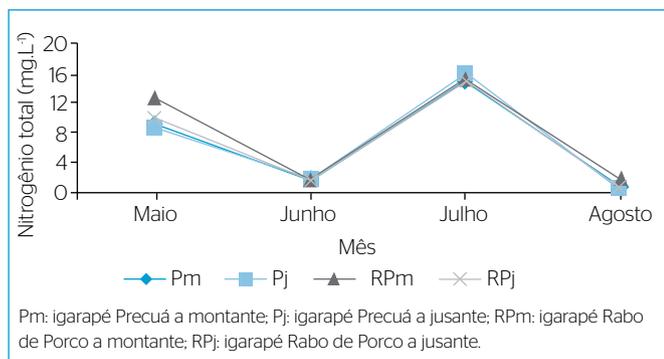


Figura 8 - Variação da concentração de nitrogênio total nos igarapés do Precuá e Rabo de Porco, monitorados no período de maio a agosto de 2011, na área da Refinaria Premium I, em Bacabeira, Maranhão.

Os elevados valores de nitrogênio durante o período de chuvas (maio) parecem decorrer principalmente do carreamento de material orgânico alóctone para o ecossistema aquático, já que as intervenções de terraplenagem ainda eram incipientes naquele momento. Os teores de NT não se relacionaram diretamente com a turbidez, apesar de o estudo de Donadio, Galbiatti e Paula (2005) demonstrar a tendência de o transporte e a ocorrência do nitrogênio relacionarem-se aos sólidos em suspensão e à turbidez, mas com a condição de que a matéria orgânica particulada tenha importante contribuição para a composição do séston, o que parece não refletir a realidade no presente estudo.

O comportamento do PT foi semelhante ao do nitrogênio, com ligeiras variações de concentração entre as estações (Figura 9). De modo análogo à DBO ($r=0,623$) e ao NT ($r=0,793$), a maioria dos pontos monitorados ao longo do período amostral permaneceu fora do limite estabelecido pela resolução vigente, com exceção do igarapé Rabo de Porco e do ponto a montante do Precuá no mês de agosto, cujos valores se enquadraram, respectivamente, nas classes 1 (até 0,10 mg.L⁻¹) e 3 (até 0,15 mg.L⁻¹).

As concentrações de PT evidenciam um ambiente sob pressão antrópica, inferindo-se como sua fonte principal para os ecossistemas a prática agrícola realizada em fazendas e pequenas glebas situadas às margens dos cursos d'água (UFMA/FSADU, 2011).

Santos *et al.* (2006, *apud* ALVES *et al.*, 2007; 2012) registraram o comportamento semelhante desse elemento no lago Água Preta, em Belém, Pará, associado à contribuição urbana por efluentes domésticos e industriais.

As concentrações de coliformes fecais (termotolerantes) apresentaram-se elevadas ao longo do período amostral, mantendo-se constantes até julho, aumentando bruscamente no mês de agosto em todos os pontos, com valores que chegam a atingir 24.000 NMP.100mL⁻¹ de coliformes. A média alcançada foi de 4.387 coliformes para o Precuá e de 6.175 coliformes para o Rabo de Porco (Figura 10).

De acordo com os valores obtidos, as águas dos igarapés enquadram-se na classe 3 (até 4.000 NMP.100mL⁻¹) da Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005), ao menos até o mês de julho. Em agosto esse limite foi ultrapassado, enquadrando a qualidade da água na classe 4, isso é, destinada à

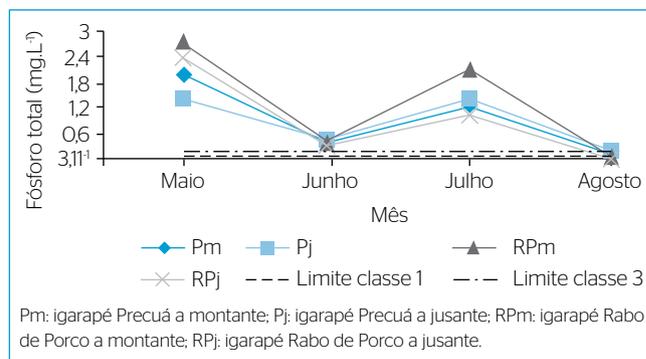


Figura 9 - Variação da concentração de fósforo total nos igarapés do Precuá e Rabo de Porco, monitoradas no período de maio a agosto de 2011, na área da Refinaria Premium I, em Bacabeira, Maranhão.

navegação e à harmonia paisagística, devido à redução da capacidade de diluição da poluição fecal dos corpos d'água monitorados, uma vez que se inicia o período seco (UFMA/FSADU, 2011). Além desse fator, as temperaturas mais elevadas do período poderiam ter igualmente influenciado de maneira positiva esse parâmetro, como sugere a correlação registrada para os coliformes termotolerantes e a temperatura ($r=0,584$).

Essas concentrações são indicativas de aporte direto de material de origem fecal nos corpos d'água avaliados e/ou associados ao extravasamento de fossas sépticas mal instaladas ou sem manutenção das moradias circunvizinhas aos cursos d'água.

Vale ressaltar que não foi obedecida a frequência de coleta estabelecida pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005), em seu Art. 14, inciso I, alínea g, que recomenda amostragem bimestral, no entanto; fica evidente a necessidade da adoção de medidas de saneamento e tratamento da água, principalmente se houver utilização para consumo humano.

Os resultados do IQA nos igarapés Rabo de Porco e Precuá encontram-se sumariados na Tabela 2, com suas respectivas classificações por

categorias. Ao longo do período amostral, o IQA dos pontos monitorados variou entre 34,94 e 60,76 no Precuá e de 41,59 a 63,02 no Rabo de Porco, enquadrando os igarapés entre as categorias “ruim” e “boa”.

Ressalta-se que os valores médios do IQA obtidos nos sistemas aquáticos investigados caracterizaram a qualidade das águas frequentemente como “regular” ($37 \leq IQA \leq 51$), confirmando o enquadramento fundamentado pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005), o qual recai principalmente na classe 3, seguida da classe 2.

Em conjunto, os corpos d'água apresentaram melhor qualidade nos meses de junho e agosto, com os menores níveis de NT e PT, contribuindo positivamente para a “boa” qualidade água, apesar de os números de coliformes terem sido altos. Destaca-se que esses 2 nutrientes respondem por 20% do peso para cálculo do IQA, e o coliforme, por apenas 15%, sendo que a melhor qualidade notada, com IQA de 63,02, ocorreu no Rabo de Porco a montante.

Por outro lado, os dados mostraram que os índices mais restritivos de qualidade nos corpos d'água monitorados ocorreram em maio e julho, em resposta ao período de maior precipitação, com níveis d'água dos igarapés mais elevados; com isso, verificou-se significativo aumento da DBO e redução do OD, com peso de 17% no IQA, sendo que a precipitação influencia diretamente o aumento do escoamento superficial do solo, resultando em menores índices e pior classificação da qualidade da água.

O igarapé com pior qualidade média foi o Precuá (46,66), principalmente devido aos baixos valores do IQA no período chuvoso, influenciados especialmente pelos baixos valores de pH e OD, além das elevadas concentrações de DBO, PT e NT. No Rio Arari (Ilha do Marajó), Alves *et al.* (2012) encontraram qualidade da água “ruim” no período chuvoso, enquanto no período menos chuvoso a qualidade melhorou. No Precuá, foi possível observar uma maior variabilidade dos índices, principalmente no ponto a montante, e diferenças insignificantes, pelo teste *t* de Student, entre os pontos a montante e a jusante e entre os igarapés.

Assim, o IQA correlacionou-se positivamente com pH ($r=0,642$) e com OD ($r=0,469$), e inversamente com a DBO ($r=-0,522$), o NT ($r=-0,598$) e o PT ($r=-0,646$), como pode-se observar na Figura 11. De modo geral, observam-se, de acordo com Dancey & Reidy (2006), correlações moderadas ($r=0,4$ até $0,6$) a fortes ($r=0,7$ até $1,0$) entre as variáveis estudadas.

A aplicação do teste *t* de Student revelou que apenas as variáveis ST e turbidez apresentaram diferença altamente significativa na variação espaçotemporal no igarapé Precuá, sendo que essa diferença evidencia alterações nas suas condições ambientais, devido ao aporte de partículas e sólidos provenientes da atividade de terraplenagem para implantação da Refinaria Premium I, etapa atualmente em execução. As variáveis com correlações mais significativas sobre as demais foram o PT e o pH, destacando, assim,

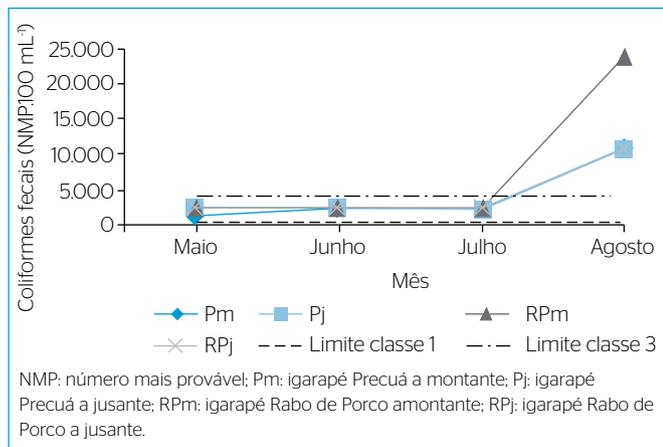


Figura 10 - Número mais provável de coliformes fecais nos igarapés do Precuá e Rabo de Porco, monitorados no período de maio a agosto de 2011, na área da Refinaria Premium I, em Bacabeira, Maranhão.

Tabela 2 - Valores do índice de qualidade da água nos igarapés Precuá e Rabo de Porco, monitorados no período de maio a agosto de 2011, na área da Refinaria Premium I, em Bacabeira, Maranhão.

Período	Pm	Pj	Média (P)	RPm	RPj	Média (RP)
Maio	38,78	34,94	36,86	42,90	41,59	42,25
Junho	60,76	44,71	52,74	63,02	48,51	55,77
Julho	47,13	45,93	46,53	46,94	41,97	44,46
Agosto	59,34	41,72	50,53	42,37	56,39	49,38
Média	51,50	41,83	46,66	48,81	47,12	47,96
Máxima	60,76	45,93	52,74	63,02	56,39	55,77
Mínima	38,78	34,94	36,86	42,37	41,59	42,25

Pm: igarapé Precuá a montante; Pj: igarapé Precuá a jusante; P: Precuá; RPm: igarapé Rabo de Porco a montante; RPj: igarapé Rabo de Porco a jusante; RP: Rabo de Porco; fundo branco: qualidade boa; fundo cinza: qualidade regular; fundo cinza claro: qualidade ruim.

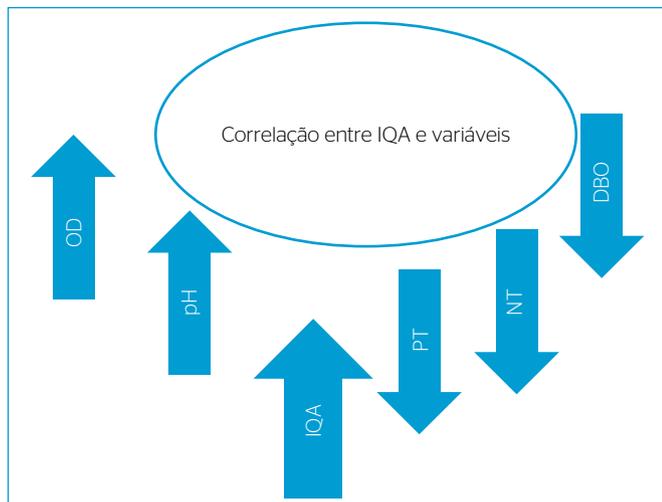


Figura 11 – Correlação das variáveis analisadas com a classificação do índice de qualidade da água. Setas direcionadas para cima indicam correlação positivas e setas para baixo indicam correlação negativa em relação às variáveis.

seus papéis relevantes para a classificação da qualidade dos corpos hídricos investigados.

CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que, em geral, os igarapés Rabo de Porco e Precuá estão sofrendo impacto antrópico em sua qualidade devido ao aporte de esgotos domésticos e partículas geradas pela atividade de terraplenagem para implantação da refinaria, com maior frequência de enquadramento das águas na classe 3, seguida da classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005.

O IQA determinado apresentou valores médios que caracterizaram a qualidade dos corpos d'água estudados, na maior parte da malha amostral, como "regular" ($37 \leq \text{IQA} \leq 51$), guardando coerência com o enquadramento efetuado segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005.

As informações levantadas sinalizam, no momento atual, reduzida interferência na qualidade dos igarapés Rabo de Porco e Precuá decorrente da implantação da planta de refino de petróleo, sendo necessária a continuidade do monitoramento a fim de que os dados gerados possam se constituir em base importante para a avaliação de mudanças nas características e na qualidade dos corpos d'água estudados.

REFERÊNCIAS

ALVES, I.C.C.; SANTOS, M.L.S.; SODRÉ, S.S.; MIRANDA, M.V.T.; QUEIROZ JUNIOR, A. J.; PEREIRA, J.A.R. (2007) Estudo de parâmetros abióticos no Lago Água Preta (Belém/PA). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE LIMNOLOGIA, 11. Macaé: NUPEM. CD-ROM.

ALVES, I.C.; EI-ROBRINI M.; SANTOS M.L.S.; MONTEIRO, S.M.; BARBOSA, L.P.F.; GUIMARÃES, J.T.F. (2012) Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do Rio Arari (Ilha de Marajó, norte do Brasil). *Acta Amazônica*, v. 42, n. 1, p. 115-124.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. (2005) *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21th ed. Washington: APHA.

BRASIL. (2001) *Programa Nacional do Meio Ambiente - PNMA II*. Índice e indicadores de qualidade da água: revisão da literatura. Recife: Ministério do Meio Ambiente.

BRASIL. (2005) *Resolução nº 357*, de 17 de março de 2005. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). 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. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Seção 1, p. 58-63.

BRITO, M.C.A. (1997) *Qualidade ambiental de corpos d'água superficiais da ilha de São Luís, Alcântara e Rosário*. Monografia

(Curso de Ciências Biológicas) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís.

CALIJURI, M.C. (1998) *Respostas fisioecológicas da comunidade fitoplanctônica e fatores ecológicos em ecossistemas com diferentes estágios de eutrofização*. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. (2006) *Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo*. São Paulo: CETESB. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/32/2013/11/variaveis.pdf>>. Acesso em: 04 ago. 2016.

CUNHA, H.W.A.P. & SILVA, A.C. (2002) Caracterização sócio-ambiental do Rio Mearim na cidade de Arari-MA. *Revista Ecosistema*, v. 27, n. 1-2, p. 31-36.

DANCEY, C. & REIDY, J. (2006) *Estatística sem matemática para psicologia: usando SPSS para Windows*. Porto Alegre: Artmed. 608 p.

DONADIO, N.M.M.; GALBIATTI, J.A.; PAULA, R.C. (2005) Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do Córrego Rico, São Paulo, Brasil. *Revista Engenharia Agrícola*, v. 25, n. 1, p. 115-125.

ESTEVES, F.A. (1998) *Fundamentos de limnologia*. Rio de Janeiro: Interciência/Finep. 602 p.

KRUPEK, R.A.; BRANCO, C.C.Z.; PERES, C.K. (2010) Variação sazonal das variáveis físicas e químicas em riachos de duas bacias da região centro-sul do estado do Paraná, sul do Brasil. *Ambiência*, v. 6, n. 2, p. 297-310.

LIMA, J.B.A.; COSTA, R.L.X.G.; SOARES, L.P.C. (2007) Avaliação do Índice de Qualidade da Água (IQA) nos reservatórios com capacidade de acumulação de água acima de 5 milhões de metros cúbicos, monitorados pelo IGAM na Bacia Hidrográfica Apodf-Mossoró/RN. In: *VIII Congresso de Ecologia do Brasil*. Caxambu: SEB.

MORAES, J.F. (2001) Estudo de condições químicas e físicas de pequenos cursos d'água das bacias dos rios Tocantins e Gurupi, (MA): uma visão espaço-temporal. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís.

TOLEDO, L.G. & NICOLELLA, G. (2004) Índice de qualidade da água em microbacia sob uso agrícola e urbano. *Scientia Agricola*, v. 59, n. 1, p. 181-186.

TUNDISI, J.C.; BICUDO, C.E.M.; MATSUMURA-TUNDISI, T. (1995) *Limnology in Brazil*. São Paulo: Brazilian Academy of Sciences. 376 p.

TUNDISI, J.G.; MATSUMARA-TUNDISI, T.; ROCHA, O. (1999) Ecossistemas de águas interiores. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA JÚNIOR, B.P.F.; TUNDISI, J.G. (Org). *Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. São Paulo: Escrituras. Cap. 5, p. 153-194.

UFMA/FSADU - UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO/ FUNDAÇÃO SOUSÂNDRADE DE APOIO E DESENVOLVIMENTO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO. (2011) *Caracterização dos Riachos Rabo de Porco e Precuá, localizados na área da Refinaria PREMIUM I Bacabeira- MA*.

UFMA/FSADU - UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO/ FUNDAÇÃO SOUSÂNDRADE DE APOIO E DESENVOLVIMENTO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO (2009) *Estudo de impacto ambiental da Refinaria Premium I, Bacabeira (MA)*. Vol. I. 229 p.

VON SPERLING, M. (1995) *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. 240 p.