

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO  
ENGENHARIA DE PROCESSOS**

**CARACTERIZAÇÃO DE CARGA POLUENTE NA LAGOA DA  
FRANCESA NO MUNICÍPIO DE PARINTINS/AM**

Autora: Solenise Pinto Rodrigues Kimura  
Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Meuris Gurgel Carlos da Silva

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Química como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Campinas – São Paulo  
Maio 2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE -  
UNICAMP

K572c Kimura, Solenise Pinto Rodrigues  
Caracterização de carga poluente na lagoa da  
Francesa no município de Parintins/AM / Solenise  
Pinto Rodrigues Kimura. --Campinas, SP: [s.n.],  
2011.

Orientador: Meuris Gurgel Carlos da Silva.  
Dissertação de Mestrado - Universidade  
Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia  
Química.

1. Água - Qualidade. 2. Sazonalidade. 3.  
Amazônia. I. Silva, Meuris Gurgel Carlos da. II.  
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de  
Engenharia Química. III. Título.

Título em Inglês: Characterization of pollutant load in the pond in the  
Francesa city of Parintins

Palavras-chave em Inglês: Water quality, Seasonality, Amazon

Área de concentração: Engenharia de Processos

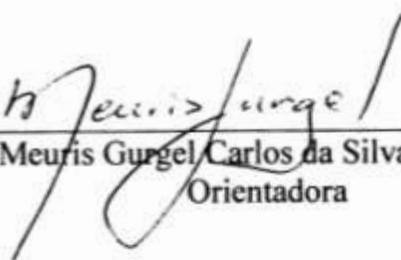
Titulação: Mestre em Engenharia Química

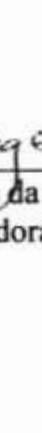
Banca examinadora: Domitila Pascoaloto, Roberta Ceriani

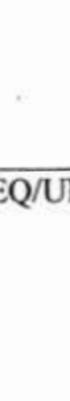
Data da defesa: 27.05.2011

Programa de Pós Graduação: Engenharia Química

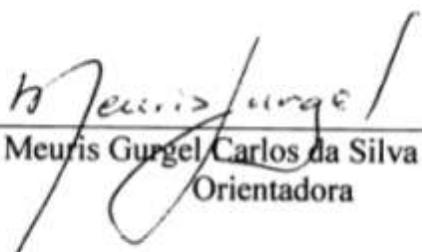
Dissertação de Mestrado defendida por Solenise Pinto Rodrigues Kimura e aprovada em 27 de maio de 2011 pela banca examinadora constituída pelos doutores:

  
Profª Drª. Meuris Gurgel/Carlos da Silva – FEQ/UNICAMP  
Orientadora

  
Profª Drª. Domitila Pascoaloto – INPA/AM

  
Profª Drª. Roberta Ceriani - FEQ/UNICAMP

Esse exemplar corresponde à versão final da Dissertação de Mestrado em Engenharia Química defendida por Solenise Pinto Rodrigues Kimura em 27 de maio de 2011.

  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Meuris Gurgel Carlos da Silva – FEQ/UNICAMP  
Orientadora

*Dedico ao meu pai **João Vieira Rodrigues**,  
por todos seus ensinamentos enquanto em vida.  
... onde estás, sempre me guie pelo melhor caminho que julgares.*

## AGRADECIMENTOS

Todo o feito alcançado neste trabalho são devido à pessoas que a seu modo contribuíram de forma significativa, a quem agradeço humildemente.

À Deus, pelo dom da vida e pela proteção.

À Prof<sup>a</sup>. Dra. Meuris Gurgel, que na condição de orientadora acreditou na idéia inicial da pesquisa, agradeço a oportunidade, o incentivo e todos os conhecimentos gerados neste trabalho.

Aos professores da FEQ/Unicamp que fizeram parte do programa MINTER e DINTER - UEA/UNICAMP, por acreditarem no projeto deslocaram-se até a Amazônia para que pudéssemos cumprir parte das disciplinas necessárias. De modo particular aos professores Everson Miranda e Maria Alvina Krähenbühl, pela atenção com a qual receberam os alunos em Campinas-SP.

À Prof<sup>a</sup>. Dra. Liliane Ferrareso Lona – FEQ/Unicamp, pela iniciativa do programa Minter e Dinter, e demais funcionários da CPG pelas orientações, acompanhamento e total apoio prestado aos alunos.

Ao Prof. Dr. Alberto Marques coordenador e grande incentivador do programa Minter e Dinter na Universidade do Estado do Amazonas – Manaus, agradeço a oportunidade única.

À Prof<sup>a</sup>. Dra. Milade Carneiro da Universidade do Estado do Amazonas - Parintins, pelo constante incentivo e carinho.

À toda minha família, que desempenhou papel importante, incentivou e amparou quando precisei. Em especial à minha mãe Valcira pelo carinho e por suas orações. À todos os meus sobrinhos(as), irmãs(ãos) e cunhados(as) que na minha ausência preencheram de carinho o vazio junto ao meu esposo Luiz Alberto, pessoa de grande

importância em minha vida, à você meu eterno amor. À Lucilene e Lucinete Kimura agradeço o apoio e acolhida quando necessitei. Ao Élcio Farias pelas fotos da lagoa. Ao meu primo Rogério Bulcão e Tigrão pelo suporte na coleta das amostras de água.

Aos colegas do Minter e Dinter, agradeço a amizade e os momentos de descontração nas horas precisas.

À equipe do Laboratório de Engenharia Ambiental – LEA, de modo particular ao Ambrósio, grande amigo, companheiro e forte incentivador neste trabalho.

Aos demais amigos que foram conquistados nesse período de trabalho, agradeço a amizade e companheirismo de todos. De forma carinhosa ao Marcos, pessoa única!

À Fundação de Amparo a Pesquisa no Estado do Amazonas – FAPPEAM e a Fundação de Apoio Institucional - MURAKI pelo apoio financeiro.

E todos que contribuíram para a concretização deste trabalho, meus sinceros e humildes agradecimentos.

## RESUMO

Os recursos hídricos são sistemas dinâmicos que fazem parte do ciclo de sobrevivência de todos os seres vivos, sua conservação se faz necessária através do controle de qualidade de suas águas. A lagoa da Francesa, localizada na cidade de Parintins/Am, recebe resíduos domésticos e industriais, cuja composição variada vem modificando as características naturais de suas águas. O local de estudo apresenta naturalmente variação no volume de água em determinados períodos do ano. Este trabalho teve como objetivo identificar e analisar o efeito de fontes antropogênicas e naturais de poluentes, comparando os principais parâmetros de qualidade da água aos limites legais ambientais. Foram realizadas coletas de água em quatro pontos distintos na extensão da lagoa nos meses de fevereiro e junho de 2010, período compreendido entre o nível baixo e alto de água da lagoa respectivamente (período de sazonalidade que é influenciado pelo regime hidrológico do rio Amazonas) e analisados os parâmetros: cor verdadeira, turbidez, pH, alcalinidade, dureza, salinidade, DBO (Demanda Bioquímica do Oxigênio), DQO (Demanda Química de Oxigênio), OD (Oxigênio dissolvido), metais pesados (Cd, Pb, Cu, Ni, Zn e Cr), carga orgânica (BTEX) e coliformes fecais. Os valores obtidos nos dois períodos foram comparados com intuito de identificar e avaliar as variáveis que afetam a qualidade da água, considerando a variação na água da lagoa, tendo como padrão de referência os valores legais estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 para águas de classe 3. Os parâmetros alcalinidade, turbidez, cor, dureza e salinidade apresentaram redução no mês de junho, o que pode ser atribuído ao maior volume de água nesse período do ano. O pH apresentou tendência a neutralidade em ambos os períodos, demonstrando que os efluentes não interferem nesse parâmetro. Os valores da DBO nos dois períodos analisados mantiveram-se dentro das exigências legais. O OD apresentou valores menores no período de maior volume de água (junho), indicando a presença de possíveis espécies pouco biodegradáveis. Os metais pesados apresentaram variações em suas concentrações entre os períodos. O Cd manteve-se acima dos limites legais nos dois períodos de coleta. O Pb e o Cu apresentaram redução no mês de junho. A maior concentração para o Ni foi no mês de junho. O Zn ficou abaixo dos limites legais e não foi encontrado a presença de Cr em ambas as amostragens. Os valores da DQO apresentaram maiores valores no período de nível elevado da água. Coliformes fecais foi o parâmetro que indicou maior alteração na qualidade da água, devido a presença dos efluentes domésticos e das embarcações que são lançados na lagoa, sem o devido tratamento. Não foram encontradas presença dos compostos BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno) nas análises efetuadas em ambos os períodos. O estudo mostrou que, apesar da contribuição antrópica, a lagoa mantém, ainda, sua capacidade de diluir para a maioria dos constituintes poluentes, principalmente no período de maior volume de água (enchente). Porém, pode-se verificar a necessidade de adoção de medidas preventivas em curto prazo, em função do possível crescimento populacional e suas demandas por produtos e serviços associados.

**Palavras-chave:** qualidade da água, sazonalidade, Amazônia.

## ABSTRACT

Water resources are dynamic systems that are part of the cycle of survival of all living beings, their preservation is required by the quality control of its waters. The lake of the Francesa, located in the city of Parintins / Am receives domestic and industrial waste, whose composition is varied by changing the natural characteristics of its waters. The study site has naturally change in volume of water at certain times of year. This study aimed to identify and analyze the effect of natural and anthropogenic sources of pollutants by comparing the main parameters of water quality environmental legal limits. Water samples were collected at four different points in the extension of the pond in February and June 2010, the period between the low and high level of lake water respectively (period of seasonality is influenced by the hydrological regime of the Amazon River) and analyzed parameters: true color, turbidity, pH, alkalinity, hardness, salinity, BOD (Biochemical Oxygen Demand), COD (Chemical Oxygen Demand), DO (dissolved oxygen), heavy metals (Cd, Pb, Cu, Ni, Zn and Cr), organic load (BTEX) and fecal coliforms. The values obtained in the two periods were compared in order to identify and evaluate the variables that affect water quality, considering the variation in pond water, with the benchmark established by the legal values for water CONAMA Resolution 357/05 class 3. The parameters alkalinity, turbidity, color, hardness and salinity showed a reduction in June, which can be attributed to the greater volume of water this time of year. The pH tended to neutrality in both periods, demonstrating that the effluent does not affect this parameter. The values of BOD in both periods analyzed remained within the legal requirements. The OD values were lower in the period of greatest volume of water (in June), indicating the possible presence of poorly biodegradable. Heavy metals showed variations in their concentrations between the periods. The CD remained above the legal limit in the two collection periods. The Pb and Cu showed a reduction in the month of June. The highest concentration for Ni was in the month of June. Zinc was below the legal limits and not found the presence of Cr in both samples. The values of COD had higher values in the period of high water. Fecal coliform was the parameter that indicated a greater change in water quality due to the presence of domestic sewage and boats that are launched in the pond, without proper treatment. There were no presence of BTEX compounds (benzene, toluene, ethylbenzene and xylene) in the analysis made in both periods. The study showed that despite the anthropogenic contribution, the lake also maintains its ability to dilute constituents for most pollutants, especially during the higher volume of water (flood). However, we can see the need for adopting preventive measures in the short term, because of the potential population growth and their demand for products and related services.

**Keywords:** water quality, seasonality, Amazon.

## SUMÁRIO

Lista de Figuras .....	xiii
Lista de Tabelas .....	xvi
Nomenclaturas .....	xviii
<b>Capítulo 1 - Introdução e Objetivos.....</b>	<b>01</b>
1.1 Objetivo geral .....	02
1.2 Objetivos específicos .....	02
<b>Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica .....</b>	<b>04</b>
2.1 Meio ambiente – segmento água .....	04
2.1.1 Distribuição da água no planeta .....	05
2.1.2 Distribuição da água no Brasil .....	06
2.1.3 A bacia Amazônica .....	07
2.1.4 Classificação das águas superficiais da Amazônia .....	08
2.1.5 Os sistemas hidrológicos da Amazônia .....	10
2.1.6 Discriminação do local de estudo: Lagoa da Francesa .....	10
2.2 A ação antrópica na água – Impurezas .....	12
2.3 Os problemas de contaminação da água e suas conseqüências .....	14

2.4 Parâmetros de qualidade da água .....	16
2.4.1 Parâmetros físicos da água .....	17
2.4.2 Parâmetros físico-químicos da água .....	18
2.4.3 Parâmetros biológicos da água .....	30
2.5 Padrões de qualidade da água .....	30
<b>Capítulo 3 - Materiais e Métodos</b> .....	<b>33</b>
3.1 Caracterização da área de estudo.....	33
3.2 Localização dos pontos de amostragem na Lagoa da Francesa .....	34
3.2.1 Efeitos das fontes de lançamentos de efluentes na lagoa .....	35
3.3 Coleta de material .....	36
3.4 Caracterização da água .....	36
3.4.1 Determinação de cor.....	38
3.4.2 Determinação de turbidez .....	39
3.4.3 Análise do pH e determinação de alcalinidade .....	40
3.4.4 Determinação da Dureza .....	41
3.4.5 Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio e Oxigênio Dissolvido .....	41
3.4.6 Determinação de carga orgânica - BTEX .....	41
3.4.7 Determinação de metais pesados .....	42
3.4.8 Determinação da salinidade .....	42
3.4.9 Determinação de coliforme fecais .....	42
3.5 Teste de precipitação dos metais .....	42
<b>Capítulo 4 - Resultados e Discussões</b> .....	<b>43</b>

4.1 Parâmetros de qualidade da Água .....	43
4.1.1 Cor e Turbidez .....	43
4.1.2 pH e Alcalinidade .....	46
4.1.3 Dureza e Salinidade.....	48
4.1.4 Oxigênio: Demanda Bioquímica (DBO), Química (DQO) e dissolvido (OD) .....	51
4.1.5 Metais pesados .....	53
4.1.6 Carga orgânica – BTEX .....	61
4.1.7 Coliformes fecais .....	61
<b>Capítulo 5 - Conclusões e Sugestões .....</b>	<b>65</b>
5.1 Conclusões .....	65
5.2 Sugestões .....	67
Referências Bibliográficas .....	68
Apêndice .....	75

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Distribuição da água no planeta.....	05
Figura 2.2 – Distribuição da água doce no planeta .....	06
Figura 2.3 – Distribuição dos recursos hídricos superficiais e da população por região no Brasil .....	07
Figura 2.4 – Lagoa da Francesa no período de águas baixas/seca .....	11
Figura 2.5 – Lagoa da Francesa no período de seca (fevereiro) e cheia (junho) .....	11
Figura 3.1 – Localização das possíveis cargas poluentes e pontos de coleta na Lagoa da Francesa.....	34
Figura 4.1 – Distribuição de cor da água Lagoa nos meses de fevereiro e junho de 2010 .....	44
Figura 4.2 – Distribuição de turbidez da água Lagoa nos meses de fevereiro e junho de 2010.....	45
Figura 4.3 – Distribuição do pH da água na Lagoa nos meses de fevereiro e junho de 2010 .....	47
Figura 4.4 – Distribuição da alcalinidade na água da Lagoa nos meses de fevereiro e junho de 2010 .....	48

Figura 4.5 – Distribuição da dureza na água da Lagoa nos meses de fevereiro e junho de 2010 .....	49
Figura 4.6 – Distribuição da salinidade na água da Lagoa nos meses de fevereiro e junho de 2010 .....	50
Figura 4.7 – Distribuição do oxigênio dissolvido na água da Lagoa nos meses de fevereiro e junho de 2010 .....	51
Figura 4.8 – Distribuição da DQO na água da Lagoa nos meses de fevereiro e junho de 2010 .....	53
Figura 4.9 – Resultado do teste de precipitação do chumbo no ponto de coleta 1...	56
Figura 4.10 – Resultado do teste de precipitação do chumbo no ponto de coleta 2.....	57
Figura 4.11 – Resultado do teste de precipitação do chumbo no ponto de coleta 3.....	57
Figura 4.12 – Resultado do teste de precipitação do chumbo no ponto de coleta 4.....	58
Figura 4.13 – Resultado do teste de precipitação do cobre no ponto de coleta 1 .....	59
Figura 4.14 – Resultado do teste de precipitação do cobre no ponto de coleta 2 .....	59
Figura 4.15 – Resultado do teste de precipitação do cobre no ponto de coleta 3 .....	60
Figura 4.16 – Resultado do teste de precipitação do cobre no ponto de coleta 4 .....	60

Figura 4.17 – Distribuição de coliformes fecais na Lagoa no mês de junho de 2010.....	62
---	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Tipos de poluentes e as suas principais fontes .....	13
Tabela 2.2 – Descrição das características da água .....	15
Tabela 2.3 – Metais pesados empregados na maior parte das indústrias .....	21
Tabela 2.4 – Classificação dos recursos hídricos – Águas doces .....	32
Tabela 3.1 – Descrição e localização dos pontos de amostragem da lagoa da Francesa.....	35
Tabela 3.2 – Dados de condições padrão da Resolução CONAMA 357/05 .....	37
Tabela 3.3 – Condições de preparação dos padrões para determinação de cor .....	38
Tabela 3.4 – Condições de preparação dos padrões para determinação da turbidez.....	40
Tabela 4.1 – Classificação das águas de consumo quanto à dureza (CaCO <sub>3</sub> ) e Qualidade.....	50
Tabela 4.2 – Concentração dos metais pesados na água da lagoa nos meses de Fevereiro e junho .....	54
Tabela 4.3 – Resultado dos parâmetros analisados da água da Lagoa da francesa nos meses de fevereiro e junho de 2010 .....	63

Tabela 4.4 – Resultado dos metais pesados na água da Lagoa da Francesa nos meses de fevereiro e junho de 2010.....	64
--	----

## **NOMENCLATURAS e SIGLAS**

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

ONU – Organização das Nações Unidas

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

DNAEE – Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

OD – Oxigênio Dissolvido

IARC - Agência Internacional para Pesquisa do Câncer

BTEX - Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno

OMS - Organização Mundial de Saúde

## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUÇÃO e OBJETIVOS**

A água é um elemento essencial à vida dos seres vivos, é necessária para a maioria das atividades humanas e compõe ainda, os cenários de belezas naturais. É um recurso renovável, por meio do ciclo hidrológico, porém, observa-se que o aumento populacional acarreta uma intensa degradação na qualidade das águas em grande parte do nosso planeta, tanto na superfície como na região subterrânea. Parte desses recursos hídricos está comprometida quanto à sua potabilidade e/ou classe de utilização. Com isso, estudos são necessários para ampliar conhecimentos sobre a qualidade destes recursos hídricos, assim como as possíveis interferências antrópicas a esses ecossistemas aquáticos, e formas de manejo que contribuam para a sua preservação.

O aumento das atividades industriais vem intensificando a poluição ambiental, deteriorando o ecossistema aquático em função dos efluentes lançados sem o devido tratamento, bem como a utilização de uma quantidade de água em determinados setores industriais. Como resultado, a água usada para esse fim se contamina com resíduos tóxicos, tais como metais pesados e restos de materiais orgânicos em decomposição. A ausência de tratamento dos efluentes gera problemas no lançamento dos cursos d'água, que, podem afetar a fauna. Além disso, pode contaminar o solo e principalmente a água, alterando suas propriedades físicas, químicas e/ou biológicas, comprometendo a sua qualidade e tornando-a imprópria para consumo humano e para a vida aquática.

Os rios e lagos naturalmente têm capacidade de dissolução da matéria orgânica, porém é limitada em função da quantidade e qualidade de água existente para

dissolver, diluir e transportar as substâncias para os seres que compõem as cadeias alimentares.

O aumento significativo da demanda de água e do volume de águas residuárias geradas mundialmente vem exigindo alternativas tanto para a redução como para a disposição final deste volume. Apesar dos investimentos empresariais, das novas leis sancionadas, da conscientização dos países que firmam os acordos internacionais, a realidade quanto aos problemas ambientais ainda é grande e está longe de serem solucionadas.

O Brasil é o país mais rico do mundo em recursos hídricos. Tem em seu território 12 % da água doce disponível do planeta, e concentra 70 % dessa água doce está na maior bacia hidrográfica do planeta (Bacia Amazônica), localizada na região Amazônica.

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo identificar os principais componentes da carga poluidora da Lagoa da Francesa localizada no município de Parintins (Região Amazônica), considerando a caracterização das águas de acordo com limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 para águas de classe 3, avaliando a degradação ambiental das águas superficiais da lagoa. Com os dados obtidos, pretende-se fornecer informações que contribuam para escolha e elaboração futura de um processo de remediação ou minimização de agentes poluentes de maior relevância.

### **1.1 Objetivo Geral**

O objetivo deste trabalho foi localizar, identificar e analisar os principais componentes da carga poluidora da lagoa da Francesa no município de Parintins na região Amazônica, visando contribuir para a definição e avaliação de processos de tratamentos para mitigação de questões ambientais críticas.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Realizar o estudo da área de influência da lagoa da Francesa em Parintins-AM identificando as possíveis fontes poluidoras e suas descargas poluentes.

- Analisar os parâmetros físicos, químicos e biológicos de relevância ambiental para determinar os principais poluentes presentes, comparando-os aos limites legais e auxiliar na indicação de processo de tratamento mais adequado.

---

## CAPÍTULO 2

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1 Meio ambiente – segmento água

Os problemas ambientais são geralmente consequência da atividade humana. Pode ser causado pela introdução de substâncias ou alterações de condições, que normalmente não fazem parte daquele ambiente ou que nele existem em pequenas quantidades.

Segundo Taralli (2002), são quatro os principais tipos de fatores que causam problemas ambientais de dimensões globais:

- A destruição natural do ambiente, que tem como consequência a perda da biodiversidade.
- A emissão de gases que vem contribuindo para o efeito estufa, provocando o aquecimento global.
- A emissão de gases que causam a destruição da camada de ozônio.
- O aumento da poluição das águas e do solo como consequência da ação antrópica.

Diante dessas problemáticas ambientais, se destaca o último fator pelo grande volume da água, a difícil acessibilidade e potabilidade em nosso planeta, não desconsiderando a relevância dos demais. Partindo deste contexto, faz-se necessário um estudo sobre a água e os resíduos gerados pelo homem que podem contaminar esse meio e gerar um desequilíbrio ambiental.

Segundo a Declaração Universal dos Direitos da Água, documento redigido pela Organização das Nações Unidas – ONU em 22 de março de 1992, a água faz parte do patrimônio do planeta. Cada continente, cada povo, cada nação, cada região, cada cidade, cada cidadão é plenamente responsável aos olhos de todos.

### 2.1.1 Distribuição da água no planeta

A água ocupa aproximadamente 70 % da superfície do planeta, contudo a maior parte desta água não pode ser utilizada diretamente pela população. Conforme Tundisi (2003), cerca de 97,5 % de água é salgada e apenas 2,5 % é doce (Figura 2.1), sendo que 68,9 % da água doce não pode ser utilizada, pois, encontra-se nas geleiras, calotas polares ou em regiões montanhosas, 29,9 % são águas subterrâneas, 0,9 % compõe a umidade do solo e dos pântanos e apenas 0,3 % constitui a porção superficial de água doce presente em rios e lagos (Figura 2.2). Portanto, apenas uma pequena percentagem da água doce está disponível e de fácil acesso ao homem, embora nem toda ela seja utilizável.

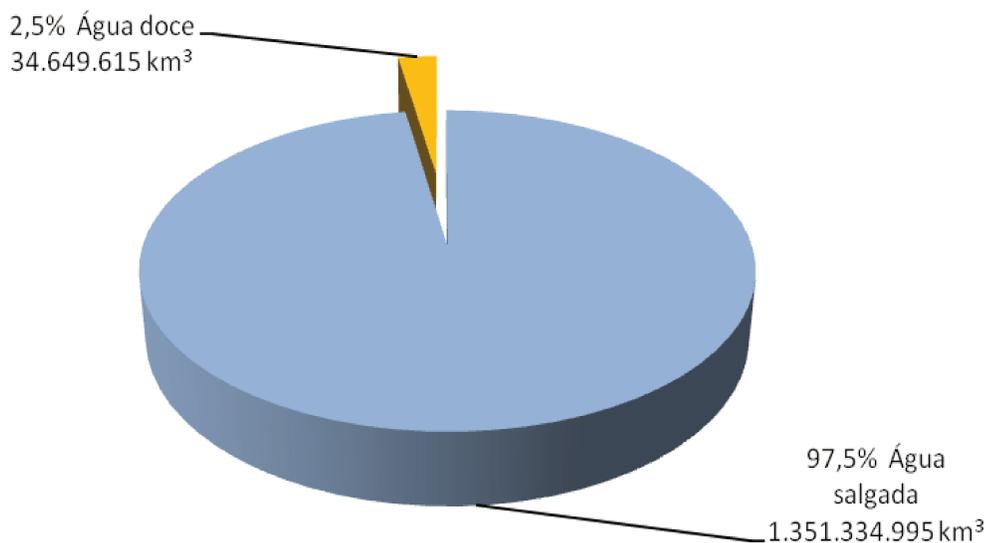


Figura 2.1 - Distribuição da água no planeta – Fonte: adaptado de Shiklomanov 1998, citado por Tundisi (2003).

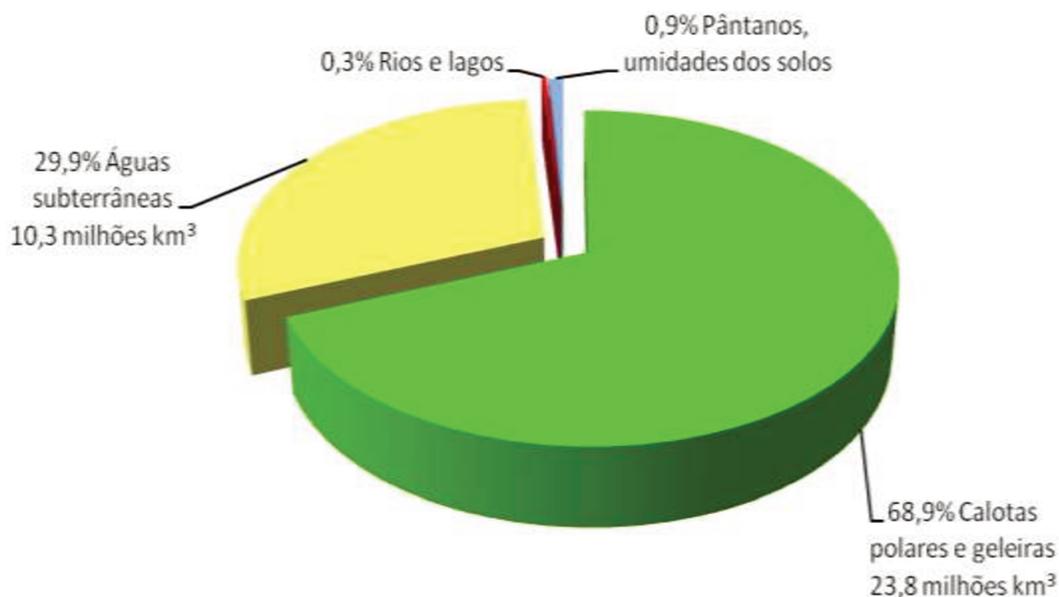


Figura 2.2 Distribuição da água doce no planeta – Fonte: adaptado de Shiklomanov 1998, citado por Tundisi (2003)

### 2.1.2 Distribuição da água no Brasil

O Brasil tem uma área de 8.511.965 km<sup>2</sup> e, aproximadamente, 90 % do território apresenta clima tropical dominante e chuvas em abundância. Com isso, possui grandes reservas superficiais e subterrâneas de água doce, dispondo de 177.900 m<sup>3</sup>/s de descarga de água doce em seus rios, que, juntamente com a descarga dos rios amazônicos internacionais, que é de 73.100 m<sup>3</sup>, alcançam uma descarga total 251.000 m<sup>3</sup>/s, o que representa 75 % da produção de água doce do continente sul-americano (que é de 334.000 m<sup>3</sup>/s); e 12 % de água doce superficial do mundo, que é da ordem de 1.488.000 m<sup>3</sup>/s (REBOUÇAS et al., 2006).

É considerado o país mais rico em água potável, devido suas inúmeras reservas mundiais, o que o coloca em destaque no cenário mundial (MAIA NETO, 1997). Essa situação é desfavorecida pela enorme desigualdade regional que o Brasil apresenta na distribuição de seus recursos hídricos. A disponibilidade média é superior a 20.000 m<sup>3</sup>/hab/ano, porém a distribuição dessas águas não é homogênea.

De acordo com as informações disponibilizadas pelo IBGE (2010) e Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica - DNAEE citado em Tundisi (2003), verifica-se que a distribuição hídrica no Brasil ocorre de forma desigual nas regiões em

relação à densidade populacional (Figura 2.3). A região norte, com 69,2 % dos recursos hídricos, possui 8,3 % da população; a região sudeste, com 5,8 % dos recursos hídricos, possui 42,1 % da população, enquanto a região nordeste, com apenas 3,3 % dos recursos, tem 27,8 % da população e sofre sistematicamente com problemas de escassez de água. Essa desigualdade de distribuição tem causado sérias limitações para o desenvolvimento das regiões.

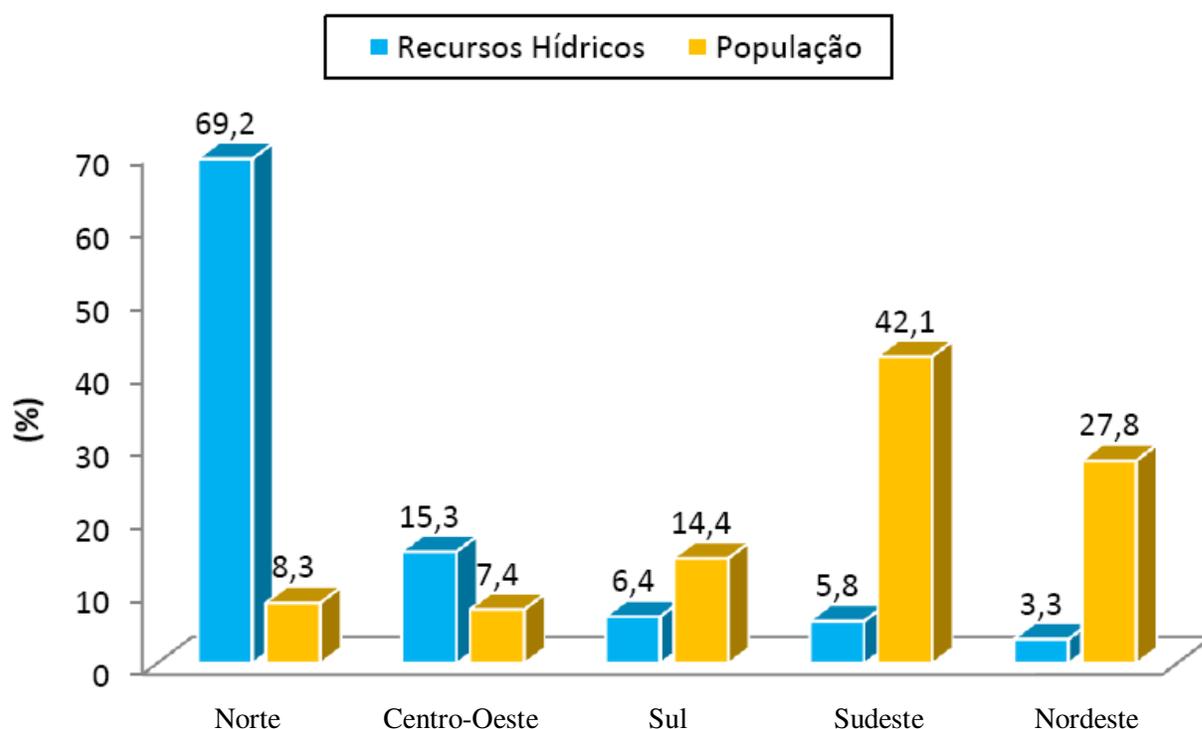


Figura 2.3 – Distribuição dos recursos hídricos superficiais e da população por região no Brasil – Fontes: IBGE (2010), DNAEE citado por Tundisi (2003).

### 2.1.3 A bacia Amazônica

A Amazônia, região na América do Sul, é definida pela maior bacia hidrográfica do mundo, a bacia Amazônica, que tem uma extensão de aproximadamente 6.112.000 km<sup>2</sup>, é coberta em grande parte por floresta tropical, possui relevo e clima contrastantes, tem uma precipitação média da ordem de 2.460 mm/ano com altas

variações durante o ano. Esta bacia é caracterizada pelo rio Amazonas, seus tributários e os lagos de várzea que interagem com os rios (CUNHA e PASCOALOTO, 2006).

Os rios dessa região apresentam variações periódicas em seu nível de água, com cheia e vazante que são fenômenos naturais e freqüentes, caracterizando uma função principal no sistema amazônico. O período de cheia perdura vários meses. Quando as águas baixam, ocorre uma redução dessa área inundada, permanecendo aproximadamente 20% da área aquática total. Surgem as áreas denominadas várzeas com apenas os lagos permanentes. As flutuações no nível da água são uma importante função de força que define o funcionamento ecológico, hidrológico, físico, químico e biológico do sistema (REBOUÇAS et al., 2006).

Esses rios e várzea do Amazonas formam um complexo de canais, rios, lagos, ilhas; depressões modificadas continuamente, devido a sedimentação e transporte dos sólidos em suspensão, que vão também influenciar na vegetação terrestre (CUNHA e PASCOALOTO, 2006).

Segundo Junk et al. (1989) apud Rebouças et al. (2006) várzeas são áreas periodicamente inundadas por fluxo lateral de rios em lagos ou por precipitação direta em água subterrânea. As várzeas são as áreas de maior fertilidade e são habitadas por 90 % da população rural do Amazonas.

As variações físico-químicas resultantes do fenômeno de cheias e vazantes periódicas na Amazônia, caracterizam na região um sistema singularmente distinto hidrológica e geologicamente.

Conforme Filizola et al. (2002), a bacia Amazônia compreende áreas que vão desde a Cordilheira dos Andes, com altitudes de até 6.000 metros, onde é possível se encontrar porções de clima quase polar com temperaturas chegando por vezes a -25°C; até a vasta planície fluvial (100-150 metros até o nível do mar), úmida e chuvosa, com temperaturas, em geral superiores a 25°C; passando pelos terrenos antigos dos escudos brasileiro e das guianas (de 100 até 3000 metros acima do nível do mar).

#### **2.1.4 Classificação das águas superficiais da Amazônia**

Pesquisadores pioneiros no estudo dos rios da Amazônia classificaram suas águas em três categorias: brancas, pretas e claras (SIOLI, 1984). Além da distinção na

sua coloração, as águas da bacia Amazônica apresentam diferentes características químicas, físicas e biológicas que, assim como a cor, estão associadas com as áreas de drenagem, atribuindo uma grande diversidade ambiental à região.

#### Águas brancas

São rios com aparência turva e ricos em materiais dissolvidos e suspensos provenientes dos Andes e da erosão dos sedimentos encontrados ao longo das bacias de drenagens (STALLARD e EDMOND, 1983), seu pH varia de 6,2 a 7,2 com quantidade de eletrólitos relativamente alta. Como exemplos desses rios citam-se o Solimões, Amazonas, Purus, Juruá e Madeira. De acordo com Santos e Ribeiro (1988), os rios de águas brancas (barrentas) formam várzeas que são áreas ricas em sais minerais, com lagos e extensos igapós que surgem no período em que a água inunda a mata ciliar.

#### Águas pretas

Os rios de águas pretas têm suas águas drenadas dos escudos das Guianas e Brasileiro; não possuem sedimentos em suspensão; sua cor resulta de substâncias orgânicas fúlvicas e húmicas dissolvida. São extremamente pobres de íons inorgânicos e ácidas com valores de pH abaixo de 4 (SIOLLI, 1975). Esses rios formam praias e não várzeas (SANTOS e RIBEIRO, 1988). O exemplo mais marcante é o rio Negro. A maioria dos igarapés que drenam a terra-firme da Amazônia Central são de águas pretas.

#### Águas claras

Rios de águas claras são oriundos da Amazônia Central que por apresentar um relevo mais regular tem uma taxa menor de erosão, tem pouca quantidade de material em suspensão o qual a torna transparente, sua composição química e pH variam em função do substrato geológico (4,5 a > 7,0). São representantes dessa classe os rios Tapajós, Trombetas, Xingu e o rio Curuá-Una. Além destes grandes rios, pequenos rios (igarapés) podem apresentar este tipo de água que predominam nas florestas de terra

firme e nos campos. Assim como os rios de água preta, eles não formam várzeas e sim praias, possuem poucos lagos e igapós (SANTOS e RIBEIRO, 1988).

O clima na Amazônia compreende um período de maior intensidade de chuva denominado de inverno que começa geralmente no mês de novembro e se estende até o mês de maio, e um período de menor intensidade de chuva (verão) que começa em junho e encerra em outubro. Essa sazonalidade na precipitação influencia o ciclo de cheias e vazantes dos grandes rios da região. De acordo com a afirmação de Santos e Ribeiro (1988), a esse ciclo de pluviosidade ambiental, atribuem a variação dos níveis dos principais rios da bacia Amazônica e seus afluentes.

### **2.1.5 Os sistemas hidrológicos da Amazônia**

Como consequência da sazonalidade da precipitação na região Amazônica, os grandes rios apresentam variação no nível de suas águas, com pulsos de inundação (enchentes e vazantes) que constitui o sistema amazônico. O período de inundação perdura por vários meses. Quando as águas baixam (vazantes), essas áreas inundadas reduzem-se a aproximadamente 20 % da área total da fase aquática, o que contribui com importantes implicações ecológicas. Siolli (1984) denominou de “aquatic landscape” o conjunto de áreas de transição entre os ambientes aquáticos e terra firme, que se formam em função da flutuação do nível dos corpos d’água.

As áreas alagáveis amazônicas estão associadas aos grandes rios. Essas áreas cobrem 6 % da Amazônia brasileira, o que corresponde a cerca de 300.000 km<sup>2</sup>. De acordo com sua fertilidade, são classificadas em várzeas (4 %) e igapós (2 %). As várzeas são habitadas por 90% da população rural do Amazonas (JUNK, 2000) e são as áreas de maior fertilidade. As áreas denominadas de igapós são predominantemente pobres em nutrientes inorgânicos, ricos em material orgânico dissolvido; suas águas são extremamente ácidas, com cor clara ou, mais freqüentemente, preta (SIOLI, 1975 e FURCH 2000).

### **2.1.6 Descrição do local de estudo - Lagoa da Francesa**

A lagoa da Francesa localizada no município de Parintins/Am, é abastecida diretamente pelo rio Amazonas. Assim como os outros rios, lagos, igarapés da região,

apresenta variação no nível de suas águas, fenômeno natural na região Amazônica, é caracterizada por dois períodos bem distintos ao longo do ano, águas altas (enchente/cheia) e águas baixas (vazante/seca). No período de água baixas, a lagoa desaparece por completo (Figura 2.3).

A Figura 2.5, mostra a lagoa nos períodos de coleta, baixo e alto nível de suas águas respectivamente. Na cheia, o fluxo de embarcações é intenso, pois esta lagoa serve de porto de embarque e desembarque para a população ribeirinha bem como, de abrigo para as embarcações.



Figura 2.4 – Lagoa da Francesa no período de águas baixas/seca.



Figura 2.5 – Lagoa da Francesa no período de seca(fevereiro) e cheia(junho).

## **2.2 A ação antrópica na água – Impurezas**

A água pode ser contaminada de diversas maneiras pelo homem, seja pela acumulação de lixos e detritos nos cursos de água, pelos esgotos domésticos lançados pelos centros urbanos direto nos rios, pelos resíduos tóxicos produzidos pelas indústrias, por produtos químicos que são utilizados na agricultura, ou ainda, por qualquer atividade indevida que tenham como destino final os recursos hídricos.

As características atribuídas as águas naturais de um rio são: límpidas; não apresentam cheiro nem sabor; não possui partículas em suspensão; tem coloração ligeiramente amarelada devido a húmus e a decomposição de substâncias e de folhagens do solo. Caso esse rio não receba efluentes domésticos e outros resíduos, contém bastante oxigênio dissolvido.

Segundo Bárbara (2006), poluição hídrica antrópica é a mudança na qualidade física, química, radiológica ou biológica da água, causada diretamente pelo homem ou por suas atividades, e que pode ser prejudicial ao uso presente, futuro ou potencial deste recurso natural.

De acordo com Cunha e Pascoaloto (2006), as diferentes características químicas, físicas e biológicas entre os tipos de rios amazônicos são de origem natural.

Devido às inúmeras atividades desenvolvidas pelo homem, as possíveis fontes de poluição hídrica são as mais variadas, dentre elas os lançamentos de esgotos domésticos e resíduos industriais são as principais. A Tabela 2.1 apresenta as principais fontes de poluição hídrica.

Segundo Cotta et al (2006), o crescimento industrial desordenado gera, como conseqüência, uma grande liberação de compostos indesejáveis ao meio ambiente, comprometendo a vida animal e vegetal.

Despejo de material orgânico biodegradável ocasiona alteração ambiental, principalmente a diminuição da concentração de oxigênio dissolvido na água. Já o impacto produzido pelos orgânicos não-biodegradáveis ou com biodegradação muito lenta, está associado à sua toxicidade e não ao consumo de oxigênio. Ex: defensivos agrícolas, detergentes sintéticos e petróleo.

Tabela 2.1 Tipos de poluentes e as suas principais fontes

TIPO DE POLUENTE	FONTES PONTUAIS		FONTES DIFUSAS	
	Esgoto doméstico	Esgoto industrial	Escoamento agrícola	Escoamento urbano
Material orgânico	X	X	X	X
Nutrientes	X	X	X	X
Organismos patogênicos	X	X	X	X
Sólidos suspensos	X	X	X	X
Sais		X	X	X
Metais tóxicos		X		X
Materiais orgânicos tóxicos		X	X	
Temperatura		X		

Fonte- Bárbara (2006)

Os nutrientes em excesso podem gerar o crescimento excessivo de algumas espécies aquáticas. Os principais nutrientes são o nitrogênio (N) e o fósforo (P) que estão associados ao fenômeno denominado eutrofização.

A água pode servir de veículo para a transmissão de grande número de doenças provocadas por organismos patogênicos, principalmente onde o saneamento básico é precário ou inexistente. Ex: bactérias (leptospirose), vírus (hepatite infecciosa), protozoários (amebíase), helmintos (esquistossomose).

Os sólidos suspensos aumentam a turbidez da água, diminuem sua transparência, reduzem as taxas de fotossíntese e, como consequência podem gerar desequilíbrios na cadeia alimentar.

Os metais podem ser solubilizados pela água, podendo gerar danos à saúde em função da quantidade ingerida, pela sua toxicidade, ou de seus potenciais carcinogênicos ou mutagênicos.

O descarte de grandes volumes de águas aquecidos em rios diminui a quantidade de oxigênio dissolvido e o tempo de vida de algumas espécies aquáticas mais sensíveis; altera o ciclo de reprodução; potencializa a ação nociva dos poluentes;

aumenta a velocidade de reação entre os poluentes presentes na água e aumenta a quantidade de CO<sub>2</sub> na atmosfera.

Esses danos gerados aos recursos hídricos têm consequências alastrantes, comprometendo toda a biota.

### **2.3 Os problemas de contaminação da água e suas consequências**

A matéria poluidora sofre naturalmente um processo de neutralização na água denominado autodepuração (que inclui, diluição, sedimentação, estabilização bioquímica). Quando lançada em excesso causa um desequilíbrio no ambiente aquático comprometendo a qualidade da água. Para que haja a decomposição da matéria orgânica, os microrganismos aeróbios utilizam o oxigênio dissolvido presente na água. Segundo Sperling (1996) a diminuição da concentração de oxigênio talvez seja o efeito mais danoso da poluição orgânica, gerando grande impacto no ambiente aquático.

De acordo com Sperling (1995), são muitos os componentes encontrados na água que podem alterar seu grau de pureza de forma ampla e significativa de acordo com suas características físicas, químicas e biológicas. Essas características podem ser determinadas através de parâmetros de qualidade da água. A Tabela 2.2 apresenta a descrição das principais características da água.

Para Sperling (1996), as impurezas que causam alterações nas características físicas da água estão comumente associadas à presença de sólidos minerais ou orgânicos que podem estar suspensos (sólidos maiores) ou dissolvidos (sólidos de pequenas dimensões). Segundo Branco (1986), o tamanho e o tipo das partículas determinarão o tempo que estas podem permanecer em suspensão na água, quanto maior a estabilidade das partículas em suspensão, maior o efeito poluente. A presença desses sólidos suspensos na água impede a passagem da luz, comprometendo a vida aquática, que depende desta luz para realizar a fotossíntese e, conseqüentemente, reduz a biodiversidade nessas águas superficiais.

Geralmente partículas sólidas minerais encontram-se em maiores quantidades nos corpos d'água que drenam bacias hidrográficas sujeito a intensos processos erosivos ou na presença de atividades de mineração (STRUJAK e VIDAL, 2007).

Tabela 2.2 – Descrição das características da água

Características	Descrição
Físicas	As impurezas enfocadas do ponto de vista físico estão associadas, em sua maior parte, aos sólidos presentes na água. Estes sólidos podem ser de suspensão, coloidais ou dissolvidos, dependendo do seu tamanho.
Químicas	As características químicas de uma água podem ser interpretadas através das classificações: matéria orgânica e inorgânica
Biológicas	As águas perdem sua qualidade, quando, nelas, estão presentes organismos patogênicos com destaque para bactérias, protozoários, fungos, vírus e algas..

Fonte - Adaptado de Strujak e Vidal (2007).

Uma das grandes ameaças à sobrevivência humana é a contaminação química das águas (TUNDISI, 2003). A alteração nas características químicas das águas é devida às impurezas de natureza orgânica (resíduos orgânicos em decomposição, compostos orgânicos derivados de combustíveis fósseis e pesticidas orgânicos) e inorgânica (substâncias solubilizadas em atividades industriais e urbanas, bem como mineração e agropecuária). Um forte componente no aumento da poluição orgânica em cursos de água localizados em grandes centros urbanos é a contaminação de suas águas por esgoto doméstico (CUNHA et al., 2005).

O lançamento “*in natura*” de esgotos domésticos, águas residuárias de criatórios de animais e de agroindústrias são as principais fontes de poluição de lagos, canais, rios e mares (STRUJAK e VIDAL, 2007).

Dos 2,9 milhões de toneladas de resíduos industriais perigosos produzidos no Brasil, apenas 850 mil são tratados de maneira adequada; os resíduos não tratados são

depositados em lixões ou despejados em cursos de água sem tratamento algum (JIMENEZ et al., 2004).

Segundo Azevedo e Chasin (2004), a produção de espumas pelos detergentes ocasiona seu acúmulo na superfície dos rios, inibindo a ação de bactérias aeróbias, fundamentais na decomposição de material orgânico em suspensão.

Material orgânico não biodegradável (como algumas substâncias espumantes, derivados de petróleo e muitos resíduos industriais), bem como o biodegradável, pode proporcionar problemas de poluição de diferentes intensidades, comprometendo a qualidade das águas ao redor das grandes cidades e dos centros industriais. Seu impacto principal ao meio é devido, principalmente, a sua toxicidade à biota.

Na região Amazônica, a contaminação dos igarapés está se tornando um dos problemas mais relevantes, pois, além da poluição visual, cresce em importância a contaminação dos recursos hídricos por metais tóxicos, cujos tratamentos são difíceis e caros (PINTO et al., 2009).

Segundo Tundisi (2005), recursos hídricos poluídos por descarga de resíduos humanos, transportam grande variedade de patógenos, entre eles algumas espécies de bactérias, protozoários, fungos, vírus e algas que causam enfermidades de veiculação hídrica ao homem e animais. Esses organismos se desenvolvem na água em função de descarga de água não tratada dos esgotos domésticos, o que causa a proliferação de doenças. Quanto maior a concentração populacional, maior a probabilidade de disseminação de doenças hídricas devido ao aumento das atividades humanas.

Dentro dos aspectos legais, as águas superficiais são fontes potenciais de água potável, por isso a qualidade destas águas tem recebido proteção através de legislação ambiental (RISSATO et al., 2004).

#### **2.4 Parâmetros de qualidade da água**

A qualidade da água de um determinado recurso hídrico pode ser representada por parâmetros diversos através de suas características físicas, químicas e biológicas com objetivo de identificar as condições em que a água se encontra.

Os principais parâmetros considerados para avaliação da qualidade e uso das águas inclusive os adotados por este trabalho, são cor, turbidez, pH, alcalinidade,

dureza, DBO, DQO, OD, carga orgânica, metais pesados, salinidade e coliformes fecais.

#### **2.4.1 Parâmetros físicos da água**

Os parâmetros físicos da água estão relacionados, principalmente com o aspecto estético. As variáveis físicas na maioria das vezes estão associadas aos sólidos presentes (suspensos, dissolvidos ou coloidais).

##### Cor

A cor é um indicativo da presença na água de substâncias dissolvidas, ou finamente divididas (material em estado coloidal). Os sólidos dissolvidos responsáveis pela coloração podem ter como origem natural a decomposição da matéria orgânica (principalmente vegetais – ácidos húmicos e fúlvicos), o ferro e manganês ou ainda origem antrópica oriundo dos resíduos industriais (Ex: tinturarias, tecelagem, produção de papel) e esgotos domésticos.

No rio Amazonas e em alguns de seus afluentes de água branca, ocorre o fenômeno das terras caídas em todo o seu percurso de planície, resultante do desmoronamento das margens, carregando para os rios grande quantidade de sedimentos que influenciam na coloração das águas (CUNHA e PASCOALOTO, 2006).

##### Turbidez

De acordo com Sperling (1995), a turbidez representa o grau de interferência à passagem da luz através da água, conferindo uma aparência turva à mesma. Sua origem pode ser natural, em função da presença de partículas de rocha, argila e silte, algas e outros microrganismos, ou ainda, de origem antrópica em decorrência de despejos domésticos, despejos industriais, microrganismos e erosão. De acordo com Martins (2009), as partículas de turbidez, além de diminuírem a claridade e reduzirem a transmissão da luz na água, podem provocar o sabor e o odor da mesma, uma vez que transportam matéria orgânica absorvida.

Segundo este mesmo autor, os sólidos em suspensão de origem natural, como argila, silte, etc, não trazem inconvenientes sanitários diretos, mas são visualmente

desagradáveis na água potável, e os sólidos em suspensão podem servir de abrigo para microrganismos patogênicos. A Resolução CONAMA 357/05 estabelece que o limite de turbidez para um rio é função da classe de águas do mesmo.

#### **2.4.2 Parâmetros físico-químicos da água**

##### pH e alcalinidade

O potencial hidrogeniônico (pH), é a medida da concentração de íons hidrogênios  $H^+$  indicando a condição da água quanto a sua acidez, neutralidade ou alcalinidade (SPERLING, 1995). Mudanças de pH podem ter origem natural: dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica, fotossíntese; ou origem antrópica: despejos domésticos (oxidação da matéria orgânica), despejos industriais (ex: lavagem ácida de tanques).

Segundo Lima (2001), o pH da grande maioria dos corpos d'água varia entre 6,0 e 8,0. Os rios de água preta da bacia Amazônica são naturalmente ácidos, apresentam valores de pH abaixo de 4. Ecossistemas que apresentam valores baixos de pH têm elevadas concentrações de ácidos orgânicos dissolvidos de origem alóctone e autóctone (MARTINS, 2009).

Uma das contribuições negativas e de importante estudo do pH nas águas dos rios, é o fato de determinadas condições de pH contribuírem para a precipitação de elementos químicos tóxicos, como metais pesados. De modo geral, os metais têm grande afinidade por grupos orgânicos, estes grupos estão, normalmente, contidos em frações do solo e sedimentos e de tecidos biológicos. Essa condição favorece as propriedades de bioacumulação, biomagnificação na cadeia alimentar e de persistência no ambiente.

A alcalinidade representa a quantidade de íons que irão reagir para neutralizar os íons hidrogênios. Seus constituintes principais são os bicarbonatos, carbonatos e os hidróxidos de origem natural: dissolução de rochas e reação do  $CO_2$  com água e origem antrópica devido aos despejos, principalmente industriais.

A água é alcalina quando a mesma possui elevada quantidade de bicarbonatos de cálcio e/ou magnésio, o qual contribui também para a salinidade da água. Em níveis moderados na água de consumo não traz conseqüências sanitárias, porém, em

concentrações elevadas, causa sabor desagradável. De forma isolada, a alcalinidade não possui importância como indicador da qualidade da água.

#### Dureza e salinidade

A dureza é a medida da concentração dos cátions multimetálicos, que está associada aos cátions divalentes  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ . Tem como origem natural a dissolução de minerais contendo cálcio e magnésio. Sua origem antrópica é devida aos despejos, principalmente industriais.

A dureza é provocada pela presença de sais minerais dissolvidos estando os íons cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) normalmente presentes de forma significativa. Portanto, tem-se esses íons como medida para determinar a dureza da água. O uso de água com excesso desses íons não acarreta problemas sanitários, porém, pode gerar problemas em nível industrial, como formação de incrustações, corrosão e perda de eficiência na transmissão de calor em caldeiras e em sistemas de refrigeração.

A salinidade das águas está relacionada tanto a fatores naturais como antrópicos que, de forma isolada ou interativa, são decisivos na qualidade da água para diferentes usos.

#### Metais pesados

O constante aumento do desenvolvimento industrial e urbano acarreta o aumento na geração de resíduos tóxicos. Os possíveis efeitos nocivos que resultam da contaminação do ar, solo e água, geraram uma preocupação mundial.

O ambiente aquático está exposto aos poluentes que são lançados tanto por substâncias não perigosas, como por aquelas que podem comprometer a vida dos seres humanos, tais como compostos de hidrocarbonetos, pesticidas, substâncias radiativas e metais pesados.

A ação química dos metais pesados desperta grande interesse ambiental, pois são elementos que possuem elevado peso molecular; não é biodegradável, o que indica que permanecem em ciclos biogeoquímicos globais, nos quais as águas naturais são seus principais meios de condução, podendo se acumular na biota aquática em níveis elevados, tendo como consequência, a bioacumulação em organismos vivos. A

---

presença de metais pesados na água compromete toda a vida aquática dos seres que ali vivem.

O consumo habitual de água e alimentos, como peixes contaminados com metais pesados coloca em risco a saúde dos seres vivos. Quando absorvidos pelo ser humano, estes metais se acumulam no tecido ósseo e gorduroso, deslocando minerais nobres dos ossos e músculos para a circulação; como consequência desse processo, provoca doenças ao homem.

Os principais usos de metais pesados, conforme Dean et al. (1972) apud Forstner e Wittmann (1983), estão relacionados às indústrias extrativa, petrolífera, de baterias, tintas e corantes, cerâmica, cabos, tubulações e munições descritos na Tabela 2.3.

Os metais pesados são um problema sério, pois, acarretam graves danos ao meio ambiente não somente por serem acumulativos, mas a sua distribuição é progressivamente alternada pela atividade econômica que os libera em concentrações pontuais (BIDONE et al., 2000). Algumas das principais fontes de contaminação, e que causam o enriquecimento da quantidade dos metais procedem dos efluentes domésticos, cuja carga sólida particulada e matéria orgânica propiciam a sua adsorção (PINTO et al., 2009). O aumento da concentração de metais pesados em cursos d'água oriundos de poluição antrópica vem crescendo significativamente.

Dentre estes metais, o níquel, chumbo, cádmio, zinco, cobre e cromo foram colocados como foco deste estudo, devido a presença de possíveis fontes geradoras na lagoa na qual foi realizado este trabalho.

Tabela 2.3 - Metais pesados empregados na maior parte das indústrias

	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Ni	Sn	Zn
Fábrica de papel		X	X		X		X	X		X
Indústria petroquímica, fábrica de reagentes orgânicos	X	X		X	X		X		X	X
Fábrica de produtos alcalis, cloretos e reagentes inorgânicos	X	X		X	X		X		X	X
Fertilizantes	X	X	X	X	X	X	X	X		X
Refino de petróleo	X	X	X	X			X	X		X
Fundições que trabalham com aço	X	X	X	X	X		X	X	X	X
Fundições que trabalham com metais não-ferrosos	X	X	X		X		X			X
Motores de revestimento de aeronaves veículos	X	X	X		X			X		
Vidro, cimento, produtos de amianto, etc.		X								
Fábrica de produtos têxtil		X								
Curtimento e acabamento de couro		X								
Plantas geradoras de energia por turbinas a vapor		X								X

Fonte: Dean (1972) citado em Forstner (1983).

### Níquel - Ni

O níquel é um dos metais pesados cuja aplicação encontra-se principalmente nas indústrias metalúrgicas, é também utilizado em recobrimentos metálicos em galvanoplastia.

Segundo Homem (2001) a espécie  $Ni^{2+}$  é predominante em soluções, apesar de em casos restritos ser encontrado com a valência +1 e +4, porém essas duas espécies não são estáveis em soluções aquosas. Ainda segundo o autor, o níquel não é encontrado naturalmente em água potável e sua presença em cursos d'água pode ser devida ao descarte de efluentes da indústria alimentícia e eletroquímica.

O níquel complexado (níquelcianeto) é tóxico quando em baixos valores de pH. Concentrações de 1,0 mg/L desse complexo são tóxicas aos organismos de água doce. Em contato com o homem os sais de níquel em pequenas quantidades não é absorvido pela pele, porém quando há contato direto com o metal este causa dermatite (HOMEM, 2001).

Dentre os compostos de níquel, destaca-se a carbonila como o mais tóxico.

Trata-se de um líquido de coloração amarela ou incolor, tem sua produção a partir da reação entre o monóxido de carbono (CO) e o níquel metálico nos processos catalíticos e reações de hidrogenação, no refino do petróleo (CAMPOS, 2011). Sua inalação tem efeito imediato causando tontura, dor de cabeça, náuseas, vômitos, dor no tórax e dificuldade para respirar, por ser um irritante pulmonar, sua exposição a 30 ppm por 30 minutos é letal ao homem.

#### *Chumbo - Pb*

O chumbo está presente em insumos usados na indústria gráfica, é metal bioacumulativo. A contaminação da água por esse metal, vai depender do seu estado físico-químico (HOMEM, 2001). A presença de chumbo no meio aquático está ligado a poluição antrópica (COTTA et al., 2006). Sua concentração em águas superficiais depende do pH, salinidade e temperatura.

A absorção de chumbo não parece comprometer as plantas, essa condição muda em solos com baixo valor de pH. No entanto, elas acumulam o metal e provocam efeito nocivo sobre os animais ao serem ingeridas. Dessa forma, ocorre a transferência por efeito acumulativo para a cadeia alimentar, chegando aos seres humanos, visto que um dos meios de contaminação do homem por metais pesados se dá através da água, o que representa riscos à saúde, principalmente em lugares onde o homem vive da

pesca. Esse metal provoca um envenenamento crônico denominado saturnismo, que consiste em efeito sobre o sistema nervoso central com conseqüências bastante sérias.

As intoxicações por chumbo podem causar falta de apetite, gosto metálico na boca, desconforto musculares, mal estar, dor de cabeça e cólicas abdominais fortes. Entretanto, na infância, muitas vezes os sintomas ligados à deposição de chumbo no cérebro são predominantes. Na sua forma inorgânica,  $Pb^{+2}$  é um inibidor de enzimas e também afeta o sistema nervoso.

O chumbo pode também formar íon  $4+$  em ambientes altamente oxidantes (BAIRD, 2002) e pode ser encontrado como óxido ( $PbO_2$ ), cuja forma iônica é  $Pb^{4+} (O^{2-})_2$ , que comumente é usado como eletrodos nas baterias de veículos.

A absorção de Pb nos seres humanos é função das formas do elemento do tipo de dieta. Segundo Kabata-Pendias e Mukherjee (2007) apud Magna (2011), quando a dieta é baixa em elementos tais como Fe, Ca e proteínas, a absorção do contaminante é maior. De acordo com o autor, o corpo humano não pode diferenciar entre o Pb e Ca, em decorrência disso a maioria do contaminante é acumulado (90% absorvido pode ser acumulado). O sangue distribui o Pb ingerido aos órgãos e tecidos (fígado, rins, pulmões, cérebro, músculos e o coração). Após um determinado período (semanas), a maior parte do chumbo se desloca e se acumula nos ossos e dentes. Segundo Baird (2002), essa troca do  $Ca^{2+}$  pelo  $Pb^{2+}$  dos ossos é devido a similaridade no tamanho dos íons.

Em crianças a absorção intestinal do chumbo é maior do que em adultos; devido ao período de desenvolvimento cerebral em que a criança se encontra, os efeitos tóxicos são mais perigosos e isso acarreta maiores preocupações.

#### *Cádmio - Cd*

O cádmio é um elemento químico que se encontra naturalmente no ambiente. Este metal não se encontra como metal puro, mas como um mineral, combinado com outros elementos como oxigênio (óxido de cádmio), cloro (cloreto de cádmio) ou o enxofre (sulfeto de cádmio).

Segundo Baird (2002) da fusão com o zinco, é gerada a maior parte do cádmio como subproduto, uma vez que os dois metais ocorrem usualmente juntos.

O Cd está na natureza na forma de óxidos complexos, sulfetos e carbonatos no zinco e chumbo, podendo mudar para outras formas, porém, não desaparece do meio ambiente. Por isso a importância em conhecer sua forma e disposição, em função dos efeitos nocivos à saúde humana e ao meio ambiente.

O cádmio comumente se destaca nas atividades industriais como fabricação de baterias, pilhas, pigmentos, plásticos e combinações com outros metais.

A presença do cádmio nas águas naturais está associada às descargas dos efluentes industriais, dentre elas as de galvanoplastias. Os principais efeitos tóxicos devido ao excesso de Cd nos seres humanos se relacionam com dano nos rins, hipertensão, enfisema, malformações e diminuição da função reprodutora.

O cádmio ocorre na forma inorgânica, devido a instabilidade de seus compostos orgânicos. Por ser acumulativo, a ação do cádmio sobre a fisiologia dos peixes é semelhante às do níquel e chumbo. Em ambiente aquático com baixa salinidade, a forma iônica do cádmio é a mais tóxica e se constitui na forma prevalente.

#### *Zinco – Zn*

O Zinco é um elemento comumente encontrado na crosta terrestre. Ocorre em ambientes aquático, normalmente no estágio de oxidação +2.

As emissões antropogênicas são maiores que as naturais, provenientes das atividades minerais, metalúrgicas e de produtos contendo Zn. A bioacumulação do Zn é moderada em ambientes aquáticos, sendo maior em crustáceos e em espécies bivalves do que em peixes. Crustáceos e peixes podem absorver Zn tanto da água como por meio da alimentação (MINISTÉRIO DA SAÚDE – BRASIL, 2011).

Segundo Homem (2001) o zinco não é considerado um dos metais mais perigosos para o meio aquático pois, em cursos de águas naturais livres de fontes poluidoras, a concentração de zinco varia de 0,5 a 15,0 mg/L. Ainda segundo o autor, seu nível de toxicidade varia com o organismo presente no meio..

Nos seres humanos, sua toxicidade está relacionada com outros metais pesados, podendo levar a deficiência do zinco no organismo ou a bioacumulação, afetando a atividade enzimática e imunológica (HOMEM, 2001).

A liberação do Zn dos sedimentos ocorre com o aumento da salinidade, deslocado por cátions dos metais alcalinos e alcalinos terrosos. Os organismos associados a sedimentos apresentam maiores concentrações de Zn do que aqueles que vivem na coluna de água. Uma vez ingerido pelo ser humano, o Zn se concentra no pâncreas, próstata, rins, fígado, músculos e retina.

#### *Cobre – Cu*

A toxicidade do cobre pode ser atribuída a disfunções resultantes de interações inapropriadas entre o metal e estruturas celulares.

Os metais dependem da sua interação com outras substâncias que estão presentes na água, uma vez liberado no ambiente, um complexo conjunto de reações químicas ocorre em função de diversos parâmetros químicos da água que podem atuar como protetores do ambiente aquático (MINISTÉRIO DA SAUDE – BRASIL, 2011).

Dentre eles, a concentração de carbono orgânico dissolvido, pois a união desses compostos forma complexos que interferem na interação do cobre com os organismos. Com a variação do pH, a toxicidade do cobre será alterada como um efeito sobre a especiação dos metais.

Em relação à dureza da água, a qual é determinada pela concentração de cálcio e magnésio, é também considerada outro agente protetor contra a toxicidade do cobre, pois estes cátions competem com o metal livre pelos sítios de ligação nos organismos, tornando assim necessária uma maior concentração de cobre livre para causar um efeito danoso.

Sobre a salinidade da água, as concentrações dos íons podem atuar como agentes competidores ou complexantes do cobre, com isso, é esperado que a toxicidade do cobre seja maior em águas doces do que em águas salgadas. Vale ressaltar que o cobre é o segundo metal mais tóxico para os peixes.

Segundo Moore e Ramamoorthy (1984) apud Homem (2001) a toxicidade nas plantas está associada a sua concentração: em concentração de 0,1 ppm o processo de desenvolvimento é inibido e para concentrações de 0,003 à 0,03 ppm ocorre alteração na permeabilidade da célula, comprometendo o metabolismo da mesma.

Para Homem (2001) o cobre é um dos metais considerado de menor toxicidade ao homem, porém, para as plantas aquáticas, seres invertebrados e peixes, sua toxicidade é crítica em todos os níveis.

#### Cromo – Cr

O cromo é encontrado na natureza em diversas formas, porém nunca em estado livre. Existe no meio aquático, principalmente em dois estados de oxidação: trivalente ( $\text{Cr}^{3+}$ ), com baixa toxicidade, e hexavalente ( $\text{Cr}^{6+}$ ), que é altamente tóxico. O cromo pode mudar facilmente de um estado de valência para outro na água e no solo, dependendo das condições presentes.

São muitas as fontes de contaminação por cromo; dentre as atividades industriais e antropogênicas destacam-se as galvanoplastias, soldagens, produção de ligas Fe - Cr, os curtumes, a produção de cromatos, dicromatos, pigmentos e vernizes. A toxicidade do cromo depende do seu estado de oxidação no momento em que ele é lançado no efluente.

No homem seus efeitos tóxicos variam, podendo ser introduzida por via dérmica, respiratória ou por ingestão, depende ainda de outras variáveis tais como o tipo do composto, concentração e o tempo de contato.

O cromo trivalente ( $\text{Cr}^{3+}$ ) é considerado menos tóxico, com maior estabilidade e de pouca mobilidade em plantas. Segundo Ferreira (2002) apud Santana (2007), o  $\text{Cr}^{3+}$  é o elemento principal no metabolismo de carboidratos e de lipídeos nos seres humanos, com grande importância na atividade biológica relacionada com a potencialização dos efeitos da insulina na conversão de glicose em  $\text{CO}_2$  ou em lipídeo.

Comumente nos despejos de curtumes encontra-se o  $\text{Cr}^{3+}$ , porém, dependendo das condições do corpo receptor, ocorre a oxidação do  $\text{Cr}^{3+}$  à  $\text{Cr}^{6+}$ , colocando em risco toda a biota (JORDÃO, 1999).

Segundo a Agência Internacional para Pesquisa do Câncer (IARC), grande parte do  $\text{Cr}^{6+}$  ingerido pelo homem é convertida a  $\text{Cr}^{3+}$  no estômago. Este fato leva alguns especialistas a acreditar que quando ingerido, o cromo pode não apresentar toxicidade significativa, isso porque o  $\text{Cr}^{3+}$  não é absorvido facilmente pelo organismo. Porém, quando no interior da célula, o  $\text{Cr}^{3+}$  provoca mutações no DNA, pode substituir e

mimetizar os fosfatos dessa macromolécula. Em função disso, o indivíduo pode desenvolver câncer devido a essas mutações.

### Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Os esgotos ou os despejos industriais orgânicos lançados em um determinado meio aquático aumentam a concentração de matéria orgânica nesse meio. A presença da matéria orgânica nas águas é bastante relevante, podendo ser a causadora do principal problema de poluição devido o consumo do oxigênio dissolvido pelos microrganismos nos seus processos metabólicos de utilização e estabilização da matéria orgânica. A matéria orgânica pode estar presente na água em forma de sólidos em suspensão e sólidos dissolvidos, podendo também ser de origem natural, em função da presença de matéria orgânica vegetal e animal, ou de origem antropogênica, em decorrência dos despejos domésticos e industriais.

A determinação da concentração de material orgânico nas análises de DBO e DQO baseia-se no consumo do oxidante necessário para sua oxidação. A DBO é considerado um dos mais importante parâmetro para determinar de maneira indireta compostos orgânicos biodegradáveis em efluentes. É um parâmetro de fundamental importância na caracterização do grau de poluição de um corpo d'água (SPERLING, 1996).

A DBO relaciona-se a oxidação bioquímica da matéria orgânica, realizada inteiramente por microrganismos; o resultado é obtido após 5 dias ( $DBO_5$ ) à temperatura de 20 °C. Já a DQO, corresponde a oxidação química da matéria orgânica, obtida através de um forte oxidante (dicromato de potássio) em meio ácido. A oxidação do material orgânico é praticamente total para a maioria das substâncias orgânicas e os resultados são fornecidos em 3 horas.

A medida da DQO indica o consumo de oxigênio ocorrido durante a oxidação química da matéria orgânica. Esses valores de forma indireta representam o teor de matéria orgânica presente na água (SPERLING, 1995).

Os materiais redutores (orgânicos e inorgânicos) dispersos na água têm suas origens de fontes naturais e antropogênicas de efluentes industriais, esgotos

domésticos e resíduos sólidos. Fatores como a composição da água, concentração do reagente, temperatura, tempo de contato e outros, podem variar o valor da DQO. A Resolução CONAMA 357/05 não estabelece limites para esse parâmetro de qualidade de água, o que não significa que esse parâmetro não deva ser controlado; nesse caso, deve-se obedecer aos limites dos parâmetros estabelecidos para o lançamento de efluentes nos corpos d'água estabelecidos na Resolução CONAMA 397/08.

A DQO em um efluente industrial, em geral, é mais alta que a DBO, devida a maior facilidade com que grande número de compostos pode ser oxidado por via química em vez da via biológica. Esses compostos que são oxidados apenas por via química são os chamados não biodegradáveis.

#### Oxigênio dissolvido (OD)

Este parâmetro é bastante significativo para a vida dos seres aeróbicos que vivem na presença de oxigênio. Durante a estabilização da matéria orgânica, as bactérias fazem uso do oxigênio nos seus processos respiratórios, podendo vir a causar uma redução da sua concentração no meio.

Assim como os demais parâmetros, pode ser de origem natural, em função da dissolução do oxigênio atmosférico, produção pelos organismos fotossintéticos, ou de origem antropogênica, devido à introdução de aeração artificial.

É considerado o principal parâmetro na caracterização dos efeitos dos efluentes na poluição das águas por despejos orgânicos. Em zonas de águas limpas, a concentração de oxigênio dissolvido, quase sempre, varia durante o dia. Esta variação diurna depende da intensidade das atividades fotossintéticas e das mudanças de temperatura (MARTINS, 2009).

A solubilidade do OD varia com a altitude e a temperatura. Ao nível do mar, e na temperatura de 20 °C, a concentração de saturação é igual a 9,2 mg/L O<sub>2</sub>. Variações acima da saturação indicam a presença de algas (fotossíntese), enquanto valores bem inferiores à saturação indicam a presença de matéria orgânica, sendo o esgoto doméstico o provável responsável pela alteração.

De acordo com Sperling (1995), OD em torno de 4 – 5 mg/L morrem os peixes mais exigentes; com OD igual a 2 mg/L todos os peixes estarão mortos; com OD igual a 0 mg/L tem-se condições de anaerobiose.

#### Carga orgânica - BTEX

Os compostos BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno) não são qualificadores das águas, porém, em decorrência de seu impacto gerado quando presente na mesma, tornam seu estudo de grande relevância.

Combustíveis, tais como gasolina e diesel são considerados poluidores e causam danos a saúde humana. Em sua composição, encontram-se compostos orgânicos com predominância dos hidrocarbonetos. A forma de exposição desses combustíveis, seja ela líquida ou gasosa acarreta conseqüências graves ao meio ambiente.

Os compostos BTEX, são gerados nas refinarias e apresentam um potencial de poluição maior por serem compostos mais hidrossolúveis do petróleo. Segundo Tiburtius et al. (2004), as principais causas de vazamentos apontadas são falhas humanas durante a descarga do combustível e defeitos na estrutura do tanque de armazenamento.

Na região Amazônica, o meio de transporte da população comumente são as embarcações de pequeno e grande porte, devido a grande quantidade de rios que ligam as cidades da região entre si. Com isso, cresce proporcionalmente o número de postos de combustível flutuantes ao longo dos rios. Por considerar que todo e qualquer sistema de armazenamento de derivados de petróleo caracteriza-se como potencialmente ou parcialmente poluidor e gerador de acidentes ambientais, a Resolução CONAMA nº 273, de 29 de novembro de 2000, dispõe sobre as exigências atribuídas aos postos de combustíveis como: localização, construção, instalação, modificação, ampliação e operação desses postos revendedores, postos de abastecimentos e postos flutuantes.

### 2.4.3 Parâmetros biológicos da água

#### Coliformes fecais

Os microorganismos mais comumente empregados como indicadores de contaminação fecal são as bactérias do grupo coliforme. O grupo coliforme é constituído de dois grandes gêneros: *Escherichia* e *Aerobacter* (CERETTA, 2004). A ausência destes na amostra indica uma provável ausência de organismos patogênicos na água, sendo que a presença das bactérias coliformes fecais na água de um rio significa que esse rio recebe matérias fecais, ou esgotos, com isso a presença de coliformes fecais é indicativo da possível presença de agentes patogênicos na água.

As bactérias coliformes que residem no intestino do homem são excretadas em grandes quantidades nas fezes do homem e dos animais de sangue quente (MARTINS, 2009), ainda segundo o autor, o esgoto doméstico bruto geralmente contém mais de 3 milhões de coliformes por 100 mL.

A determinação desse parâmetro assume importância como indicador da possibilidade de existência de microorganismos patogênicos responsáveis pela transmissão de doenças graves.

### 2.5 Padrões de qualidade da água

Segundo Branco (1999), a qualidade da água não se refere ao grau de pureza absoluto ou próximo deste, mas sim a um padrão mais próximo possível de sua forma natural, ou seja, como ela se encontra nas nascentes, antes do contato do homem.

As normas nacionais de uso da água contida na Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005, estabelece os parâmetros para definição dos limites aceitáveis dos elementos poluentes, considerando seus diferentes usos. A qualidade da água de um determinado recurso hídrico é avaliada dependendo das substâncias presentes na mesma, denominada de parâmetros de qualidade da água. Estas substâncias caracterizam as condições em que a água se encontra.

Segundo Ceretta (2004), os padrões de qualidade da água servem para regular e controlar os níveis de qualidade que podem ser mantidos no corpo hídrico, dependendo do uso a que o mesmo está destinado.

---

As diretrizes para a avaliação da qualidade das águas brasileiras são estabelecidas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente, através da Resolução nº 20 de 18/06/1986 do CONAMA. Esta Resolução dividiu as águas do território brasileiro em três grandes categorias: águas doces, salobras e salinas.

De acordo com os usos preponderantes destas categorias foram estabelecidas 9 classes, sendo cinco destas destinadas para águas doces (Classe especial, Classe 1, Classe 2, Classe 3 e Classe 4), duas para águas salobras (Classes 5 e 6), e duas para águas salinas (Classes 7 e 8). As classes são avaliadas por parâmetros de qualidade e indicadores específicos, que asseguram a qualidade necessária para o uso a que se destina.

Os padrões de qualidade da água são utilizados para regular e controlar os níveis de qualidade que podem ser mantidos nos corpos hídricos, dependendo do uso que este está destinado. A utilização dos padrões de qualidade mantém a qualidade do curso hídrico ou define uma ação a ser realizada (CERETTA, 2004).

A Tabela 2.4 apresenta de forma resumida as classes de enquadramento e os usos preponderantes dos recursos hídricos (águas doces).

Tabela 2.4 – Classificação dos recursos hídricos – Águas doces

Usos preponderantes	CLASSES				
	Especial	1	2	3	4
Abastecimento doméstico	Xa	Xb	Xc	Xc	
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas	X				
Recreação de contato primário		X	X		
Proteção das comunidades aquáticas		X	X		
Irrigação		Xd	Xe	Xf	
Criação de espécies (agricultura)		X	X		
Dessedentação de animais				X	
Navegação					X
Harmonia paisagística					X
Usos menos exigentes					X

Notas: (a) sem prévia ou desinfecção simples (b) após tratamento simples; (c) após tratamento convencional; (d) hortaliças e frutas rentes ao solo; (e) hortaliças e plantas frutíferas; (f) culturas arbóreas, cerealíferas e forrageira

## **CAPÍTULO 3**

### **MATERIAIS E MÉTODOS**

Neste trabalho foi realizado o estudo envolvendo a identificação das potenciais fontes poluidoras do corpo d'água. O local de avaliação foi a Lagoa da Francesa localizada no município de Parintins/Am. Com o resultado do mapeamento foram definidos e analisados os principais componentes de carga poluidora considerando os procedimentos e exigências legais estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05.

#### **3.1 Caracterização da área de estudo**

O município de Parintins é banhado pelas águas do rio Amazonas e por inúmero lagos, tem uma superfície de 45 km<sup>2</sup>, uma população estimada em 102.033 habitantes (IBGE, 2010). É a segunda maior cidade do estado do Amazonas. Possui clima tropical, chuvoso, com períodos seco (agosto a outubro), umidade relativa do ar em torno de 71% e precipitação pluviométrica anual de 2.327 mm. Parintins faz parte do maior sistema fluvial do mundo, a Bacia Amazônica. O município é cercado por lagos e pela lagoa da Francesa, local de estudo deste trabalho. Esta lagoa é de vital importância dentro da economia do município, pois serve de porto e desporto para as embarcações regionais de pequeno porte. Por banhar a sede do município, a lagoa está suscetível aos danos causados pela influência. an

### 3.2 Localização dos pontos de amostragem na Lagoa da Francesa

O mapa da Lagoa da Francesa, do município de Parintins no estado do Amazonas com as possíveis fontes de poluição e os pontos de coleta da água avaliadas neste trabalho, estão apresentados na Figura 3.1.

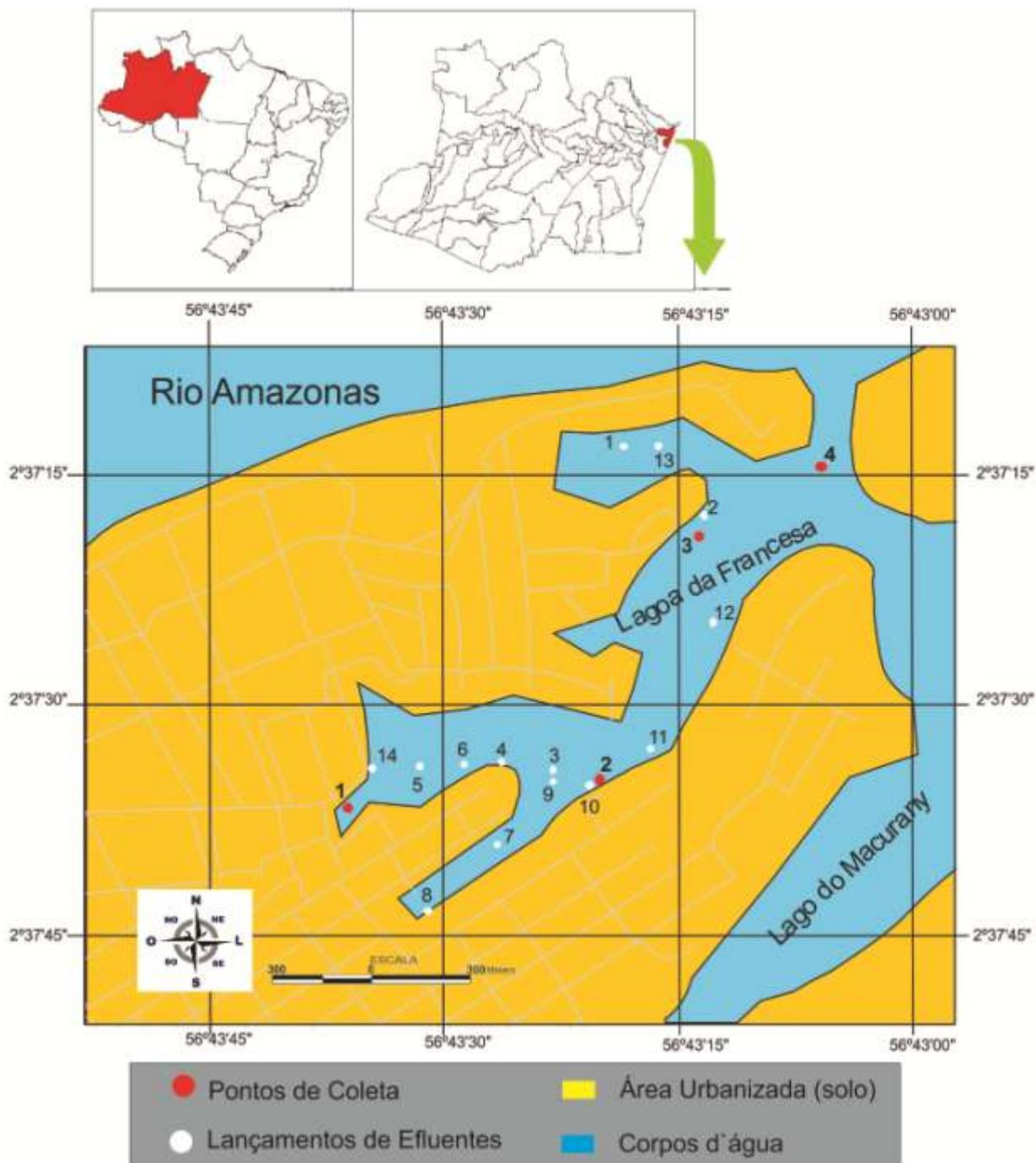


Figura 3.1 – Localização da Lagoa da Francesa suas possíveis fontes poluentes e pontos de coleta.

Os lançamentos de efluentes mostrados na Figura 3.1, indicam como possíveis fontes de poluição cinco postos de combustíveis flutuantes (pontos 3, 6, 9, 11 e 12), dois pontos onde desembocam esgotos domésticos (pontos 8 e 14), três estaleiros e/ou tilheiros (pontos 4, 5 e 7), uma madeireira (ponto 2) e um hotel (ponto 10). A partir destas possíveis fontes de lançamento de efluente foram definidos os pontos de amostragem descritos na Tabela 3.1. Na seleção dos pontos de coleta foram consideradas as influências dos impactos ambientais gerados pela urbanização, por atividades de serviço e produção e os possíveis efeitos dos postos de abastecimento de combustível localizados na lagoa. Foram realizadas as coletas e amostras de água, em quatro locais assinalados na Figura 3.1 para análises físico-químicas e microbiológicas, a fim de determinar os parâmetros e confrontá-los com os estabelecidos legalmente.

Tabela 3.1 - Descrição e localização dos pontos de amostragem da lagoa da Francesa

Ponto de coleta	Descrição	Coordenadas geográficas	
1	Escadaria da lagoa – influência de esgotos domésticos, despejos de embarcações	Latitude	(S) 02°37.604
		Longitude	(W) 056°43.610
2	Hotel / Posto de combustível flutuante – influência de esgoto doméstico	Latitude	(S) 02°37.577
		Longitude	(W) 056°43.343
3	Madeira / Posto de combustível flutuante	Latitude	(S) 02°37.391
		Longitude	(W) 056°43.255
4	Entrada/saída da lagoa – área de menor urbanização	Latitude	(S) 02°37.278
		Longitude	(W) 056°43.112

### 3.2.1 Efeitos das fontes de lançamentos de efluentes na lagoa

#### Posto de combustível

Os postos flutuantes estão localizados em uma área limitada da lagoa e representam riscos de contaminação ao ambiente devido a descarga de poluentes

como gasolina e diesel, prejudiciais a saúde dos seres vivos. Uma vez que o volume de água da lagoa varia dependendo do período do ano, aumentam os riscos de contaminação oriundos de possíveis vazamentos ou a falta de cuidados dos operadores no abastecimento das embarcações.

Os constituintes definidos para análise em decorrência desta fonte foram Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno (BTEX), presentes em derivados de petróleo

#### Efluentes domésticos

Os efluentes domésticos quando não tratados e lançados em ambiente aquático, são responsáveis por uma série de impactos ao corpo hídrico. O principal dano é a redução do oxigênio dissolvido na água que é consumido pelos microrganismos de uso necessário para a degradação da matéria orgânica. Esta condição pode prejudicar os peixes e outros organismos aquáticos, além do próprio homem, que tem o peixe como fonte de alimento. A lagoa recebe um aporte grande de efluentes domésticos ao longo de sua orla. Neste caso foram analisados os parâmetros que definem a qualidade da água, de acordo com a legislação ambiental.

#### Efluentes industriais

A localização estratégica da lagoa possibilitou a instalação de estaleiros. Esse tipo de empreendimento é característico da região Amazônica, devido aos inúmeros rios que servem de via fluvial. Seus produtos principais são predominantemente de madeira, as embarcações regionais que transportam cargas e passageiros são construídas com matéria-prima oriunda da Floresta Amazônica e em seu processo de beneficiamento pode empregar solventes orgânicos e inorgânicos. Os efluentes produzidos por essas indústrias podem contribuir para os possíveis impactos nas águas da lagoa. Neste caso, foram considerados, além dos parâmetros definidos pelas duas fontes anteriores, a possível presença de metais pesados.

### **3.3 Coleta de material**

As coletas das amostras de água foram feitas em dois períodos, a primeira foi realizada no mês de fevereiro de 2010, período de nível baixo de água da lagoa, e a

segunda coleta foi feita no mês de junho de 2010, que corresponde ao nível máximo de volume de água da lagoa. As amostras foram coletadas superficialmente a cerca de 20 cm de profundidade nos quatro pontos que estão representados na Figura 3.1, devidamente acondicionadas em recipientes de polietileno com capacidades para 500 ml, lacradas e transportadas ao laboratório de Engenharia Ambiental - LEA da Faculdade de Engenharia Química da Unicamp-FEQ para serem analisadas. Conforme exigência de alguns procedimentos de análise biológica, o tempo entre a coleta, transporte e análise foi de no máximo 24 horas. As análises foram realizadas em duplicatas utilizando métodos analíticos para determinação dos parâmetros: cor, turbidez, pH, alcalinidade, dureza, DBO (Demanda Bioquímica do Oxigênio), DQO (Demanda Química de Oxigênio), OD (Oxigênio dissolvido), carga orgânica, salinidade e coliformes fecais. Os metais pesados foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica e os BTEX por cromatografia gasosa.

### 3.4 Caracterização da água

Seqüencialmente estão apresentados os parâmetros utilizados na caracterização da qualidade das águas da lagoa da Francesa, conforme indicadores da Resolução CONAMA 357/05 descritos na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Dados de condições padrão para classe 3 - Resolução CONAMA 357/05

<b>Condições</b>	<b>Valor máximo</b>
DBO 5 dias a 20°C	até 10 mg/L O <sub>2</sub>
OD, em qualquer amostra	não inferior a 4 mg/L O <sub>2</sub>
Turbidez	até 100 UNT
Cor verdadeira	até 75 mg Pt/L
pH	6,0 a 9,0
<b>Parâmetros Inorgânicos</b>	<b>Valor máximo</b>
Cádmio total	0,01 mg/L Cd
Chumbo total	0,033 mg/L Pb
Cobre dissolvido	0,013 mg/L Cu
Cromo total	0,05 mg/L Cr
Níquel total	0,025 mg/L Ni
Zinco total	5 mg/L Zn

### 3.4.1 Determinação de cor

Foram feitas as análises de cor aparente e real pelo método fotoelétrico, de acordo com a Organização Mundial de Saúde – OMS, esses parâmetros representam bons indicativos de contaminação na água. O método de análise requer para a determinação da cor aparente, que as amostras de água estejam em seu estado natural e para a determinação da cor real, as amostras foram centrifugadas. O equipamento utilizado nas análises foi um Sistema de UV-Visível HP 8453 da marca Hewlett Packard.

Foram preparados padrões a partir da solução-padrão 500 UC em balões de 50 ml de acordo com a Tabela 3.3. Conforme o método de Hazen (1892) apud Hongve e Akesson (1996), a cor de uma solução com 1 mg/L de cloroplatinato de potássio ( $K_2PtCl_6$ ) corresponde a uma unidade de cor (UC). Essa solução apresenta uma coloração amarelo castanho semelhante às águas naturais coradas.

Para o preparo da solução-padrão 500 UC, foi dissolvido 1,245 g de cloroplatinato de potássio,  $K_2PtCl_6$  (equivalente a 500 mg de platina) e 1,0 g de cloreto cobaltoso,  $CoCl_2 \cdot 6H_2O$  (equivalente a 250 mg de cobalto) em 1000 ml de ácido clorídrico a 100 ml/L(10%) e para o branco foi utilizado água deionizada.

Tabela 3.3 – Condições de preparação dos padrões para determinação de cor.

<i>Padrão</i> <i>UC</i>	Solução-padrão total <i>V/mL</i>	Água destilada <i>V/mL</i>
5	0,5	49,5
10	1,0	49,0
15	1,5	48,5
20	2,0	48,0
25	2,5	47,5
30	3,0	47,0
40	4,0	46,0
50	5,0	45,0
75	7,5	42,5
100	10	40,0
200	20	20,0
300	30	20,0
400	40	10,0

A leitura dos padrões foi efetuada no comprimento de onda de 455 nm e obtida a curva de calibração absorvância vs cor, que foi utilizada para a leitura da absorvância das amostras. Uma unidade de cor corresponde àquela produzida por 1 mg/L de platina, na forma de íon cloroplatinado.

### **3.4.2 Determinação de turbidez**

A turbidez da água é causada por materiais em suspensão com tamanhos e de natureza diversos. Esse parâmetro é expresso pelas propriedades ópticas que causam a dispersão e a absorção da luz que atravessa a amostra, em lugar da sua transmissão em linha reta. A turbidez é indicada em termos de Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT). Solução padrão a base de formazina são usadas nas análises desse parâmetro.

O equipamento utilizado nas análises foi o mesmo na determinação de cor, com um comprimento de onda de 580 nm, no caso o UV-Visível HP 8453 da marca Hewlett Packard.

A preparação da solução padrão de formazina (400 UNT) foi realizada a partir de duas soluções:

Solução I- foi dissolvido 1,0 g de sulfato de hidrazina,  $(\text{NH}_2)_2\cdot\text{H}_2\text{SO}_4$ , em água deionizada e diluída até 100 mL.

Solução II- foi dissolvido 10 g de hexametilenotetramina,  $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$ , em água deionizada e diluída até 100 mL.

Em um balão de 100 mL misturou-se 5 mL de cada solução (I e II), deixou-se em repouso durante 24 horas à temperatura ambiente e em seguida diluiu-se até completar o volume do balão.

Para obtenção da curva de calibração do espectrofotômetro, foram preparados padrões de acordo com a Tabela 3.4 em balões de 50 mL. Para o branco foi usada água deionizada filtrada em uma membrana de 0,2  $\mu\text{m}$  de porosidade.

Tabela 3.4 – Condições de preparação dos padrões para determinação da turbidez.

<i>Padrão</i> <i>UNT</i>	Solução-padrão a 400 UNT <i>V/mL</i>	Água destilada <i>V/mL</i>
4	0,5	49,5
20	2,5	47,5
50	4,0	46,0
80	1,0	40,0
120	15,0	35,0
160	20,0	30,0
200	25,0	25,0

### 3.4.3 Análise do pH e determinação de alcalinidade

As medidas de pH da água foram determinadas por potenciometria utilizando um pH-metro de marca OAKLON e papel de pH.

A alcalinidade não tem significado relevante do ponto de vista sanitário, mesmo em níveis elevados, porém quando nessas condições estiver associada com parâmetros alterados como pH e dureza pode tornar a água prejudicial caso seja consumida (PEIXOTO, 2007).

Na determinação da alcalinidade foi empregado o método potenciométrico adaptado de Peixoto (2007), que consiste na titulação da amostra de água em análise por meio de um ácido forte até o ponto de equivalência determinado através da curva de titulação. (ver Apêndice)

A solução ácida foi preparada com HCl 0,02M, o volume utilizado foi de 50 ml para o titulante e titulado. O valor da alcalinidade foi obtido pela equação 3.1.

$$\frac{Alc}{mmol/L} = 1000 \times \frac{V_{ác}}{V_a} \times \frac{C_{H^+}}{mol/L} \quad (3.1)$$

Em que:  $V_{\text{ác.}}$  é o volume de ácido gasto na titulação,  $V_{\text{a.}}$  é o volume de amostra e  $C_{\text{H}^+}$  é a concentração molar de hidrogênios na solução ácida em mol/L.

O método apresenta como referências os valores de pH como pontos de equivalência de acordo com o teor de alcalinidade expressa em mg/L de  $\text{CaCO}_3$ .

#### 3.4.4 Determinação da Dureza

Para a determinação da dureza, foi medido o teor de concentração do cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) nas amostras de água por espectrofotometria de absorção atômica. O equipamento usado foi um Espectrofotômetro de Absorção Atômica (Perkin Elmer modelo Analyst 100).

#### 3.4.5 Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio e Oxigênio Dissolvido

Para as análises de Demanda Bioquímica de Oxigênio ( $\text{DBO}_5$ ), foi utilizado o método SM21 5210 B – “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*” (2005). Este determina a quantidade de oxigênio que é consumido no processo biológico da matéria orgânica na água em um determinado período de tempo a 20 °C. Os resultados são expressos em miligramas de oxigênio por litro.

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) mede o consumo de oxigênio necessário para oxidação da matéria orgânica através de um oxidante forte. O método utilizado foi o SM21 5220 D – “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*” (2005).

As análises laboratoriais para determinação do oxigênio dissolvido (OD) seguiu o método SM21 4500-O G – “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*” (2005).

#### 3.4.6 Determinação de carga orgânica - BTEX

A determinação das concentrações dos compostos benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno foi realizada através de cromatografia gasosa de acordo com método 8260 B da *Environmental Protection Agency* (EPA).

### **3.4.7 Determinação de metais pesados**

A determinação dos metais pesados, foi obtida em um Espectrofotômetro de Absorção Atômica de marca Perkin Elmer, modelo Analyst 100, que utiliza lâmpada específica para cada metal em análise. As concentrações dos seis metais (Cd, Pb, Cr, Cu, Ni e Zn) foram encontradas em todas as amostras coletadas com soluções padrões correspondentes para cada metal.

A precisão nos resultados das análises, a rapidez e o uso de pouca quantidade de amostras, justificam a escolha pelo equipamento descrito.

### **3.4.8 Determinação da salinidade**

A salinidade foi obtida pela determinação do teor de concentração de sódio ( $\text{Na}^+$ ) nas amostras de água por espectrofotometria de absorção atômica. O equipamento de medida foi o mesmo utilizado na determinação dos metais pesados.

### **3.4.9 Determinação de coliforme fecais**

Para a determinação de coliformes fecais foram utilizados o método SM21 9222 D do *“Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”* (2005).

## **3.5 Teste de Precipitação dos Metais**

Para determinar o pH no qual ocorre a precipitação dos metais, foram realizadas simulados usando os programas Hydra e Medusa (PUIGDOMENECH, 2004). Na simulação são considerando somente as propriedades das soluções aquosas (concentração, pH, força iônica).

## **CAPÍTULO 4**

### **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **4.1 Parâmetros de qualidade da Água**

Conforme a Resolução CONAMA – 357/05 a lagoa de estudo está classificada como Classe 3. As condições e padrões de qualidade de exigência legal estão destacados especificamente na Tabela 3.2 para os parâmetros analisados neste trabalho.

##### **4.1.1 Cor e turbidez**

Os resultados obtidos para o parâmetro cor verdadeira nas águas da lagoa da Francesa nos pontos de coleta 1, 2, 3 e 4 nos meses de fevereiro/2010 e junho/2010, são apresentados na Figura 4.1. Podemos observar que houve uma redução significativa no mês de junho em todos os pontos de coleta, os valores variaram entre 86,57 a 139,7 (fevereiro) e de 54,94 a 67,22 (junho), essa redução pode estar associada ao poder de diluição da água devido ao nível máximo que a lagoa apresenta no mês de junho (cheia).

Como fenômeno natural, o rio Amazonas e alguns de seus grandes afluentes, carregam grandes quantidades de sedimentos que influenciam na coloração das águas. Esse rio alimenta diretamente a lagoa da Francesa.

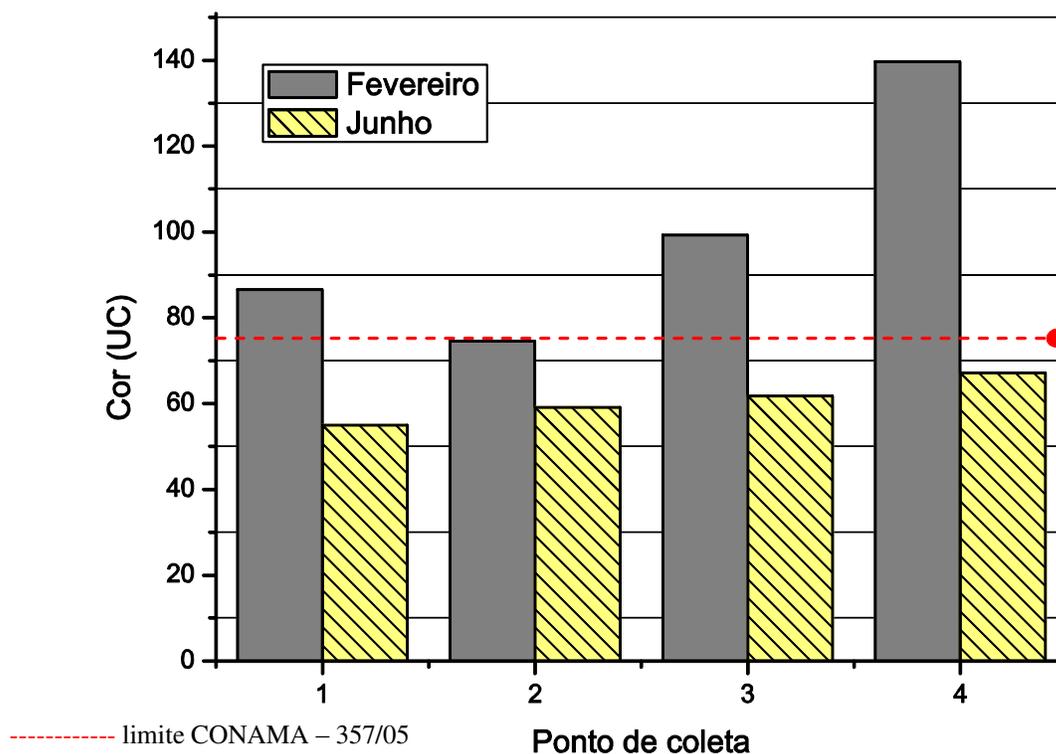


Figura 4.1 – Distribuição de cor da água Lagoa da Francesa nos meses de fevereiro e junho de 2010.

A cor elevada da água na amostragem de fevereiro é atribuída à origem natural, possivelmente a presença do ferro. Segundo Esperling (1995), o ferro está presente na forma insolúvel ( $\text{Fe}^{2+}$ ) numa grande quantidade de tipo de solo. Caso a água contendo a forma reduzida ( $\text{Fe}^{2+}$ ) seja exposta ao ar atmosférico, o ferro volta a se oxidar à sua forma insolúvel ( $\text{Fe}^{3+}$ ), é responsável pela sua coloração. Geologicamente, o solo predominante na região de Parintins onde está localizado a lagoa, é latossolo amarelo álico e podzólico vermelho amarelo álico, que são solos ricos em óxidos de ferro.

Na primeira coleta (fevereiro), com exceção da amostra 2, todas as demais amostras de água mantiveram-se acima dos limites permitidos pela Resolução CONAMA que estabelece valores de até 75 UC para rios de classe 3. Esses valores reduzem de forma significativa na coleta do mês de junho, onde os valores para cor verdadeira encontram-se dentro dos limites legais.

Da mesma forma, o parâmetro turbidez apresentou uma redução significativa nas amostragens de junho, conforme a Figura 4.2, o que condiz com a elevação do nível de água da lagoa e conseqüentemente sua diluição.

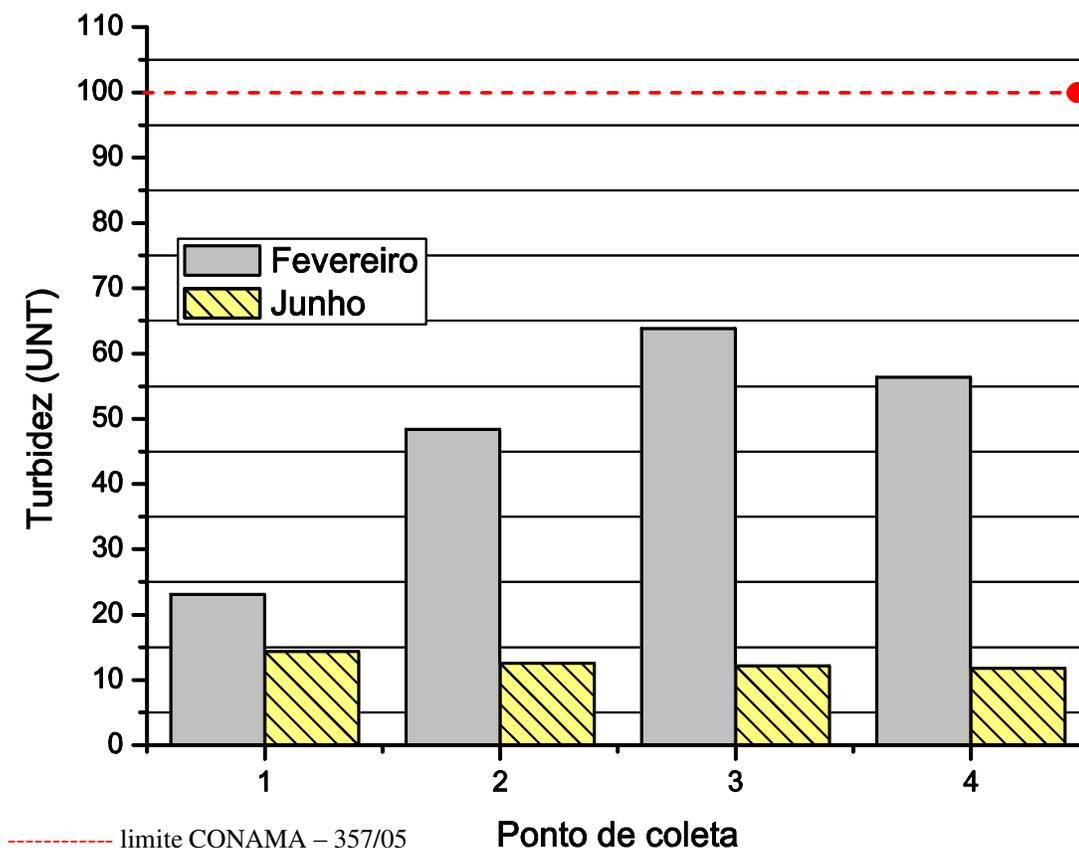


Figura 4.2 – Distribuição de turbidez na água da Lagoa da Francesa nos meses de fevereiro e junho de 2010.

Os valores elevados de turbidez para o mês de fevereiro pode ser atribuído a concentração dos sedimentos carreados pelo rio Amazonas e associado ao baixo nível de água na lagoa. O fato é evidenciado pela variação entre os pontos de coleta: os pontos 3 e 4 são os mais próximos do rio Amazonas, e apresentam maiores valores para turbidez. Nos pontos 1 e 2, de valores mais baixos, que estão localizados na parte central da lagoa, atribuí-se a variação ao processo natural de sedimentação da lagoa. O nível de turbulência dentro da lagoa é relativamente menor quando comparado com o

rio Amazonas, esse material em suspensão oriundo do rio se sedimenta à medida que a água flui para a lagoa.

No mês de junho, os valores encontrados para turbidez foram inferiores ao mês de fevereiro, isso é justificado devido à estabilização da lagoa. Nesse período, a lagoa alcança o nível máximo de água, causando sedimentação dos materiais em suspensão. No entanto, pode-se observar uma variação decrescente entre os pontos 1 e 4, que pode ser decorrente da influência da descarga dos esgotos domésticos para a lagoa. Em ordem crescente, o ponto 1 é a região mais próxima da zona residencial, o ponto 4 é o que sofre menor influência antrópica.

O parâmetro turbidez não excedeu os limites aceitáveis pela Resolução CONAMA 357/05, que estabelece para água de classe 3 até 100 UNT. Os valores variaram entre 23,11 a 63,81 (fevereiro) e de 11,77 a 14,40 (junho).

#### **4.1.2 pH e Alcalinidade**

O pH é considerado como um dos parâmetros ambientais mais importantes e de maior complexidade em sua interpretação devido ao grande número de fatores que podem influenciar seu valor (ESTEVES, 1998).

O valor de pH para águas naturais varia entre 6,5 e 8,5. Com exceção de alguns rios como o Negro e outros de água preta, que naturalmente possuem coloração escura devida a substâncias húmicas, que possuem pH entre 4,0 e 6,0 (PINTO et al., 2009).

Para Bringel et al. (1984), os rios e igarapés com menores níveis de água possuem maiores valores de pH. No entanto, os resultados do pH descritos neste trabalho (Figura 4.3), variam de 6,38 a 6,78 (mês de fevereiro) e 6,40 a 6,75 (mês de junho) mostrando que este parâmetro manteve-se próximo da neutralidade durante os dois períodos de coleta. A pouca variação entre os meses de fevereiro e junho, indica que os efluentes urbanos têm pouca influência sobre esse parâmetro. Segundo Santos e Ribeiro (1988) o pH do rio Amazonas, principal alimentador das águas da lagoa, apresentou valor de 6,39 na margem da cidade de Parintins, sendo esse parâmetro característico natural dos rios de águas-brancas da Amazônia, cujo pH é próximo de 7.

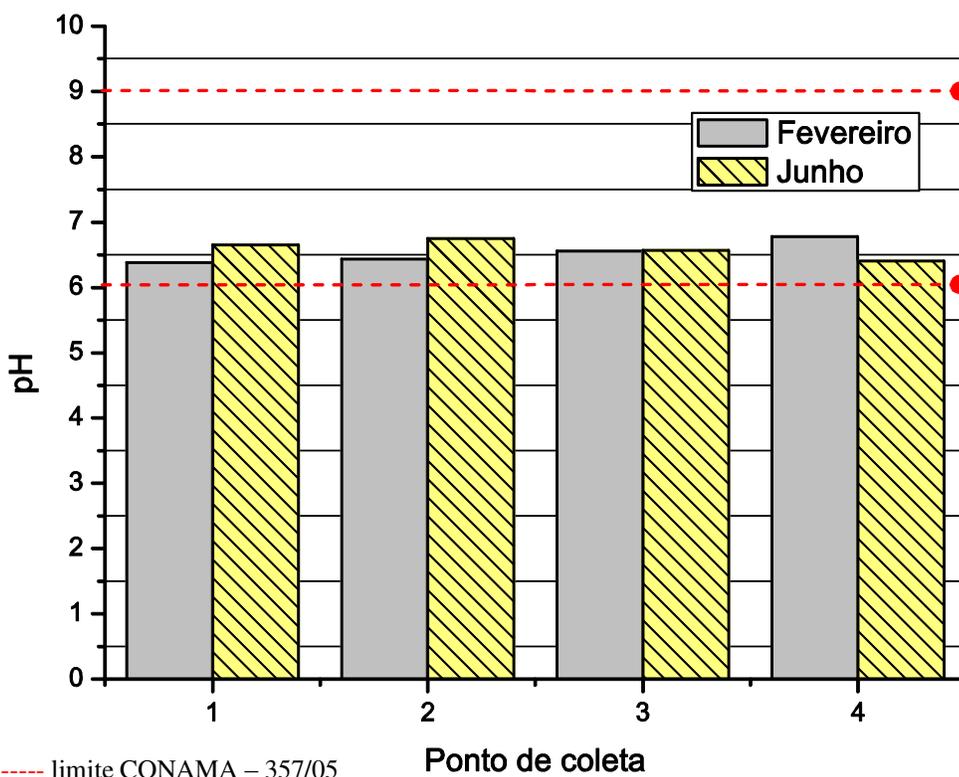


Figura 4.3 – Distribuição do pH da água na Lagoa da Francesa nos meses de fevereiro e junho de 2010.

Conforme Zeidemann, 2008 a lagoa da Francesa é alimentada pelo rio Amazonas que se constitui de águas-brancas com pH variando de 6,2 à 7,2 (), com isso, alguns igarapés (pequenos rios) podem também apresentar este tipo de água. Para a Resolução CONAMA 357/05, os limites estabelecidos de pH para águas de classe 3 são de 6,0 a 9,0. Naturalmente, valores de pH na faixa de 6 a 9 são considerados compatíveis para a maioria dos organismos aquáticos, especialmente para os peixes.

A alcalinidade apresentou valores reduzidos no mês de junho em todos os pontos de coleta, esta condição pode ser atribuída à capacidade de diluição da água da lagoa devido o seu nível elevado. Na Figura 4.4 observa-se valores correspondentes ao mês de fevereiro de 50,05 a 80,07 mg/L  $\text{CaCO}_3$ , e para o mês de junho de 20,52 a 41,24  $\text{CaCO}_3$  para os resultados de alcalinidade. Esse parâmetro mede a capacidade da água em neutralizar os ácidos, isto é, capacidade de resistência à variação de pH.

Os pontos de coletas estão dispostos de acordo com a interferência urbana, sendo o ponto 1 o mais próximo da área urbanizada e o 4 o mais distante; as variações foram

bastante significativas de um ponto a outro. Embora tenha ocorrido a redução da alcalinidade entre os dois períodos em estudo, nota-se em ambos os meses que os maiores valores ocorreram nos pontos mais próximos da área urbanizada, o que pode ser atribuído aos efluentes domésticos que são lançados na lagoa.

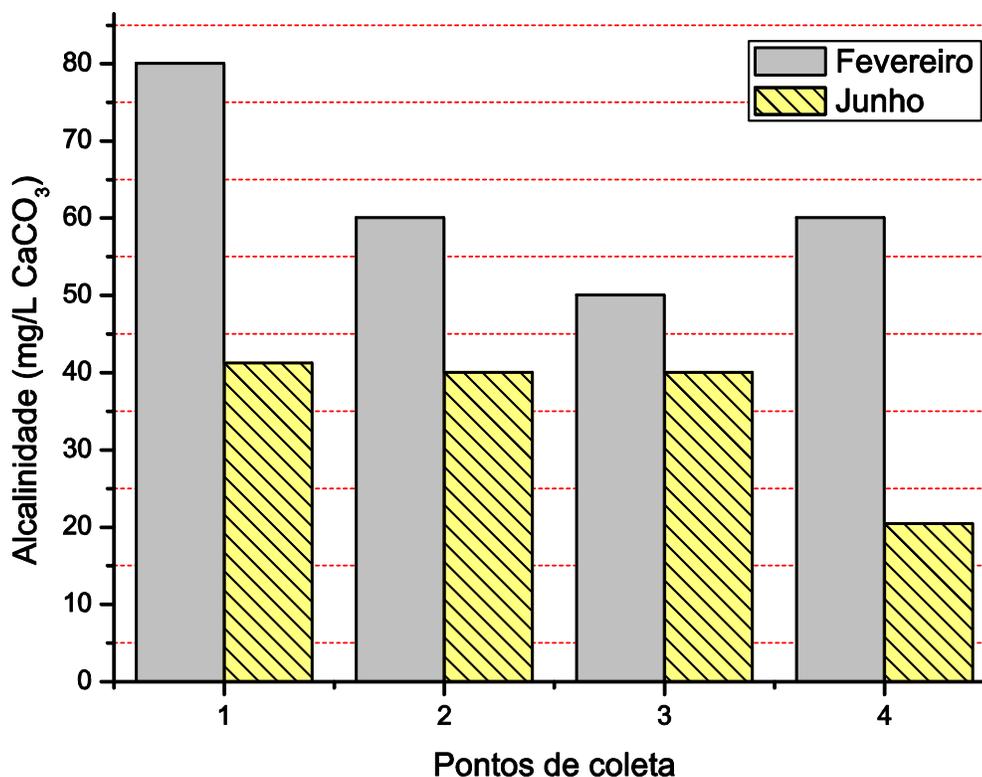


Figura 4.4 – Distribuição da alcalinidade na água da Lagoa da Francesa nos meses de fevereiro e junho de 2010.

#### 4.1.3 Dureza e Salinidade

O valor do parâmetro dureza apresentou redução em todos os pontos de coleta no mês de junho (Figura 4.5). O que pode estar relacionado ao aumento do volume de água na lagoa, com isso, aumenta o poder de diluição dos sais dissolvidos. Os valores observados variaram entre 2,76 a 4,02 (fevereiro) e 1,82 a 2,37 (junho). Os valores obtidos para o parâmetro dureza é referente a concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  presente na água da lagoa.

A dureza é causada pela concentração de cátions multimetálicos em solução (SPERLING, 1995). Os cátions divalentes mais freqüentes que se associam à dureza

são cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ). Em caso de supersaturação, esses cátions reagem com os ânions da água formando precipitados.

Pode-se relacionar dureza com a alcalinidade, pois a fonte mais comum de alcalinidade são as rochas de carbonatos (calcário), no caso  $\text{CaCO}_3$ . As medidas apresentadas na Figura 4.5 referem-se a concentração de cálcio presente nas amostras da água da lagoa.

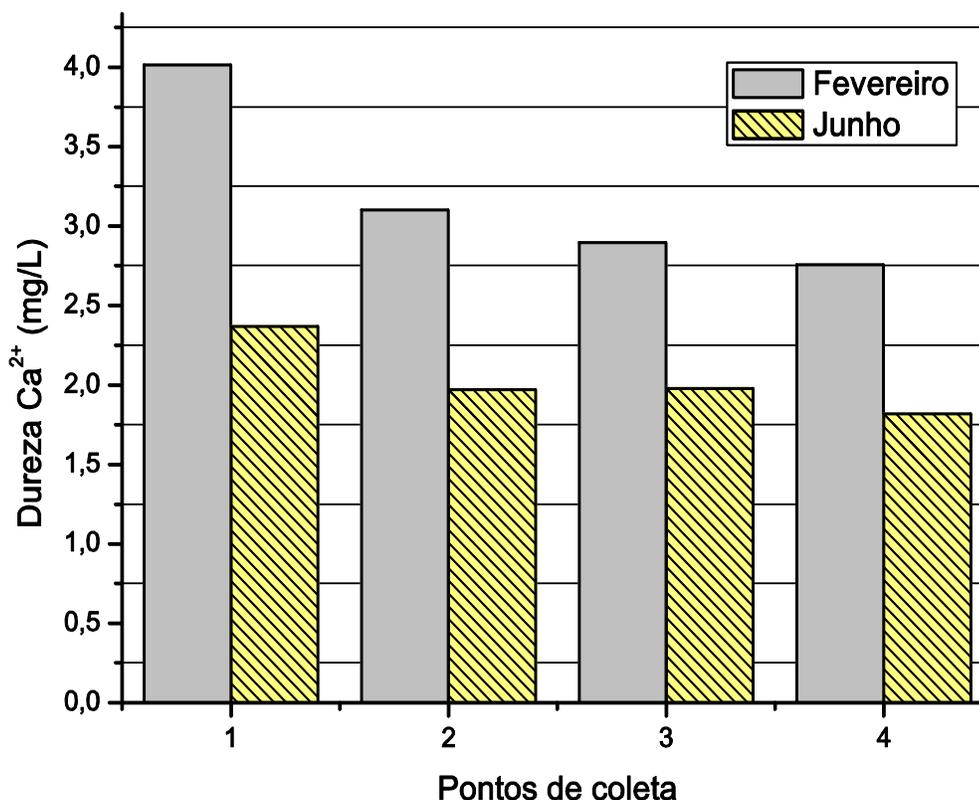


Figura 4.5 – Distribuição da dureza na água da Lagoa da Francesa nos meses de fevereiro e junho de 2010.

Os resultados quando comparados com a Tabela 4.1 classificam o teor de dureza. Portanto, apesar da lagoa receber despejos de esgotos domésticos, de acordo com os valores obtidos, a água da lagoa da Francesa pode ser considerada como muito macia e de boa qualidade.

Tabela 4.1 - Classificação das águas de consumo quanto à dureza ( $\text{CaCO}_3$ ) e qualidade

Quanto a dureza		Quanto a dureza e qualidade	
Tipo de água	Dureza (mg/L)	Tipo de água	Dureza (mg/L)
Muito mole	0 a 70	Boa qualidade	< 150
Mole (branda)	70 a 135	Qualidade média	150 a 300
Média dureza	135 a 200	Qualidade aceitável	300 a 600
Dura	200 a 350	Difícil amaciamento	> 600
Muito dura	> 350		

A salinidade das águas está relacionada tanto a fatores naturais como antrópicos, que de forma isolada ou interagindo, são decisivos na qualidade da água para diferentes usos. A Figura 4.6 apresenta os valores desse parâmetro para as coletas realizadas nos meses de fevereiro e junho nas águas da lagoa da Francesa.

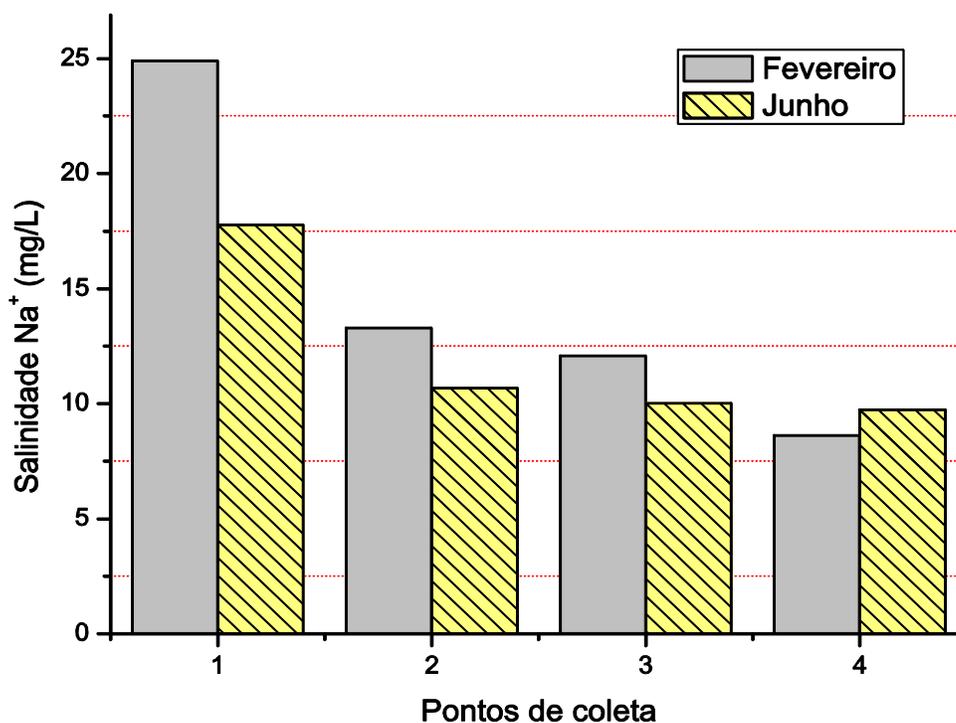


Figura 4.6 – Distribuição da salinidade na água da Lagoa da Francesa nos meses de fevereiro e junho de 2010.

Observa-se uma redução da salinidade entre os períodos, possivelmente atribuído a dissolução dos sais devido ao aumento do volume de água da lagoa no mês de junho. Em ambos os períodos, o ponto de coleta 1 apresentou maior concentração. Esse ponto está localizado na área mais urbanizada da lagoa, seqüencialmente os pontos 2 e 3 sendo o ponto 4 o de menor interferência antrópica.

Portanto, identificar os principais fatores que influenciam na salinidade das águas da lagoa da Francesa auxiliará na definição de medidas de prevenção e/ou conservação das águas em função de seus respectivos usos, melhorando a sua qualidade.

#### 4.1.4 Oxigênio: Demanda Bioquímica (DBO), Química (DQO) e Dissolvido (OD)

Os valores para o parâmetro oxigênio dissolvidos (OD) nas águas da lagoa estão apresentados na Figura 4.7. A concentração de OD na primeira coleta, que corresponde ao mês de fevereiro, foi considerada satisfatória. Esse parâmetro manteve-se acima de 4 mg/L, de acordo com os limites mínimos estabelecidos pela resolução CONAMA 357/05.

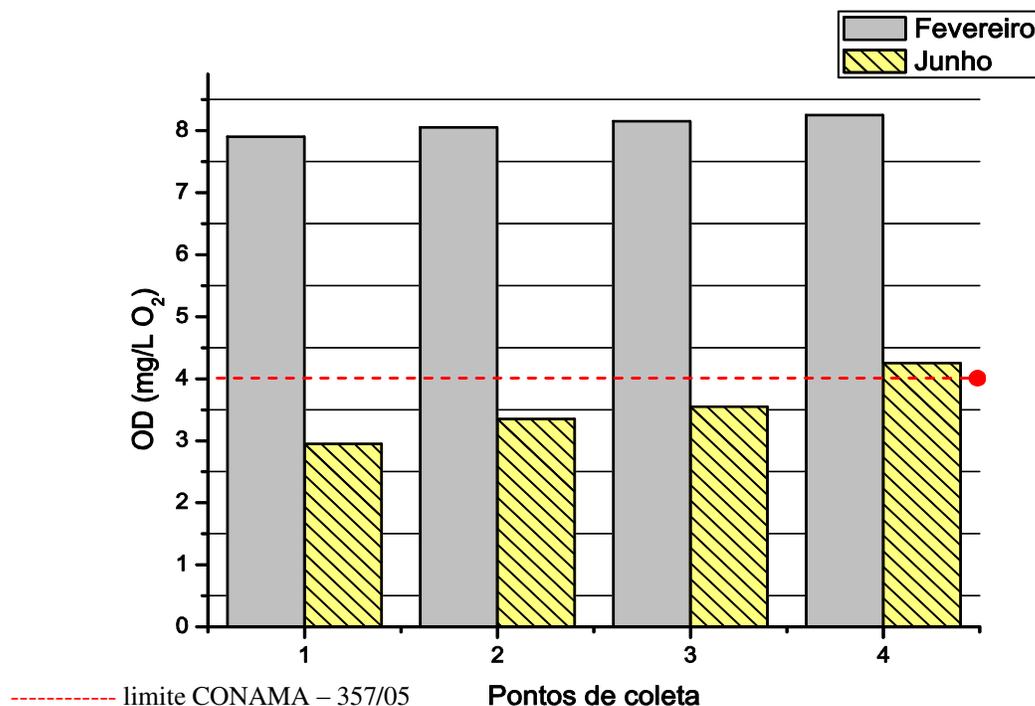


Figura 4.7 – Distribuição do oxigênio dissolvido na água da Lagoa da Francesa nos meses de fevereiro e junho de 2010.

Na segunda coleta, que corresponde ao mês de junho, o OD apresentou redução em todos os pontos de coleta, provavelmente devido ao aumento da matéria orgânica oriunda dos esgotos das casas e embarcações. O nível elevado da água no período de junho propicia o descarte desses efluentes diretamente nas águas da lagoa. Os pontos 1, 2 e 3 estão localizados na área mais urbanizada, e apresentaram os menores valores de OD, enquanto o ponto 4 é o menos urbanizado apresentou o maior valor de OD (Figura 4.7). Não foi encontrada correlação entre os valores de OD e os valores da DBO, uma vez que este último apresentou valores baixos, o que pode ser indício da presença de substâncias pouco biodegradáveis, isso está em concordância com os valores da DQO para esse mesmo período (Figura 4.8). Os valores de OD variaram entre 7,90 a 8,25 para o mês de fevereiro e 2,95 a 4,25 para o mês de junho.

As concentrações da DBO em ambos os períodos de coleta apresentaram resultados dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 de até 10 ml/L O<sub>2</sub>. Para todas as amostras de água os valores medidos ficaram abaixo do limite de quantificação dos métodos, no caso de 3 mg/L de O<sub>2</sub>, o que pode ser um indicativo de substâncias pouco biodegradável presentes nos efluentes.

Os valores da DQO para a água da lagoa estão mostrados na Figura 4.8. Esse parâmetro apresentou comportamento inverso aos demais parâmetros, com aumento de concentração em todos os pontos de coleta no mês de junho, o que pode indicar um aporte maior da matéria orgânica pouco biodegradável.

Os materiais redutores (orgânicos e inorgânicos) dispersos na água têm suas origens de fontes naturais e de efluentes industriais. Fatores como a composição da água, concentração do reagente, temperatura, tempo de contato e outros, podem alterar o valor da DQO. A Resolução CONAMA 357/05, não estabelece limites para esse parâmetro de qualidade de água. Os valores da DQO variaram entre 5 a 24 no mês de fevereiro e de 27,5 a 33 no mês de junho. Normalmente valores da DQO são maiores que os da DBO.

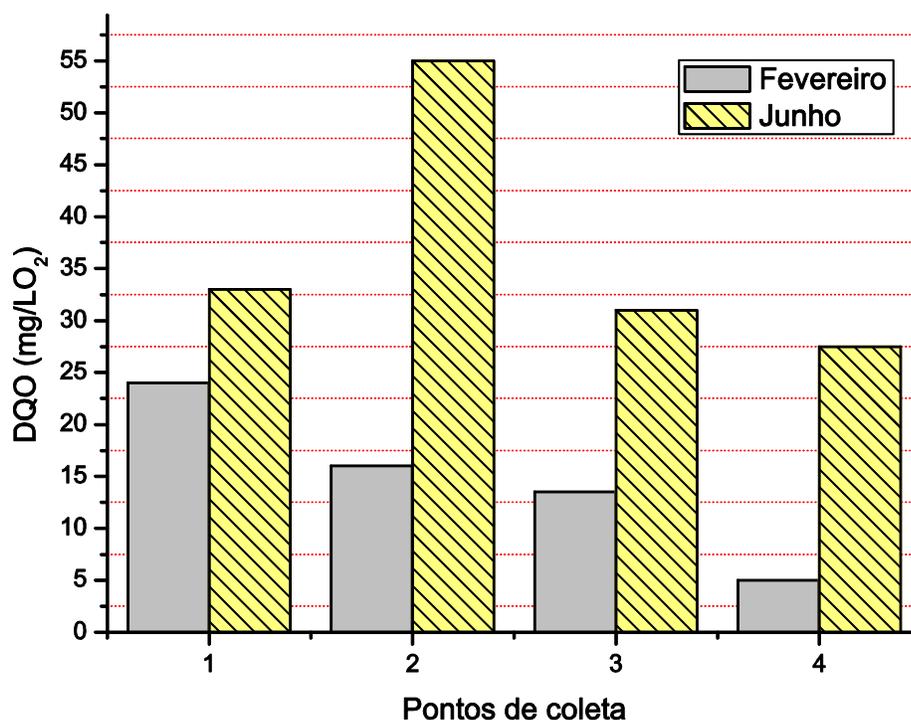


Figura 4.8 – Distribuição da DQO na água da Lagoa da Francesa nos meses de fevereiro e junho de 2010.

Não foi identificado nenhum trabalho anterior de caracterização da lagoa da Francesa em relação a este parâmetro, porém, comparando ao trabalho de Silva (1999) realizado em igarapés próximos de Manaus (com e sem interferência de efluentes), foram encontrados valores para DQO entre 20,8 a 67,0 mg/L. Segundo o autor, essa variação na DQO foi atribuída a quantidade de matéria orgânica quimicamente oxidável que são despejadas nos igarapés, oriundo principalmente de efluentes industriais.

Os resultados obtidos demonstram que os valores mais elevados foram observados nos pontos de coleta de maior interferência urbana.

#### 4.1.5 Metais pesados

Na Tabela 4.2 são apresentados os resultados das concentrações dos metais pesados observados nas amostras de água da lagoa da Francesa nos meses de fevereiro e junho. Observa-se no mês de fevereiro que foram encontradas elevadas concentrações de Cd, Pb, Cu e Zn. No mês de junho a concentração do Cd aumentou nos pontos 2, 3 e 4, sendo que no ponto 1 houve redução. Os metais Pb e Cu

apresentaram altas concentrações em todas as amostras de fevereiro, enquanto que no mês de junho não foram detectadas a presença do Pb nas amostras, tendo ocorrido redução significativa do Cu. O Ni apresentou comportamento inverso comparado aos demais metais, ou seja, no mês de fevereiro não foram detectados traços desse metal, no entanto no mês de junho foram encontradas altas concentrações. Todos os metais estão acima do valor máximo permitido pela Resolução CONAMA 357/05, com exceção do ponto 3 e 4 do Cu no mês de junho e do Zn que apresentou concentração sempre abaixo dos limites legais.

Tabela 4.2 – Concentração dos metais pesados na água da lagoa nos meses de fevereiro e junho

Ponto de coleta	Metais pesados (mg/L)									
	Cádmio (Cd)		Chumbo (Pb)		Cobre (Cu)		Níquel (Ni)		Zinco (Zn)	
	Fev	Jun	Fev	Jun	Fev	Jun	Fev	Jun	Fev	Jun
1	0,234	0,146	1,410	ND*	0,054	0,039	ND	0,762	0,089	0,055
2	0,129	0,139	1,470	ND	0,026	0,009	ND	0,474	ND	0,064
3	0,127	0,145	1,405	ND	0,021	ND	ND	0,491	ND	0,054
4	0,128	0,156	1,515	ND	0,027	0,004	ND	0,437	ND	0,050
<b>Conama 357/05</b>	<b>0,010</b>		<b>0,033</b>		<b>0,013</b>		<b>0,025</b>		<b>5,000</b>	

ND\* - Não detectado

Foram realizadas também neste trabalho análise do metal cromo (Cr), no entanto, não foram detectadas concentrações em nenhum dos pontos de coleta.

Deve ser considerado que em alguns pontos os índices elevados desses metais podem estar associados aos efluentes domésticos e industriais que são despejados nas águas da lagoa sem nenhum tratamento prévio ou, ainda, podem ser interferência dos postos de combustíveis flutuantes. Metais como Cu e Pb são constituintes de despejos domésticos. Baseados em estudos de fluxo de massa, uma contribuição de 50-80 % destes metais podem ser provenientes dos esgotos urbanos (BOLLER, 1997).

O cádmio apresentou concentrações acima do permitido pelo CONAMA 357/05 em todos os pontos de coletas nos meses de nível baixo (fevereiro) e alto (junho) da lagoa, isso é preocupante, uma vez que esse metal é nocivo a saúde humana. A lagoa vem recebendo continuamente resíduos contendo esse metal de fonte desconhecida. O cádmio é utilizado em uma grande variedade de processos, o que possibilita maior contato com o ser humano. Dentre suas várias aplicações, destacamos: pigmentação de tintas, fabricação de baterias, produção de ligas e semicondutores, etc. Apesar das condições da lagoa no mês de junho apresentarem mudanças, tais como volume e pH, não houve redução no teor de cádmio nos pontos 2, 3 e 4; observa-se que, somente o ponto 1 apresentou redução, porém, o valor encontrado no mês de junho, assim como os demais pontos de coleta, estão acima dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05.

A concentração do cádmio em água é inversamente proporcional ao pH e ao teor de matéria orgânica. Por existir em água somente no estágio de oxidação +2, o cádmio não sofre grande influência pelo potencial de oxi-redução da água. Na Tabela 4.2 são apresentados os valores para o teor de cádmio que variaram entre 0,127 a 0,234 (fevereiro) e 0,139 a 0,156 (junho).

A redução dos metais chumbo (Pb) e cobre (Cu) no mês de junho podem estar associadas à precipitação desses metais em decorrência das condições de pH da água. As Figuras 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15 e 4.16 apresentam os resultados obtidos no teste de precipitação.

A ausência do chumbo nas amostras do mês de junho pode ser devida a precipitação desse metal. A Figura 4.9 apresenta o resultado do teste de precipitação para o chumbo no ponto de coleta 1, indicando a formação de precipitados aproximadamente no pH 6,5. Os valores de pH para o ponto de coleta 1 foi de 6,38 (fevereiro) e 6,65 (junho).

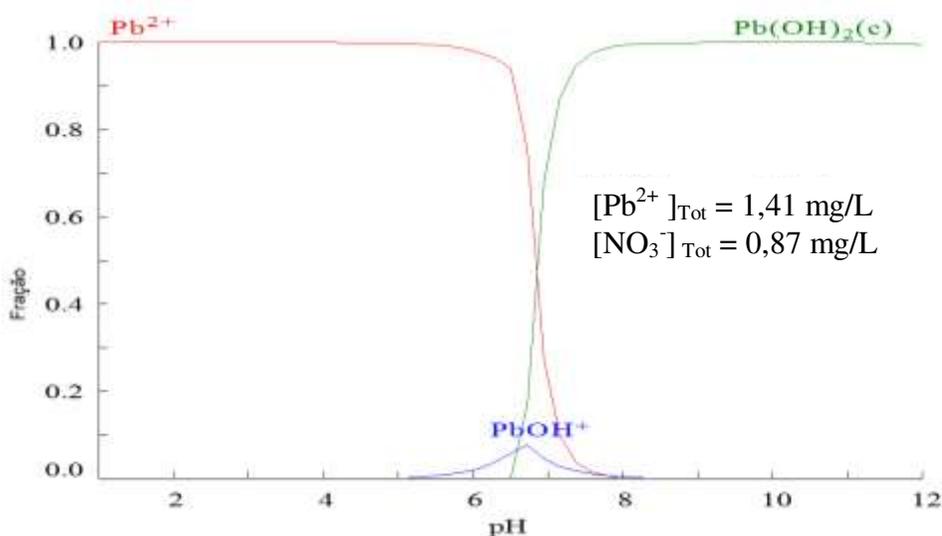


Figura 4.9 – Resultado do teste de precipitação do chumbo no ponto de coleta 1

O chumbo é um metal ligado à poluição, é tóxico, bioacumulativo e não possui função biológica conhecida, tanto para as plantas como para os seres humanos. As concentrações de chumbo encontradas no mês de fevereiro (Tabela 4.2) demonstram que esse metal está acima dos limites legais em todos os pontos de coletas.

A concentração de chumbo nas águas superficiais depende do pH, salinidade e da temperatura. A forma divalente ( $Pb^{2+}$ ) nos ambientes aquáticos é a mais estável. O chumbo tem tendência a formação de compostos de baixa solubilidade, com uma quantidade grande de ânions normalmente encontrados em águas naturais como hidróxidos, carbonatos, sulfatos e fosfatos, que possuem baixa solubilidade e tendem a precipitar. Com isso, uma parcela significativa do chumbo nas águas dos rios encontra-se não dissolvido, formada por partículas coloidais ou maiores, incorporadas em outros componentes do material particulado.

No ponto de coleta 2 também não foi encontrado chumbo na coleta do mês de junho. Conforme análise anterior, a ausência do chumbo nas amostras do mês de junho pode ser devida a precipitação do metal. A Figura 4.10 apresenta o resultado do teste de precipitação para o chumbo indicando a formação de precipitados no intervalo de pH 6 e 7. As condições da água da lagoa no mês de fevereiro propícia para a presença dos íons  $Pb^{2+}$  dissolvidos no meio, bem como a formação de precipitados  $Pb(OH)_2$  no mês de junho.

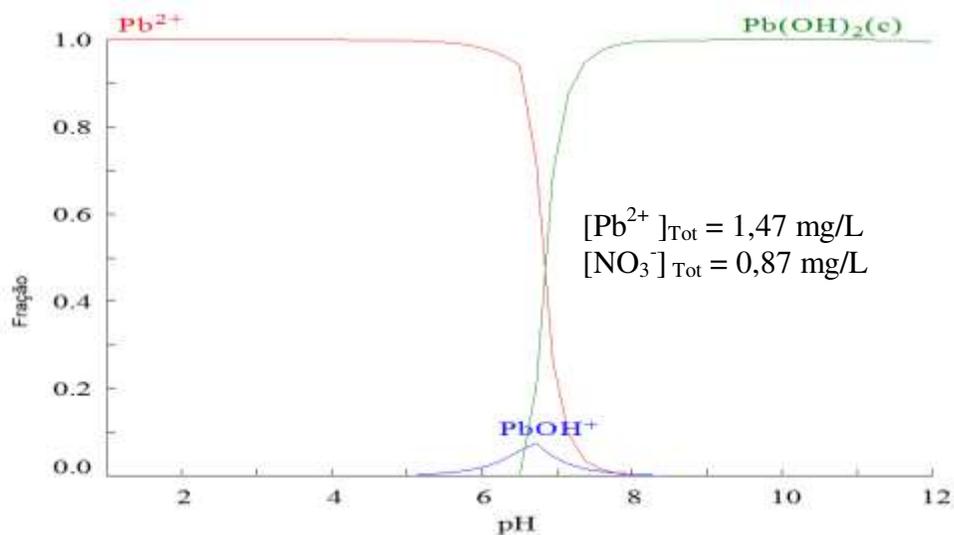


Figura 4.10 – Resultado do teste de precipitação do chumbo no ponto de coleta 2

Seguem-se as mesmas condições de análises para os pontos de coleta 3 e 4 (Figura 4.11 e 4.12) para o chumbo, que apresentam resultados para o teste de precipitação nos intervalos de pH 6 e 7.

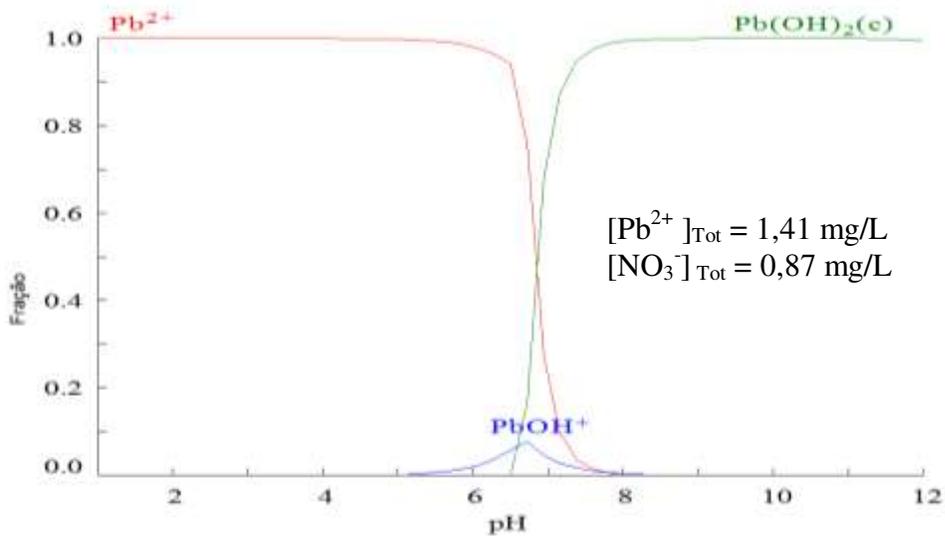


Figura 4.11 – Resultado do teste de precipitação do chumbo no ponto de coleta 3

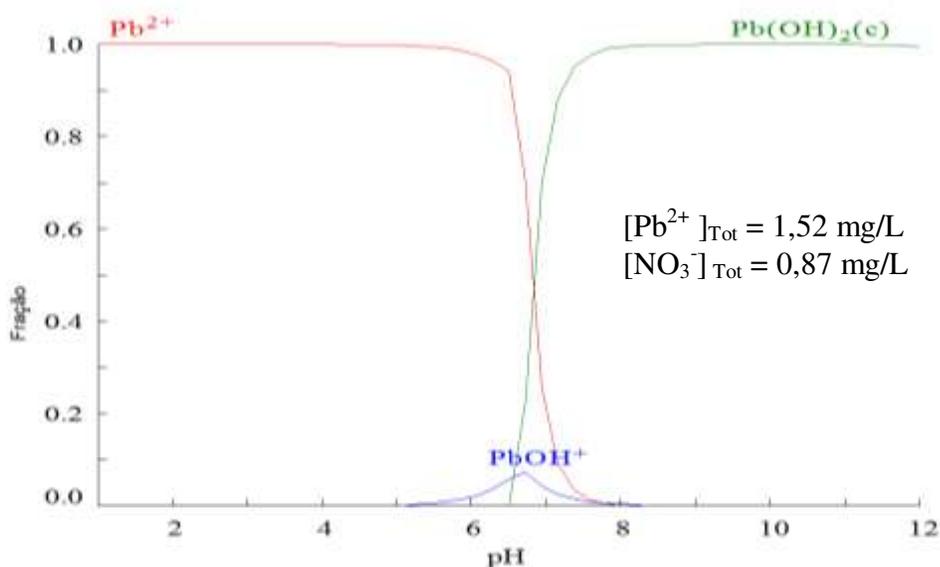


Figura 4.12 – Resultado do teste de precipitação do chumbo no ponto de coleta 4

A ausência do cobre nas amostras do mês de junho pode ser devida a precipitação desse metal. As Figuras 4.13 a 4.16 apresentam o resultado do teste de precipitação para o cobre nos pontos de coleta 1, 2, 3 e 4, respectivamente, indicando a formação de precipitados nos intervalos de pH 6 a 7.

A maioria do cobre lançado nos corpos d'água está na forma de material particulado, é adsorvido pela matéria orgânica, por argila ou pelos óxidos hidróxidos de ferro e manganês, e se deposita ou precipita nos sedimentos.

Outro fator é o nível elevado de água da lagoa no mês de junho, que pode possibilitar a diminuição da concentração desses metais. Isso foi observado no trabalho realizado por Pinto et al. (2009) no rio Negro, o qual mostra a relação entre o comportamento dos poluentes e o nível das águas.

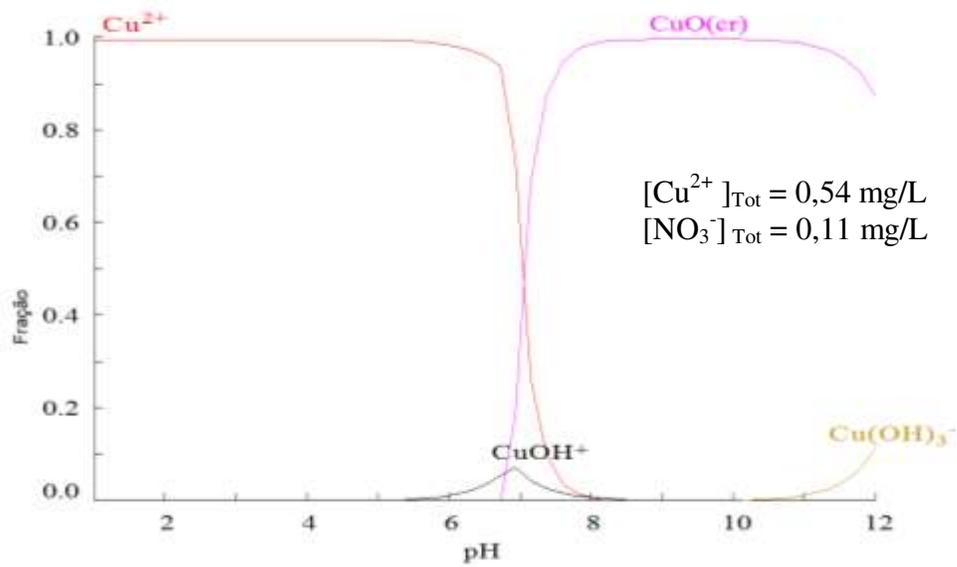


Figura 4.13 – Resultado do teste de precipitação do cobre no ponto de coleta 1

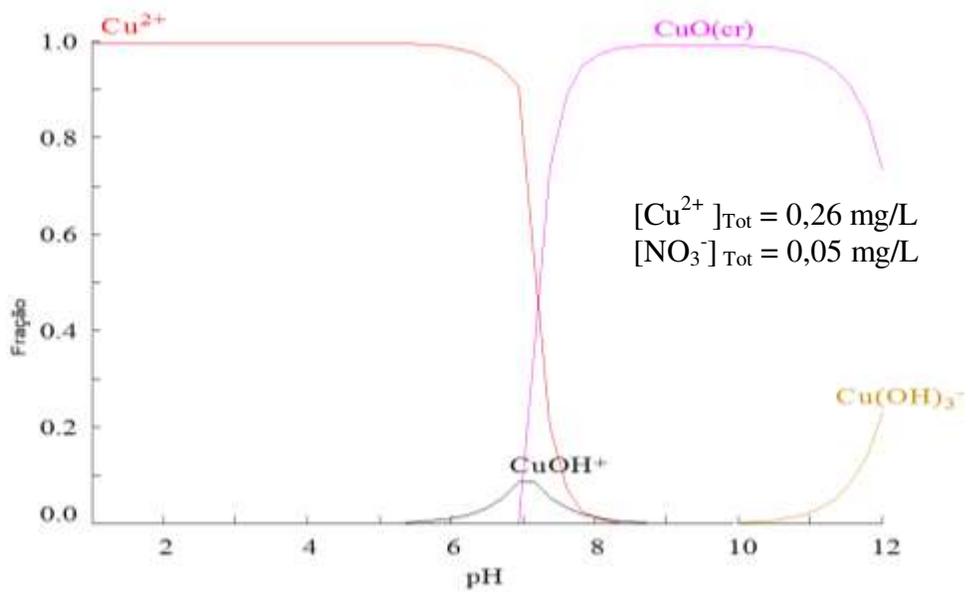


Figura 4.14 – Resultado do teste de precipitação do cobre no ponto de coleta 2

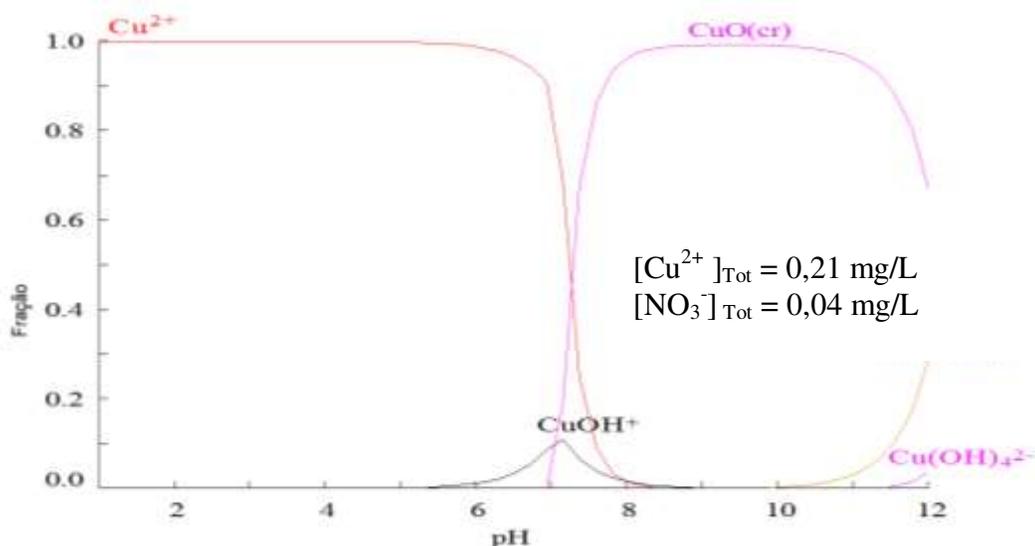


Figura 4.15 – Resultado do teste de precipitação do cobre no ponto de coleta 3

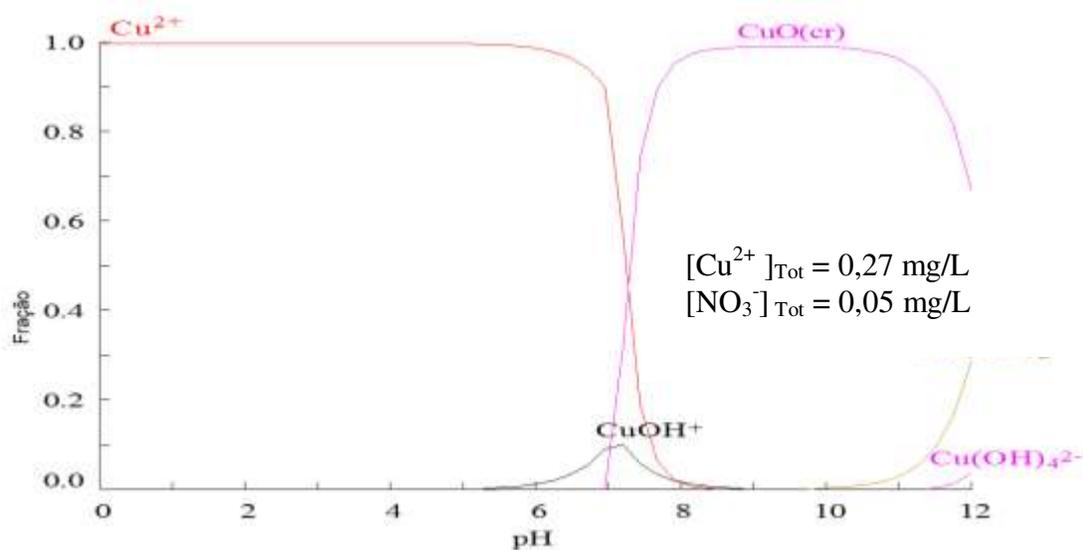


Figura 4.16 – Resultado do teste de precipitação do cobre no ponto de coleta 4

Os metais níquel e zinco apresentaram comportamento inverso ao chumbo e cobre sendo que o níquel aparece em concentrações acima dos limites legais no mês de junho em todos os pontos de coleta (Tabela 4.2).

Apesar de o zinco aparecer em concentrações abaixo dos limites legais, sua presença foi encontrada no ponto 1 do mês de fevereiro e em todos os pontos de coleta de junho, isso dá indício de fonte de efluente com traços desse metal.

Apesar desses metais terem apresentado redução, não é um indicativo de melhora nas condições do problema, pois os metais podem se acumular nos sedimentos da lagoa e mudanças ambientais podem afetar sua biodisponibilidade. Segundo Cotta et. al (2006), a sedimentação desses metais não é um processo absoluto, uma vez sedimentados, esses metais podem novamente retornar para a coluna d'água através de reações de oxi-redução, ou por processos de re-suspensão de origem física (correnteza), biológica (atividade dos organismos que vivem nos sedimentos) e humana (dragagem e navegação).

#### **4.1.6 Carga orgânica - BTEX**

Na análise de BTEX efetuada não foram detectadas a presença de benzeno, tolueno, xileno e etilbenzeno em todos os pontos de coleta, apesar de existirem postos de combustíveis móveis responsáveis pelo descarte de efluentes com a presença destes constituintes.

#### **4.1.7 Coliformes fecais**

Os resultados obtidos para coliformes fecais indicam a interferência da ação antrópica nas águas da lagoa, representadas pelos dejetos fecais. O índice de coliformes fecais nos pontos de coleta 1, 2 e 3, mostrados na Figura 4.17 apresentaram resultados muito acima dos limites preconizados pela legislação brasileira, para águas de classe 3, com exceção do ponto 4 que se manteve de acordo com o limite exigido. Esses valores elevados indicam alterações na qualidade da água, ocasionada pelos efluentes domésticos que são lançados na lagoa. Não foi possível analisar amostras no mês de fevereiro devido problemas no tempo de transporte das amostras. No entanto, esse parâmetro foi o melhor indicativo da interferência urbana sobre a qualidade da água da lagoa.

A maior concentração urbana está localizada nos pontos 1, 2 e 3; o ponto 4 é o único localizado na área não urbanizada da lagoa. Durante o período de cheia, o tráfego fluvial da lagoa aumenta, servindo de abrigo para as embarcações, gerando mais um agravante devido as mesmas não possuem sistema de armazenamento de excremento para posterior descarte em locais apropriados.

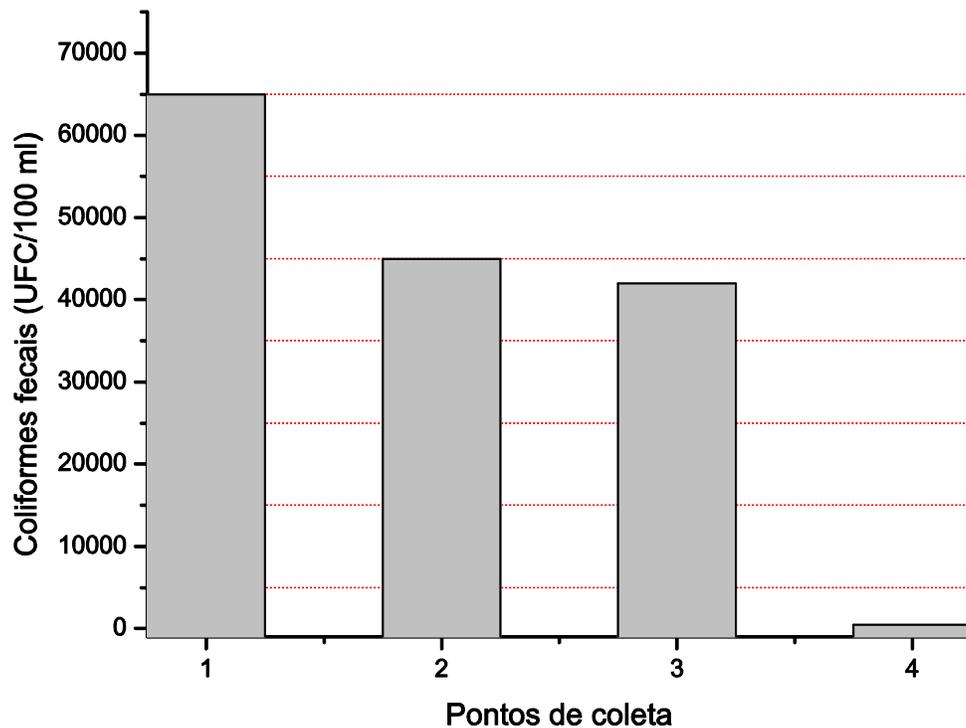


Figura 4.17 – Distribuição de coliformes fecais na Lagoa no mês de junho de 2010.

A Resolução CONAMA 357/05 atribui como limite para água de classe 3, no caso de recreação de contato secundário, não exceder a 2.500 CF/100mL. Segundo a portaria nº 518, de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde, no caso de água para abastecimento da população, exige a ausência total de coliformes fecais.

Nas Tabelas 4.3 e 4.4 estão apresentados de forma resumida, os resultados dos parâmetros analisados neste trabalho para melhor acompanhamento da qualidade da água da lagoa da Francesa, foco deste estudo.

Tabela 4.3 – Resultado dos parâmetros analisados da água da Lagoa da Francesa nos meses de fevereiro e junho de 2010

Pontos de coleta	1		2		3		4		
	Meses de coleta	Fev	Jun	Fev	Jun	Fev	Jun	Fev	Jun
Cor [UC]		86,57	54,94	74,63	59,13	99,30	61,79	139,7	67,22
Turbidez [UNT]		23,11	14,40	48,40	12,53	63,81	12,20	56,34	11,77
pH		6,38	6,65	6,43	6,75	6,56	6,57	6,78	6,78
Alcalinidade [mg/L CaCO <sub>3</sub> ]		80,07	41,24	60,05	40,04	50,05	40,04	60,05	20,52
Dureza Ca <sup>+</sup> [mg/L]		4,02	2,37	3,10	1,97	2,90	1,98	2,76	1,82
Salinidade Na <sup>+</sup> [mg/L]		24,90	17,77	13,30	10,68	12,09	10,01	8,61	9,74
OD [mg/L O <sub>2</sub> ]		7,90	2,95	8,05	3,35	8,15	3,55	8,25	4,25
DBO [mg/L O <sub>2</sub> ]		< LQ*	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
DQO [mg/L O <sub>2</sub> ]		24	33	16	55	13,5	31	5	27,5
Carga Orgânica – BTEX		NA*	ND*	NA	ND	NA	ND	NA	ND
Coliformes Fecais [UFC/100 mL]		NA	65.00 0	NA	45.00 0	NA	42.00 0	NA	450

\*ND – Não detectado; \*NA – Não avaliado; \*LQ – Limite de Quantificação do método 3 mg/L

Tabela 4.4 – Resultado dos metais pesados na água da Lagoa da Francesa nos meses de fevereiro e junho de 2010

Ponto de coleta	Metais pesados (mg/L)									
	Cádmio (Cd)		Chumbo (Pb)		Cobre (Cu)		Níquel (Ni)		Zinco (Zn)	
	Fev	Jun	Fev	Jun	Fev	Jun	Fev	Jun	Fev	Jun
1	0,234	0,146	1,410	ND*	0,054	0,039	ND	0,762	0,089	0,055
2	0,129	0,139	1,470	ND	0,026	0,009	ND	0,474	ND	0,064
3	0,127	0,145	1,405	ND	0,021	ND	ND	0,491	ND	0,054
4	0,128	0,156	1,515	ND	0,027	0,004	ND	0,437	ND	0,050
<b>Conama 357/05</b>	<b>0,010</b>		<b>0,033</b>		<b>0,013</b>		<b>0,025</b>		<b>5,000</b>	

\*ND – Não Detectado

## **CAPITULO 5**

### **CONCLUSÕES e SUGESTÕES**

#### **5.1 Conclusões**

Cada sistema hídrico tem suas próprias características, no caso da lagoa da Francesa, foco deste estudo, existe uma forte relação entre a sazonalidade das águas e os parâmetros medidos nos períodos investigados, fazendo com que as características naturais desse ambiente sejam diferenciadas de acordo com o período do ano. O estudo foi realizado nos meses de fevereiro e junho e que correspondem aos períodos compreendidos entre o nível baixo e alto de água respectivamente. Os resultados mostraram que:

- A lagoa ainda mantém sua capacidade de diluir os poluentes, principalmente no período de maior volume de água (junho).
- No período de cheia (junho), os valores da alcalinidade, turbidez, cor, dureza e salinidade apresentaram redução significativa, o que pode ser atribuído ao maior volume de água nesse período do ano, favorecendo a diluição.
- O pH apresentou pequena variação, com tendência a neutralidade em ambos os períodos, mantendo as características do rio Amazonas.
- Coliformes fecais foi o parâmetro que indicou maior alteração na qualidade da água devido ao despejo dos esgotos domésticos, oriundos das residências e das embarcações, este último usa a lagoa como abrigo no período de cheia (junho). Esses efluentes são lançados diretamente na lagoa sem o devido tratamento.

- 
- Apesar do volume de embarcações na lagoa ser intenso, o que favorece a instalação de postos de combustíveis flutuantes, conforme observado no local de estudo, não foi encontrada presença detectável de BTEX nas amostras de água.
  - Os valores de DBO mantiveram-se dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 em todas as amostras. Houve redução do OD nas coletas referentes ao mês de junho, não apresentando correlação com a DBO nesse mesmo período, essa redução pode indicar a presença de espécies pouco biodegradável. Isto pode ser observado nos resultados da DQO, que apresentaram valores maiores no período de junho.
  - Os metais pesados Pb e Cu foram encontrados em todas as amostras de fevereiro, com redução significativa no mês de junho. Atribui-se essa redução à precipitação desses metais e sua possível incorporação ao solo, fato preocupante devido à toxicidade que apresentam à saúde humana e ao meio ambiente. O metal Cd apresentou concentrações acima dos limites legais em ambos os períodos de coleta. O Ni apareceu nas amostras do mês de junho em concentrações acima dos limites legais. Apenas o Zn apresentou concentração abaixo dos padrões da Resolução CONAMA 357/05. A presença desses metais pesados mostra a existência de fontes poluidoras que vem comprometendo a qualidade da água da lagoa.
  - Os dados encontrados para os metais pesados neste trabalho permitem inferir que as diferentes concentrações são decorrentes de atividades típicas desenvolvidas na lagoa.
  - Devido a cidade de Parintins não possuir sistema de tratamento de esgoto, e como resultados relativos aos coliformes fecais foram acima do limite legal e ambientalmente aceitáveis, recomenda-se implantação de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) como uma ação necessária para a preservação das águas e solo da lagoa na área urbana da cidade.

## **5.2 Sugestões para próximos trabalhos**

- Por se tratar de um ambiente que recebe efluentes domésticos sem tratamento adequado, torna-se necessário um estudo mais detalhado, com monitoramento contínuo do descarte dos efluentes lançados na lagoa da Francesa, com maior número de pontos de coleta e em menor distância entre os períodos de sazonalidade.
- Estudos de caracterização dos sedimentos, visando mapeamento das fontes poluidoras da lagoa, para estabelecimento de estratégia de remediação de solo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA, AWWA, WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21 ed., Washington, 2005.

AZEVEDO, F. A; CHASIN, A. M. **As Bases Toxicológicas da Ecotoxicologia**. São Paulo: Editora Rima (interfox), 2004. 340 p.

BÁRBARA, V. F. **Uso do Modelo QUAL2E no Estudo da Qualidade da Água e da Capacidade de Autodepuração do Rio Araguari – AP (AMAZÔNIA)**. 2006. 174 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente) – Universidade Federal de Goiás, Goiás, 2006.

BAIRD, C. **Química ambiental**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 622p.

BIDONE, E. D.; CASTILHOS, Z. C. ; GUERRA, T. Integração dos estudos através de uma abordagem (Sócio) Econômica ambiental. In: Instituto de Ecologia UFRGS. (Org.). **Carvão e Meio Ambiente**. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. v. 10. pp. 271-399, 2000.

BOLLER M. Tracking heavy metals reveals sustainability deficits of urban drainage systems. **Wat. Sci Tech**. v. 35 (9), p. 77-87, 1997.

BRANCO, S. M. **Hidrobiologia aplicada a Engenharia Sanitária**. CETESB, 1986.

BRANCO, S. M. **Ecossistêmica: uma abordagem integrada dos problemas do meio ambiente**. 2ª ed. Editora Edgard Blücher Ltda. 1999. 202 p.

BRASIL, MINISTÉRIO DA SAUDE. **Avaliação de risco à saúde humana por metais pesados no município de Santo Amaro da Purificação, Bahia**. Disponível em:

<[http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/resumo\\_executivo\\_sto\\_amaro.pdf](http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/resumo_executivo_sto_amaro.pdf)> .

Acesso em: 10 março 2011.

BRASIL, CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). 2005. Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. Brasília, DF.

BRASIL, CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). 2000. Resolução n. 273, de 29 de novembro de 2000. Brasília, DF.

BRASIL, CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). 1986. Resolução n. 20, de 18 de junho de 1986. Brasília, DF.

BRINGEL, S. R. B.; SANTOS, U. M.; RIBEIRO, M. N. G.; FILHO, H. B. Bacia do rio Parauari-Maués-Açú. Aspectos químicos devido as alterações hidrológicas da bacia. **Acta da Amazônia**. v. 14 (1-2), p. 75-85, 1984.

CAMPOS, S. **Medicina avançada**. Metais pesados. Disponível em :

<<http://www.drashirleydecampos.com.br/noticias.php?noticiaid=4696&assunto=Metais%20Pesados%20/%20Transi%C3%A7%C3%A3o>> . Acesso em: 05 abril 2011.

CERETTA, M. C., **Avaliação dos aspectos da qualidade da água na sub-bacia hidrográfica do Arroio Cadena-município de Santa Maria-RS**. 2004. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2004.

COTTA, J. A. O; REZENDE, M. A. O; PIOVANI, M. R. Avaliação do Teor de Metais em Sedimento do Rio Betari no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira – Petar, São Paulo, Brasil. **Química Nova**, v. 29, n. 1, p. 40-45, 2006.

CUNHA, H. B.; PASCOALOTO, D. **Hidroquímica dos rios da Amazônia**. Governo do Estado do Amazonas; Secretaria de Estado da Cultura; CCPA. 2006. Disponível em: <[http://www.povosdamazonia.am.gov.br/pdf/res\\_hid\\_qui.pdf](http://www.povosdamazonia.am.gov.br/pdf/res_hid_qui.pdf)>. Acesso em: 01 de abril 2010.

CUNHA, A. C; CUNHA, H. F. A; SOUZA, J. de A; NAZARÉ A. S. Monitoramento de Águas Superficiais em Rios Estuarinos do Estado do Amapá sob Poluição Microbiológica. *Ciências Naturais*, Belém, v. 1, n. 1, p. 191-199, jan-abr. 2005.

EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, UEA – Method 8260 B.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro. Intendência/FINEP. 1998.

FILIZOLA, N. et al. Caracterização hidrológica da Bacia Amazônica. In: **Amazônia - Uma perspectiva interdisciplinar**. Rivas e Freitas (Org.). Ed. Univ. Amaz., Manaus, 2002. p. 271.

FORSTNER, U.; WITTMANN, G. T.W. **Metal pollution in the aquatic environment**. 2 ed. New York. Springer-Verlag. 1983.

FURCH, K. Chemistry and bioelement inventory of contrasting Amazonian forest soils. In: Junk, W. J., Ohly, J., Piedade, M.T.F. & Soares, M.G.M. (eds) **The Central Amazonian floodplain ecosystems: actual use and options for sustainable management**. Backhuys Publishers, Leiden. p. 109-126, 2000.

HOMEM, E. M. **Remoção de chumbo, níquel e zinco em zeólita utilizando sistema de leite fluidizado**. 2001. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Faculdade de Engenharia Química. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

HONGVE, D.; AKESSON, G. Spectrophotometric determination of water colour in Hazen units. **National Institute of Public Health**, v. 30, n. 11, p. 2771-2775, 1996.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo democrático 2010**. Disponível em:

<[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default\\_uf.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default_uf.shtm)>.

Acesso em: 08 julho 2010.

JIMENEZ, R. S.; DAL BOSCO, S. M.; CARVALHO, W. A. Remoção de metais pesados de efluentes aquosos pela zeólita natural: influência da temperatura e do pH na adsorção em sistemas monoelementares. **Química Nova**, v.27, n. 5, p. 734 – 738, 2004.

JORDÃO, C. P.; SILVA, A. C.; PEREIRA, J. L.; BRUNE, W. Contaminação por cromo de águas de rios provenientes de curtumes em Minas Gerais. **Química Nova**, v. 22, p. 9-15, 1999.

JUNK, W. J. Neotropical floodplains: a continental-wide view. In: Junk, W. J., Ohly, J., Piedade, M. T. F. e Soares, M. G. M. (eds) **The Central Amazonian floodplain ecosystems: actual use and options for sustainable management**. Backhuys Publishers, Leiden. p. 5-24, 2000.

LIMA, E. B. N. R. **Modelagem integrada para gestão da qualidade da água na Bacia do Rio Cuiabá**. 2001. 184f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

MAIA NETO, R. F. Água para o desenvolvimento sustentável. **A Água em Revista**, Belo Horizonte, n.9, p. 21-32, 1997.

MAGNA, G. A. M. **Análise da exposição por chumbo e cádmio presentes em alimentos vegetais e gramíneas no município de Santo Amaro – Ba, caso do passivo ambiental da Cobrac**. 2011. 182 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

MARTINS, M. **Variação e tendências dos parâmetros de qualidade de água do ecossistema aquático da microbacia hidrográfica Córrego da Onça no município de Ilha Solteira/SP**. 2009. 57f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia – UNESP, Ilha Solteira, 2009

PAZ, V. P. S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 465-473, 2000.

PEIXOTO, J. **Análises físico-químicas: turbidez, cor, pH, temperatura, alcalinidade e dureza**. Laboratório de Tecnologias Ambientais – MIEB, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal, 2007. Disponível em:

<<http://www.biologica.eng.uminho.pt/TAEL/downloads/analises/cor%20turbidez%20ph%20t%20alcalinidade%20e%20dureza.pdf>>

PINTO, A. G. N.; HOBRE, A. M. C.; SILVA, M. S. R.; MIRANDA, S. A. F.; PASCOALOTO, D.; SANTOS, H. M. C. Efeito da ação antrópica sobre a hidrogeoquímica do rio Negro na orla de Manaus/AM. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 39, n. 3, p. 627-638, 2009.

PUIGDOMENECH, I., *Chemical Equilibrium Diagrams*. Stockholm, Sweden: Inorganic Chemistry Royal Institute of Technology (KTH), 2004.

REBOUÇAS, A. C; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3 ed. São Paulo: Escrituras Editora. 2006. 164 p.

RISSATO, S.R.; LIBÂNIO, M.; GIAFFERIS, G. P.; GERENUTTI, M., Determinação de pesticidas e organoclorados em água de manancial, água potável e solo na região de Bauru (SP). **Quím. Nova**, v. 27, n.5, p. 739-743, 2004.

SANTANA, K. B. **Respostas morfo-fisiológicas de *Genipa Americana* I ao cromo tri e hexavalente: avaliação de seu potencial fitorremediador**. 2007. 93 F. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus-Bahia, 2007.

SANTOS, U. M; RIBEIRO, M. N. G. A hidroquímica do rio Solimões – Amazonas. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 18, n. 3, p. 145-172, 1988.

SILVA, M. S. R.; RAMOS, J. P.; PINTO, A. G. N. Metais de transição nos sedimentos de igarapés de Manaus-Am. **Acta Limnologica Brasiliensia**, Rio Claro – SP, v. 11, n. 2, p. 89-100, 1999.

SIOLI, H. Tropical rivers as expressions of their terrestrial environments. *In*: Golley, F.B.; Medina, E. **Tropical ecological systems: trends in terrestrial and aquatic research**. New York: Springer Verlag, 1975. p. 275-288.

SIOLI, H. The Amazon and its main affluents: hydrogeography, morphology of the river courses and river types. *In*: Sioli, H. (ed.) **The Amazon: limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin**. Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht. 1984. p. 127-165.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: SEGRAC, 1995. 238 p.

SPERLING, M. V. **Princípio do tratamento biológico de águas residuárias**. Vol 1. Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. DESA/UFMG, Belo Horizonte, 1996. 243 p.

STALLARD, R. F; EDMOND, J.M. Geochemistry of the Amazon 2: the influence of geology and weathering environment on the dissolved load. **Journal of Geophysical Research**, v. 88, n. 14, p. 9671 – 9688, 1983.

STRUJAK, D.; VIDAL, C. M. do S. Poluição das águas – revisão de literatura. **Revista eletrônica Lato Sensu**, Manaus, v. 2, n. 1, p. 11-26, 2007.

TARALLI, G. **Gerenciamento de riscos e impactos ambientais, apostila de engenharia ambiental**, 2002. p. 131.

TIBURTIUS, E. R. L.; ZAMORA, P. P.; LEAL, E. S. Contaminação de águas por BTXs e processos utilizados na remediação de sítios contaminados. **Química Nova**, v. 27, n. 3, p. 441-446, 2004.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI - enfrentando a escassez**. 2.ed. São Carlos: Rima, 2003. 251 p.

ZEIDEMANN, K. V. Projeto Igapó. **Florestas do Rio Negro** - O rio das águas negras. Disponível em: < <http://ecologia.ib.usp.br/guiaigapo/florestas.html> >. Acesso em: 26 abril 2011.

## APÊNDICES

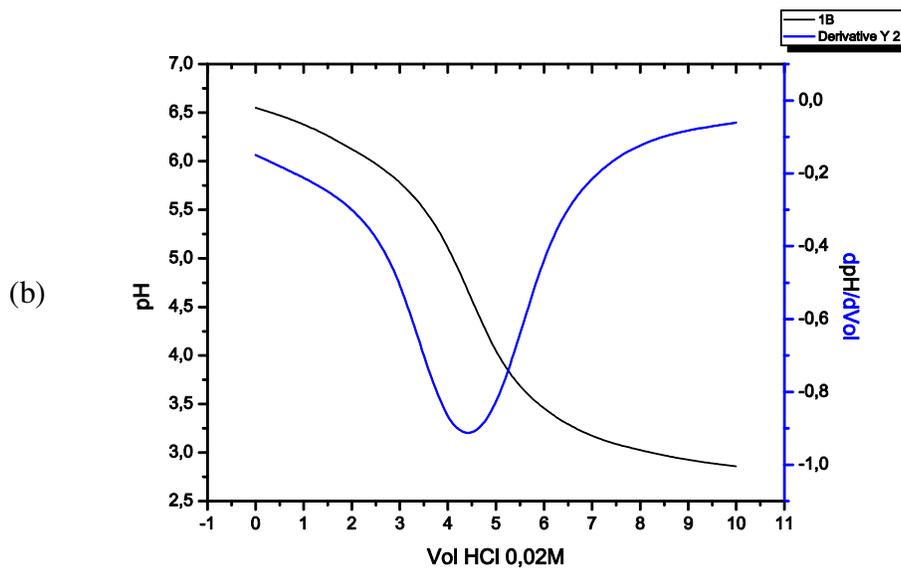
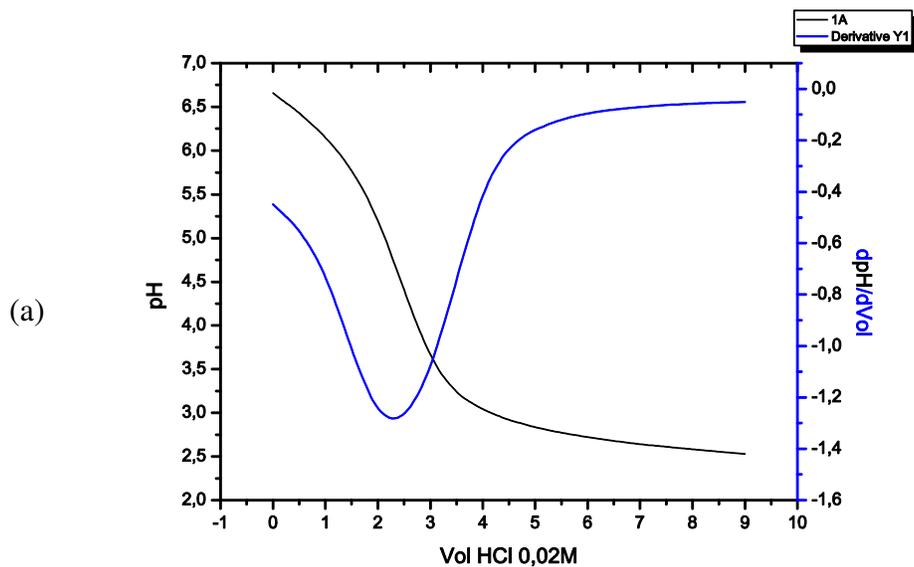


Figura A1: Determinação do ponto de equivalência das amostras 1 A (a) e 1 B (b) do mês de fevereiro para cálculo da alcalinidade.

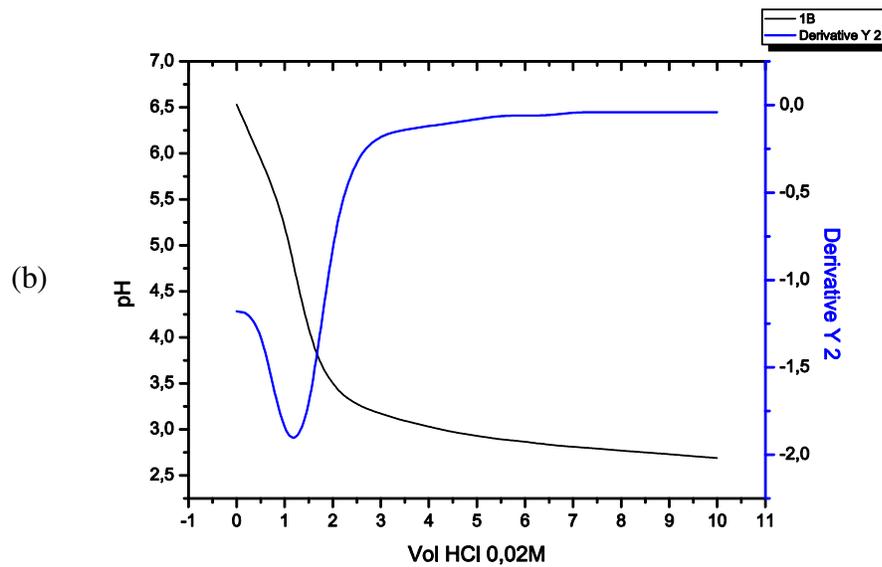
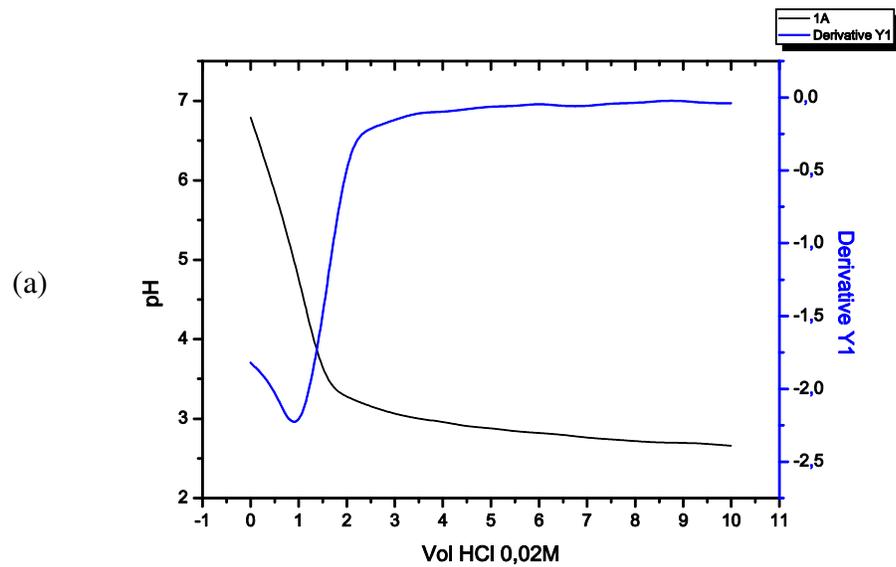


Figura A2: Determinação do ponto de equivalência das amostras 1 A (a) e 1 B (b) do mês de junho para cálculo da alcalinidade.

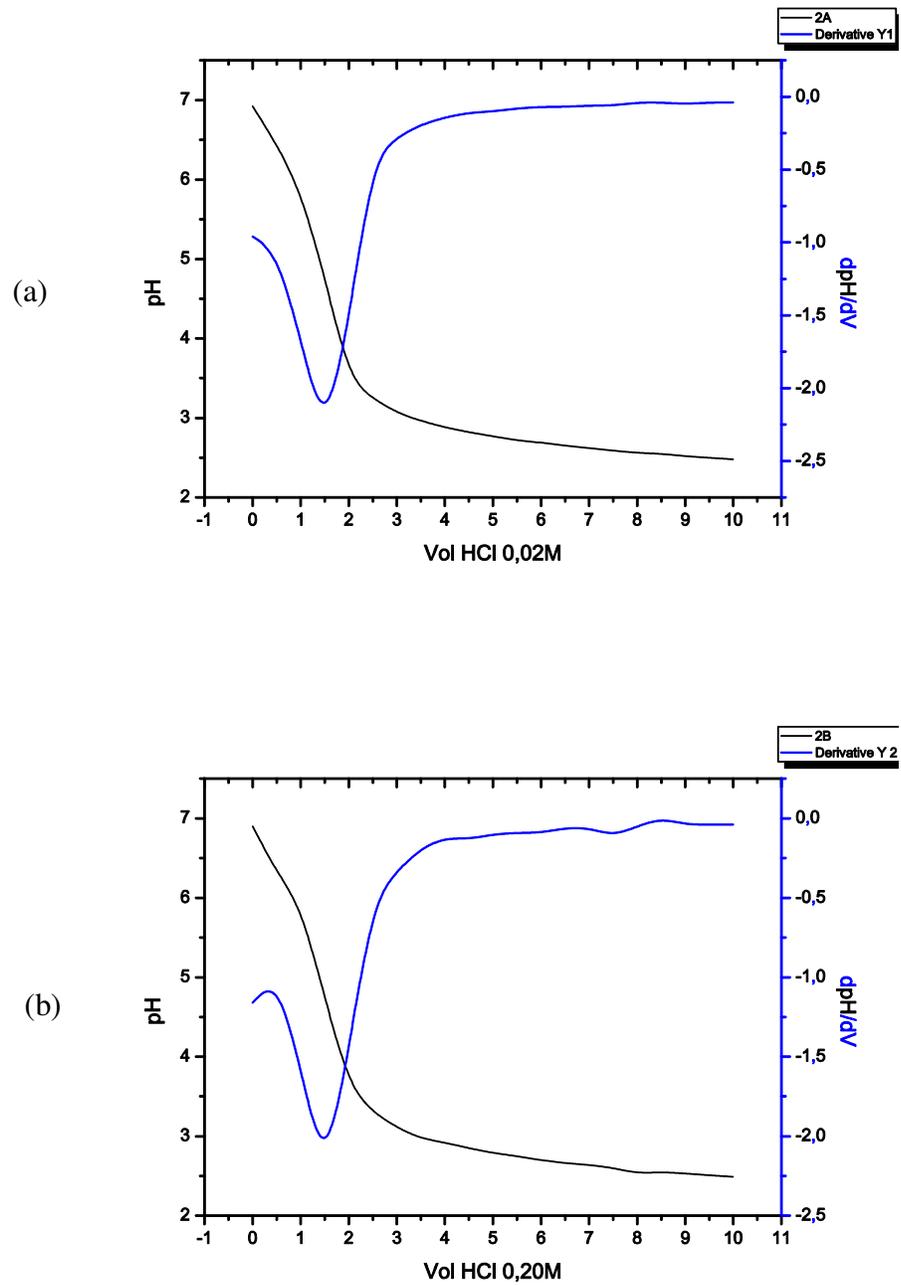


Figura A3: Determinação do ponto de equivalência das amostras 2 A (a) e 2 B (b) do mês de fevereiro para cálculo da alcalinidade.

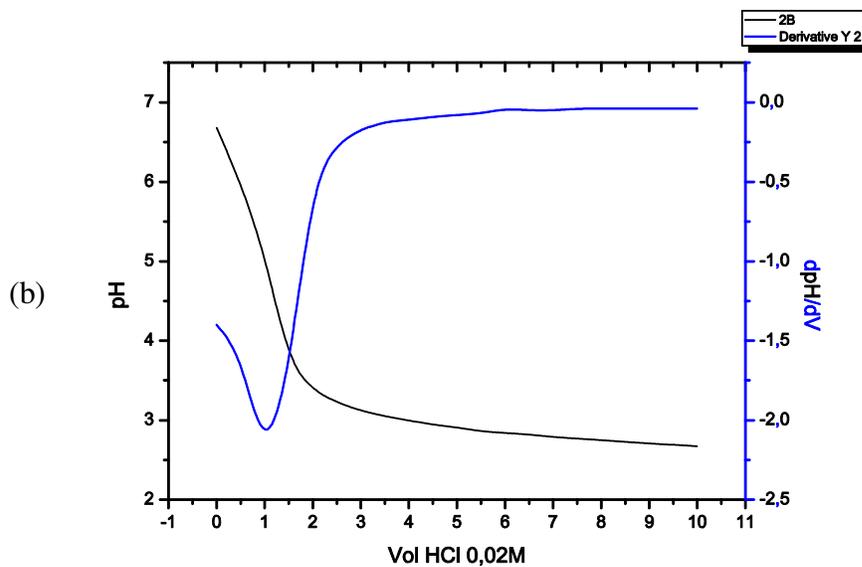
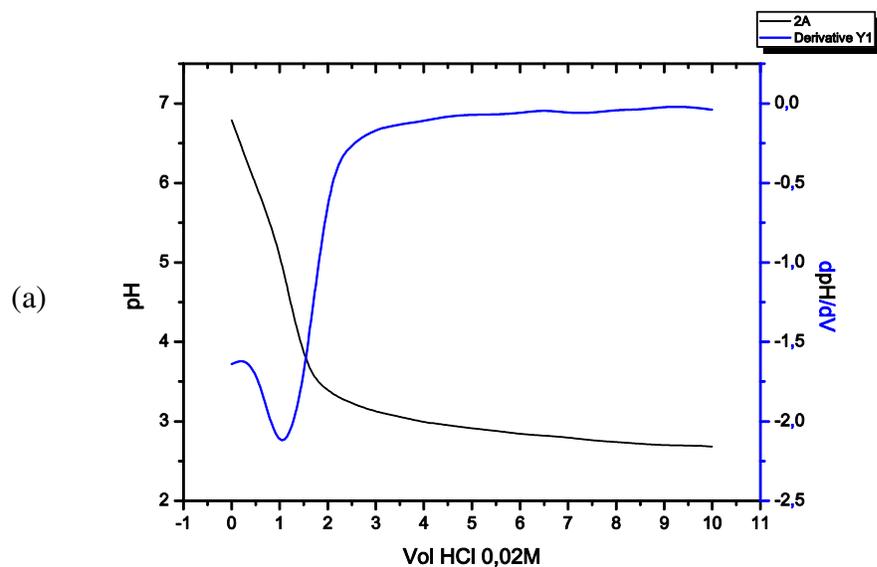


Figura A4: Determinação do ponto de equivalência das amostras 2 A (a) e 2 B (b) do mês de junho para cálculo da alcalinidade.

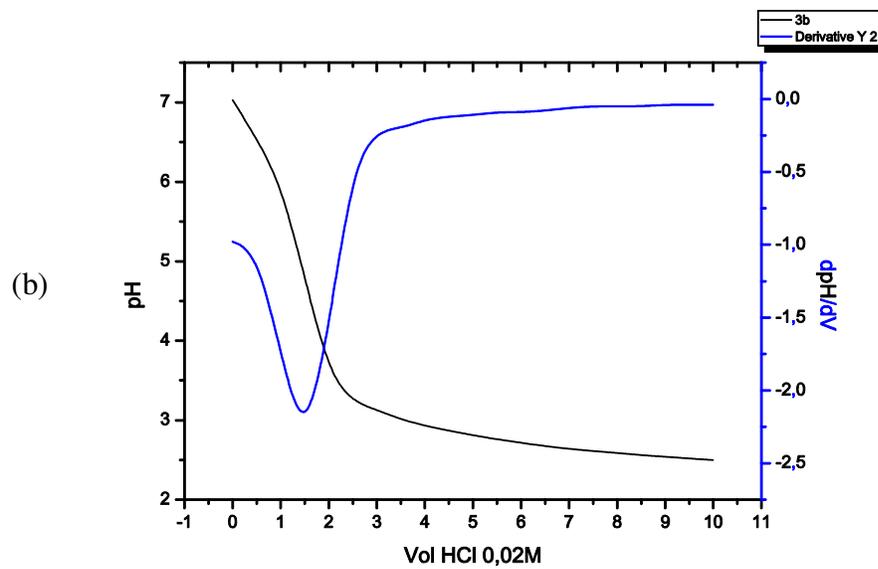
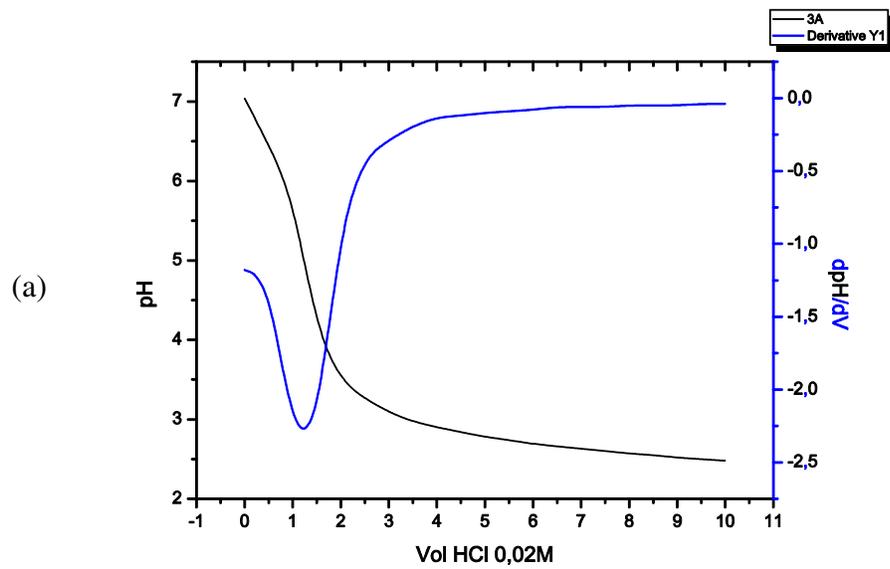


Figura A5: Determinação do ponto de equivalência das amostras 3 A (a) e 3 B (b) do mês de fevereiro para cálculo da alcalinidade.

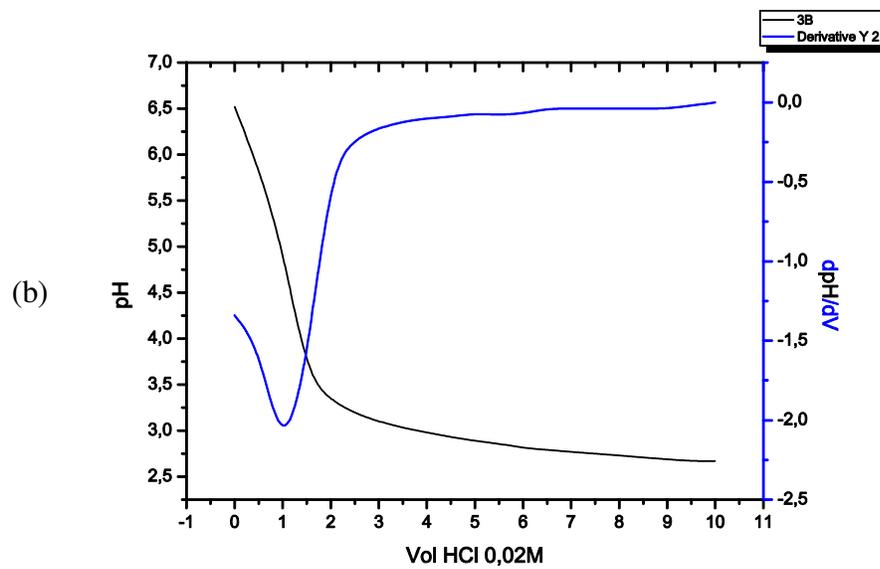
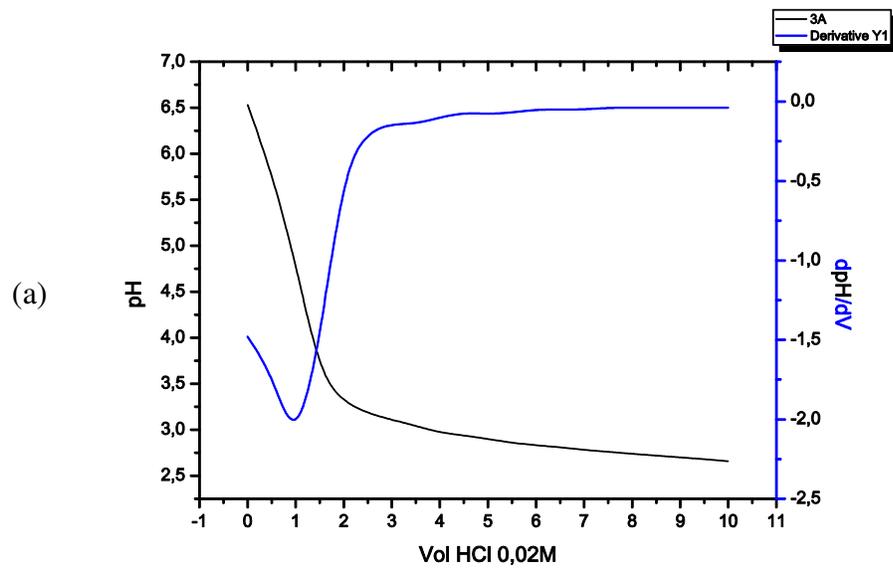


Figura A6: Determinação do ponto de equivalência das amostras 3 A (a) e 3 B (b) do mês de junho para cálculo da alcalinidade.

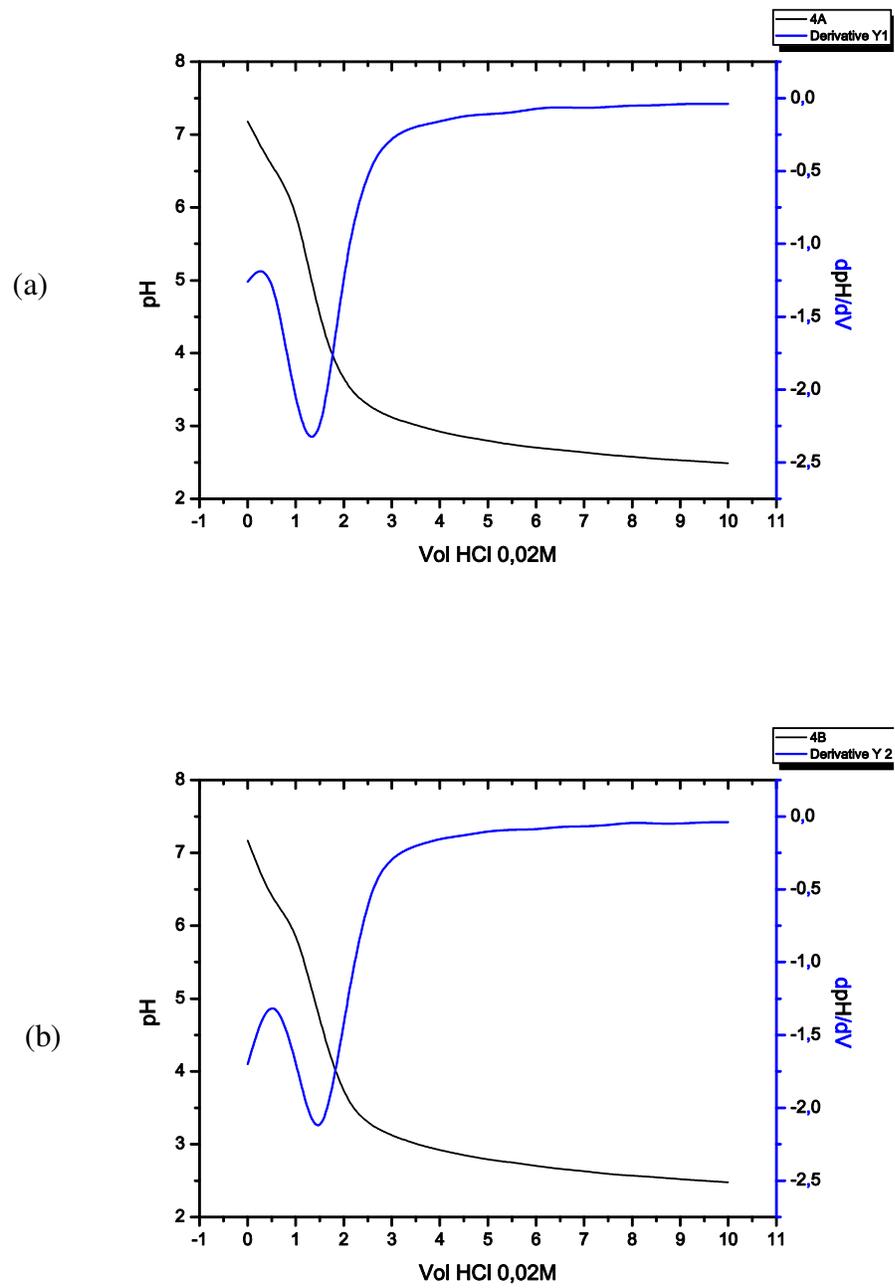


Figura A7: Determinação do ponto de equivalência das amostras 4 A (a) e 4 B (b) do mês de fevereiro para cálculo da alcalinidade.

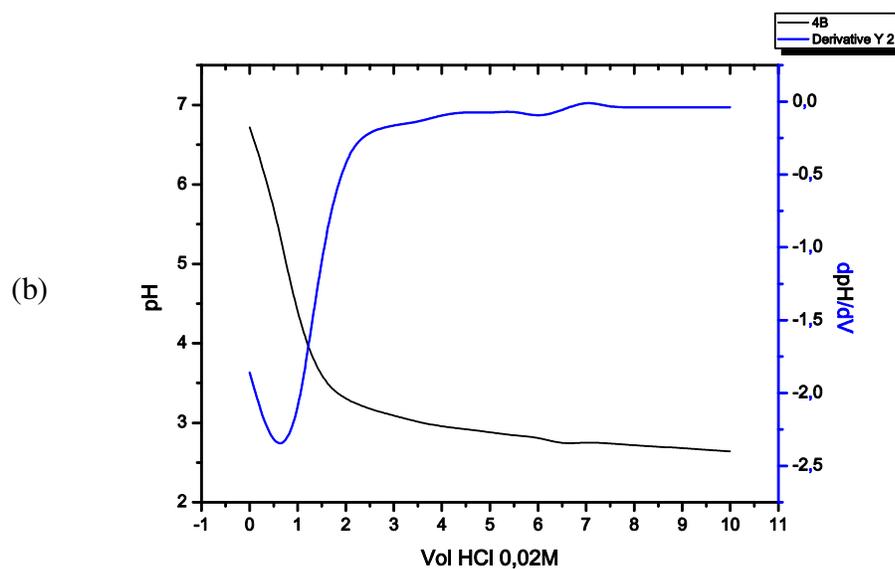
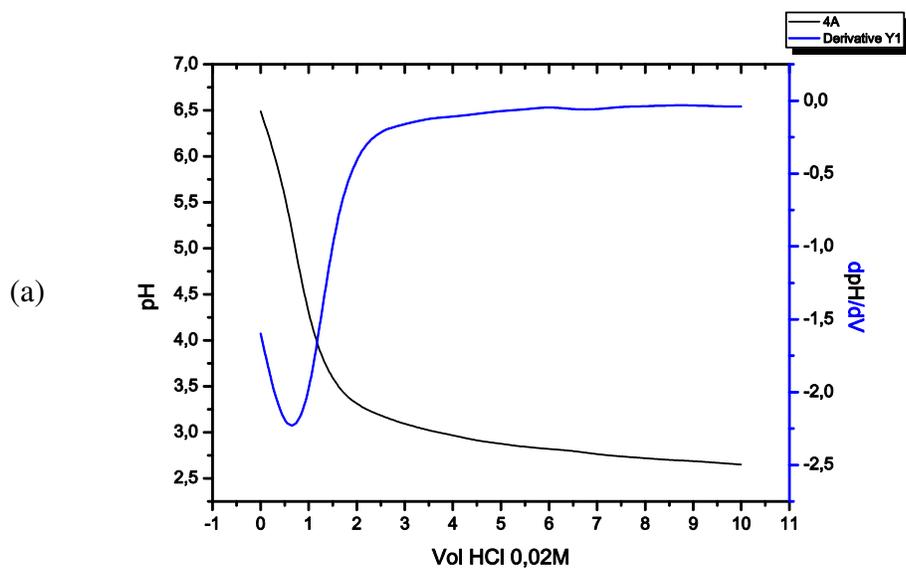


Figura A8: Determinação do ponto de equivalência das amostras 4 A (a) e 4 B (b) do mês de junho para cálculo da alcalinidade.