

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS LONDRINA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

FERNANDA BEZERRA MANGILI

**CALIBRAÇÃO DO MODELO DE DECAIMENTO DA $DBO_{5,20}$
ASSOCIADO A QUALIDADE DA ÁGUA DO LAGO IGAPÓ I EM
LONDRINA/PR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA
2013

FERNANDA BEZERRA MANGILI

**CALIBRAÇÃO DO MODELO DE DECAIMENTO DA $DBO_{5,20}$
ASSOCIADO A QUALIDADE DA ÁGUA DO LAGO IGAPÓ I EM
LONDRINA/PR**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito à
obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Ambiental da
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná

Orientador: Prof. Dr. Ricardo
Nagamine Costanzi

Co-Orientadora: Prof^a. Dra. Ligia
Flávia Antunes Batista

LONDRINA

2013

TERMO DE APROVAÇÃO

CALIBRAÇÃO DO MODELO DE DECAIMENTO DA DBO_{5,20} ASSOCIADO A QUALIDADE DA ÁGUA DO LAGO IGAPÓ I EM LONDRINA/PR

por

FERNANDA BEZERRA MANGILI

Monografia apresentada no dia 10 de abril de 2013 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Ajadir Fazolo
(UTFPR)

Profa. Dra. Ligia Flávia Antunes Batista
(UTFPR)

Prof. Dr. Ricardo Nagamine Costanzi
(UTFPR)
Orientador

Profa. Dra. Ligia Flávia Antunes Batista
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por proporcionar uma oportunidade como esta, e estar sempre presente na minha vida.

A minha família pelo apoio cotidiano, em especial a minha mãe Delcy, pelo enorme carinho, mesmo estando distante.

À Universidade Federal Tecnológica Federal curso de Engenharia Ambiental pela oportunidade.

Ao Instituto Ambiental do Paraná na pessoa Gleyse Gonçalves.

A Brasil Ambiental Ltda ME, pelo apoio e fornecimentos de materiais para análises.

À Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Londrina pela disponibilidade de materiais de pesquisas.

Ao professor Dr. Fabiano Moreno Peres pela paciência e colaboração em coletas das amostras.

Ao professor Dr. Edson Fontes de Oliveira por compartilhar conhecimentos.

A 2ª Cia de Polícia Ambiental do município de Londrina pela disponibilidade de materiais e a ótima atenção fornecida, em especial ao cabo Valério, soldado Farinácio, subtenente Savelli, sargento Prado, cabo Fernandes e sargento Aguilar.

A co-orientadora professora Dra. Lígia Flávia A. Batista por compartilhar conhecimentos e pelo enorme apoio e carinho.

Ao Departamento de matemática da Universidade Estadual de Londrina, em especial a professora Dra. Neyva Romeiro, pelo apoio e colaboração do desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos que me ajudaram no laboratório e pela convivência e paciência cotidiana, em especial ao Rafael C. Ciciliato, Livia N. Buono e a Nariane M. R. Bernardo.

E um agradecimento especial ao meu orientador professor Dr. Ricardo Nagamine Costanzi, por compartilhar conhecimentos, apoio, colaboração, paciência, e companheirismo durante a realização deste estudo.

“Queres penetrar nos corações que te parecem trancados. Lembra-te que teu sorriso é a luz com que lhes bate à porta, mas a humildade e o trabalho é a chave capaz de abri-lo.”

Emmanuel

RESUMO

MANGILI, Fernanda Bezerra. Qualidade da Água do Lago Igapó I em Londrina – PR. 2013. 118 f. Monografia (Bacharel em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina 2013.

Este trabalho apresenta uma abordagem teórica conceitual de indicadores da qualidade da água em diferentes classes estabelecidos pela legislação vigente (Resolução do CONAMA nº 357/2005). O objetivo deste estudo foi obter dados hidráulicos (vazão), e parâmetros físicos (turbidez, temperatura, sólidos totais e suspensos, cor aparente) e químicos (oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, alcalinidade, condutividade elétrica, pH), da água do lago Igapó I e seus tributários (Lago Igapó II – Tributário 1, Córrego do Leme -Tributário 2 e Córrego Circular e reservatório - Tributário 3) juntamente com a análise do perfil de oxigênio dissolvido e temperatura do lago em profundidades de 0,15m; 0,5m; 1m; 2m e 3m do município de Londrina/PR e calibrar um modelo de decaimento da concentração da $DBO_{5,20}$ feito pelo departamento de matemática da Universidade Estadual de Londrina (UEL). Para a avaliação do comportamento dos parâmetros de qualidade da água, foram utilizadas as metodologias descritas por Apha (2005), sendo realizadas em 3 campanhas nos tributários e 2 campanhas ao longo do lago Igapó I. Além das análises dos parâmetros nos tributários, mediu-se também as vazões, onde utilizou-se o método do molinete e meia seção no tributário 1, método da curva de concentração de sal no tributário 2, equação de Mannig-Stricker para o canal circular e equação do vertedouro retangular com contração lateral para o reservatório, ambos existentes no tributário 3. O perfil de oxigênio e temperatura versus a profundidade foi medido com o auxílio de um oxímetro portátil em 22 pontos do lago. A calibração do modelo matemático, seguiu de acordo com as análises da concentração inicial e final de $DBO_{5,20}$ e o seu comportamento em relação ao Tempo de Detenção Hidráulica ao longo do lago. Foi registrado que o tributário 1, dentro todos os tributários analisados, é o que mais contribui com o fluxo de massa líquida para o lago em estudo, cerca de 91% e em relação aos parâmetros da qualidade da água, é o tributário que apresentou maiores valores médios dos parâmetros, ou seja, pior qualidade. O parâmetro OD do lago Igapó I se apresentou aceitável perante a resolução, pois só em maiores profundidades, cerca de 3 metros houve um decaimento da concentração em mg/L. Na superfície do lago (nos perfis de 0,15 m, 0,5 m e 1m de profundidade), a concentração de OD decai conforme aumenta a temperatura. Em conformidade a resolução nº 357/2005 do CONAMA, as concentrações de $DBO_{5,20}$ analisadas nos tributários e no meio do lago Igapó I, em todas as campanhas, apresentaram valores acima do permitido. Apesar de o modelo de decaimento da concentração de $DBO_{5,20}$, considerar apenas o fluxo central do lago Igapó I, com os valores analisados de concentração inicial (12,6 mg/L) e final (6,5 mg/L), e seu comportamento diante o TDH médio de 10 dias, juntamente com seu coeficiente de desoxigenação ($K_1 = 0,4469 \text{ dias}^{-1}$), foi possível calibrar o modelo, e obter resultados satisfatórios com o comportamento real do lago em estudo.

Palavras-chave: Qualidade da água. Calibração. Indicadores de qualidade da água.

ABSTRACT

MANGILI, Fernanda Bezerra. Water Quality of Igapó Lake I in Londrina – PR. 2013. 118 p. Monograph (Bachelor's degree in Environmental Engineering) – Federal Technological University of Paraná. Londrina 2013.

This paper presents a theoretical concept of water quality indicators in different classes established by legislation (CONAMA Resolution nº 357/2005). The goal of this study was to obtain hydraulic data (water flow), physical parameters (turbidity, temperature, total solids, suspended solids, apparent color) and chemical parameters (dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand, alkalinity, electrical conductivity, pH), of water quality in Igapó Lake I and its tributaries (Igapó Lake II – Tributary 1, Leme Stream - Tributary 2 and Circular stream and reservoir - Tributary 3) along with analysis of dissolved oxygen and temperature profile in the lake, at depths of 0,15 m; 0,5 m; 1 m; 2 m and 3 m and calibrate a concentration decay model of $BOD_{5,20}$ made by the mathematics department of the State University of Londrina (UEL). In order to evaluate the behavior of water quality parameters, the methodologies described by Apha (2005) were used, being performed in 3 campaigns in the tributaries and 2 campaigns along the Igapó Lake I. Besides the analysis of the parameters in the tributaries, flow rates were also measured, using the method of water current meter and half section in tributary 1, salt concentration curve method in tributary 2, the Mannig-Stricker equation to the circular channel, and the rectangular weir equation with lateral contraction for the reservoir, both present in tributary 3. The oxygen and temperature profile *versus* depth was measured with the assistance of a portable oximeter, in 22 points of the lake. The calibration of the mathematical model followed according to the analyzes of the initial and final concentrations of $BOD_{5,20}$ and its behavior in relation to the Hydraulic Detention Time (HDT) along the lake. It was registered that the tributary 1, among all the tributaries analyzed, contributed the most with the liquid mass flow to the lake in study, about 91% and in relation to the water quality parameters, this tributary presented higher average values, in other words, poorer quality. The parameter dissolved oxygen of Igapó Lake I appeared acceptable to the resolution, only in greater depths, about 3 meters, there was a decay in the concentration of oxygen in mg/L. On the lake surface (0,15 m; 0,5 m; 1 m - profiles of depth), the concentration of DO decays according to the increase of temperature. In accordance to the CONAMA Resolution nº 357/2005, the concentrations of $BOD_{5,20}$ analyzed in the tributaries and in the middle of Igapó Lake I, all the campaigns showed higher values than the allowed. In spite of the concentration decay model of $BOD_{5,20}$ consider only the central flow of the Igapó Lake I, with the analyzed values of initial (12,6 mg/L) and final (6,5 mg/L) concentration, and its behavior towards the average HDT of 10 days, along with its coefficient of deoxygenation ($K_1 = 0,4469 \text{ days}^{-1}$), it was possible to calibrate the model and obtain satisfactory results with the real behavior of the lake in study.

Keywords: Water quality. Calibration. Water quality indicators.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO MATEMÁTICO	35
FIGURA 2 - EVOLUÇÃO DAS QUATRO ESPÉCIES REATIVAS COM $D = 1000M^2/H$	43
FIGURA 3 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO NUMÉRICA NO LAGO IGAPÓ I, COM $DX=DY = 0,001 M^2/H$ E $K = 0,02083 H^{-1}$, PARA PASSO DE TEMPO DE 800.	44
FIGURA 4 - CLASSES DE QUALIDADE DA ÁGUA, SEGUNDO O AIQA, DE ACORDO COM SEU NÍVEL DE COMPROMETIMENTO.	45
FIGURA 5 - VARIAÇÃO TEMPORAL DO AIQA PARA O CÓRREGO LEME, NO PERÍODO DE DEZEMBRO DE 1997 A MAIO DE 2007.	45
FIGURA 6 - VARIAÇÃO TEMPORAL DO AIQA PARA O CÓRREGO CAPIVARA, NO PERÍODO DE DEZEMBRO DE 1997 A MAIO DE 2007.	46
FIGURA 7 - VARIAÇÃO TEMPORAL DO IQAR PARA O LAGO IGAPÓ II, NO PERÍODO DE JUNHO DE 2004 A MAIO DE 2007.	47
FIGURA 8 - VARIAÇÃO TEMPORAL DO IQAR PARA O LAGO IGAPÓ I, NO PERÍODO DE JUNHO DE 2004 A MAIO DE 2007.	48
FIGURA 9 - LOCALIZAÇÃO DO LAGO IGAPÓ I NA MICROBRACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO CAMBÉ.....	49
FIGURA 10 - LAGO IGAPÓ I, II, III E IV.....	50
FIGURA 11 - LAGO IGAPÓ I	51
FIGURA 12 - ÁREA SUPERFICIAL E COMPRIMENTO APROXIMADOS DO LAGO IGAPÓ I.....	51
FIGURA 13 - LAGO IGAPÓ I E SEUS TRIBUTÁRIOS.....	52
FIGURA 14 - LOCAIS DE ANÁLISES DURANTE O PRESENTE ESTUDO.....	53
FIGURA 15 - TRIBUTÁRIO 1, LAGO IGAPÓ II; A) LOCAL DA MEDIÇÃO DA VAZÃO; B) MOLINETE UTILIZADO NA MEDIÇÃO.....	54
FIGURA 16 - TRIBUTÁRIO 2, CÓRREGO DO LEME; A) LOCAL DA MEDIÇÃO DA VAZÃO; B) BOMBA D'ÁGUA UTILIZADA NA MEDIÇÃO.....	56
FIGURA 17 - LOCALIZAÇÃO DO CÓRREGO (CIRCULAR) E O RESERVATÓRIO EXISTENTE AO LADO DO LAGO IGAPÓ I.....	57
FIGURA 18 - BARCO DA 2ª CIA DA POLÍCIA AMBIENTAL DE LONDRINA, UTILIZADO PARA A REALIZAÇÃO DA BATIMETRIA	60
FIGURA 19 - GPS DE NAVEGAÇÃO - GARMIN ETREX HCX, UTILIZADO NA CAMPANHA.....	60
FIGURA 20 - GRADE COMPUTACIONAL, ONDE T1 SÃO OS PONTOS DE ENTRADA DO LAGO, CONSIDERADO COMO CONDIÇÕES DE CONTOURNO NO MODELO, E O PONTO DE VERIFICAÇÃO É O PONTO DE CALIBRAÇÃO DA SIMULAÇÃO NUMÉRICA.	63
FIGURA 21 – MÓDULO DE VAZÃO EM M^3/S NO LAGO IGAPÓ I EM 500 S.....	67
FIGURA 22 – MÓDULO DE VAZÃO EM M^3/S NO LAGO IGAPÓ I EM 600 S.....	67
FIGURA 23 – MÓDULO DE VAZÃO EM M^3/S NO LAGO IGAPÓ I EM 700 S.....	68
FIGURA 24 – MÓDULO DE VAZÃO EM M^3/S NO LAGO IGAPÓ I EM 800 S.....	68
FIGURA 25 – MÓDULO DE VAZÃO EM M^3/S NO LAGO IGAPÓ I EM 900 S.....	69
FIGURA 26 - BATIMETRIA REALIZADO NO LAGO IGAPÓ I	70
FIGURA 27 - TRIBUTÁRIO 3: CANAL CIRCULAR. A) TRANSPARÊNCIA DA ÁGUA NA SEGUNDA CAMPANHA; B) GRANDE CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS NA TERCEIRA CAMPANHA.....	73

FIGURA 28 - RELAÇÃO OD (MG/L) VERSUS TEMPERATURA(°C) EM RELAÇÃO A PROFUNDIDADE.....	77
FIGURA 29 - CONCENTRAÇÃO DE OD (MG/L) A 0,15 METRO.....	78
FIGURA 30 - TEMPERATURA (°C) A 0,15 METRO.....	78
FIGURA 31 - CONCENTRAÇÃO DE OD (MG/L) A 0,5 METRO.....	79
FIGURA 32 - TEMPERATURA (°C) A 0,5 METRO.....	79
FIGURA 33 - CONCENTRAÇÃO DE OD (MG/L) A 1 METRO.....	79
FIGURA 34 - TEMPERATURA (°C) A 1 METRO.....	79
FIGURA 35 - CONCENTRAÇÃO DE OD (MG/L) A 2 METROS.....	79
FIGURA 36 - TEMPERATURA (°C) A 2 METROS.....	79
FIGURA 37 - CONCENTRAÇÃO DE OD (MG/L) A 3 METROS.....	80
FIGURA 38 - TEMPERATURA (°C) A 3 METROS.....	80
FIGURA 39 - VISTA AÉREA DAS SEÇÕES REALIZADAS NO PERFIL DE O.D.....	81
FIGURA 40: PERFIL MÉDIO DE O.D DAS TRANSVERSAIS E DO BRAÇO DO LAGO IGAPÓ I.....	82
FIGURA 41: PERFIL MÉDIO DE O.D DAS MARGENS E DO MEIO DO LAGO IGAPÓ I.....	83
FIGURA 42 - VISTA AÉREA DOS PONTOS DE COLETA DE ACORDO COM O PASSO DE 10 DIAS DE TDH.....	88
FIGURA 43 - VALORES DE CONCENTRAÇÃO DA DBO _{5,20} DE ACORDO COM A SIMULAÇÃO DE DECAIMENTO, DURANTE O TDH DE 10 DIAS NO FLUXO CENTRAL DO LAGO IGAPÓ I.....	94
FIGURA 44 – COMPARAÇÃO DOS VALORES ANALISADOS E SIMULADOS DA CONCENTRAÇÃO DE DBO _{5,20} NO FLUXO CENTRAL DO LAGO IGAPÓ I.....	95

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - CONDIÇÕES DE COR VERDADEIRA, PARA AS CLASSES DE ÁGUA DOCE.....	23
QUADRO 2 - CONCENTRAÇÕES DE NITROGÊNIO, PARA AS CLASSES DE ÁGUA DOCE.....	30
QUADRO 3 - CONCENTRAÇÕES DE FÓSFORO TOTAL, PARA AS CLASSES DE ÁGUA DOCE.....	32
QUADRO 4 - DESCRIÇÃO RESUMIDA DO MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DAS VARIÁVEIS DA QUALIDADE DE ÁGUA E EQUIPAMENTO.....	59
QUADRO 5 - EVOLUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE $DBO_{5,20}$ DURANTE O 1º E O 2º DIA.....	89
QUADRO 6 - EVOLUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE $DBO_{5,20}$ DURANTE O 3º E O 4º DIA.....	90
QUADRO 7 - EVOLUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE $DBO_{5,20}$ DURANTE O 5º E O 6º DIA.....	91
QUADRO 8 - EVOLUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE $DBO_{5,20}$ DURANTE O 7º E O 8º DIA.....	92
QUADRO 9 - EVOLUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE $DBO_{5,20}$ DURANTE O 9º E O 10º DIA.....	93

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CONCENTRAÇÃO DE SATURAÇÃO DO OD EM MG/L EM ÁGUA LIMPA	24
TABELA 2 - VALORES TÍPICOS DE K1 (BASE E, 20°C).....	25
TABELA 3 - COMPARAÇÃO ENTRE ALGUMAS PROPRIEDADES DE RIOS, LAGOS NATURAIS E RESERVATÓRIOS.....	39
TABELA 4 - RESUMO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA ANALISADOS NO PARQUE BARIGUI EM CURITIBA	40
TABELA 5 - VALORES DE CARGAS ESPECÍFICAS DE OD, FT, ST DQO E DBO DOS CÓRREGOS ANALISADOS.....	41
TABELA 6 - MÉDIA DOS INDICADORES DE QUALIDADE NAS ESTAÇÕES DE INVERNO (OUT-ABR) E VERÃO (MAIO-SET) NA MICROBACIA DO RIO CAMPESTRE, COLOMBO – PR.....	42
TABELA 7 - VARIÁVEIS HIDRÁULICAS DOS TRIBUTÁRIOS EM ESTUDO.....	66
TABELA 8 - VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS NO TRIBUTÁRIO 1.....	71
TABELA 9 - VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS NO TRIBUTÁRIO 2.....	71
TABELA 10 - VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS NO TRIBUTÁRIO 3 – CANAL CIRCULAR.....	71
TABELA 11 - VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS NO TRIBUTÁRIO 3 – CANAL RETANGULAR.....	71
TABELA 12 - VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS NO LAGO IGAPÓ I – PONTO 1.....	73
TABELA 13 - VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS NO LAGO IGAPÓ I – PONTO 2.....	73
TABELA 14 - VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS NO LAGO IGAPÓ I – PONTO 3.....	73
TABELA 15 - CONCENTRAÇÕES DAS VARIÁVEIS QUÍMICAS NO TRIBUTÁRIO 1	74
TABELA 16 - CONCENTRAÇÕES DAS VARIÁVEIS QUÍMICAS NO TRIBUTÁRIO 2	74
TABELA 17 - CONCENTRAÇÕES DAS VARIÁVEIS QUÍMICAS NO TRIBUTÁRIO 3	75
TABELA 18 - RELAÇÃO DQO/ DBO _{5,20} DAS CAMPANHAS REALIZADOS NOS TRIBUTÁRIOS DE ESTUDO	76
TABELA 19 - CONCENTRAÇÃO DE DQO (MG/L) DOS PONTOS DO MEIO DO LAGO	76
TABELA 20 - CONCENTRAÇÕES DE SÓLIDOS NO TRIBUTÁRIO 1.....	84
TABELA 21 - CONCENTRAÇÕES DE SÓLIDOS NO TRIBUTÁRIO 2.....	84
TABELA 22 - CONCENTRAÇÕES DE SÓLIDOS NO TRIBUTÁRIO 3 – CANAL CIRCULAR.....	84
TABELA 23 - CONCENTRAÇÕES DE SÓLIDOS NO TRIBUTÁRIO 3 – CANAL RETANGULAR.....	84
TABELA 24 - CONCENTRAÇÕES DE SÓLIDOS NO PONTO 1.....	85
TABELA 25 - CONCENTRAÇÕES DE SÓLIDOS NO PONTO 2.....	85
TABELA 26 - CONCENTRAÇÕES DE SÓLIDOS NO PONTO 3.....	85
TABELA 27 - DADOS DIÁRIOS DA DBO ANALISADA DO INTERIOR DO LAGO IGAPÓ I.....	86
TABELA 28 - DADOS DA ANÁLISE DE DBO _{5,20} DE ACORDO COM O TDH.....	87

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	14
2 OBJETIVO GERAL	15
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3 REVISÃO DA LITERATURA	16
3.1 ENQUADRAMENTO QUALITATIVO DE CORPOS HÍDRICOS	16
3.1.1 Classificação da qualidade de água no Brasil	17
3.1.1.1 Classe especial	18
3.1.1.2 Classe I	18
3.1.1.3 Classe II	18
3.1.1.4 Classe III	19
3.1.1.5 Classe IV	19
3.2 PARÂMETROS INDICADORES DE QUALIDADE DE ÁGUA	19
3.2.1 Parâmetros Físicos	20
3.2.2 Parâmetros Químicos	23
3.2.3 Parâmetros Biológicos	32
3.3 MODELO HIDRODINÂMICO	35
3.3.1 Modelo de Transporte Advectivo-Difusivo-Reativo	37
3.4 QUALIDADE DE ÁGUA DE RECURSOS HÍDRICOS URBANOS NO BRASIL	38
3.4.1 Qualidade da Água em Londrina/PR	42
4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	49
4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	49
4.2 LOCALIZAÇÕES DOS PONTOS DE COLETAS E MEDIÇÕES	52
4.3 VAZÕES DE TRIBUTÁRIOS	53
4.3.1 Medição de Vazão no Tributário 1	53
4.3.2 Medição de Vazão no Tributário 2	55
4.3.3 Medição de Vazão no Tributário 3	56
4.3.3.1 Vazão do Córrego – Canal Circular	57
4.3.3.2 Vazão do Reservatório	58
4.4 QUALIDADE DE ÁGUA	58
4.5 BATIMETRIA DO LAGO IGAPÓ I	60
4.6 PERFIL DE OXIGÊNIO E DE TEMPERATURA	61
4.7 MODELO COMPUTACIONAL	61
4.7.1 Calibração do Modelo de Decaimento	64
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
5.1 VARIÁVEIS HIDRÁULICAS	66
5.2 TOPOGRAFIA	69
5.3 PARÂMETROS FÍSICO E QUÍMICOS	70
5.3.1 pH, Turbidez e Condutividade Elétrica	71
5.3.2 Demandas de Oxigênio e Oxigênio Dissolvido	74
5.3.2.1 Perfil de Oxigênio Dissolvido e de Temperatura	77
5.3.3 Sólidos	83
5.4 CALIBRAÇÃO DO MODELO DE DECAIMENTO DA DBO _{5,20}	86
5.4.1 Tempo de Detenção Hidráulica	86
5.4.2 Coeficiente de Desoxigenação	86
5.4.3 Modelo de Decaimento da DBO _{5,20}	87

6 CONCLUSÕES.....	96
7 RECOMENDAÇÕES.....	98
REFERÊNCIAS.....	99
ANEXOS.....	102
ANEXO A – PORTARIA SUREHMA N° 003/91 DE 21 DE MARÇO DE 1991	103
ANEXO B - BATIMETRIA POR PONTOS DO LAGO IGAPÓ I.....	106
ANEXO C – COMPORTAMENTO DAS VARIÁVEIS DA QUALIDADE DA ÁGUA EM RELAÇÃO OS LOCAIS DE ANÁLISES.....	108
ANEXO D – PERFIL DE OXIGÊNIO E TEMPERATURA POR PONTOS DO LAGO IGAPÓ I.....	113
ANEXO E – PERFIS DE OXIGÊNIO DE TODOS OS PONTOS ANALISADOS NO LAGO IGAPÓ I	116

1 INTRODUÇÃO

O aumento da população urbana, da economia e do desenvolvimento industrial tem ocasionado o aumento da demanda de recursos naturais, bem como da sua deterioração.

Dentre os recursos naturais degradados, destaca-se a água. Para Somlyody (2006), o agravamento e a complexidade da crise da água decorrem de problemas reais de disponibilidade e aumento da demanda associado a um processo de gestão setorial e de resposta a crises e problemas sem atitude preditiva e abordagem sistêmica.

Como fator agravante, Villa (2005) cita que muitas cidades foram desenvolvidas próximas a rios, pois o acesso facilitaria a demanda consuntiva de água potável e colaboraria com o desenvolvimento por meio da navegação e seus usos múltiplos; tais como o uso da água para agricultura, indústria e geração de energia. Porém, todas as inúmeras formas de utilizar a água geram impactos e os corpos d'água são responsáveis por receber e "decompor" grande parte deste passivo ambiental.

Tucci (2002) complementa este cenário com o argumento de que o processo de urbanização ocorrido no Brasil, posterior a década de 1960, gerou municípios com infraestrutura inadequada e aumento da pressão das atividades antrópicas sobre os mananciais.

Atualmente, a governança de sistemas hídricos urbanos degradados tem sido objeto de discussão na busca de soluções para o desenvolvimento de alternativas para preservar rios, lagos, mananciais, fundo de vales e mangues.

Desta forma, o estudo da qualidade e quantidade destes sistemas hídricos gera informações fundamentais para mudanças de uso e inserção de políticas urbanas conservacionistas.

Neste contexto, a bacia do Ribeirão Cambé localizada em Londrina, tem chamado atenção da sociedade, devido ao fato desta bacia ser formadora do lago Igapó, uma das áreas de lazer mais importantes da cidade de Londrina. Este lago apresenta um processo crescente de degradação devido ao adensamento populacional no seu entorno e conseqüentemente, aumento de despejos em suas águas (GONÇALVES, 2008).

O presente estudo analisa a qualidade e quantidade de água dos tributários e do lago Igapó I, bem como avalia o comportamento de decaimento da concentração de $DBO_{5,20}$ utilizando um modelo matemático bidimensional.

1.1 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

O lago Igapó I encontra-se em processo de assoreamento e poluído devido à descarga de águas pluviais urbanas e esgotos. Assim, o estudo de variáveis associadas à qualidade da água e a modelos hidrodinâmicos de decaimento pode auxiliar a compreensão da autodepuração destes sistemas, bem como determinar medidas de controle de poluição associados à gestão ambiental deste sistema lacunar no município de Londrina-PR.

2 OBJETIVO GERAL

O objetivo principal deste trabalho foi analisar quantitativamente e qualitativamente a água do Lago Igapó I, por meio de medições e variáveis físico-químicas, bem como com o uso de modelo matemático de decaimento da concentração de $DBO_{5,20}$.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste estudo foram:

- Medir as vazões dos tributários do Lago Igapó I;
- Analisar a qualidade de água em pontos dispersos ao longo do lago e dos seus tributários quanto às variáveis: Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO); Oxigênio Dissolvido (OD), Sólidos Totais e Suspensos, Condutividade Elétrica, Alcalinidade, Turbidez, Cor Aparente, pH e Temperatura.
 - Realizar a batimetria do lago Igapó I, estimar o volume e o tempo de detenção hidráulica;
 - Avaliar o comportamento do OD e temperatura versus profundidade no Lago Igapó I;
 - Ajustar e calibrar o modelo de decaimento superficial da concentração de $DBO_{5,20}$ do Lago Igapó I, desenvolvido pelo departamento de matemática da UEL (Universidade Estadual de Londrina);

3 REVISÃO DA LITERATURA

Neste item é apresentada uma revisão bibliográfica sobre os principais parâmetros de qualidade de água associados ao enquadramento de corpos hídricos e a modelagem matemática, bem como alguns trabalhos desenvolvidos por outros autores.

Desta forma, este capítulo foi dividido em: Enquadramento Qualitativo de Corpos Hídricos; Parâmetros Indicadores de Qualidade de Água; Modelagem Hidrodinâmica e de Transporte de Poluentes; Estudos de Qualidade de Água no Brasil.

3.1 ENQUADRAMENTO QUALITATIVO DE CORPOS HÍDRICOS

A qualidade da água é resultado de fenômenos naturais e antrópicos, Von Sperling (2005) afirma que “a qualidade de uma determinada água é função das condições naturais e do uso da ocupação do solo na bacia hidrográfica” o autor cita ainda que essa qualidade está associada aos seguintes fatores:

Condições naturais: mesmo com a bacia hidrográfica preservada nas suas condições naturais, a qualidade das águas é afetada pelo escoamento superficial e pela infiltração no solo, resultantes da precipitação atmosférica. O impacto é dependente do contato da água em escoamento ou infiltração com as partículas, substâncias e impurezas no solo. Assim, a incorporação de sólidos em suspensão (ex: partículas de solo) ou dissolvidos (ex: íons oriundos da dissolução de rochas) ocorre, mesmo na condição em que a bacia hidrográfica esteja totalmente preservada em suas condições naturais (ex: ocupação do solo com matas e florestas).

Interferência dos seres humanos: a interferência do homem quer de uma forma concentrada, como na geração de despejos domésticos ou industriais, quer de uma forma dispersa, como na aplicação de defensivos agrícolas no solo, contribui na introdução de compostos na água, afetando a sua qualidade. Portanto, a forma em que o homem usa e ocupa o solo tem uma aplicação direta na qualidade da água. (Von Sperling, 2005, p.15).

A qualidade da água depende de parâmetros físicos, químicos e biológicos, sendo resultante de fenômenos naturais e da alteração do ser humano, como o uso e ocupação de solo em bacias hidrográficas (VON SPERLING, 2005).

A coleta, análise e posterior caracterização da qualidade da água, devem obedecer a cuidados de normas técnicas vigentes, entre elas pode-se citar a NBR 9897 – Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores e NBR 9898 – Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores.

As águas das quais são destinadas ao consumo humano, regem aos padrões estabelecidos pelo Ministério da Saúde da Portaria nº 518/GM, de 25 de março de 2004.

Os recursos hídricos superficiais são classificados de acordo com a qualidade requerida para seus usos preponderantes e diretrizes ambientais para seu enquadramento. A legislação vigente que aborda tais assuntos é estabelecida pela Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Esta resolução ainda dita o enquadramento que os corpos hídricos deveriam possuir para atender às necessidades da comunidade.

A portaria nº 003, de 21 de março de 1991 (ANEXO A), da SUREHMA (Superintendência dos Recursos e Meio Ambiente) atualmente Instituto Ambiental do Paraná (IAP), estabeleceu em seu art. 2º inciso III que a Microbacia do Ribeirão Cambé e seus afluentes, até o Parque Arthur Thomas, pertencem à classe I. O lago Igapó I e os tributários de estudo estão localizados na microbacia do ribeirão Cambé, portanto são enquadrados como classe I.

A classificação é importante, pois através dela é possível analisar os parâmetros da qualidade da água perante a legislação vigente, e assim predizer a atual situação do lago Igapó I.

3.1.1 Classificação da qualidade de água no Brasil

A resolução nº 357 de 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. A resolução ainda classifica a água como doce (salinidade igual ou superior a 0,5%), salobra (salinidade de 0,5% a 30%) e salina (salinidade igual ou superior a 30%). Para o desenvolvimento deste trabalho, o corpo hídrico desse estudo é considerado como água doce.

Quanto às águas doces, a Resolução nº 357/2005 do CONAMA, apresentam estas em cinco classes: especial, classes I, II, III e IV.

3.1.1.1 Classe especial

Águas de classe especial são águas destinadas a:

- Ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;
- A preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas;
- A preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

3.1.1.2 Classe I

Águas de classe I são águas destinadas a:

- Ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- A proteção das comunidades aquáticas;
- A recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho;
- A irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película;
- A proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

3.1.1.3 Classe II

Águas de classe II são águas destinadas a:

- Ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- A proteção das comunidades aquáticas;
- A recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho;
- A irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto;
- A aquicultura e a atividade de pesca.

3.1.1.4 Classe III

Águas de classe III são águas destinadas a:

- Ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;
- A irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
- A pesca amadora;
- A recreação de contato secundário;
- A dessedentação de animais.

3.1.1.5 Classe IV

Águas de classe IV são águas destinadas a:

- A navegação;
- A harmonia paisagística.

3.2 PARÂMETROS INDICADORES DE QUALIDADE DE ÁGUA

3.2.1 Parâmetros Físicos

Os parâmetros físicos referem-se às modificações em função da interação dos componentes físicos. Esses parâmetros resultam de ciclos e processos que ocorrem na água. Alguns desses parâmetros indicadores são:

- Turbidez

A Turbidez de uma amostra de água pode ser compreendida como o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la. Esta atenuação se dá por absorção e espalhamento, pois as partículas que provocam turbidez nas águas são maiores que o comprimento de onda da luz branca, devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, argila) e de detritos orgânicos, algas e bactérias, plâncton. (PIVELI; KATO, 2005)

A unidade de medida utilizada para determinar a turbidez é a escala de UNT (unidade nefelométrica de turbidez).

Perante a Resolução do CONAMA N°357/2005, seção II, a condição da qualidade da água para o teor de turbidez não deve exceder a 40 UNT, para águas de classe I e para águas de classes II e III, o limite não deve ser superior a 100 UNT.

- Temperatura

A temperatura é uma condição ambiental de grande importância em diversos estudos relacionados ao monitoramento da qualidade de águas. Dentre o aspecto da biota aquática, a maior parte dos organismos possui faixas de temperatura ótimas para a sua reprodução. O aumento da temperatura provoca maior velocidade das reações, em particular as de natureza bioquímica de decomposição de compostos orgânicos. Porém, diminui a solubilidade de gases dissolvidos na água, em particular o oxigênio, base para a decomposição aeróbia. Estes dois fatores se superpõem, fazendo com que nos meses quentes de verão os níveis de OD nas águas poluídas sejam mínimos, podendo provocar mortandade de peixes e, em casos extremos, exalação de maus odores devido ao esgotamento

total do oxigênio e consequente decomposição anaeróbia dos compostos orgânicos sulfatados, produzindo o gás sulfídrico, H_2S . (PIVELI; KATO, 2005)

A unidade de medida utilizada para determinar a temperatura é a escala de graus Celsius °C.

Temperaturas elevadas da água aumentam o potencial de crescimento de microrganismos (*legionella spp*, por exemplo, prolifera a temperaturas entre 25°C e 50°C). (HELLER; PÁDUA, 2006)

Para corpos hídricos de águas doces, não existe parâmetro de temperatura descrito na legislação, porém de acordo com a resolução do CONAMA 430/2001 em seu Art. 16, relata sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos de alguns parâmetros, entre eles a temperatura, no qual esta deve ser inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura.

- Sólidos Totais

Sólidos nas águas podem corresponder a toda matéria que permanece como resíduo, após evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma temperatura pré-estabelecida durante um tempo determinado. Geralmente, as operações de secagem, calcinação e filtração são as que definem as diversas frações de sólidos presentes na água (PIVELI; KATO, 2005). Todas as impurezas presentes na água, com exceção dos gases dissolvidos, contribuem para a carga de sólidos. Os sólidos podem ser classificados de acordo com seu tamanho e características químicas (HELLER; PÁDUA, 2006).

Tais elementos sólidos, ao sedimentar no leito dos rios, lagos ou reservatórios, podem destruir os organismos vegetais e animais. Portanto, a decomposição anaeróbica de bactérias e organismos vegetais, além dos resíduos que ficam retidos pelos sólidos aumenta a poluição do corpo d'água (PARDO, 2009).

A quantificação de sólidos totais é, em geral, dada em miligramas por litro (mg/L). De acordo com Piveli e Kato (2005), os sólidos, podem se encontrar em diversas frações, como:

- **Sólidos em suspensão (ou sólidos suspensos) (SS):** É a porção dos sólidos totais que fica retida em um filtro que propicia a retenção

de partículas de diâmetro maior ou igual a 1,2 µm. Também denominado resíduo não filtrável (RNF).

- **Sólidos Voláteis (SV):** é a porção dos sólidos (sólidos totais, suspensos ou dissolvidos) que se perde após a ignição ou calcinação da amostra a 550-600°C, durante uma hora para sólidos totais ou dissolvidos voláteis ou 15 minutos para sólidos em suspensão voláteis, em forno mufla. Também denominado resíduo volátil.

- **Sólidos Fixos (SF):** É a porção dos sólidos (totais, suspensos ou dissolvidos) que resta após a ignição ou calcinação a 550-600°C após uma hora (para sólidos totais ou dissolvidos fixos) ou 15 minutos (para sólidos em suspensão fixos) em forno mufla. Também denominado resíduo fixo.

- **Sólidos Sedimentáveis (SSed):** É a porção dos sólidos em suspensão que se sedimenta sob a ação da gravidade durante um período de uma hora, a partir de um litro de amostra mantida em repouso em um cone Imhoff.(PIVELI E KATO, 2005. p.151-152)

Perante a Resolução do CONAMA N°357/2005, seção II, a condição da qualidade da água para o teor de sólidos dissolvidos totais, deve respeitar o limite de 500 mg/L, para águas de classe I, II e III.

- Cor Aparente

De acordo com Piveli e Kato (2005), a cor de uma amostra de água está relacionada ao grau de redução de intensidade que o feixe de luz sofre ao atravessá-la, devido ao comparecimento de sólidos dissolvidos, principalmente material em estado coloidal orgânico e inorgânico.

Para determinação da cor, o parâmetro físico turbidez da amostra, causa interferência, absorvendo parte da radiação eletromagnética. Logo esta coloração é dita aparente, pois é como o ser humano a vê, mas é, na realidade, em parte resultado da reflexão e dispersão dos feixes de luz nas partículas em suspensão. (PIVELI; KATO, 2005)

De acordo com a Resolução do CONAMA N°357/2005, seção II, a condição da qualidade da água para as condições da cor verdadeira, encontradas em água doce, podem ser visualizadas no Quadro 1.

	Parâmetro	Condição
Classe I	Cor Verdadeira	Nível de cor natural do corpo de água em mg Pt/L;
Classe II e III	Cor Verdadeira	Até 75 mg Pt/L

Quadro 1 - Condições de cor verdadeira, para as classes de água doce.
Fonte: Resolução do CONAMA n° 357/2005 (adaptada).

3.2.2 Parâmetros Químicos

Os parâmetros químicos referem-se às modificações químicas em função da interação dos componentes químicos. Esses parâmetros resultam de ciclos e processos que ocorrem na água (PARDO, 2009). Alguns desses parâmetros indicadores são Oxigênio Dissolvido, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio, Alcalinidade, Condutividade Elétrica, pH, Nitrogênio e Fósforo:

- Oxigênio Dissolvido (OD)

O oxigênio é essencial para a vida aquática, incluindo as formas de vidas como os organismos responsáveis pelos processos de depuração em águas naturais. O conteúdo de oxigênio das águas naturais varia com o comportamento das temperaturas, da salinidade, das atividades fotossintéticas das algas e plantas, e da pressão atmosférica. A solubilidade do oxigênio decresce conforme a temperatura e a salinidade aumentam (HELLER; PÁDUA, 2006).

A respiração biológica, incluindo aquela que se relaciona aos processos de decomposição, reduz as concentrações de OD. O valor de OD está envolvido ou influencia em quase todos os processos biológicos e químicos nos corpos de água, como por exemplo, concentrações abaixo de 5 mg/L podem afetar adversamente o funcionamento e sobrevivência de comunidades biológicas, e abaixo de 2 mg/L pode levar à morte excessiva de peixes (HELLER; PÁDUA, 2006).

A concentração de saturação de OD é expressa por função da altitude e da temperatura do corpo hídrico, como na Tabela 1. Pode ser expresso em mg/L.

Tabela 1 - Concentração de Saturação do OD em mg/L em água limpa

Temperatura (°C)	Altitude (m)			
	0	500	1000	1500
10	11,3	10,7	10,1	9,5
11	11,1	10,5	9,9	9,3
12	10,8	10,2	9,7	9,1
13	10,6	10	9,5	8,9
14	10,4	9,8	9,3	8,7
15	10,2	9,7	9,1	8,6
16	10	9,5	8,9	8,4
17	9,7	9,2	8,7	8,2
18	9,5	9	8,5	8,0
19	9,4	8,9	8,4	7,9
20	9,2	8,7	8,2	7,7
21	9	8,5	8	7,6
22	8,8	8,3	7,9	7,4
23	8,7	8,2	7,8	7,3
24	8,5	8,1	7,6	7,2
25	8,4	8	7,5	7,1
26	8,2	7,8	7,3	6,9
27	8,1	7,7	7,2	6,8
28	7,9	7,5	7,1	6,6
29	7,8	7,4	7	6,6
30	7,6	7,2	6,8	6,4

Fonte: VON SPERLING, 2005 p.190.

Perante a Resolução do CONAMA N°357/2005, seção II, a condição da qualidade da água para o índice de OD, não deve ser inferior a 6mg/L, para águas de classe I, 5mg/L para classe II, 4 mg/L para classe III e deve ser superior a 2mg/L.

- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

De acordo com Heller e Pádua, (2006) a “DBO é um indicador do metabolismo dos organismos vivos, pois estes utilizam matéria orgânica como alimento”.

Para Piveli e Kato, (2005) “a DBO é o parâmetro fundamental para o controle da poluição das águas por matéria orgânica”. Nas águas naturais a DBO representa a demanda potencial de OD que poderá ocorrer devido à estabilização dos compostos orgânicos biodegradáveis, o que poderá trazer os níveis de oxigênio nas águas abaixo dos exigidos pelos peixes, levando-os à morte, tornando-se um importante padrão de classificação das águas naturais.

A matéria orgânica é formada por compostos como proteínas, carboidratos, uréia, surfactantes (detergentes), gorduras, óleos, fenóis, pesticidas. Esta matéria, carbonácea, pode ser biodegradável, ou não, e se encontrar dissolvida ou em suspensão. Medindo a quantidade de oxigênio consumida pelas bactérias oxidantes, determinamos indiretamente a quantidade da matéria orgânica biodegradável presente no corpo d'água. Em suma, uma DBO elevada significa presença de poluição através de matéria orgânica biodegradável de origem doméstica ou industrial. (PARDO, 2009)

Na legislação federal, como a Resolução nº 357/2005 do CONAMA, são impostos os limites máximos de DBO de 3, 5 e 10 mg/L para as águas doces de classe I, II e III respectivamente.

O comportamento da concentração de DBO em um corpo hídrico depende do coeficiente de desoxigenação (K_1), onde para Von Sperling (2005), o K_1 depende:

Das características da matéria orgânica, além da temperatura e da presença de substância inibidoras. Efluentes tratados, por exemplo, possuem taxa de degradação mais lenta, pelo fato da maior parte da matéria orgânica mais facilmente assimilável já ter sido removido, restando apenas à parcela de estabilização mais vagarosa. (VON SPERLING, 2005. p. 154.)

Na Tabela 2, encontra-se os valores típicos de K_1 .

Tabela 2 - Valores típicos de K_1 (base e, 20°C)	
Origem	$K_1(\text{dia}^{-1})$
Água residuária concentrada	0,35 - 0,45
Água residuária de baixa concentração	0,30 - 0,40
Efluente primário	0,30 - 0,40
Efluente secundário	0,12 - 0,24
Rio com águas limpas	0,09 - 0,21
Rio com águas limpas água para abastecimento público	< 0,12

Fonte: Adaptado de FAIR et al. (1973) e ARCEIVALA (1981) *apud* VON SPERLING (1996).

- Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A DQO refere-se à quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica através de um agente químico. Um valor de DQO elevado indica

uma grande concentração de matéria orgânica oxidável e baixo teor de oxigênio. O aumento da concentração de DQO num corpo d'água pode-se ser originado principalmente a despejos de origem industrial. Este parâmetro também fornece uma estimativa da concentração de matéria orgânica em termos de oxigênio consumido. A DQO traz como vantagem, a rapidez da medição, que pode ser realizada em algumas horas. Como os parâmetros OD e DBO, a DQO é também quantificada, em geral, em miligramas por litro (mg/L). (PARDO, 2009)

Para Piveli e Kato (2005) a DQO é muito útil quando utilizada conjuntamente com a DBO, para observar o nível e a maior facilidade ou dificuldade de biodegradabilidade dos despejos. Sabe-se que o poder de oxidação do dicromato de potássio é maior do que o que resulta mediante a ação de microrganismos, exceto raríssimos casos como hidrocarbonetos aromáticos e piridina. Assim, os resultados da DQO de uma amostra apresentam-se superiores quando comparados com a DBO, pois nesta mede-se apenas a fração biodegradável, quanto mais este valor se aproximar da DQO significa que mais facilmente biodegradável será o efluente. É comum aplicar-se tratamentos biológicos para efluentes com relações DQO/DBO de 3/1, por exemplo. (PIVELI; KATO, 2005)

Perante a Resolução do CONAMA N°357/2005, Art. 10, parágrafo 1º, a condição da qualidade da água para o índice de DQO para as águas doces de classes II e III, poderão ser elevados, caso o estudo da capacidade de autodepuração do corpo receptor demonstre que as concentrações mínimas de OD previstas não serão desobedecidas, nas condições de vazão de referência, com exceção da zona de mistura.

- Alcalinidade

De acordo com Pivelli e Kato (2005) a "alcalinidade de uma amostra pode ser definida como sua capacidade de reagir quantitativamente com um ácido forte ate um valor de pH definido".

Equivale a uma medição da capacidade da água em neutralizar os ácidos, podendo ser considerado como efeito tampão da água, ou seja, sua condição de resistir a mudanças de pH. (MACHADO, 2006)

Braga et al. (2002) afirma que “ a alcalinidade ocorre devido á presença de bicarbonetos, carbonatos e hidróxidos, quase sempre de metais alcalinos ou alcalinos terrosos (sódio, potássio, cálcio, magnésio)”.

Pivelli e Kato (2005) ainda acrescentam:

A alcalinidade das águas não representa risco potencial à saúde pública. Provoca alteração no paladar e a rejeição da água em concentrações inferiores àquelas que eventualmente pudessem trazer prejuízos mais sérios. A alcalinidade não se constitui em padrão de potabilidade, ficando este efeito limitado pelo valor do pH. Também não é padrão de classificação de águas naturais nem de emissão de esgotos, sendo que a importância deste parâmetro se concentra no controle de determinados processos unitários utilizados em estações de tratamento de águas para abastecimento e residuárias (PIVELLI; KATO, 2005 p. 177).

A alcalinidade total é geralmente expressa em miligrama por litro de carbonato de cálcio (mg/L CaCO₃).

O CONAMA perante sua resolução nº 357/05 não estabelece padrões para alcalinidade.

- Condutividade Elétrica (C.E)

A condutividade elétrica pode ser definida como a capacidade água de conduzir uma corrente elétrica, em função de íons dissolvidos, no qual esta concentração permite realizar uma transformação em uma medida. Portanto em águas puras, o valor de condutividade esperado é baixo. Se um corpo hídrico possui muita entrada de sais ou precursorres, a tendência é de obter valores elevados para a condutividade. Pode-se dizer que as concentrações de íons na água dependem de fatores como a geologia, a área de drenagem dos efluentes e do regime de precipitação. Como a temperatura influencia na atividade iônica, foi definido que a determinação dos valores de CE deve ocorrer à temperatura de 25°C. Em um corpo de água, o aumento de 1°C, acarretará a um aumento de 2% nos valores de condutividade. A CE, pode ser influenciada também pelo parâmetro químico pH, onde pH levemente ácidos (em torno de 5) o cátion hidrogênio torna-se maior responsável pelo valor de condutividade elétrica aos íons hidroxila. (ESTEVEES, 1998)

Para Machado (2006) o valor encontrado de condutividade elétrica, pode fornecer informações do que ocorreria na drenagem de uma bacia hidrográfica, como:

- a. possibilitar informações sobre a magnitude da concentração iônica.
Então, aqueles íons que mais contribuem para o valor da condutividade elétrica, em águas interiores, são denominados macronutrientes, ou seja, cálcio, potássio, magnésio, sódio, carbonato, sulfato, cloreto entre outros. Poderá ter alta influência o íon amônio quando presente em altas concentrações. Já o nitrato, nitrito tem pouca influência;
- b. em função dos processos de decomposição, que aumentam os valores para a condutividade elétrica, e ainda, em função da produção primária, a qual diminui os valores, a variação diária destes pode fornecer informações sobre processos importantes que se desenvolvem nos organismos aquáticos;
- c. também pode ajudar a diagnosticar possíveis pontos de entrada de matéria orgânica de origem antropogênica;
- d. podem ainda ajudar na identificação das diferenças geoquímicas nos afluentes dos corpos hídricos principais ou de lagos.
(MACHADO, 2006 p.171)

A condutividade elétrica normalmente é expressa por microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Perante a legislação vigente, a resolução do CONAMA nº 357/2005, não existe padrão estabelecido para um valor limite.

- Potencial Hidrogeniônico (pH)

Segundo Heller e Pádua (2006) o pH da água é a medida da atividade dos íons hidrogênio e expressa a intensidade de condições ácidas ($\text{pH} < 7,0$) ou alcalinos ($\text{pH} > 7,0$). Águas naturais tendem a apresentar pH próximos a neutralidade ($\text{pH} = 7,0$), devido sua capacidade de tamponamento. Porém, as próprias características do solo, a presença de ácidos húmicos (cor intensa) ou até uma atividade fotossintética intensa, podem contribuir para a elevação ou redução natural do pH. (HELLER; PÁDUA, 2006)

Já a Autora Pardo (2009) define pH como sendo o a concentração relativa dos íons de hidrogênio numa solução sendo calculado como o logaritmo negativo de base 10 da concentração de íons de hidrogênio, em moles por litro. Quando as

condições de pH não são favoráveis às espécies de peixes, eles correm o risco de sofrerem irritações dérmicas, hemorragias, e até mesmo a morte.

De acordo com a Resolução do CONAMA N°357/2005, seção II, a condição da qualidade da água para o pH, deve ser entre 6,0 a 9,0, para águas de classe I, II, III e IV.

- Nitrogênio

O nitrogênio pode-se manifestar no meio ambiente sob diversas formas, entre elas o nitrogênio molecular (N_2), que se encontra livre na atmosfera; o nitrogênio orgânico, que se encontra dissolvido e em suspensão no corpo d'água; a amônia, que pode ser livre (NH_3) ou ionizada (NH_4^+); o nitrito (NH_2) e o nitrato (NO_3) (PARDO, 2009).

No corpo hídrico, o nitrogênio oriundo de esgotos sanitários, apresenta-se em sua maioria na forma de proteínas (substância formada por nitrogênio, carbono, oxigênio, fósforo, enxofre e ferro) e uréia (composto orgânico cristalino, incolor, produto final da excreção do nitrogênio nos mamíferos). Já em esgotos domésticos frescos, predomina o nitrogênio em forma de amônia e o orgânico, e nos esgotos antigos predomina o nitrogênio em forma de nitrato. (PARDO, 2009)

A quantificação do nitrogênio, dada em miligramas por litro (mg/L), em um corpo d'água é importante, pois está intimamente ligada ao consumo de OD. Essa ligação ocorre, já que, as bactérias consomem oxigênio ao realizar o processo de nitrificação, que consiste em transformar amônia em nitrito e este em nitrato. Por final, no processo de nitrificação, o nitrato gerado é utilizado por algas ou outras plantas para formar proteínas. O nitrato, em altas concentrações, pode trazer vários problemas de intoxicação, tanto no ser humano como nos animais. (PARDO, 2009)

Piveli e Kato (2005), afirmam que a atmosfera é outra fonte importante de nitrogênio, devido a diversos mecanismos: (i) o de fixação biológica desempenhada por bactérias e algas, que incorporam o nitrogênio atmosférico em seus tecidos, contribuindo para a presença de nitrogênio orgânico nas águas; (ii) a fixação química, reação que depende da presença de luz, e que concorre para as presenças de amônia e nitratos nas águas; (iii) o das lavagens da atmosfera poluída pelas águas pluviais, que concorrem para as presenças de partículas contendo nitrogênio orgânico, bem como para a dissolução de amônia e nitratos. Também nas áreas

urbanas, as drenagens de águas pluviais associadas às deficiências do sistema de limpeza pública, constituem fonte difusa de difícil caracterização.

O nitrogênio orgânico que contem parte no tecido de uma planta pode ser incorporado em tecidos animais pelo processo nutricional destes. A morte de animais e vegetais, seguida de decomposição e, as transformações sofridas pelos compostos orgânicos presentes nos esgotos, levam à formação de nitrogênio amoniacal nas águas, nas formas de amônia gasosa (NH_3) ou do íon amônio (NH_4) (PIVELI; KATO, 2005).

De acordo com a Resolução do CONAMA N°357/2005, seção II, a condição da qualidade da água para as formas de nitrogênio, encontradas em água doce, podem ser visualizadas no Quadro 2.

	Parâmetros Inorgânicos	Valor Máximo
Classe I e II	Nitrato	10 mg/L
	Nitrito	1 mg/L
	Nitrogênio Amoniacal Total	3,7 mg/L, para $\text{pH} \leq 7,5$
		2 mg/L, para $7,5 < \text{pH} \leq 8$
		1 mg/L, para $8 < \text{pH} \leq 8,5$
0,5 mg/L, para $\text{pH} > 8,5$		
Classe III	Nitrato	10 mg/L
	Nitrito	1 mg/L
	Nitrogênio Amoniacal Total	13,3 mg/L, para $\text{pH} \leq 7,5$
		5,6 mg/L, para $7,5 < \text{pH} \leq 8$
		2,2 mg/L, para $8 < \text{pH} \leq 8,5$
1 mg/L, para $\text{pH} > 8,5$		

Quadro 2 - Concentrações de nitrogênios, para as classes de água doce.
Fonte: Resolução do CONAMA n° 357/2005 (adaptada).

- Fósforo

O fósforo é um nutriente, no qual torna-se fundamental para o crescimento e multiplicação das bactérias, que são responsáveis pelos mecanismos bioquímicos de estabilização da matéria orgânica, por isso, sua presença nos corpos d'água é indispensável. Porém, em alta quantidade contribui para a proliferação de algas, que podem acelerar o processo de eutrofização. (PARDO, 2009)

A quantidade de fósforo na água pode originar-se no solo, nos despejos domésticos e/ou industriais, nos detergentes, nos excrementos de animais e nos fertilizantes. (PARDO, 2009)

A quantificação do fósforo é, em geral, dada em miligramas por litro (mg/L).

De acordo com Piveli e Kato (2005), o fósforo aparece em águas naturais devidos principalmente às descargas de esgotos sanitários. As águas drenadas em áreas agrícolas e urbanas também podem provocar a presença excessiva de fósforo em águas naturais, por conta da aplicação de fertilizante no solo.

Segundo a Resolução do CONAMA N°357/2005, seção II, a condição da qualidade da água para as formas de fósforo total, encontradas em água doce, podem ser visualizadas no Quadro 3.

	Parâmetros Inorgânicos	Valor Máximo
Classe I	Fósforo Total (ambiente lântico)	0,020 mg/L
	Fósforo Total (ambiente lótico e tributários de ambientes intermediários)	0,1 mg/L
	Fósforo Total (ambiente intermediário, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lântico)	0,025 mg/L
Classe II	Fósforo Total (ambiente lântico)	0,030 mg/L
	Fósforo Total (ambiente lótico e tributários de ambientes intermediários)	0,1 mg/L
	Fósforo Total (ambiente intermediário, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lântico)	0,050 mg/L
Classe III	Fósforo Total (ambiente lântico)	0,050 mg/L
	Fósforo Total (ambiente lótico e tributários de ambientes intermediários)	0,15 mg/L
	Fósforo Total (ambiente intermediário, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lântico)	0,075 mg/L

Quadro 3 - Concentrações de fósforo total, para as classes de água doce.
Fonte: Resolução do CONAMA n° 357/2005 (adaptada).

3.2.3 Parâmetros Biológicos

Os parâmetros biológicos referem-se à possibilidade dos corpos hídricos possuírem o aporte de microorganismos geradores de contaminação das águas (microorganismos patogênicos). Os organismos patogênicos são constituídos por

comunidade planctônica e coliformes (PARDO, 2009). Alguns desses parâmetros indicadores são:

- Clorofila-a

A clorofila-a é um pigmento, além dos carotenóides e ficobilinas responsáveis pelo processo fotossintético. (GONGALVES, 2008). A clorofila pode ser dividida em a, b, c e d, sendo a clorofila a mais comum, pois representa cerca de 1 a 2% do peso seco do material orgânico em todas as algas planctônicas sendo um indicados da biomassa algal. (PARDO, 2009)

De acordo com Pardo (2009):

O crescimento anormal de algas no meio aquático é devido ao excesso de nutrientes (nitrogênio e fósforo) oriundos de esgotos domésticos e industriais. Um desses vegetais aquáticos são os fitoplânctons. Algumas espécies de fitoplânctons produzem toxinas que podem levar a morte dos seres aquáticos. Quando os fitoplânctons morrem, eles são consumidos pelas bactérias, as quais, no processo de oxidação biológica, utilizam o oxigênio contido na água. Dependendo da quantidade de matéria orgânica presente, este processo de oxidação biológica pode esgotar a quantidade de oxigênio dissolvida no corpo d'água, interferindo na respiração dos peixes e de outros seres aeróbicos, levando-os à morte. Enfim, como as algas se localizam na superfície dos corpos d'água, elas dificultam a penetração da luz, o que prejudica o desenvolvimento das plantas que se encontram em profundidade, reduzindo a diversidade biológica (PARDO, 2009, p.18).

A medida de clorofilas é geralmente medidas em microgramas por litro ($\mu\text{g/L}$). O CONAMA perante sua resolução nº 357/2005 dita que o limite máximo de clorofila-a em águas doces de classe I é de 10 ($\mu\text{g/L}$), enquanto para classe II é de 30 ($\mu\text{g/L}$), e de 60 ($\mu\text{g/L}$) para classe III.

- Coliformes

Este parâmetro indica a possibilidade da presença de microrganismos patogênicos. Na determinação de coliformes, faz-se à diferenciação entre coliformes de origem fecal e não fecal. (GONGALVES, 2008)

Segundo a resolução do CONAMA nº 357/2005 coliformes de origem fecal pode-se citar os termotolerantes, dos quais são:

bactérias gram-negativas, em forma de bacilos, oxidasenegativas, caracterizadas pela atividade da enzima -galactosidase. Podem crescer em meios contendo agentes tenso-ativos e fermentar a lactose nas temperaturas de 44 – 45 °C, com produção de ácido, gás e aldeído. Além de estarem presentes em fezes humanas e de animais homeotérmicos, ocorrem em solos, plantas ou outras matrizes ambientais que não tenham sido contaminados por material fecal;

escherichia coli (E.Coli): bactéria pertencente a família Enterobacteriaceae caracterizada pela atividade da enzima -glicuronidase. Produz indol a partir do aminoácido triptofano. É a única espécie do grupo dos coliformes termotolerantes cujo habitat exclusivo é o intestino humano e de animais homeotérmicos, onde ocorre em densidades elevadas (CONAMA, 2005. p. 2-3).

Gonçalves (2008) completa:

Os coliformes são indicadores de poluição fecal uma vez que ocorrem em grande número na flora intestinal humana e de animais de sangue quente. A presença de coliformes na água indica poluição com o risco potencial da presença de organismos patogênicos, em função de serem mais resistentes na água que as bactérias patogênicas de origem intestinal (GONÇALVES, 2008. p. 117).

A contaminação fecal pode ser medida em número mais provável (NMP) de coliformes por cem milímetros de água amostrada (NMP/100 mL).

Perante a Resolução do CONAMA N°357/2005, seção II, a condição da qualidade da água para a quantidade de coliformes termotolerantes em águas doces de classe I e II para uso de recreação de contato primário deverão ser obedecidos os padrões previstos na Resolução CONAMA nº 274/2000 e para classe III o limite é estabelecido de 2500 NMP/100 mL. Os demais usos deverão respeitar o limite de 200 NMP/100 mL em classe I, em classe II deve respeitar o limite de 1000 NMP/100 mL e um limite de 4000 NMP/100mL para águas em classe III , em 80% ou mais, de pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral.

Na classe III ainda estabelece que para uso de dessedentação de animais criados confinados, um padrão máximo de 1000 NMP/100ml em 80% ou mais, de

pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral.

A E.Coli poderá ser determinada em substituição aos parâmetros coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente, em águas doces de classes I, II, III e IV.

3.3 MODELO HIDRODINÂMICO

Segundo Von Sperling (2005), modelos matemáticos são basicamente compostos por estrutura teórica, valores numéricos dos parâmetros (coeficientes das equações), dados de entrada e saída, juntamente com observações e medições de laboratório e de campo.

Pode-se visualizar na Figura 1 um fluxograma simplificado do desenvolvimento de um modelo matemático.

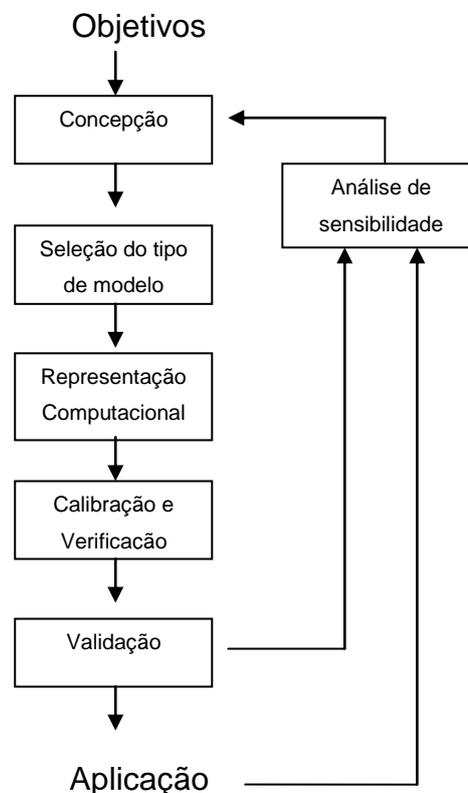


Figura 1 - Fluxograma das etapas de desenvolvimento de um modelo matemático
Fonte: VON SPERLING, 2007.

Mesmo os processos hidrológicos, físicos, químicos e biológicos que ocorrem num corpo hídrico possuem complexidade, e ainda não sejam perfeitamente equacionados, os modelos conseguem englobá-los de forma simplificada e prática. Através destes modelos é possível realizar simulações de eventos, identificando os fatores que afetem a qualidade e quantidade da água, e de condições futuras e alternativas propostas para o corpo d'água, auxiliando assim a sua administração (GASTALDINI E TEIXEIRA, 2001 *apud* ALVAREZ, 2010. p. 27).

Chapra (1997 *apud* KONDAGESKI, 2008) diz que o modelo de qualidade da água é uma representação idealizada da realidade, onde fornece a resposta de um corpo de água e um estímulo externo.

De acordo com Pardo (2009):

A base dos modelos de qualidade de água é o modelo hidrodinâmico, o modelo de transporte advectivo-difusivo e as equações dos processos das reações (PARDO, 2009. p.10).

Para Kondageski (2008), um modelo de qualidade da água é constituído por dois módulos integrados computacionalmente, sendo este o hidrodinâmico e de transporte.

O modelo hidrodinâmico para o presente trabalho foi utilizado nos trabalhos de Romeiro. et. al. (2007) e Pardo (2009).

Este modelo permite realizar simulações numéricas para compreensão de processos bioquímicos associados a poluente em reservatórios. O modelo hidrodinâmico foi desenvolvido de forma bidimensional no sentido horizontal com as equações de Navier-Stokes, que são obtidas as equações (1), (2) e (3):

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u1 \frac{\partial u}{\partial x} + u2 \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{Re} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{Re} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

$$\nabla^2 p = -\frac{\partial^2 uu}{\partial x^2} - 2 \frac{\partial^2 uv}{\partial xy} - \frac{\partial^2 vv}{\partial y^2} - \frac{\partial d}{\partial t} + \frac{1}{Re} \left(\frac{\partial^2 d}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 d}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

Onde p é a densidade, u e v são o campo de velocidades do fluido e x e y representam as dimensões físicas na superfície do lago, Re é o número de Reynolds, d é o divergente da velocidade definido pela equação (4):

$$d = \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) \quad (4)$$

De acordo com Romeiro et. al. (2007), reescrevendo as equações (1) a (3) para com o sistema de coordenadas generalizadas e aproximando as derivadas parciais por diferenças finitas, obteve-se o sistema algébrico de equações. O campo de pressão do domínio computacional foi resolvido iterativamente através do método das relações sucessivas. Insere-se o campo de pressão nas equações algébricas pelo método de Runge-Kutta de terceira ordem, e obtem-se os componentes u e v do vetor velocidade em toda a geometria, onde foi informado ao modelo de transporte advectivo-difusivo-reativo.

3.3.1 Modelo de Transporte Advectivo-Difusivo-Reativo

O modelo de transporte advectivo-difusivo-reativo utilizado para o estudo, foi utilizado no trabalho de Romeiro. et.al. (2007) que simulou o comportamento de duas espécies a DBO e o OD. Porém neste trabalho considerou apenas a concentração de DBO (mg/L).

Segundo com o trabalho realizado por Romeiro. et. al. (2007):

O modelo de reações a ser incluído no modelo de transporte resulta de uma simplificação do modelo linear apresentado por Henze, [HENZE, M., 1987], composto pelo ciclo do carbono, cujas equações são obtidas através do Modelo QUAL2E [CHAPRA, S.C., 1997] (ROMEIRO, 2007. p. 8).

Logo com o intuito de analisar o impacto da descarga de efluentes lançados no lago Igapó I, Romeiro et. al. (2007) utilizou o modelo 2DH de transporte advectivo-difusivo-reativo envolvendo a concentração de DBO (X_S) e o OD (S_0), equação (5) e (6):

$$\frac{\partial X_s}{\partial t} + u \frac{\partial X_s}{\partial x} + v \frac{\partial X_s}{\partial y} - D_x \frac{\partial^2 X_s}{\partial x^2} - D_y \frac{\partial^2 X_s}{\partial y^2} = -(K_1 + K_3).X_s \quad (5)$$

$$\frac{\partial S_0}{\partial t} + u \frac{\partial S_0}{\partial x} + v \frac{\partial S_0}{\partial y} - D_x \frac{\partial^2 S_0}{\partial x^2} - D_y \frac{\partial^2 S_0}{\partial y^2} = K_2 (O_s - S_0) - K_1 X_s \quad (6)$$

A equação (6) pode ser descrita como o déficit de OD (D_{S_0}), onde $D_{S_0} = O_s - S_0$, sendo O_s a concentração de saturação do OD.

3.4 QUALIDADE DE ÁGUA DE RECURSOS HÍDRICOS URBANOS NO BRASIL

Existem muitas referências e estudos sobre a água, abrangendo desde a origem de sua utilização e a sua importância para a vida urbana e rural.

Segundo a Resolução do CONAMA nº 357/2005 em seu art. 2º, classifica:

Ambiente lântico: ambiente que se refere à água com movimento lento ou estagnado;

Ambiente lótico: ambiente relativo a águas continentais moventes.

Para ambiente lótico pode tomar como exemplos, rios, riachos, e para ambiente lântico como lagoas e lagos naturais. Porém existe os reservatórios (lagos artificiais construídos) que suas características dependem de regras de operação e manejo sendo classificado como um ambiente intermediário.

Em sua dissertação, Xavier (2005) faz comparação entre algumas propriedades de rios, lagos naturais e reservatórios (Tabela 3).

Tabela 3 - Comparação entre algumas propriedades de rios, lagos naturais e reservatórios.

Propriedade	Rio	Lago	Reservatórios
Flutuação do nível da água	Grande, irregular depende de condições climáticas	Pequena, estável	Grande, irregular depende de regras operativas e de manejo.
Estratificação térmica	Depende do regime natural	Depende do regime natural	Variável, irregular.
Entrada de água	Depende do clima e da geomorfologia da bacia	Depende de pequenos tributários e fontes difusas superficiais ou subterrâneas.	Depende de tributários superficiais
Saída de água	Normalmente fluxo contínuo	Relativamente estável superficial	Irregular, depende de regras operativas e de manejo, várias profundidades da coluna de água
Tempo de Residência	Algumas horas e poucas semanas	Longo, de um a vários anos	Variável de dias a anos.
Padrão de oxigênio dissolvido	Varição horizontal é mais expressiva	Pequena variação horizontal, gradiente vertical com oxigênio máximo mais comum que mínimo a partir do metalimnio.	Grande variação, gradiente vertical com oxigênio mínimo mais comum que o máximo a partir do metalimnio.

Fonte: TUNDISI (1983); WETZEL (1990); MEYBECK et. al. (1992) *apud* (XAVIER, 2005) (adaptado).

Xavier (2005) estudou as subacias dos rios Passauma e Irai, mananciais de abastecimento da Região Metropolitana de Curitiba, no qual obteve como resultado, que as características morfométricas (profundidade média) e hidrológicas (tempo de residência) dos reservatórios de estudo fornecem informações importantes sobre a situação da qualidade da água. Xavier (2005) ainda determinou que as fontes pontuais e não pontuais de poluição das bacias precisam ser controladas para diminuir a carga afluyente aos reservatórios a partir das bacias de drenagem, como forma de garantir a qualidade da água para fins de abastecimento público. Avaliou os parâmetros de déficit de oxigênio (%), transparência (m), clorofila a ($\mu\text{g/L}$), fósforo total ($\mu\text{gP/L}$), nitrato (mgN/L), nitrito (mgN/L) e nitrogênio amoniacal (mgN/L) dos reservatórios, e pode concluir por meio da determinação do Índice de Estado Trófico (IET) que o reservatório de Passauma estava classificado como meso-eutrófico e o reservatório de Irai como eu-hipereutrófico.

Villa (2005) avaliou a interação rio-lago-rio do Parque Barigui em Curitiba, analisou a influência das diversas etapas do ciclo da matéria orgânica em uma bacia tipicamente urbana, porém com forte influência de atividades rural e industrial. Para avaliar o lago, utilizou como auxílio a modelagem hidrodinâmica e o monitoramento de distintas variáveis e desenvolveu um modelo unidimensional com intuito de avaliar os mecanismos de transporte de matéria orgânica. Obteve como resultado pouca circulação no lago, a sensibilidade de forçantes externas (vento), a significativa sedimentação, - pois a predominância de matéria orgânica aliada a baixa velocidade na região de monitoramento, favoreceram a deposição desta matéria orgânica no fundo do lago - a pouca ressuspensão do sedimento para a coluna d'água, a instabilidade dos parâmetros convencionais (Tabela 4).

Tabela 4 - Resumo dos parâmetros de qualidade da água analisados no Parque Barigui em Curitiba

Parâmetro	Lago		Rio	
	Concentração	N	Concentração	N
Alcalinidade Total (mg CaCO ₃ /L) ⁿ	126,6 ± 8,2	13	121,7 ± 9,8	4
Condutividade (µS/cm) ⁿ	322,0 ± 67,2	18	309,6 ± 81,3	5
DBO (mg O ₂ /L) ^{*c3}	11,8 ± 5,5	14	11,9 ± 8,5	4
DQO (mg O ₂ /L) ⁿ	42,6 ± 23,9	18	29,3 ± 22,6	5
OD (mg O ₂ /L) ^{*c2}	7,1 ± 1,4	18	7,2 ± 1,6	5
pH ^{*c2}	7,5 ± 0,3	18	7,6 ± 0,3	5
Sólidos Dissolvidos Fixos (mg/L) ⁿ	118,3 ± 44,6	17	115,3 ± 44,1	5
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L) ^{*c2}	168,7 ± 34,4	17	178,6 ± 19,9	5
Sólidos Dissolvidos Voláteis (mg/L) ^{*c2}	52,4 ± 32,0	17	63,2 ± 39,4	5
Sólidos Sedimentáveis (mg/Lh) ⁿ	1,6 ± 2,3	6	0,2	2
Sólidos Suspensos Fixos (mg/L) ⁿ	43,6 ± 49,2	17	14,1 ± 8,8	3
Sólidos Suspensos Fixos (mg/L) ⁿ	62,1 ± 56,4	17	25,6 ± 19,2	5
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L) ⁿ	18,5 ± 9,7	17	17,2 ± 13,4	5
Sólidos Totais (mg/L) ⁿ	232,7 ± 72,8	17	204,2 ± 19,1	5
Sólidos Totais Fixos (mg/L) ⁿ	161,9 ± 80,3	17	123,8 ± 41,3	5
Sólidos Totais Voláteis (mg/L) ⁿ	70,9 ± 34,4	17	80,4 ± 49,0	5
Turbidez (NTU) ^{*c2}	24,2 ± 7,3	9	19,0 ± 13,1	3
Vazão (m ³ /s)	1,79 ± 0,41	6	1,48 ± 0,39	6

Notas: Limites de qualidade estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005.

^{*c2} – atende aos limites de qualidade Classe 2;

^{*c3} – não atende os limites de qualidade da Classe 3;

ⁿ – não são estabelecidos limites de qualidade para este parâmetro.

Fonte: VILLA, 2005. p. 97.(adaptado).

No trabalho realizado por Alvarez (2010), foi estudado a qualidade da água na bacia do córrego Gregório e no córrego Monjolinho ambos situados na

bacia do Tiete-Jacaré no município de São Carlos/SP. Os parâmetros físico-químicos analisados foram pH, OD, turbidez, CE. DQO, DBO fosfato, nitrogênio total, nitrito, e sólidos totais, e os biológicos foram coliformes termotolerantes e totais, e metais como zinco, chumbo, cádmio, níquel, ferro, manganês, cobre e cromo, bem como analisou-se também a variação do nível da água e a vazão. Abordou também a questão ec hidrológica. Para avaliar os aspectos quali-quantitativos da água para a bacia urbana através da modelagem matemática utilizou como auxílio o modelo SWMM.

Através do modelo SWMM, Alvarez (2010) transformou os valores de concentração obtidos para carga específica, ou seja, a carga de cada variável (concentração*vazão) foi dividida pela área de drenagem a montante correspondente a cada ponto de controle, conforme demonstra a Tabela 5.

Tabela 5 - Valores de cargas específicas de OD, FT, ST DQO e DBO dos córregos analisados.

Ponto de Controle	Área de drenagem (km ²)	Nº de campanha	Vazão (m ³ /s)	Carga específica W (kg/s)				
				OD ⁽¹⁾	FT ⁽²⁾	ST ⁽³⁾	DQO ⁽⁴⁾	DBO ⁽⁵⁾
FÓRUM (Córrego Gregório)	9,5	1	0,17	0,0012	0,0001	0,03	0,0015	0,0007
		2	10,51	0,0685	0,0046	12,1	1,9549	0,494
		3	0,21	0,0009	0,0002	0,07	0,0198	0,0078
		4	0,19	0,0004	0,0002	0,05	0,0121	0,0048
CASA BRANCA (Monjolinho)	51,8	1	1,71	0,0128	0,0008	0,34	0,0222	0,0147
		2	21,54	0,14	0,0098	10,47	2,0676	0,3231
		3	1,3	0,089	0,0005	0,14	0,0117	0,0035
		4	1,09	0,0075	0,0005	0,17	0,0185	0,0029
CRISTO (Monjolinho)	77,5	1	2	0,0144	0,0007	0,33	0,012	0,004
		2	29,07	0,1907	0,0134	14,61	3,1106	0,4651
		3	1,75	0,0119	0,0008	0,19	0,0228	0,0068
		4	1,71	0,0125	0,0007	0,34	0,0188	0,0029

⁽¹⁾ Oxigênio Dissolvido; ⁽²⁾ Fósforo Total; ⁽³⁾ Sólidos Totais; ⁽⁴⁾ Demanda Química de Oxigênio;

⁽⁵⁾ Demanda Bioquímica de Oxigênio

Fonte: ALVAREZ, 2010. p. 66.

No município de Colombo/PR, Ribeiro (2009) analisou parâmetros físicos e químicos como DBO, DQO, OD, nitrogênio Kjeldahl, amônio, nitrato, fósforo total, turbidez, temperatura, C.E, sólidos totais, e parâmetros biológicos como presença de coliformes fecais (vide Tabela 6), da microbacia do rio Campestre entre os períodos de verão e inverno.

Obteve como resultado uma qualidade de água inferior na subárea afetada pela agricultura. Na estação de verão, em decorrência da maior precipitação e uso do solo, ocorreram as maiores concentrações de N Kjeldahl e N particulado, bem como a CE, pH, turbidez e coliformes fecais.

Tabela 6 - Média dos indicadores de qualidade nas estações de inverno (Out-Abr) e verão (Maio-Set) na microbacia do rio Campestre, Colombo – Pr.

Indicadores	Verão	Inverno
N Kjeldhal (mg/L)	7,69	4,46
N-NH₄ (mg/L)	0,35	0,55
N Particulado (mg/L)	7,35	3,91
N-NO₃ (mg/L)	1,19	1,85
P Total (mg/L)	0,12	0,15
Sólidos Totais (mg/L)	192,1	278,8
Turbidez (UNT)	9,66	4,91
pH	8,26	7,38
CE (µS/cm)	10,98	10
Temperatura (°C)	17,49	16,9
OD (mg/L)	7,55	8,69
DBO (mg/L)	0,78	1,11
DQO (mg/L)	9,37	8,94
Coliformes Fecais (NMP)	7733	0

Fonte: RIBEIRO, 2009. p. 33.

3.4.1 Qualidade da Água em Londrina/PR

Em 2009, Pardo, realizou um estudo no lago Igapó I, no qual avaliou o efeito que uma descarga de poluentes pode causar neste corpo d'água. Utilizou simulações numéricas e um modelo bidimensional, na horizontal. Para o transporte de reações foi resolvido numericamente pelo método de elementos finitos estabilizados, através de uma formulação semi discreta. Os poluentes avaliados foram o ciclo carbono-nitrogênio. Obteve como resultado varias simulações de acordo com o coeficiente difusivo, e o resultado principal das simulações numéricas realizadas, verificou que as maiores concentrações de nitrito e nitrato ocorrem nos vórtices do lago, caracterizando-os como regiões muito poluídas.

Na Figura 2 demonstra a simulação das concentrações de amônia (Espécie S_{NH}), nitrito+nitrato (espécie S_{NO_3}), DBO (Espécie X_s) e OD (Espécie S_0) com um coeficiente difusivo de $1000\text{m}^2/\text{h}$.

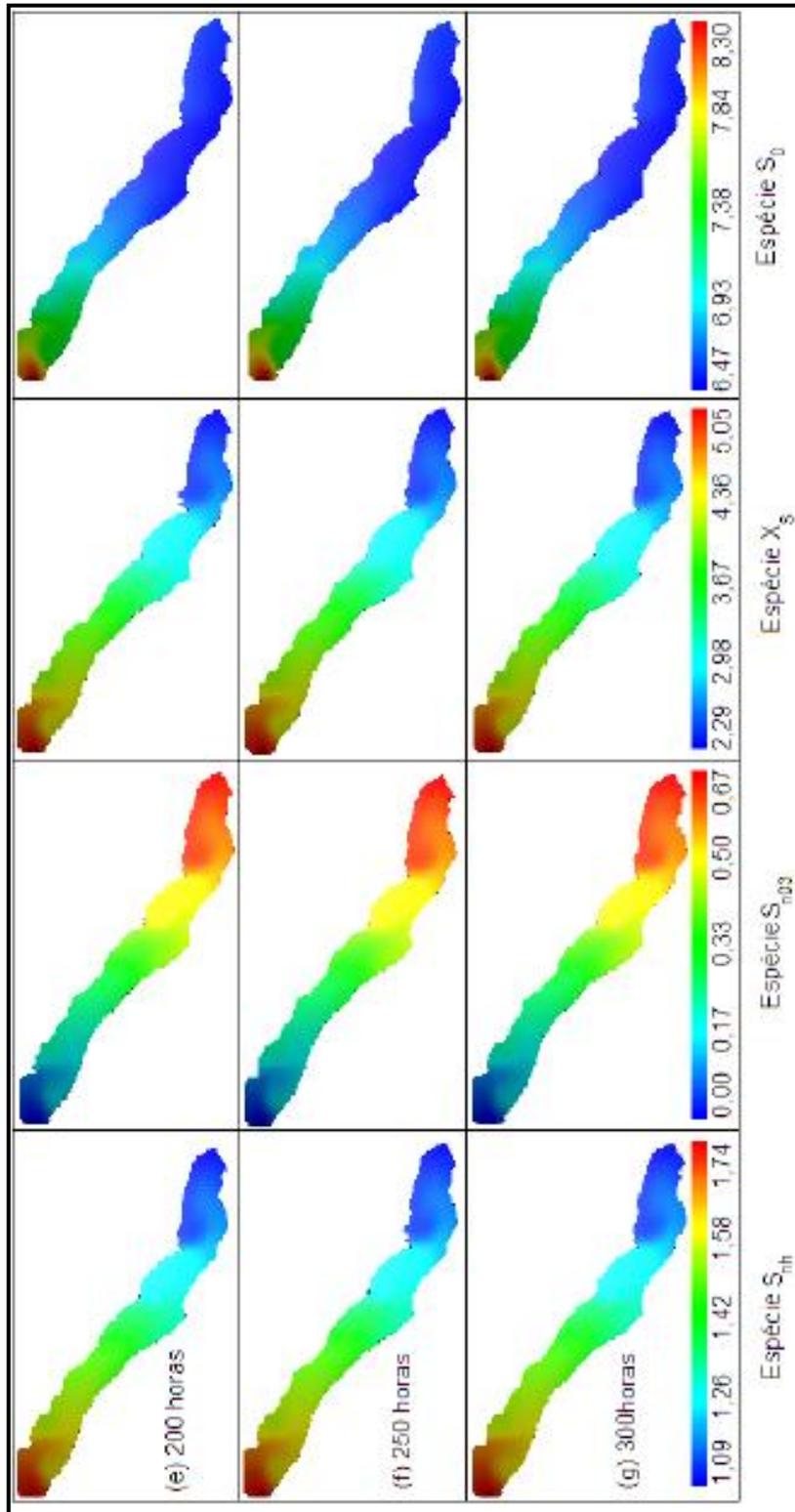


Figura 2 - Evolução das quatro espécies reativas com $D = 1000\text{m}^2/\text{h}$
 Fonte: PARDO, 2009. p. 74.

Romeiro et. al. (2011), publicou um artigo no qual, o intuito foi avaliar o comportamento de decaimento do número mais provável em 100 mL (MPN/100mL) de coliformes fecais. A simulação numérica esta ilustrada na Figura 3.

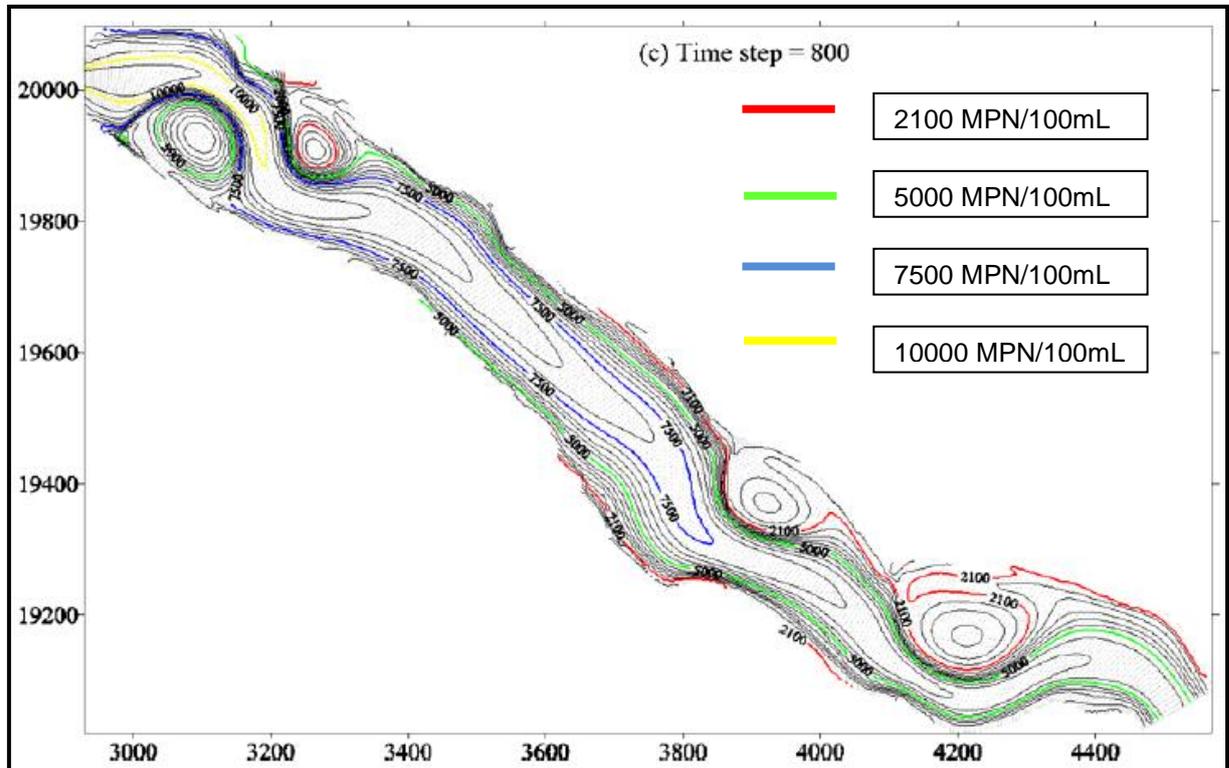


Figura 3 - Resultado da simulação numérica no Lago Igapó I, com $Dx=Dy = 0,001 \text{ m}^2/\text{h}$ e $K = 0,02083 \text{ h}^{-1}$, para passo de tempo de 800.
Fonte: ROMEIRO et al., 2011. p.1894.

No estudo desenvolvido por Gonçalves (2008), foi analisado a qualidade da água superficial dos Lagos Igapó I, II, III e IV e seus tributários durante um período de 10 anos de monitoramento. Utilizou variáveis físicas, químicas e biológicas para avaliar a qualidade da água, através da utilização do índice de qualidade de Água de Reservatórios – IQAR e Avaliação Integrada da Qualidade da Água - AIQA.

O AIQA foi desenvolvido pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP), com o intuito de avaliar a qualidade da água de rios do Estado do Paraná. Através das análises de parâmetros da qualidade da água, o AIQA define classes de qualidade do corpo hídrico de acordo com seus níveis de comprometimento, no qual a escala proposta pode ser visualizada na Figura 4.

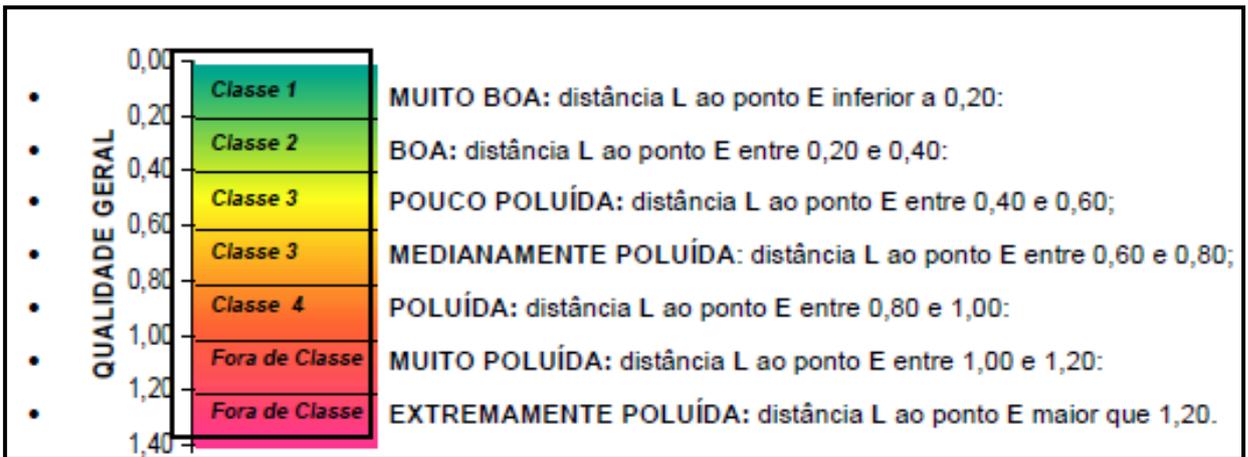


Figura 4 - Classes de qualidade da água, segundo o AIQA, de acordo com seu nível de comprometimento.

Fonte: IAP, 2005 *apud* GONGLAVES, 2008. p.100.

Nas Figura 5 e Figura 6, visualiza a evolução da qualidade médias das águas do Córrego Leme (córrego de estudo do presente trabalho) e do Córrego Capivara, respectivamente.

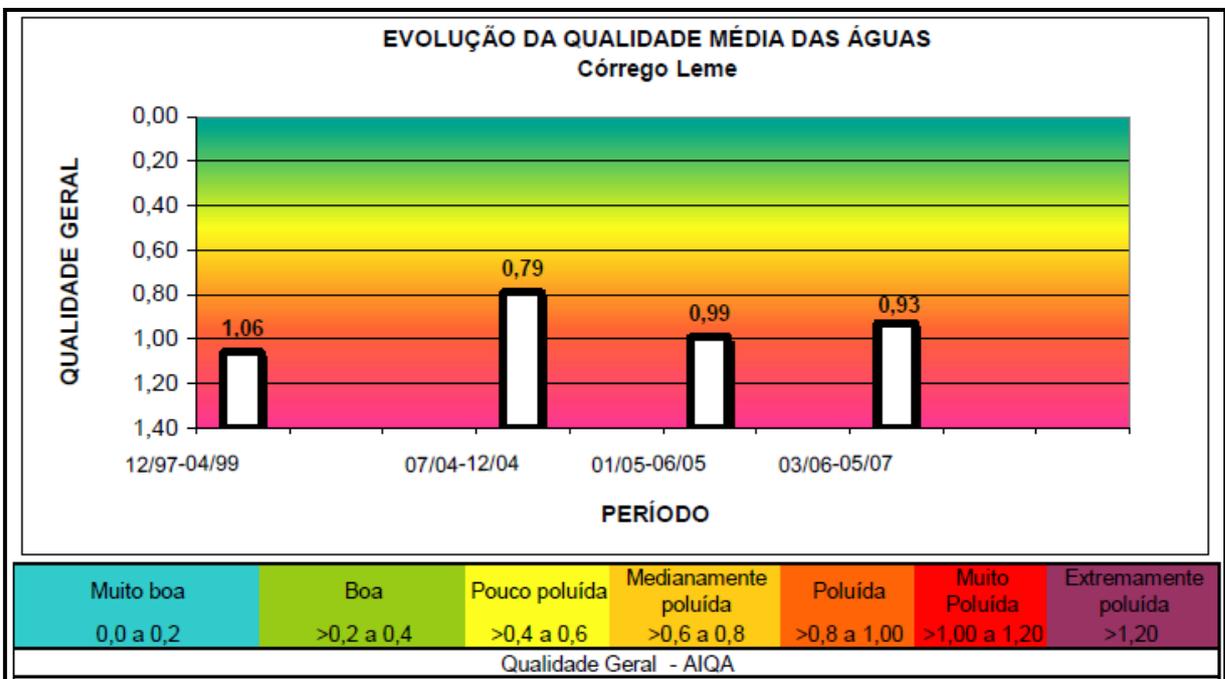


Figura 5 - Variação Temporal do AIQA para o Córrego Leme, no período de dezembro de 1997 a maio de 2007.

Fonte: GONÇALVES, 2008. p.155.

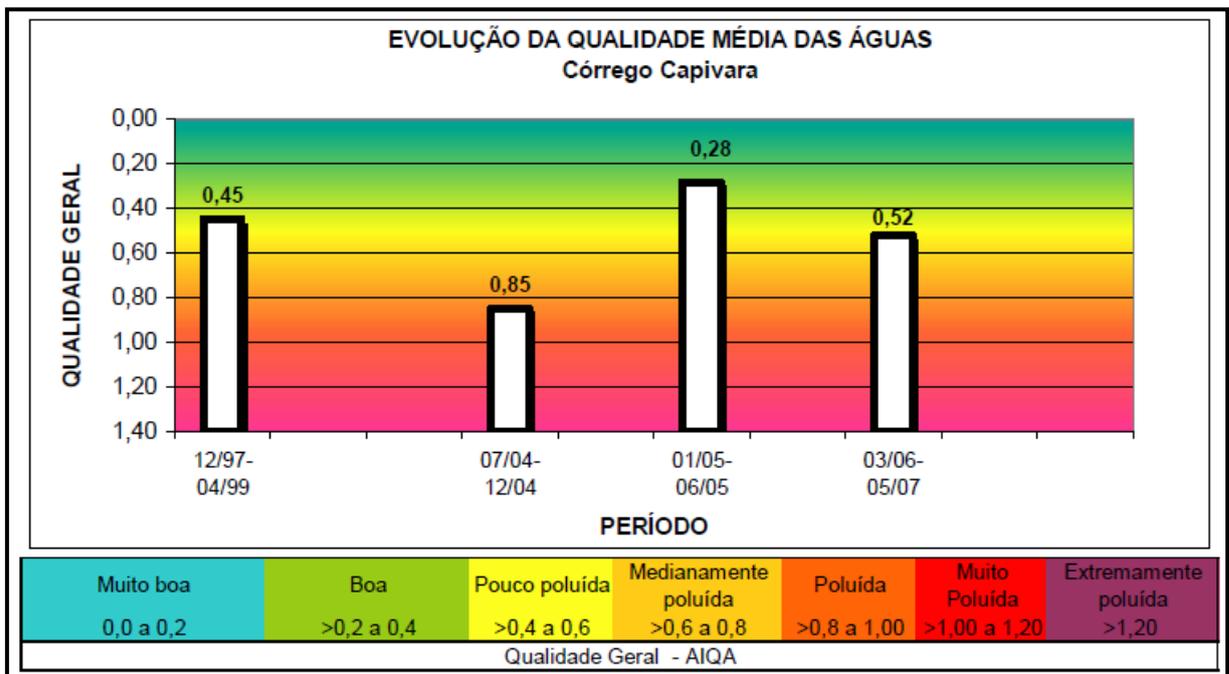


Figura 6 - Variação Temporal do AIQA para o Córrego Capivara, no período de dezembro de 1997 a maio de 2007.

Fonte: GONÇALVES, 2008. p.158.

Segundo o Instituto Ambiental do Paraná (2004, p.2 *apud* GONGALVES 2008), O IQAR foi desenvolvido, para avaliar a qualidade de águas de lagos e reservatórios pelo próprio Instituto, cuja base científica foi através de estudos realizados em 19 reservatórios do estado do Paraná entre 1987 e 1994, através do Contrato IAP/Itaipu Binacional, com início em 1982 e através do Convenio de Cooperação Técnica e Científica com o governo Alemão (GTZ).

O IQAR estabelece seis classes de qualidade de água:

Lilás = Classe I (não impactado a muito pouco degradado);

Azul = Classe II (pouco degradado);

Verde = Classe III (moderadamente degradado);

Amarelo = Classe IV (criticamente degradado a poluído);

Laranja = Classe V (muito poluído);

Vermelha = Classe VI (extremamente poluído).

Através das análises dos parâmetros de qualidade da água, Gonçalves (2008) gerou a Figura 7 do lago Igapó II (Tributário 1 deste estudo), e a Figura 8 referente o lago Igapó I (lago de estudo do presente trabalho).

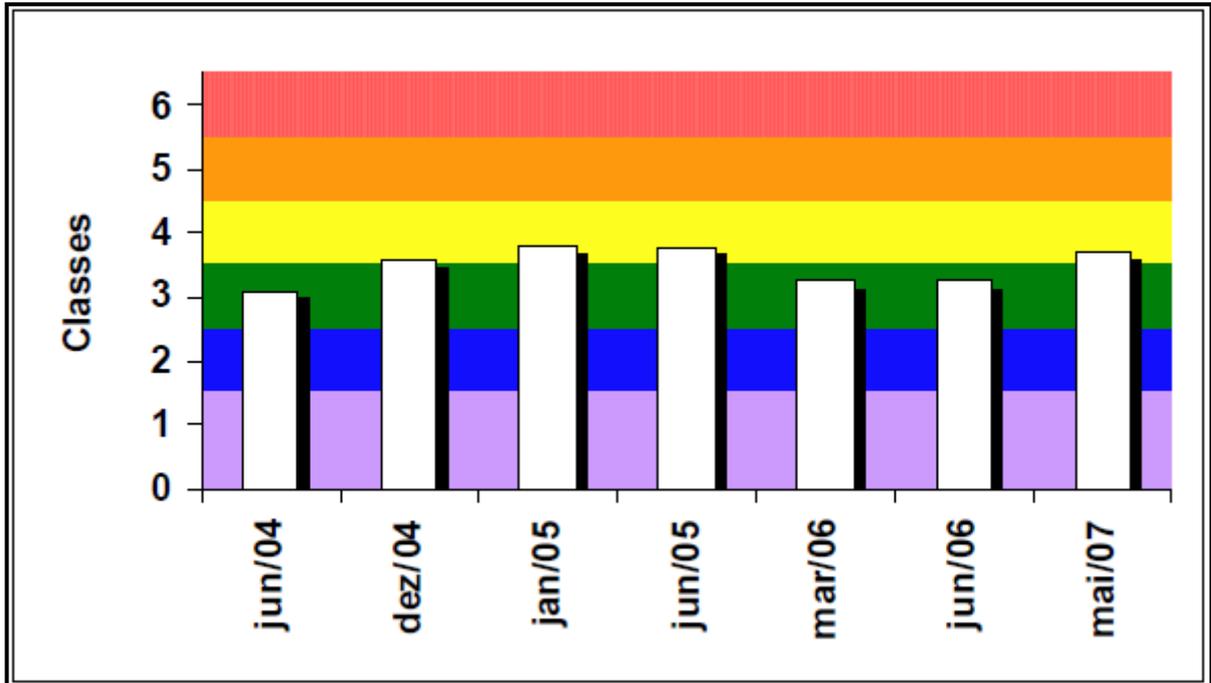


Figura 7 - Variação temporal do IQAR para o lago Igapó II, no período de junho de 2004 a maio de 2007.

Fonte: GONÇALVES, 2008 p. 174.

Através das análises do IQARs do lago Igapó II, Gonçalves (2008), verificou uma leve tendência de piora da qualidade da água. Afirma que através das suas outras análises, a contribuição da estação córrego Água Fresca e dos outros tributários existente no lago foram fatores determinantes para a queda da qualidade do lago Igapó II.

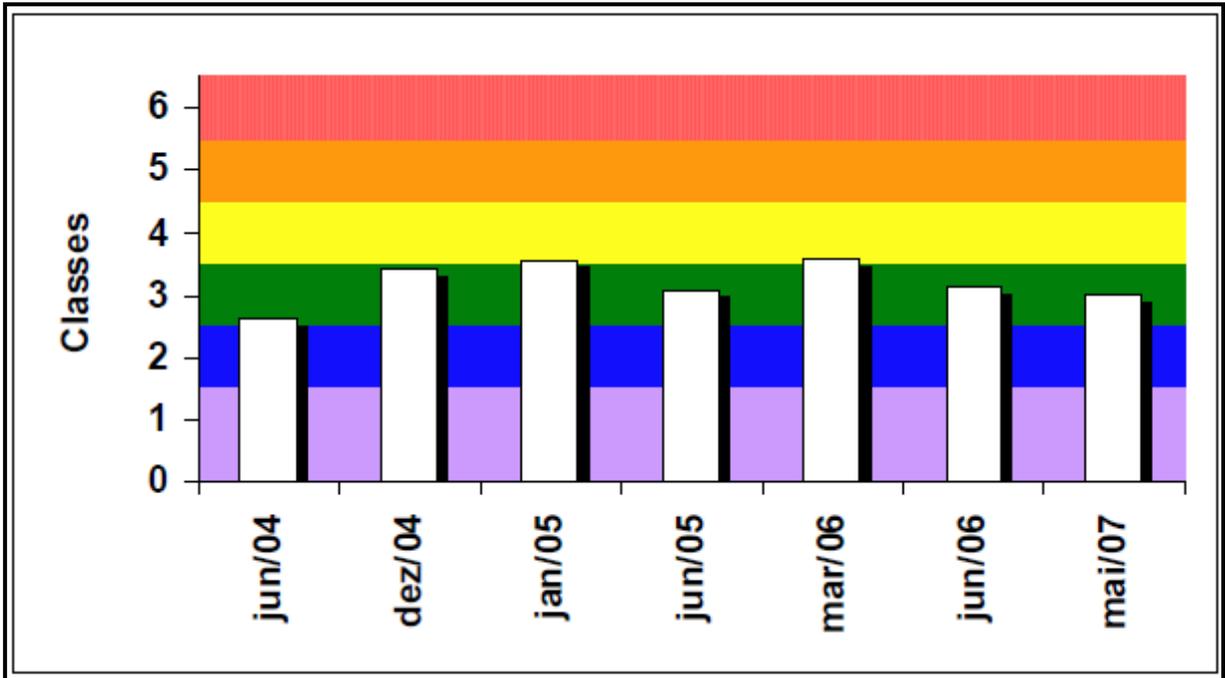


Figura 8 - Variação temporal do IQAR para o lago Igapó I, no período de junho de 2004 a maio de 2007.

Fonte: GONÇALVES, 2008 p. 173.

Gonçalves (2008) detectou que durante os períodos de estudo, a qualidade da água no lago Igapó I, obteve uma variação de moderadamente degradado, criticamente degradado e poluído, ou seja, obteve ciclos de períodos de melhora e de piora da qualidade da água ao longo do tempo.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para o desenvolvimento do presente trabalho, foram realizadas as seguintes etapas: Descrição da Área de Estudo; Localizações dos pontos de coletas e medições; Vazões de tributários; Qualidade de água; Batimetria do lago Igapó I; Perfil de oxigênio e temperatura; Modelo computacional.

4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.

O lago Igapó I, no qual é o local de estudo dessa pesquisa, localiza-se na microbacia do Ribeirão Cambé, no município de Londrina, norte do estado do Paraná – Brasil, como pode ser visualizado na Figura 9.

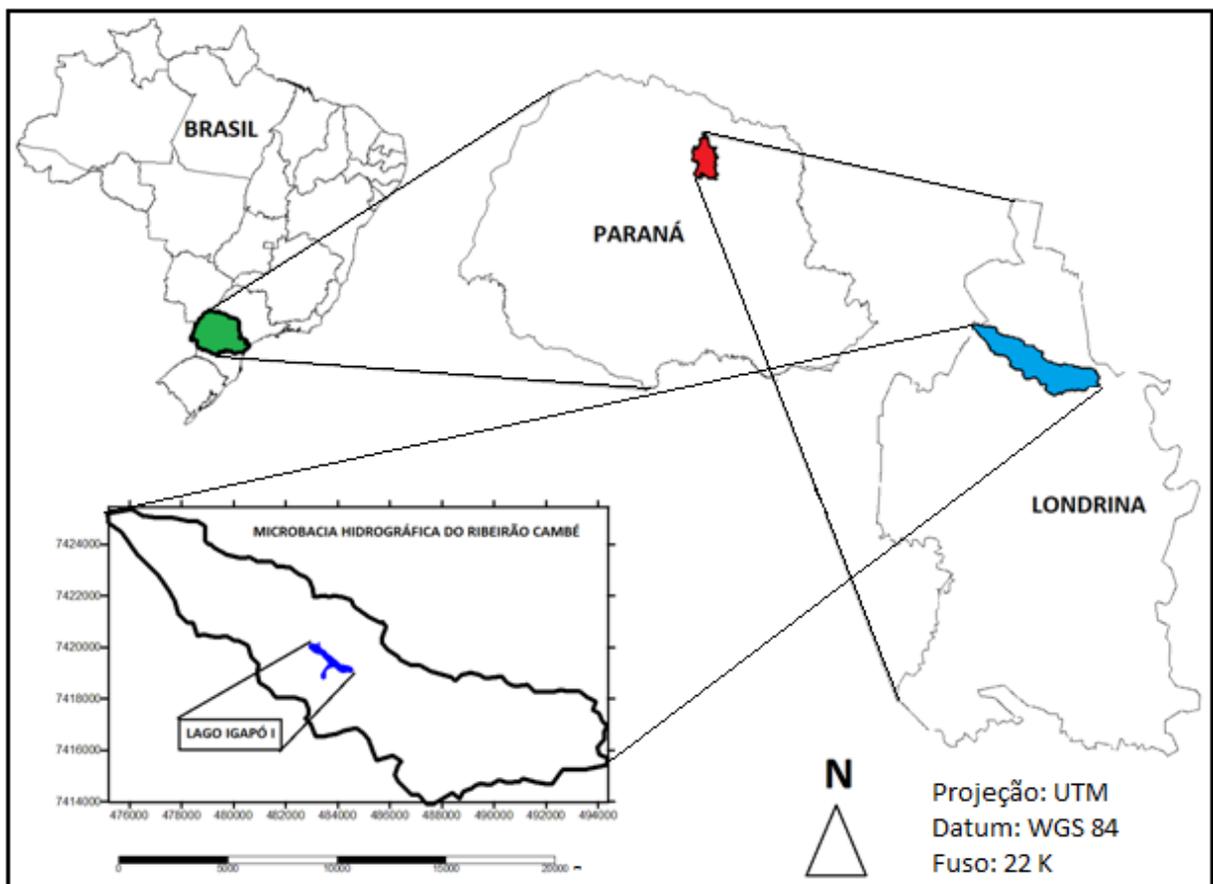


Figura 9 - Localização do Lago Igapó I na microbacia hidrográfica do Ribeirão Cambé.

Segundo o último censo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística em 2010 (IBGE, 2010), o município de Londrina ocupa uma área de 1653,3 Km², e possui aproximadamente 506.701 habitantes com uma densidade demográfica da unidade territorial de 306,49 Hab/Km².

Segundo Gonçalves (2008), Londrina foi criada através da Lei Estadual nº 2.519 de 03 de dezembro de 1934, e instalada em 10 de dezembro do mesmo ano. Atualmente, Londrina é um importante polo de desenvolvimento regional, e exerce grande influência sobre o estado do Paraná e a região sul do Brasil.

O lago Igapó foi criado em 10 de dezembro de 1959 (25 anos após a criação do município de Londrina), por meio do represamento do Ribeirão Cambé, como uma solução para o problema de drenagem, dificultada por uma barragem natural de rocha. O lago se subdivide em Igapó I, Igapó II, Igapó III e Igapó IV (Figura 10).

Na região da Bacia Hidrográfica onde se encontram os lagos Igapó (I, II, III e IV) a altitude apresenta uma variação de 400 a 600 metros.

O Lago Igapó I (Figura 11) localiza-se entre o retângulo envolvente do sistema Universal Transversa de Mercator (UTM) x_1 : 482.913, y_1 :7.420.170; x_2 : 484.447, y_2 : 7.418.777 do Datum WGS 84, fuso 22 K no município de Londrina-PR.



Figura 10 - Lago Igapó I, II, III e IV.

Fonte: Secretária do Meio Ambiente e de Recursos Hídricos de Londrina – SEMA.



Figura 11 - Lago Igapó I
Fonte: Google Earth, 2013 (adaptado).

O Lago Igapó I possui uma área superficial média de 412.296,4 m² e comprimento aproximado de 5.738,35 m (Figura 12).



Figura 12 - Área superficial e comprimento aproximados do Lago Igapó I.
Fonte: Google Earth, 2013. (adaptado)

Existem três tributários (Figura 13) que deságuam no lago em questão: o Lago Igapó II (Tributário 1), Córrego do Leme (Tributário 2) um Córrego que deságua canalizado (Tributário 3) e o Córrego Capivara.

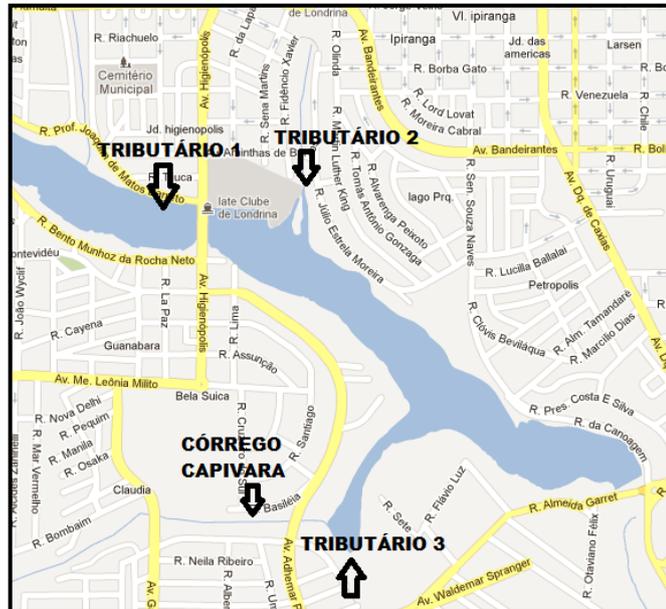


Figura 13 - Lago Igapó I e seus tributários.
Fonte: Google Maps, 2012. (adaptado)

4.2 LOCALIZAÇÕES DOS PONTOS DE COLETAS E MEDIÇÕES

Realizou-se uma visita *in loco* para verificação do formato dos tributários e profundidade visando determinar a vazão e os pontos de coleta de água.

Na Figura 14, pode ser visualizada por imagem as localizações aproximadas das coletas dos tributários e dos pontos de amostragem do lago Igapó I.

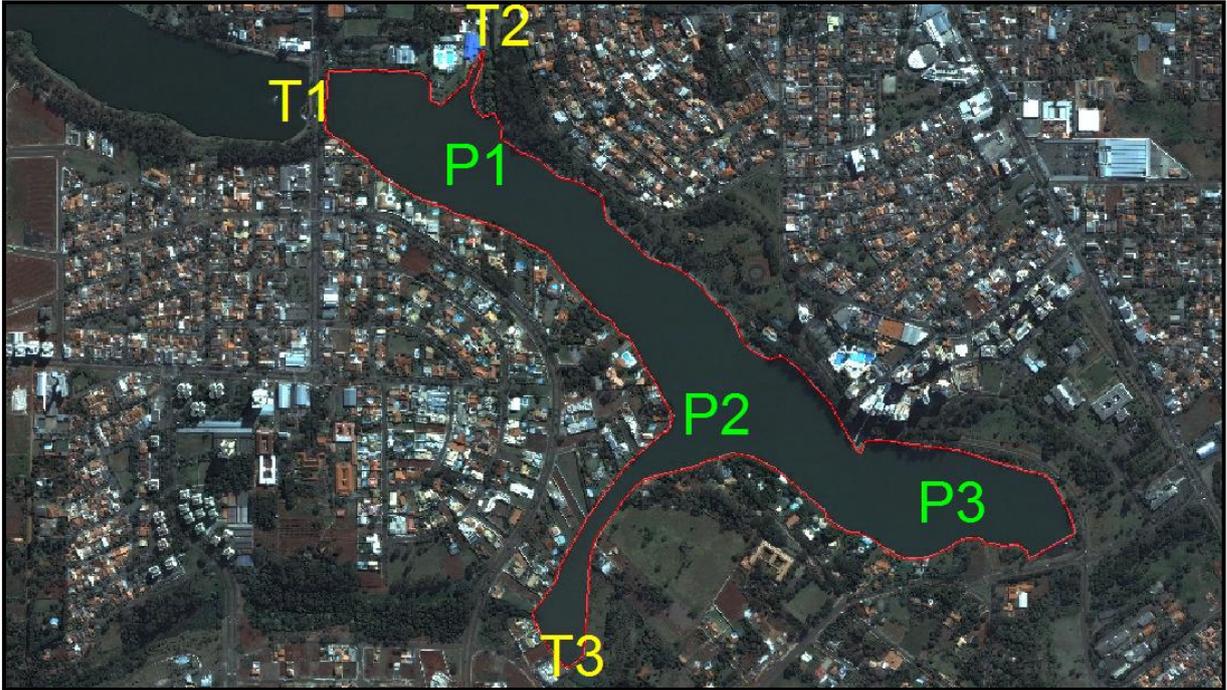


Figura 14 - Locais de análises durante o presente estudo.

Legenda: T1 – Tributário 1; T2 – Tributário 2; T3 - Tributário 3; P1 – Ponto 1; P2 – Ponto 2; P3 – Ponto 3.

Fonte Google Earth 2012. (adaptado).

4.3 VAZÕES DE TRIBUTÁRIOS

Foram realizadas 3 campanhas no decorrer da pesquisa para medição de vazão dos tributários 1, 2, 3, no qual respeitou-se os seguintes critérios:

- As medidas foram realizadas no período diurno;
- As condições dos tributários estavam regulares e normais, ou seja, não existiram modificações devido a fatores externos antrópicos ou naturais.

Para cada tributário, utilizou metodologia distinta para determinar a vazão, pois os afluentes possuem características diferentes.

Para o Córrego Capivara não realizou nenhuma medida de vazão ou de qualidade de água devido ao difícil acesso a este afluente.

4.3.1 Medição de Vazão no Tributário 1

Para medição de vazão do tributário 1 (Figura 15-a), foi utilizado um molinete marca Hidromec modelo 22.091 (Figura 15-b) juntamente com o cálculo da meia seção.

O método utilizado foi o método a vau, no qual esse método é aplicado com nível d'água não superior a 1,2 metros. No caso do tributário 1 a lamínula d'água não ultrapassa a 0,35 metros.

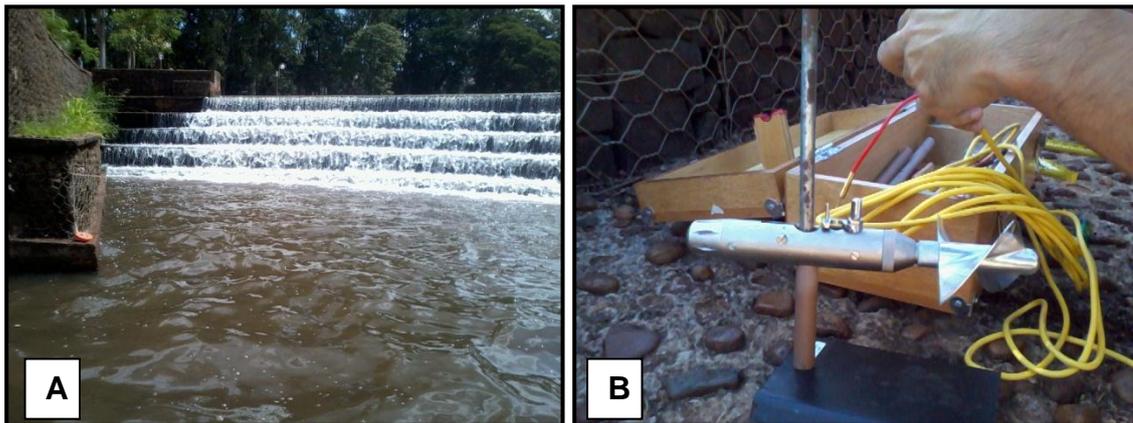


Figura 15 - Tributário 1, Lago Igapó II; A) Local da medição da Vazão; B) Molinete utilizado na medição.

O molinete apresenta equações próprias do modelo para velocidade média, de acordo com as equações (7) e (8).

$$V_{ei} = 0,00537728 + 0,26410254 \times N \quad \text{para } N < 0,7037 \quad (7)$$

$$V_{ei} = -0,01991111 + 0,30003759 \times N \quad \text{para } N > 0,7037 \quad (8)$$

No qual:

V_{ei} = Velocidade de cada seção (m/s);

N = Número de voltas/pelo tempo em segundos.

Através das velocidades e áreas das seções molhadas, é possível calcular a vazão de cada seção, de acordo com a equação (9).

$$Q = A.Vel \quad (9)$$

No qual:

Q = vazão em cada seção (m³/s);

A = área de cada seção (m²);

V_{ei} = Velocidade de cada seção (m/s).

Após os referidos cálculos, realizou a somatória das vazões de cada seção, e assim foi possível adquirir a vazão média do Lago Igapó II.

4.3.2 Medição de Vazão no Tributário 2

A medição de vazão do tributário 2 (Figura 16-a), foi realizada com o auxílio da curva de concentração de sal. Esta curva foi determinada a partir de uma concentração inicial conhecida de sal (600 gramas), no qual era despejada no córrego por uma bomba d'água (Figura 16-b) cuja a vazão (variou de acordo com a campanha) também era conhecida, e logo após 60 segundos coletou-se uma amostra com a concentração de sal final.

Posteriormente a determinação da quantidade em gramas de sal existente na amostra, foi possível calcular a vazão através da equação (10).

$$Q_{\text{total}} \cdot C_{\text{final}} = Q_{\text{rio}} \cdot C_{\text{rio}} + Q_{\text{sal}} \cdot C_{\text{sal}} \quad (10)$$

No qual tem-se:

Q_{total} = Vazão total (L/s);

C_{final} = Concentração de sal final (g);

Q_{rio} = Vazão do Córrego (L/s);

C_{rio} = Concentração de sal no córrego (g);

Q_{sal} = Vazão da bomba d'água (L/s);

C_{sal} = Concentração de sal adicionada na bomba d'água (g).



Figura 16 - Tributário 2, Córrego do Leme; A) Local da medição da Vazão; B) Bomba d'água utilizada na medição.

4.3.3 Medição de Vazão no Tributário 3

Na visita do tributário 3 (Figura 17), percebeu-se que existia um reservatório a montante do lago Igapó I, no qual realizou-se também a medição da vazão.

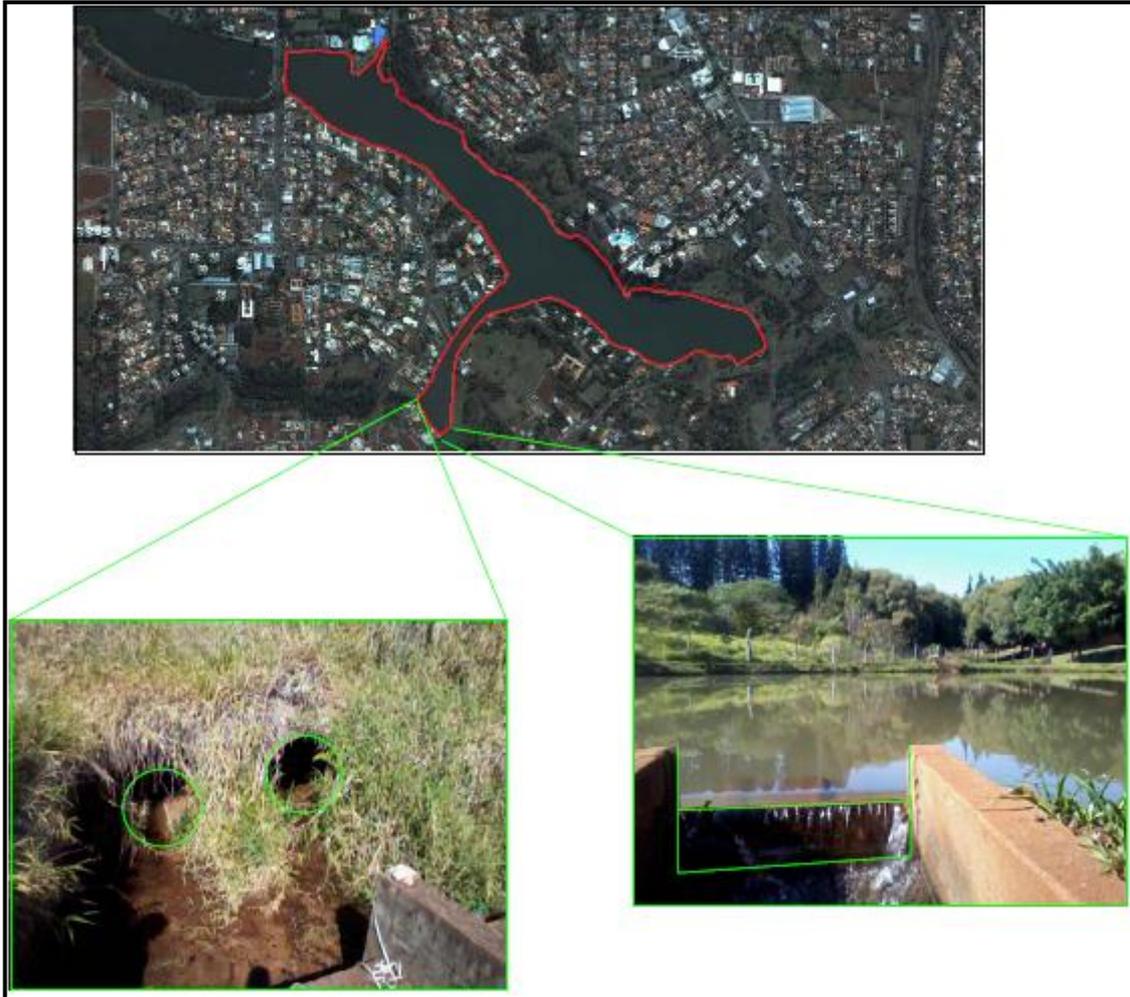


Figura 17 - Localização do Córrego (Circular) e o reservatório existente ao lado do Lago Igapó I.

4.3.3.1 Vazão do Córrego – Canal Circular

O Córrego deságua canalizado no lago Igapó I, portanto utilizou-se para cálculo da vazão a equação (11) de Mannig-Stricker:

$$Q = (S/n) \cdot R_H^{2/3} I^{1/2} \quad (11)$$

Onde:

Q = Vazão do Córrego (L/s);

S = Área da seção molhada (m²);

n = Coeficiente de rugosidade;

R_H = Raio Hidráulico (m);

I = Declividade (m/m).

4.3.3.2 Vazão do Reservatório

Na saída do reservatório, existe um vertedor retangular, logo a vazão foi calculada através da equação (12) de vertedor retangular com contração lateral: (PORTO, 2006)

$$Q = 1,838 (L - 0,2h)h^{3/2} \quad (12)$$

Onde:

Q = Vazão do reservatório (L/s);

L = Comprimento do vertedor (m);

h = Altura da lâmina d'água no vertedor (m).

4.4 QUALIDADE DE ÁGUA

Foram realizadas 3 campanhas de coletas nos tributários e 2 campanhas em três pontos no interior do lago Igapó I, para análise das variáveis descritas no Quadro 4:

A variável DBO foi utilizada para calibração do modelo desenvolvido pela UEL para verificação e ajuste de parâmetros cinéticos utilizados anteriormente, cujos os resultados foram comparados com as análises de DBO realizadas em laboratório.

Variável	Equipamento/Método	Método Analítico
Condutividade Elétrica	Condutivímetro	Método 2520 B (APHA, 2005)
DQO	Tratamento das amostras e obter o volume; Medir a redução do dicromato; Curva de Calibração e posteriores cálculos.	Método 5220 D (APHA, 2005)
OD	Oxímetro Portátil	Método 4500 O G (APHA, 2005)
pH	pH metro	Método 4500 H+ B (APHA, 2005)
Sólidos Totais e Suspensos (Sedimentos)	Seleção de tamanhos dos filtros; Análises das amostras e posteriores cálculos.	Método 2540 B,C,D (APHA, 2005)
DBO	Método Respirométrico	Método 5210 D (APHA, 2005)
Turbidez	Turbidímetro	Método 2130 B (APHA, 2005)
Alcalinidade	Método de Titulação	Método 2320 B (APHA, 2005)
Cor Aparente	espectrofotométrico - único comprimento de onda	Método 2120 C (APHA, 2005)
Temperatura	Termômetro	Método 2550 B (APHA, 2005)

Quadro 4 - Descrição resumida do método de determinação das variáveis da qualidade de água e equipamento.

4.5 BATIMETRIA DO LAGO IGAPÓ I

Para realizar a batimetria do lago Igapó I, utilizou-se o barco (Figura 18) cedido pela 2ª Cia de Polícia Ambiental do município de Londrina/Pr.

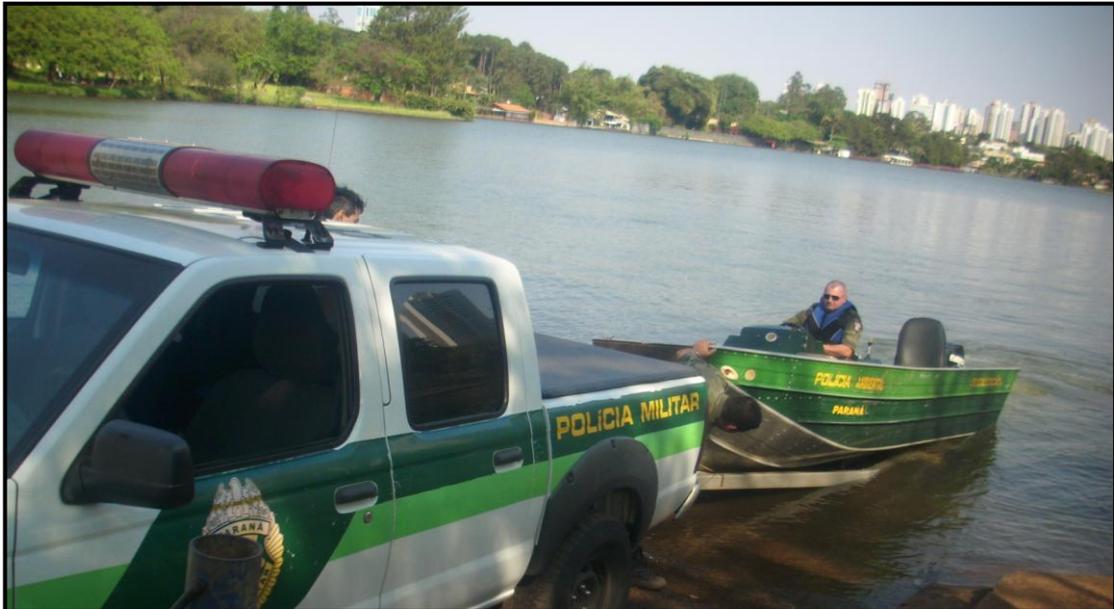


Figura 18 - Barco da 2ª Cia da Polícia Ambiental de Londrina, utilizado para a realização da batimetria

Para a realização da batimetria, mediu-se 81 pontos de profundidade (Anexo B) com auxílio de canos de PVC e trena, no dia 14/09/2012, os quais referenciados com o GPS de navegação da marca Garmin eTrex HCX (Figura 19). O equipamento possui tempo de aquisição de 39 segundos e acurácia menor que 10 metros.



Figura 19 - Gps de navegação - Garmin eTrex HCX, utilizado na campanha.

Após realizar a Batimetria, com o auxílio do Software Surfer 8.0, foi possível obter o volume aproximado em m³ do lago Igapó I.

O resultado do volume, junto com as vazões médias, serviu para calcular o tempo de detenção hidráulico médio (dias) do lago em questão, através da equação (13):

$$TDH = V_{total}/Q_{média} \quad (13)$$

No qual:

TDH = Tempo de detenção hidráulico (dias);

V_{total} = Volume total do Lago Igapó I (m³);

Q_{média} = Vazão média do Lago Igapó I (m³/dia).

4.6 PERFIL DE OXIGÊNIO E DE TEMPERATURA

No dia 15/02/2013 juntamente com auxílio da 2^a Cia de Polícia Ambiental, e com um oxímetro portátil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Londrina, mediu-se em um período das 09:00 h até as 11:00 horas da manhã, os valores de OD juntamente com a temperatura em profundidades como 0,15m; 0,5m; 1m; 2m; e 3m do lago Igapó I.

Mediu-se 22 pontos, os quais forem referenciados pelo GPS de navegação da marca Garmin eTrex HCX (Figura 19).

4.7 MODELO COMPUTACIONAL

Para gerar a simulação de decaimento da concentração de DBO_{5,20}, do lago Igapó I, contou-se com o auxílio do grupo do Departamento de Matemática da Universidade Estadual de Londrina (UEL), o qual realizou uma modelagem do parâmetro em questão de acordo com passos de tempo em dias.

Na modelagem gerada pelo grupo do departamento, foi observado a variação da concentração de $DBO_{5,20}$ em associação com a hidrodinâmica do escoamento do corpo d'água, de modo que o campo de velocidade das espécies reativas, foi determinado pelo tempo de detenção hidráulico do corpo d'água.

Para descrever o comportamento do escoamento (campo de velocidade e pressão) no lago em questão, o grupo do departamento da UEL, gerou um modelo hidrodinâmico.

O intuito do modelo hidrodinâmico foi de interpretar o fluxo dinâmico no domínio geométrico do lago em estudo, por meio de um modelo bidimensional horizontal (2DH) devido à característica laminar do corpo d'água do lago Igapó I.

De acordo com Pardo (2009), foi considerado o escoamento de água do lago Igapó II para o Igapó I, na passagem da Avenida Higienópolis do município em estudo, caracterizando a entrada. A saída foi considerada a barragem física com passagem controlada de água por adutoras e rampas, portanto na modelagem da geometria do lago Igapó I, não foi considerado fontes e sorvedouros no lago, exceto a entrada e a saída de escoamento.

A partir de um levantamento aerofotogramétrico, utilizando o sistema de referência não geocêntrico SAD 69 (Soth American Datum 1969), foram obtidas amostras de pares ordenados (x,y). A Figura 20 ilustra a modelagem da geometria do lago Igapó I, no qual considerou-se 839 pontos espaçados ao longo das margens esquerda e direita, e 35 pontos espaçados nos contornos de entrada e saída.

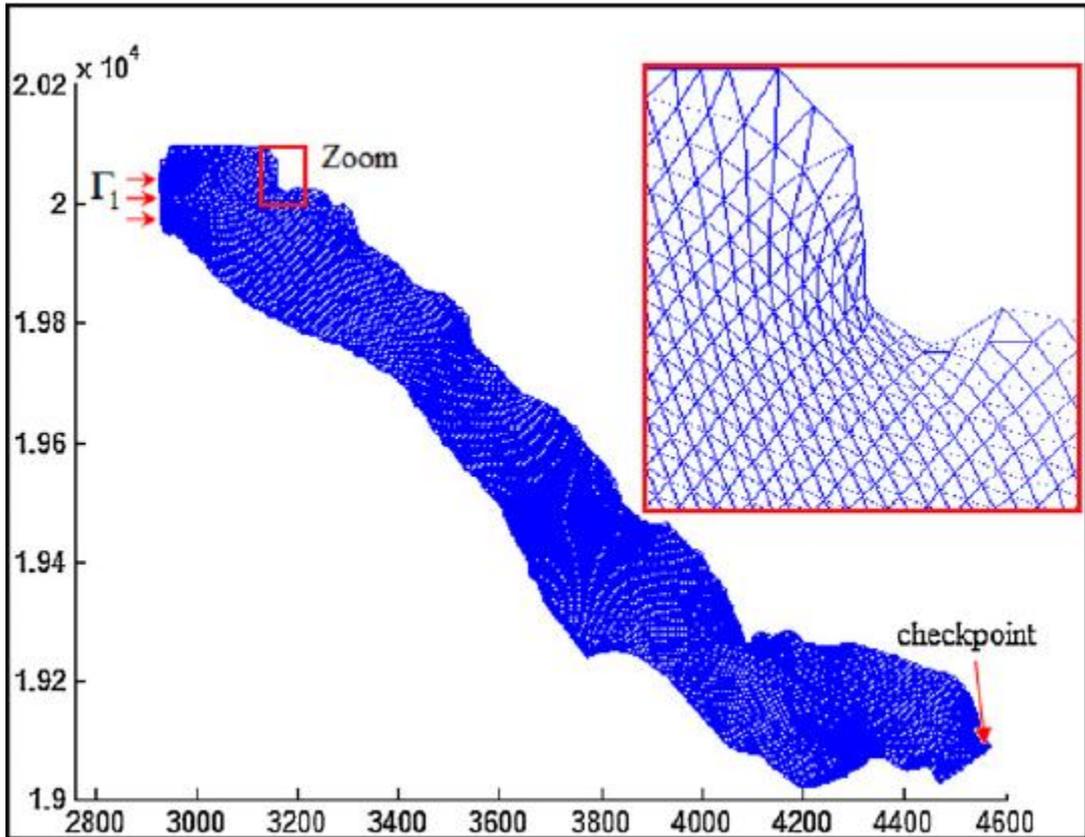


Figura 20 - Grade computacional, onde T1 são os pontos de entrada do lago, considerado como condições de contorno no modelo, e o ponto de verificação é o ponto de calibração da simulação numérica.

Fonte: ROMEIRO et. al., 2011.

As equações de conservação de quantidade de movimento e continuidade e reações são descritas com detalhamento por Pardo (2009).

Para descrever os processos de advecção-difusão-reação do transporte do parâmetro da qualidade da água ($DBO_{5,20}$) no lago Igapó I, foi utilizado um modelo linear 2DH com variável espacial $x = (x,y)$, dada pela equação (14):

$$\frac{\partial D_{c0}}{\partial t} + u \frac{\partial D_{c0}}{\partial x} + v \frac{\partial D_{c0}}{\partial y} - D_x \frac{\partial^2 D_{c0}}{\partial x^2} - D_y \frac{\partial^2 D_{c0}}{\partial y^2} = K_1 \cdot C_0 \quad x \in \Omega, t \in [0, T]$$

(14)

Em que:

$C_0(x, y, t)$ = concentração de $DBO_{5,20}$;

t = variável temporal;

$q(u, v)$ = vetor velocidade do fluido incompressível em direções x e y , respectivamente:

$$D = \begin{bmatrix} D_x & 0 \\ 0 & D_y \end{bmatrix}$$

D = descreve a matriz de difusão, onde D_x é o coeficiente de difusão longitudinal e D_y é o coeficiente de difusão transversal;

K_1 = parâmetro linear de decaimento – coeficiente de desoxigenação da $DBO_{5,20}$;

Ω = um domínio limitado no espaço 2D;

T = tempo definido no problema.

4.7.1 Calibração do Modelo de Decaimento

Para a calibração do modelo, foi necessário medir a concentração inicial de $DBO_{5,20}$ e analisar o seu comportamento em relação ao TDH ao longo do lago.

Para a determinação do coeficiente de desoxigenação, foi medido o valor da concentração da DBO coletada no lago no dia 15/02/2013, durante os cinco primeiros dias. O método utilizado foi o método gráfico de Thomas, o qual se baseia na similaridade entre as duas séries de funções (PIVELLI, 2005). É um procedimento gráfico baseado na equação (15):

$$\left(\frac{t}{y}\right)^{1/3} = (2,3.k.L_0)^{-1/3} + \frac{k^{2/3}}{3,43.L_0^{1/3}} . t, \quad (15)$$

Onde:

y é a DBO removida no intervalo de tempo t ;

k é a constante da velocidade da reação (base 10);

L_0 é a DBO final de 1º estágio.

$$\text{Fazendo-se } Z = \left(\frac{t}{y}\right)^{1/3}, a = (2,3.k.L_0)^{-1/3} \text{ e } b = \frac{k^{2/3}}{3,43.L_0^{1/3}} \quad (16)$$

tem-se a equação da reta: $Z = a + b . t$

O Z pode ser plotado em função de t . O coeficiente angular, b , e o parâmetro linear, a , da reta que melhor se ajustar à série de dados podem ser utilizados para o cálculo de k através da equação (17):

$$K = 2,61x\frac{b}{a} \quad (17)$$

Portanto com o valor do coeficiente de desoxigenação, e os valores temporais e sazonais de acordo com o TDH, é possível calibrar o modelo de decaimento da concentração de $DBO_{5,20}$ no lago em estudo.

Os valores de coeficientes de difusão determinados pelo grupo do departamento de modelagem foram de $D_x = 50 \text{ m}^2/\text{h}$ e $D_y = 1 \text{ m}^2/\text{h}$.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados e discussões obtidos no presente estudo. Discutem-se valores obtidos de variáveis hidráulicas e dos parâmetros físico-químicos analisados. Demonstra-se o resultado topográfico do lago Igapó I e os resultados de calibração e simulação obtidos do modelo idealizado pelo departamento de matemática da UEL.

5.1 VARIÁVEIS HIDRÁULICAS

No anexo C encontram-se as figuras referente as medições das variáveis comparando com cada local de análise.

Na Tabela 7, mostram-se os dados coletados das variáveis hidráulicas de acordo com as 3 campanhas realizadas nos tributários do Lago Igapó I.

Tabela 7 - Variáveis hidráulicas dos tributários em estudo

Local	Vazões (L/s)			
	1ª Campanha	2ª Campanha	3ª Campanha	Média das Vazões
Tributário 1	1043,0	838,9	690,5	857,5
Tributário 2	38,8	57,9	132,6	76,5
Tributário 3	13,2	10,0	13,0	12,1
Total	1095,1	906,8	836,1	946,0

Segundo Knapik (2009), afirma, que em modelagem matemática da qualidade da água, em determinados procedimentos, como a calibração, necessita-se de dados de qualidade e de vazões do corpo hídrico para construção dos cenários de simulação.

As Figura 21 a Figura 25 demonstram a simulação realizada em passa de tempo de 500 a 900 segundos, do comportamento do módulo de vazão do lago igapó I.

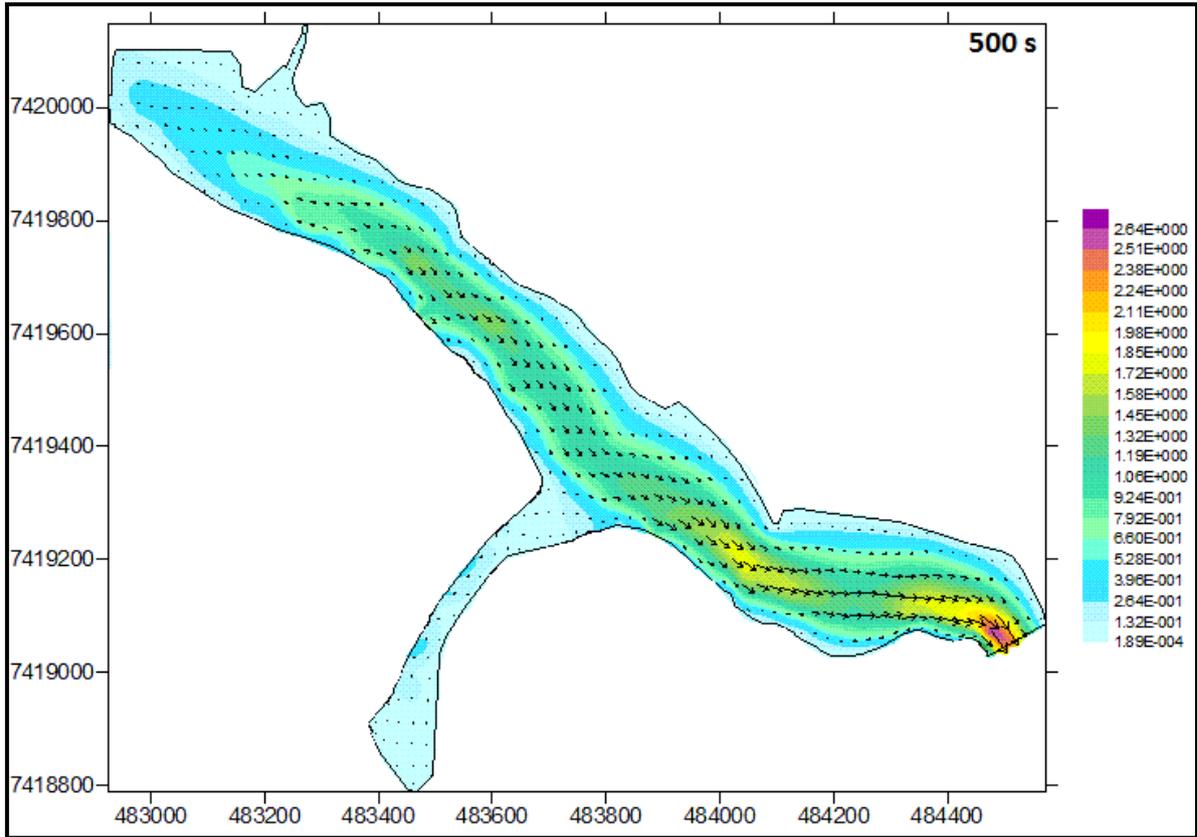


Figura 21 – Módulo de Vazão em m^3/s no lago Igapó I em 500 s.

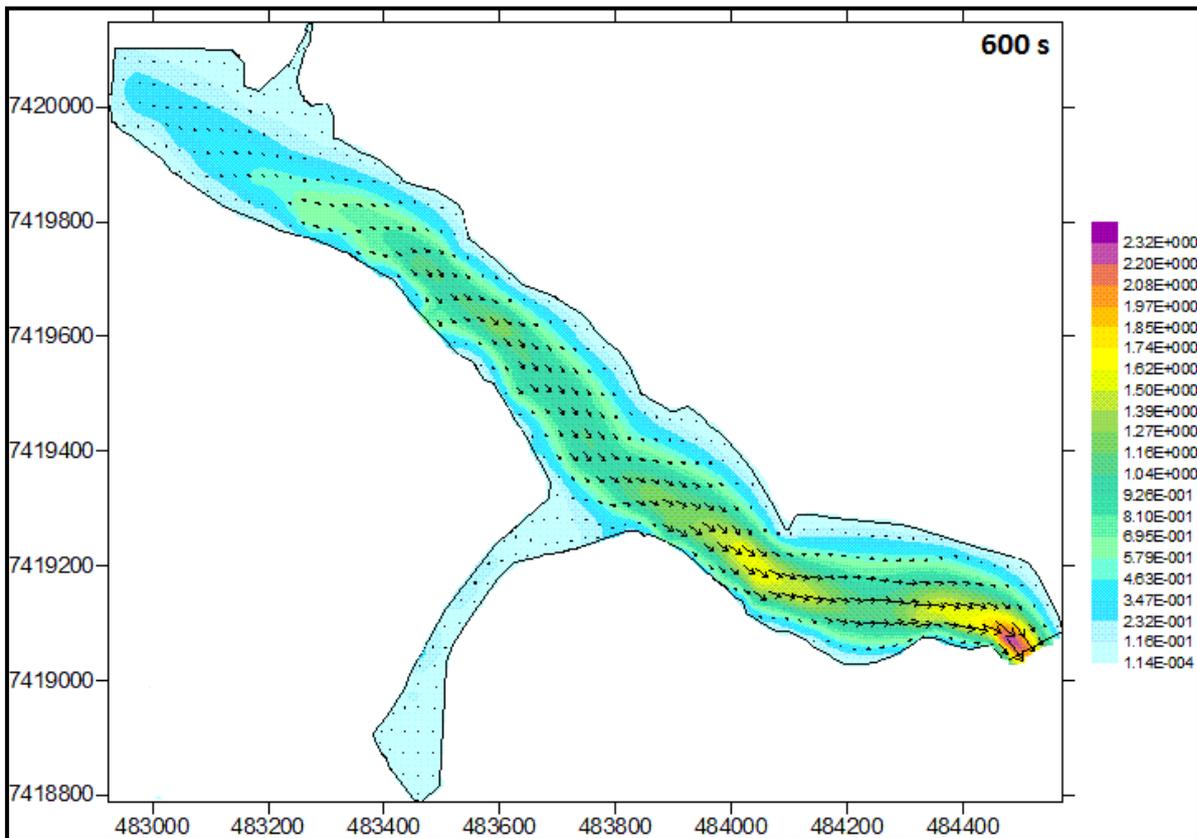


Figura 22 – Módulo de Vazão em m^3/s no lago Igapó I em 600 s.

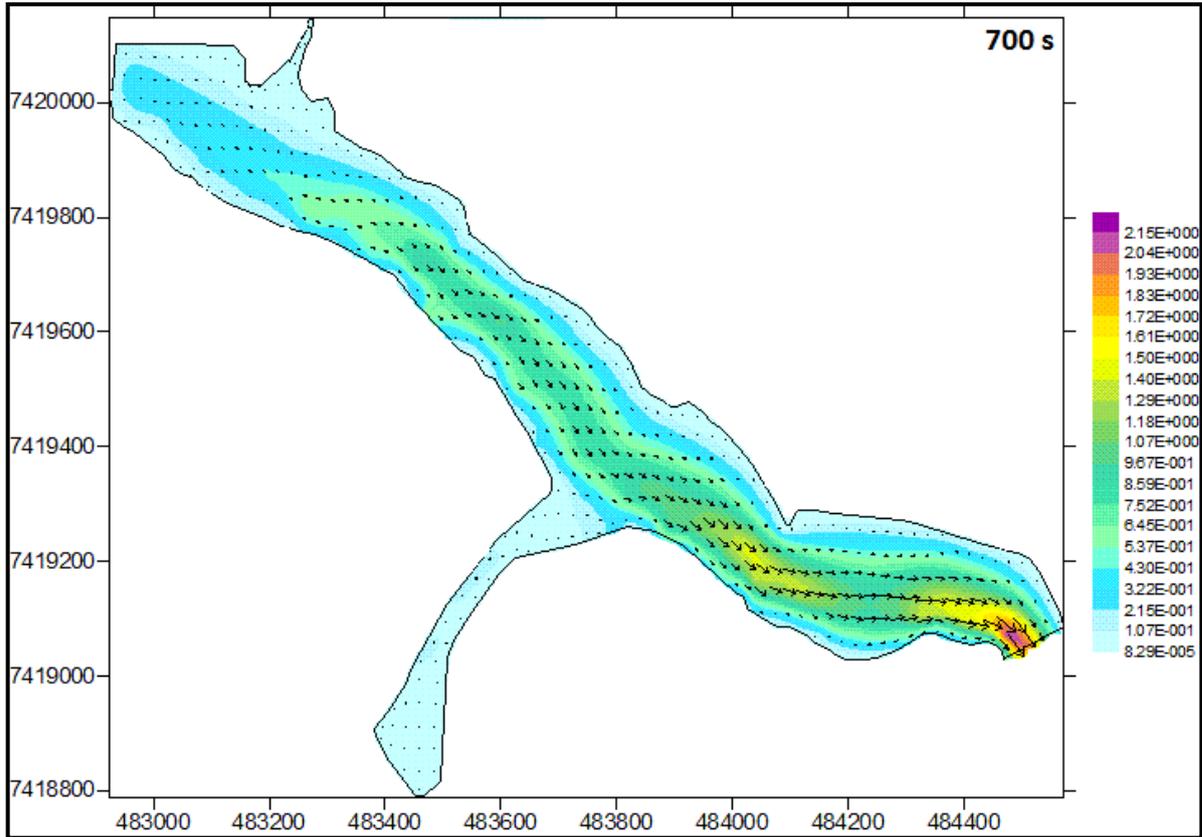


Figura 23 – Módulo de Vazão em m³/s no lago Igapó I em 700 s.

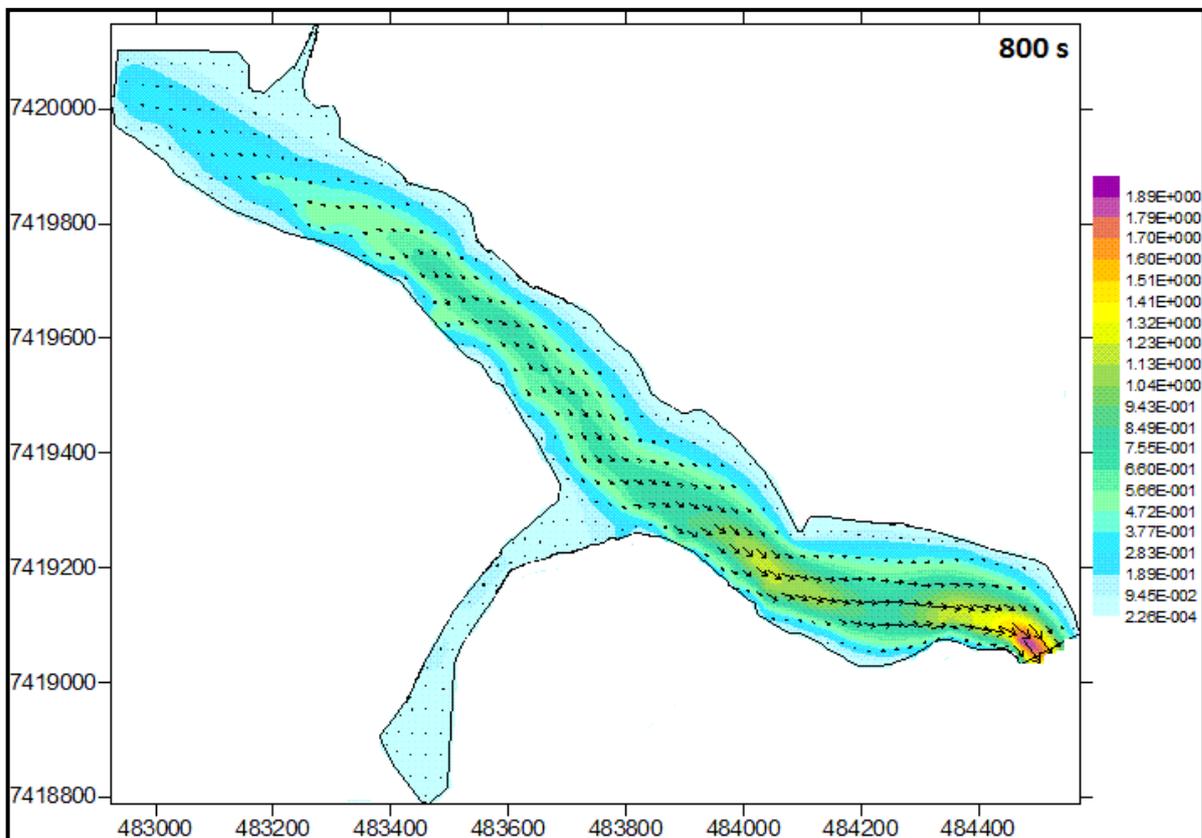


Figura 24 – Módulo de Vazão em m³/s no lago Igapó I em 800 s.

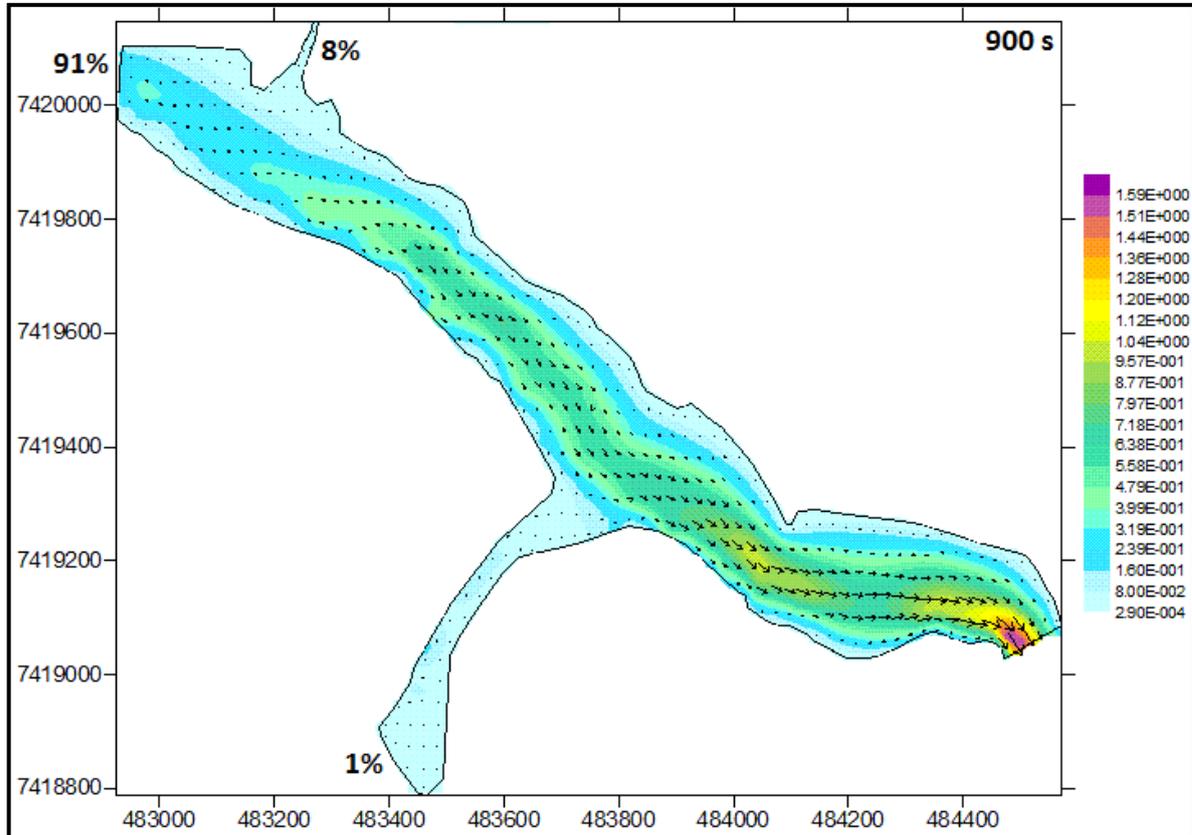


Figura 25 – Módulo de Vazão em m³/s no lago Igapó I em 900 s.

De acordo com a simulação, pode-se perceber que o fluxo do lago é influenciado pela entrada de vazão do lago do tributário 1, pois em todas as medições de vazões, o tributário 1 é o que mais contribui com o fluxo de água no lago Igapó I, cerca de aproximadamente 91%, enquanto o tributário 2 contribui com 8% e o tributário 3 com 1%.

Em relação às três campanhas realizadas, a maior vazão média registrada foi na 1ª Campanha, com uma contribuição de 1095,1 L/s.

A terceira campanha foi medida após um período chuvoso, porém só o tributário 2 (Córrego do Leme) apresentou uma maior vazão.

A média de contribuição dos tributários durante as campanhas realizadas foi de 946 L/s.

5.2 TOPOGRAFIA

Na Figura 26 visualizam-se os valores de profundidade do lago em estudo de acordo com as suas coordenadas em UTM.

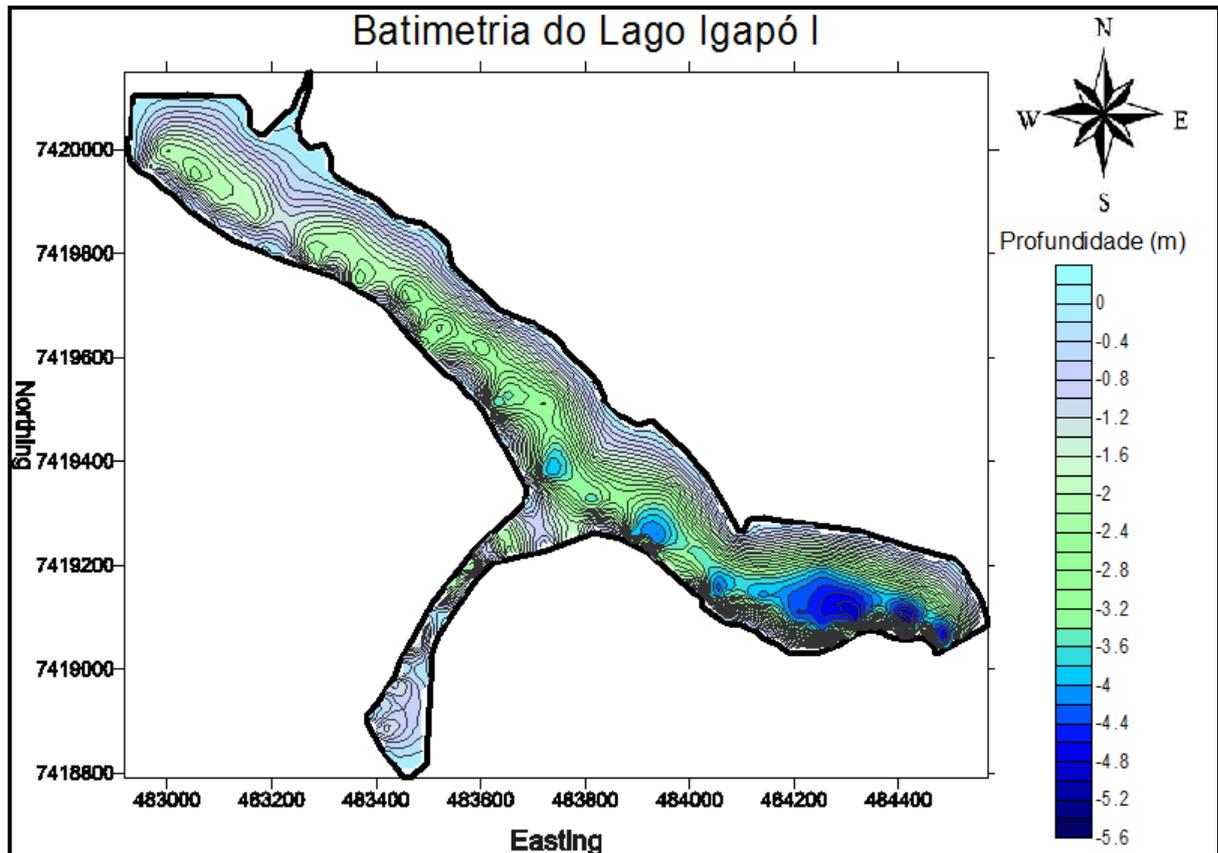


Figura 26 - Batimetria realizado no Lago Igapó I

Os valores dos 81 pontos de medição de profundidade juntamente com suas coordenadas em UTM estão contidos no Anexo B.

O Lago possui uma profundidade média de aproximadamente 3 metros, tendo a sua região sudeste como a mais profunda, atingindo cerca de 5,6 metros.

5.3 PARÂMETROS FÍSICO E QUÍMICOS

Neste item discutem-se os parâmetros físico-químicos e suas variações espaciais e temporais do lago Igapó I e dos seus tributários.

5.3.1 pH, Turbidez e Condutividade Elétrica

Nas Tabelas, 8 a Tabela 11 mostram-se, para os tributários em estudo, os resultados obtidos das variáveis: pH, alcalinidade, turbidez, cor aparente e condutividade elétrica.

Tabela 8 - Variáveis físico-químicas no Tributário 1

Tributário 1					
Nº Campanha	pH	Alcalinidade (mg/LCaCO₃)	Turbidez (NTU)	Cor Aparente (U.C)	CE (µS/cm)
1	6,23	12	7,72	8,5	170,4
2	7,07	35	8,05	20,4	127,6
3	6,5	50	17,8	45,0	106,7

Tabela 9 - Variáveis físico-químicas no Tributário 2

Tributário 2					
Nº Campanha	pH	Alcalinidade (mg/LCaCO₃)	Turbidez (NTU)	Cor Aparente (U.C)	CE (µS/cm)
1	5,59	16	7,84	1,7	195,8
2	6,39	20	5,37	11,9	140,1
3	6,18	50	7,55	35,0	189,4

Tabela 10 - Variáveis físico-químicas no Tributário 3 – Canal Circular

Tributário 3					
Canal Circular					
Nº Campanha	pH	Alcalinidade (mg/LCaCO₃)	Turbidez (NTU)	Cor Aparente (U.C)	CE (µS/cm)
1	6,55	12	0,679	2,6	64,32
2	7,33	15	1,422	1,5	54,18
3	6,8	25	16,3	37,0	78

Tabela 11 - Variáveis físico-químicas no Tributário 3 – Canal Retangular

Tributário 3					
Canal Retangular					
Nº Campanha	pH	Alcalinidade (mg/LCaCO₃)	Turbidez (NTU)	Cor Aparente (U.C)	CE (µS/cm)
1	5,79	12	7,72	6,8	43,41
2	6,53	15	8,52	22,1	37,14
3	6,4	25	13,5	35,0	43

O pH está relacionado com o caráter ácido ou básico do corpo hídrico. De acordo com os valores encontrados de pH em todos os tributários, observou-se uma tendência a neutralidade da água, com exceção da primeira campanha para o tributário 2 e 3 (canal retangular) que apresentaram suas águas levemente ácidas, com pH iguais a 5,59 e 5,79 respectivamente.

A alcalinidade da água é uma medida associada a neutralização de ácidos, ou seja, com a quantidade de substâncias na água que atuam como função tampão. O valor médio da alcalinidade total registrada nos tributários do Lago Igapó I variou de 12 a 50 mg/L CaCO₃.

A turbidez nos tributários monitorados foi baixa, variando entre 0,679 NTU a 16,3 NTU, sendo estes valores do canal circular do tributário 3. Verifica-se que os valores encontram-se dentro do estabelecido pela Resolução do CONAMA 357/2005, que estipula para rios de classe I (que são enquadrados os tributários em questão) valores de até 40 unidades nefelométricas de turbidez (NTU).

Assim como a turbidez, os valores de cor aparente foram relativamente baixos, apresentando um valor mínimo de 1,5 U.C e máximo de 35 U.C, no canal circular do tributário 3. Na resolução nº357/05 do CONAMA, a cor aparente para rios de classe I, não estipula valores, apenas dita que o corpo hídrico deve apresentar o nível de cor natural do corpo de água em mg Pt/L.

Em relação à condutividade elétrica os menores valores foram registrados na segunda campanha. A variação nos tributários foi de 37,14 (µS/cm) a 195,8 (µS/cm).

Durante as realizações das campanhas, a campanha nº 3, no tributário 3 – canal circular - logo após a coleta; visualizou-se uma descarga de sólidos muito grande (Figura 27). Este fato pode ter influenciado a diferença discrepante de valores das variáveis de turbidez e cor aparente.



Figura 27 - Tributário 3: Canal Circular. A) Transparência da água na segunda campanha; B) Grande concentração de sólidos na terceira campanha.

Na Tabela 12 a Tabela 14, mostram-se para todos os pontos do meio do lago em estudo, os resultados obtidos das variáveis físico-químicas do pH, alcalinidade, turbidez, cor aparente e condutividade elétrica.

Tabela 12 - Variáveis físico-químicas no lago Igapó I – Ponto 1

Lago Igapó I - Ponto 1					
Nº Campanha	pH	Alcalinidade (mg/LCaCO ₃)	Turbidez (NTU)	Cor Aparente (U.C)	CE (µS/cm)
1	7,19	76	13,4	5,46	161,1
2	7,72	73,6	9,68	4,61	147,7

Tabela 13 - Variáveis físico-químicas no lago Igapó I – Ponto 2

Lago Igapó I - Ponto 2					
Nº Campanha	pH	Alcalinidade (mg/LCaCO ₃)	Turbidez (NTU)	Cor Aparente (U.C)	CE (µS/cm)
1	7,14	68	10	5,12	138,7
2	7,74	73,2	7,15	4,1	138,1

Tabela 14 - Variáveis físico-químicas no lago Igapó I – Ponto 3

Lago Igapó I - Ponto 3					
Nº Campanha	pH	Alcalinidade (mg/LCaCO ₃)	Turbidez (NTU)	Cor Aparente (U.C)	CE (µS/cm)
1	7,26	64	7,14	3,42	146,9
2	7,73	72	6,65	3,08	140,6

O pH medido nos pontos no lago se apresentaram próximos a faixa de neutralidade. A alcalinidade apresentou variação pequena entre valores temporais e sazonais, obtendo uma variação de 64 mg/L CaCO₃ a 76 CaCO₃ mg/L.

A turbidez do lago apresentou dentro dos limites da resolução, e obteve uma variação de 7,14 (NTU) a 13,4 (NTU).

A cor aparente dos pontos registrou-se valores baixos, e uma variação pequena, sendo mínimo de 3,07 (U.C) e o máximo de 5,46 (U.C).

A condutividade elétrica também não apresentou grande variação dos valores analisados, sendo o mínimo de 138,1 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e máximo de 161,1 ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Pode-se observar entre as variáveis analisadas, que no ponto 1, foi o qual apresentou maiores valores dos parâmetros de alcalinidade, turbidez, cor aparente e C.E, motivo no qual é o ponto mais próximo do local de descarga dos outros lagos do Igapó (IV, III e II), no qual apresenta uma maior vazão, podendo estar recebendo maiores concentrações de sólidos e íons.

5.3.2 Demandas de Oxigênio e Oxigênio Dissolvido

Na Tabela 15 a Tabela 17 demonstra-se, para cada tributário, os resultados dos parâmetros de DQO, DBO e OD considerados neste estudo.

Tabela 15 - Concentrações das variáveis químicas no Tributário 1

Tributário 1			
Nº da Campanha	DBO _{5,20} (mg/L)	DQO (mg/L)	OD (mg/L)
1	14,2	-	-
2	15,3	21,7	4,52
3	16,9	19,3	-
4	23,5	26,6	5,53

Tabela 16 - Concentrações das variáveis químicas no Tributário 2

Tributário 2			
Nº da Campanha	DBO _{5,20} (mg/L)	DQO (mg/L)	OD (mg/L)
1	14,2	-	-
2	12,6	16,8	6,22
3	14,2	16,8	-
4	21,3	24,2	6,1

Tabela 17 - Concentrações das variáveis químicas no Tributário 3

Tributário 3 – Saída dos Canais			
Nº da Campanha	DBO _{5,20} (mg/L)	DQO (mg/L)	OD (mg/L)
1	20,8	-	-
2	10,4	16,8	6,57
3	16,9	19,3	-
4	31,7	32,3	6,235

A DBO é uma medida do potencial de redução de oxigênio no corpo d'água devido à composição biológica da matéria orgânica.

As análises em laboratório da DBO dos tributários de estudo apresentaram valores acima dos estabelecidos pela legislação vigente, onde a resolução do CONAMA nº 357/05 dita que o limite máxima da concentração em mg/L deve ser de 3 mg/L e o mínimo valor de concentração da variável em questão foi de 10,4 mg/L no tributário 3, sendo o valor máximo de 31,7 mg/L, no qual é mais de 10 vezes acima do valor permitido.

A DQO é uma medida da quantidade de oxigênio requerida para a oxidação da matéria orgânica.

As concentrações dos tributários de DQO apresentaram pouca variação entre as campanhas dos tributários, obtendo o valor mínimo de 16,8 mg/L e o máximo de 32,3 mg/L.

Von Sperling (2005), faz uma relação entre valores de DQO/ DBO_{5,20}:

Relação DQO/DBO_{5,20} baixa (cerca de 2,5):

- a fração biodegradável é elevada;
- indicação para tratamento biológico.

Relação DQO/DBO_{5,20} intermediária (entre cerca de 2,5 e 3,5):

- a fração biodegradável não é elevada;
- estudos de tratabilidade para verificar viabilidade do tratamento biológico.

Relação DQO/DBO_{5,20} elevada (> cerca de 3,5 ou 4,0):

- a fração inerte (não biodegradável) é elevada;
- possível indicação para tratamento físico-químico (VON SPERLING, 2005).

Na Tabela 18 pode-se visualizar a relação DQO/ DBO_{5,20} dos tributários em estudo.

Tabela 18 - Relação DQO/ DBO_{5,20} das campanhas realizados nos tributários de estudo

Relação DQO/ DBO_{5,20}			
Nº da Campanha	Tributário 1	Tributário 2	Tributário 3
1	-	-	-
2	1,42	1,33	1,62
3	1,14	1,18	1,14
4	1,13	1,13	1,02

Observa-se que em todas as campanhas realizadas nos tributários em questão a relação de DQO/DBO_{5,20} foram menores que 2,5, portanto pode-se afirmar que a relação biodegradável nos corpos hídricos em estudo são elevadas.

De acordo com Von Sperling (2005), o corpo hídrico possui concentrações bastante pobres em oxigênio, pela razão da baixa solubilidade deste. Na atmosfera a concentração aproximada é de 270 mg/L, na água, em condições normais de temperatura e pressão, a sua concentração se reduz para ordem de apenas 9 mg/L. Logo, qualquer consumo em grande quantidade pode acarretar em sensíveis repercussões quanto ao teor de OD na massa líquida.

Em relação à resolução nº357/05 do CONAMA os valores superficiais de OD em mg/L dos tributários 2 e 3 se apresentaram dentro dos padrões, (OD > 6mg/L), porém o tributário 1 (Lago Igapó II) apresentou valores abaixo do estabelecido em legislação.

Na Tabela 19, encontram-se descritos os valores de concentração de DQO medidos nos pontos do meio do lago em questão.

Tabela 19 - Concentração de DQO (mg/L) dos pontos do meio do lago			
Lago Igapó I			
DQO (mg/L)			
Nº Campanha	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
1	38,8	35,2	32,7
2	36,4	31,5	29,0

A concentração de DQO do lago nos pontos de análises mostram-se superiores em comparação aos tributários do Lago Igapó I, com uma concentração mínima de 29 mg/L e a máxima de 38,8 mg/L

5.3.2.1 Perfil de Oxigênio Dissolvido e de Temperatura

Os resultados dos perfis de temperatura e de OD dos 22 pontos referenciados estão contidos nos Anexo D e Anexo E.

Na Figura 28, está representado o conjunto de dados de OD e temperatura da água, compreendido entre as duas horas de coleta do dia 15/02/2013.

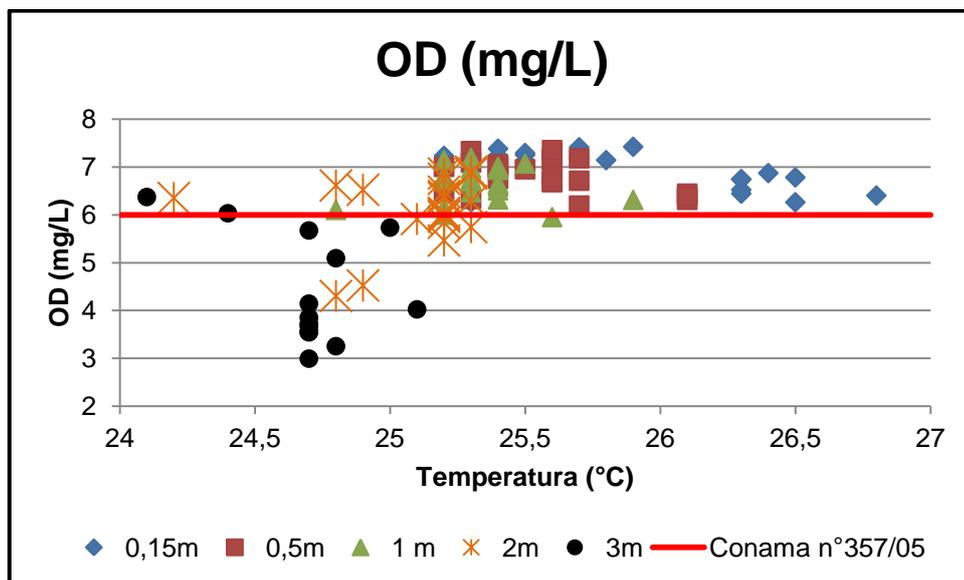


Figura 28 - Relação OD (mg/L) versus Temperatura(°C) em relação a profundidade

A linha vermelha cheia representa o limite de 6 mg/L de O_2 estabelecido pela Resolução do CONAMA nº 357/2005, porém esta resolução não dita em qual profundidade deve-se comparar os valores de OD. Desta forma, os dados foram analisados de acordo com a profundidade.

Pode-se perceber pela Figura 28 que valores de OD na superfície (entre 15 cm a 50 cm) até a profundidade de 1 metro apresentam valor acima do estabelecido pela Resolução. Porém, ao aprofundar mais, a cerca de 2 metros, existem alguns pontos que apresentaram valores abaixo de 6 mg/L. Já a 3 metros de profundidade, observam-se que a maioria dos pontos apresentaram valores inferiores aos estabelecidos pela resolução vigente.

A faixa de temperatura dos pontos nas profundidades 0,15m; 0,5m; 1m; 2m foi de 24°C a aproximadamente 27°C, porém na profundidade de 3 metros houve uma menor variação, compreendidos entre 24°C a 25,5°C.

A temperatura máxima foi observada na superfície do lago (a 15 cm) com um valor de 26,8°C enquanto a mínima foi registrada a 3 metros com um valor de 24,1°C.

A solubilidade do oxigênio na água depende de alguns fatores, entre eles a temperatura. Logo com a elevação da temperatura, tem grande influência na tendência de ocorrer redução da solubilidade do oxigênio na água. Uma pressão de 760 mmHg com uma temperatura de 0°C, solubilizam-se 14,6 mg/L de O₂; enquanto nas mesmas condições de pressão e saturação, porém com uma temperatura de 30°C (no qual pode-se observado em lagos tropicais, como no caso dos lagos no município de Londrina), solubilizam-se 14,6 mg/L de O₂, ou seja, cerca da metade do valor a 0°C (ESTEVEZ, 1998).

Pelos dados coletados de OD e de temperatura no lago, pode se observar o comportamento da variação da concentração nos diferentes perfis de profundidade (Figura 29 a Figura 38). Nem todos os pontos apresentarem profundidade de 3 metros, por isso nas Figura 37 e Figura 38 não possui valores de concentração de OD e Temperatura.

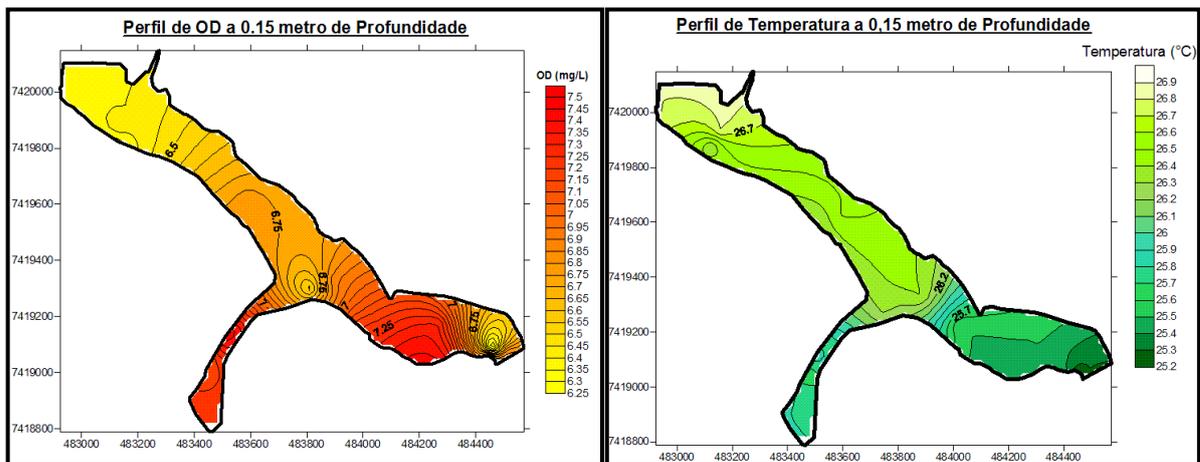


Figura 29 - Concentração de OD (mg/L) a 0,15 metro

Figura 30 - Temperatura (°C) a 0,15 metro

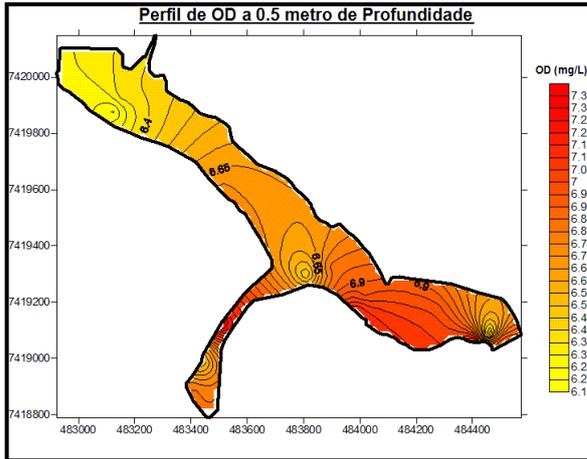
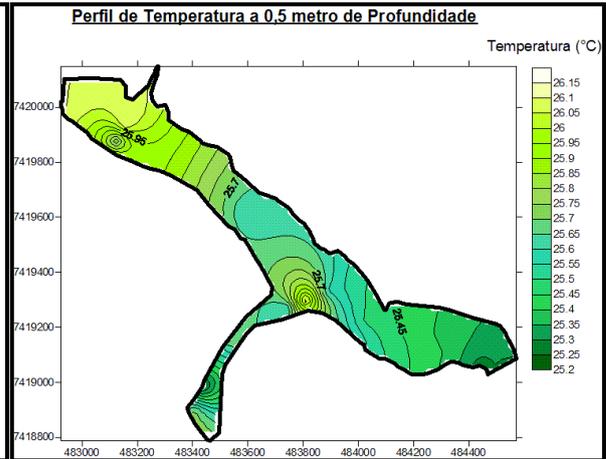


Figura 31 - Concentração de OD (mg/L) a 0,5 metro



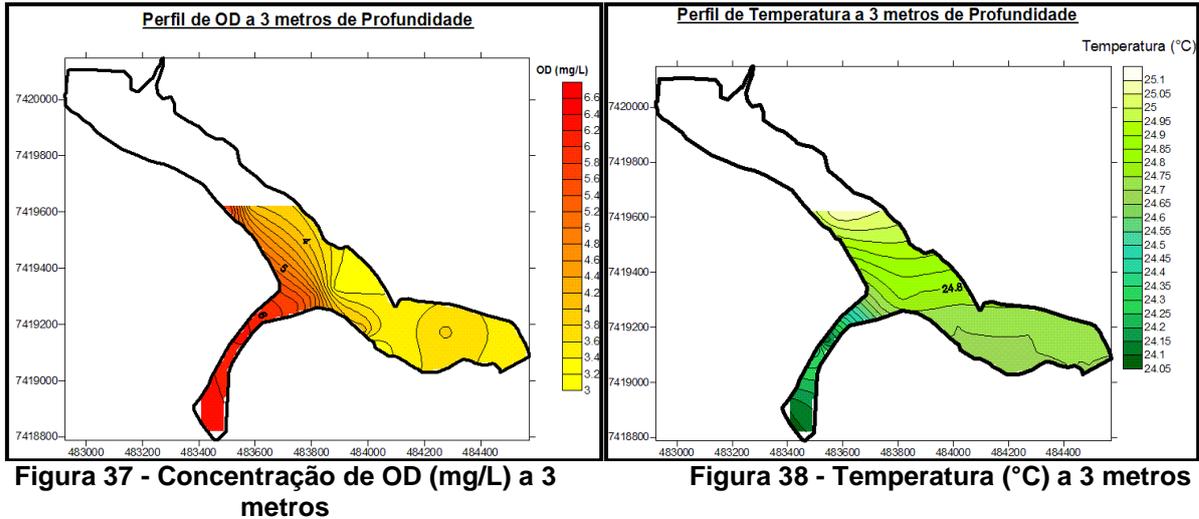


Figura 37 - Concentração de OD (mg/L) a 3 metros

Figura 38 - Temperatura (°C) a 3 metros

Percebe-se que as menores concentrações de OD da profundidade de 0,15 m a 2 metros apresentaram na região da coleta dos últimos pontos, ou seja, na região de maior temperatura.

De acordo com Esteves (1998): “a difusão de oxigênio dentro de um corpo de água dá-se principalmente pelo seu transporte em massas d’água, uma vez que a difusão molecular é insignificante”. O autor ainda cita que Gessner (1959), afirma que se imaginarmos a área de superfície de um lago com teor de oxigênio de 10,29 mg/L e se este lago estiver totalmente livre de turbulência e a distribuição de oxigênio ocorrer somente por difusão molecular, serão necessários cerca de 638 anos para que uma camada d’água, localizada a 10 metros de profundidade, possa atingir uma concentração de 11 mg/L de O₂.

Na profundidade de 3 metros, a temperatura não influenciou o decaimento da concentração de OD, pois esta apresenta o seu decaimento na região mais profunda do lago, cerca de 5,6 metros, dificultando assim o transporte de O₂ pela massa líquida.

Os pontos nos quais foram definidos os perfis de OD, foram divididos em seções, de acordo com a Figura 39.

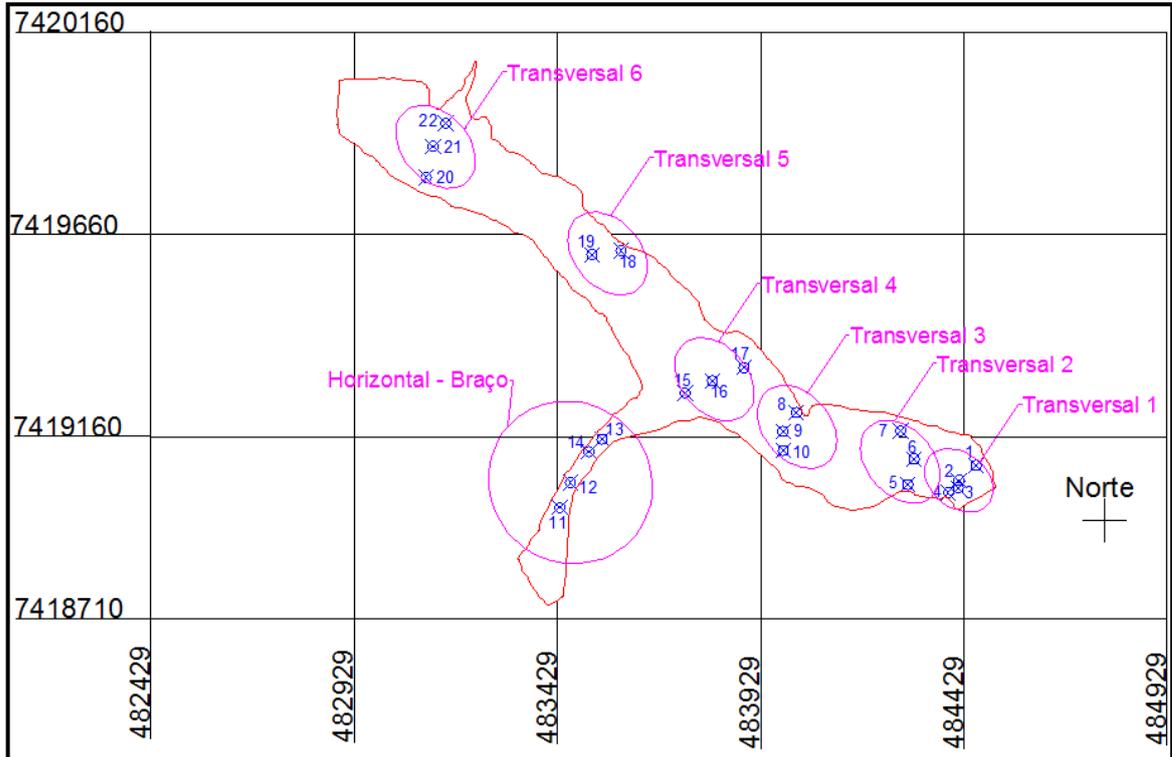


Figura 39 - Vista aérea das seções realizadas no perfil de O.D.

Na Figura 40 pode visualizar os perfis médios de OD do lago Igapó I de acordo com a profundidade.

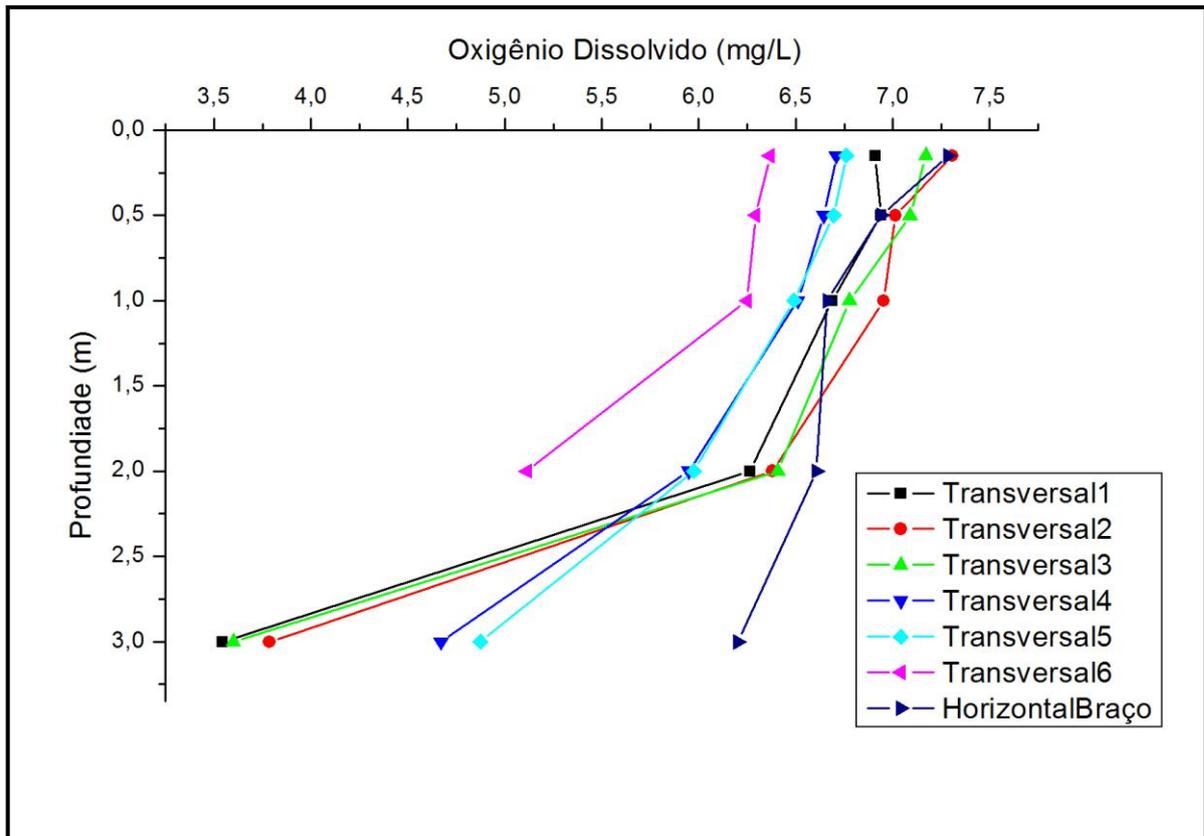


Figura 40: Perfil médio de O.D das transversais e do braço do lago Igapó I.

As transversais apresentaram variações de OD entre a faixa de 7,5 a 3,5 mg/L, no qual apresentam decaimento da concentração proporcional à profundidade, com exceção da transversal 1 onde a 0,50 metros apresenta valores médios de OD superior a aquele coletado na superfície a 0,15 metros. As seções transversais, apresentam até a profundidade de 2 metros, concentração superior a estabelecida pela legislação vigente, com exceção da seção transversal 6.

Quando a seção horizontal do braço do lago é analisada, percebe-se que a variação das concentrações de OD (7,3 a 6,2 mg/L) foram menores comparadas com a as seções transversais.

As seções que possuem profundidade até 3 metros, apresentaram uma queda brusca de oxigênio na profundidade de 2 metros até 3 metros. Segundo Esteves (2008), isso pode ter ocorrido pelo fato de que nesta profundidade existe significativa atividade microbiana (decomposição da matéria orgânica), conseqüentemente uma alta produção de gás carbônico e correspondente consumo de oxigênio.

Na Figura 41, visualiza-se os perfis médios de OD dos pontos mais próximos das margens e do meio do lago Igapó I.

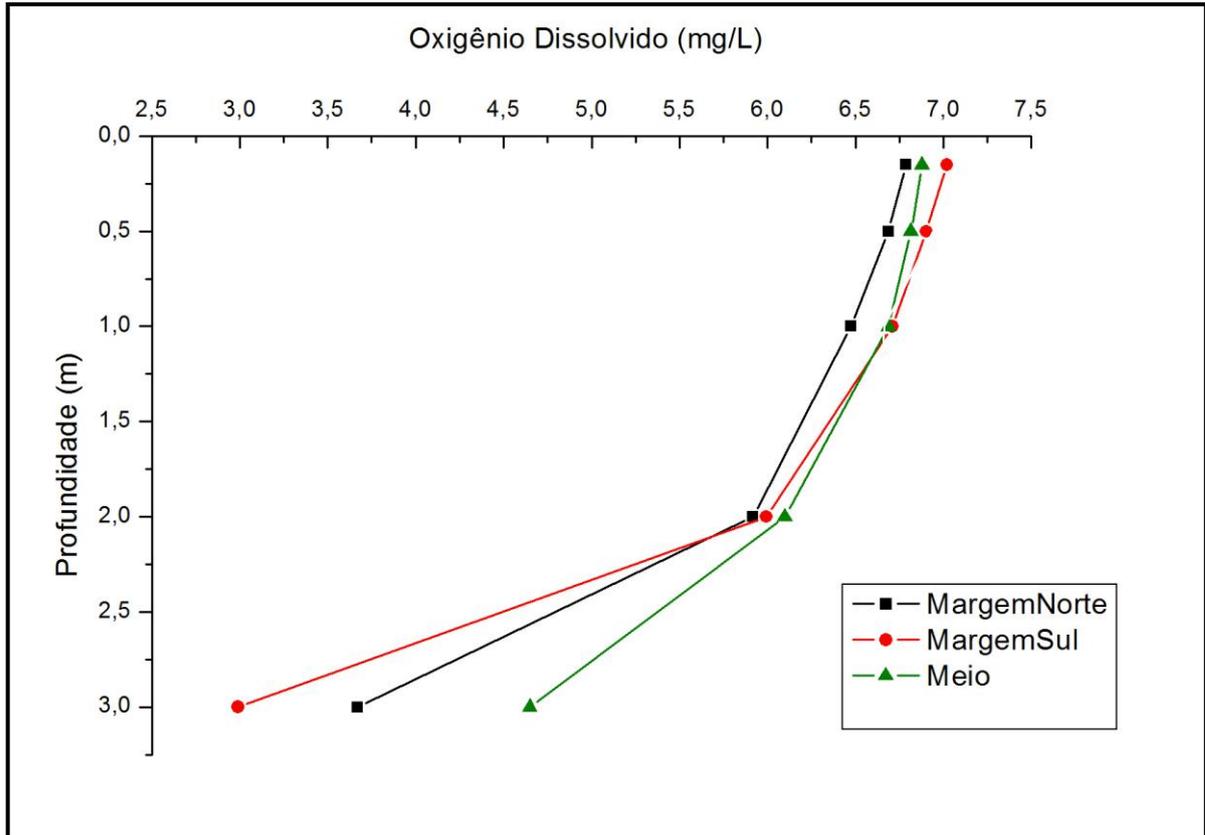


Figura 41: Perfil médio de O.D das margens e do meio do lago Igapó I.

Os perfis de OD das margens (norte e sul) e do meio do lago apresentaram comportamento semelhante, onde o máximo de OD foi na superfície com uma queda brusca de concentração na faixa de 2 a 3 metros.

Esse comportamento semelhante pode ser explicado pelo fato dos pontos mais próximos das margens (distância média de 10 metros) estarem se comportando em uma região similar quanto à profundidade, diferentemente do caso da região do meio do lago.

5.3.3 Sólidos

Nas Tabela 20 aTabela 23 foram demonstrados os resultados de concentração de sólidos presentes nos tributários estudados.

Tabela 20 - Concentrações de sólidos no Tributário 1

Tributário 1		
Nº Campanha	Sólidos Totais (mg/L)	Sólidos Suspensos Totais (mg/L)
1	126	20,7
2	114	16,8
3	134	25,6

Tabela 21 - Concentrações de sólidos no Tributário 2

Tributário 2		
Nº Campanha	Sólidos Totais (mg/L)	Sólidos Suspensos Totais (mg/L)
1	100,5	15,6
2	95	14,7
3	113,8	18,7

Tabela 22 - Concentrações de sólidos no Tributário 3 – Canal Circular

Tributário 3 - Canal Circular		
Nº Campanha	Sólidos Totais (mg/L)	Sólidos Suspensos Totais (mg/L)
1	87,6	10
2	82	8,9
3	90,9	14,1

Tabela 23 - Concentrações de sólidos no Tributário 3 – Canal Retangular

Tributário 3 - Canal Retangular		
Nº Campanha	Sólidos Totais (mg/L)	Sólidos Suspensos Totais (mg/L)
1	91	12,3
2	89	11,8
3	101	15

Segundo Von Sperling (2005): “todos os contaminantes da água, com exceção dos gases dissolvidos, contribuem para a carga de sólidos”.

Os sólidos totais englobam a somatória dos sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos e sedimentáveis; enquanto os sólidos suspensos totais equivalem à fração dos sólidos orgânicos e inorgânicos que são retidos em filtros de papel com aberturas de dimensões padronizadas (0,45 a 2,0 µm) (VON SPERLING, 2005).

Percebe-se que os valores em mg/L das análises realizadas nas campanhas dos tributários em questão, estão dentro dos padrões estabelecidos pela resolução nº 357/05, em que estabelece que o corpo de água de classe I deve

conter no máximo 500mg/L de sólidos totais. O valor máximo registrado foi de 134mg/L no tributário 1, e o mínimo foi registrado no tributário 3 - canal circular - com valor de 82 mg/L.

Em relação aos sólidos suspensos totais, apresentaram variação de 8,9 mg/L (tributário 3 – canal circular) a 25,6 mg/L no tributário 1.

As baixas concentrações de sólidos no tributário 3 – canal circular, podem explicar os menores valores para turbidez e cor aparente no mesmo tributário (com exceção da campanha 3).

Nas Tabela 24 a Tabela 26, os resultados de concentrações de sólidos presentes nos pontos do meio do lago de estudo são apresentados.

Tabela 24 - Concentrações de sólidos no ponto 1		
Lago Igapó I - Ponto 1		
Nº Campanha	Sólidos Totais (mg/L)	Sólidos Suspensos Totais (mg/L)
1	120	18
2	112	13,7

Tabela 25 - Concentrações de sólidos no ponto 2		
Lago Igapó I - Ponto 2		
Nº Campanha	Sólidos Totais (mg/L)	Sólidos Suspensos Totais (mg/L)
1	104	16,5
2	97,8	13

Tabela 26 - Concentrações de sólidos no ponto 3		
Lago Igapó I - Ponto 3		
Nº Campanha	Sólidos Totais (mg/L)	Sólidos Suspensos Totais (mg/L)
1	100,5	16
2	95,3	12,4

Percebe-se pouca variação em relação às concentrações de sólidos totais e suspensos nos tributários.

Comparados com os tributários, os pontos do meio do lago apresentam concentrações médias superiores, porém, mesmo com concentrações maiores, ainda se enquadram perante a resolução do CONAMA nº 357/05 para rios de classe I.

5.4 CALIBRAÇÃO DO MODELO DE DECAIMENTO DA DBO_{5,20}

Nesta seção discute-se o tempo de detenção hidráulica, o coeficiente de desoxigenação e o modelo de decaimento da DBO em mg/L.

5.4.1 Tempo de Detenção Hidráulica

De acordo com a determinação do volume em m³ e da vazão média em m³/dia durante a realização do estudo, pode-se determinar o TDH através da equação (13).

$$TDH = \frac{749058 \text{ m}^3}{81734,27 \text{ m}^3/\text{dia}}$$

Portanto o Tempo de Detenção Hidráulica do lago Igapó I é de aproximadamente 10 dias.

5.4.2 Coeficiente de Desoxigenação

O resultados das medições das concentrações de DBO (mg/L) realizados no dia 15/02/2013, estão descritas na Tabela 27.

Tabela 27 - Dados diários da DBO analisada do interior do Lago Igapó I.

DBO (mg/L)	1º Dia (16/02)	2º Dia* (17/02)	3º Dia (18/02)	4º Dia (19/02)	5º Dia (20/02)
1º Ponto	11,5	-	13,1	13,7	14,2
2º Ponto	13,7	-	14,7	15,3	15,8
3º Ponto	9,8	-	10,4	11,5	12,6
4º Ponto	14,2	-	15,3	16,4	17,5
Temperatura	20	-	20	20	20

*Neste dia não foram realizadas medições

Pela equação do método de Thomas, (equação (17)) pode-se obter o coeficiente médio de desoxigenação, sendo este:

$$K_1 = 0,4469 \text{ dias}^{-1}$$

Comparando-se o valor médio de K_1 dos pontos do lago Igapó I com os valores típicos deste coeficiente (Tabela 2) observa-se que este valor está dentro da faixa de valores de água residuária concentrada, motivo pelo qual pode existir pontos de descarga de esgotos clandestinos no entorno dos tributários do Igapó I.

5.4.3 Modelo de Decaimento da $DBO_{5,20}$

Na Tabela 28, visualiza-se os valores da concentração em mg/L da $DBO_{5,20}$ ao longo de 10 dias, e suas respectivas coordenadas em UTM.

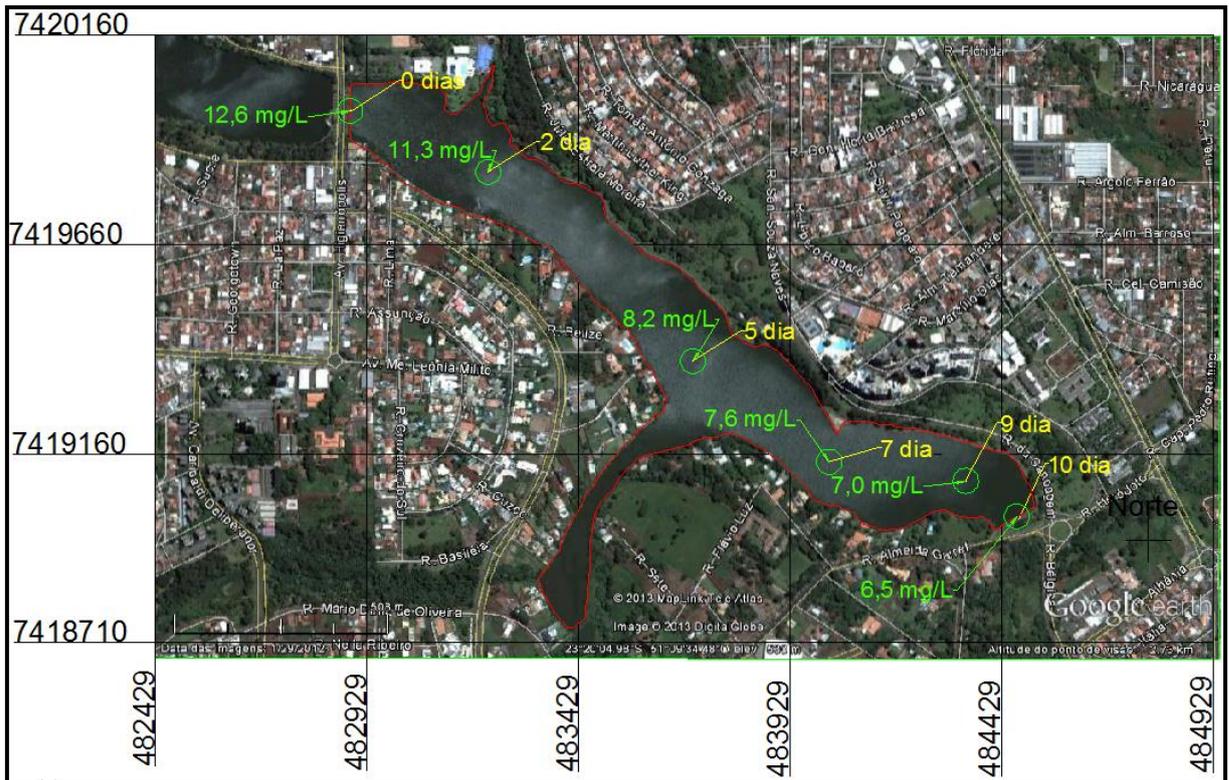
Tabela 28 - Dados da análise de $DBO_{5,20}$ de acordo com o TDH.

x	y	Data	Passo	$DBO_{5,20}$ (mg/L)
482935	7420043	20/fev	0 Dia	12,6
483239	7419906	22/fev	2º Dia	10,8
483779	7419437	25/fev	5º Dia	8,2
484077	7419213	27/fev	7º Dia	7,6
484406	7419146	01/mar	9º Dia	7
484528	7419065	02/mar	10º Dia	6,5

Percebe-se que ao longo de 10 dias, a concentração de DBO caiu de 12,6 mg/L para 6,5 mg/L, ou seja, da sua concentração inicial, aproximadamente metade chega no ponto final do lago.

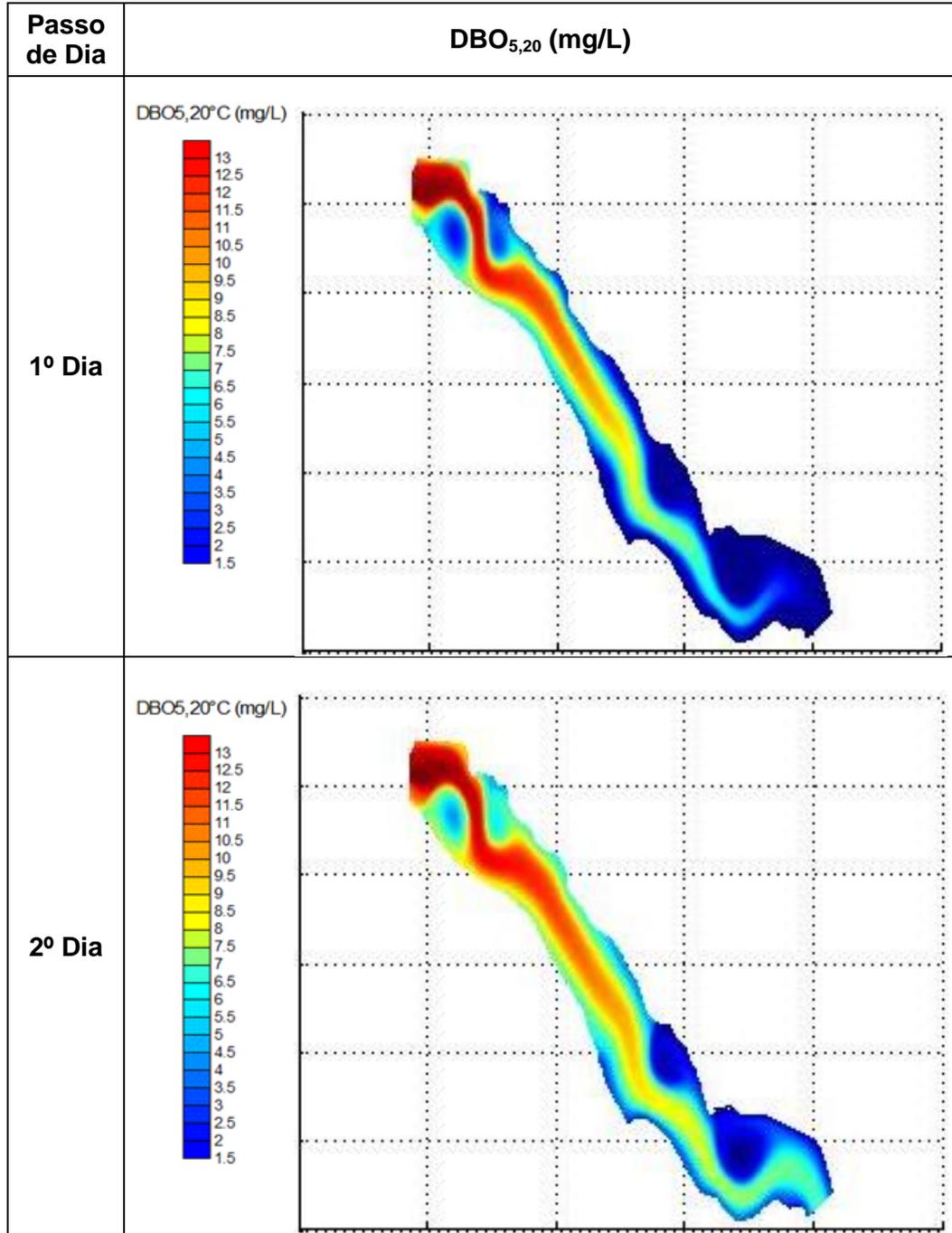
A Figura 42 demonstra a localização dos pontos de coletas através da imagem aérea do Lago Igapó I.

A evolução dos resultados do modelo de decaimento da concentração de $DBO_{5,20}$ em 10 dias no fluxo central do lago em estudo, estão demonstrados nos Quadro 5 a Quadro 9.

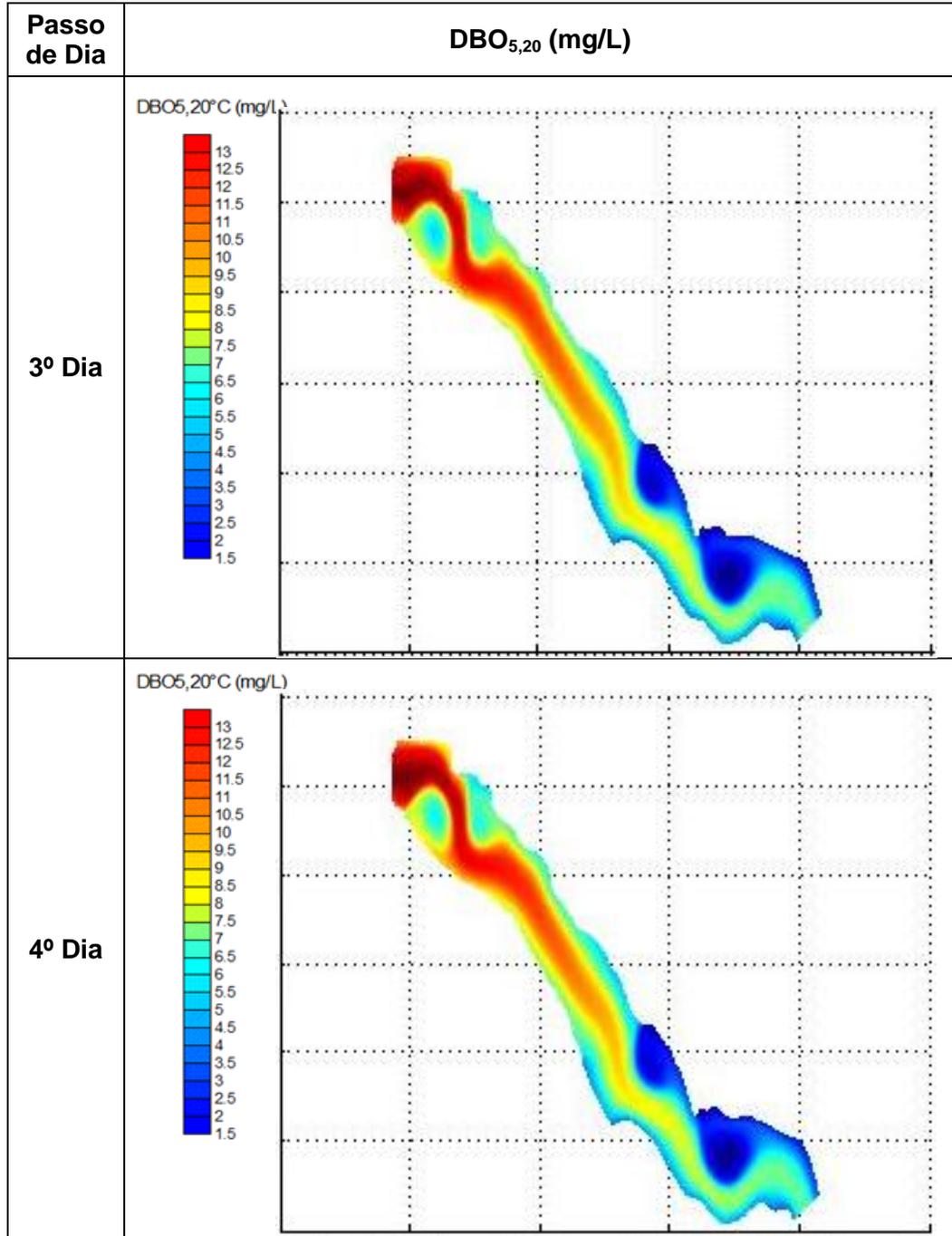


**Figura 42 - Vista aérea dos pontos de coleta de acordo com o passo de 10 dias de TDH.
Fonte: Google Earth, 2013. (adaptado)**

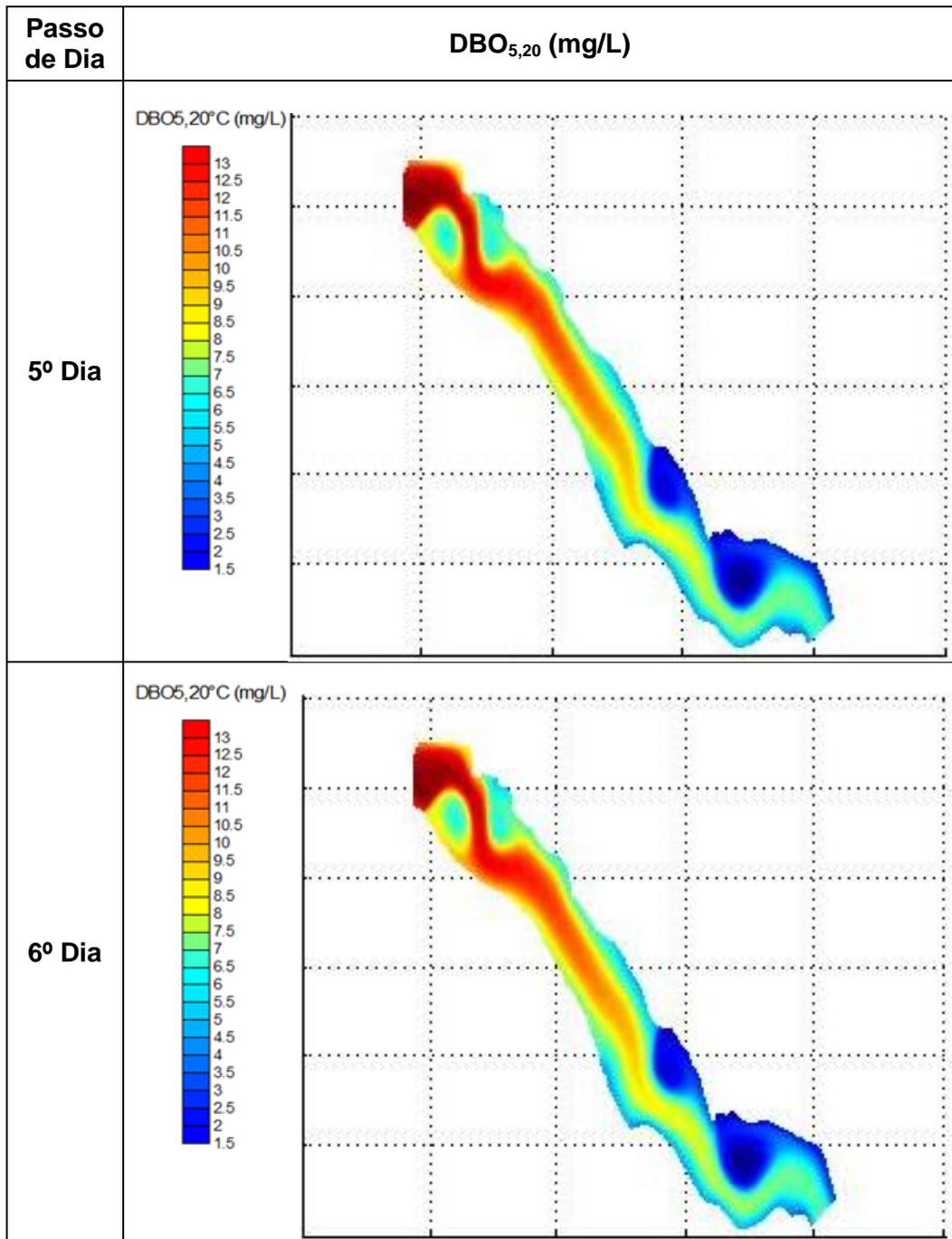
Pode-se visualizar-se na Figura 43, a evolução das concentrações de $DBO_{5,20}$ simuladas.



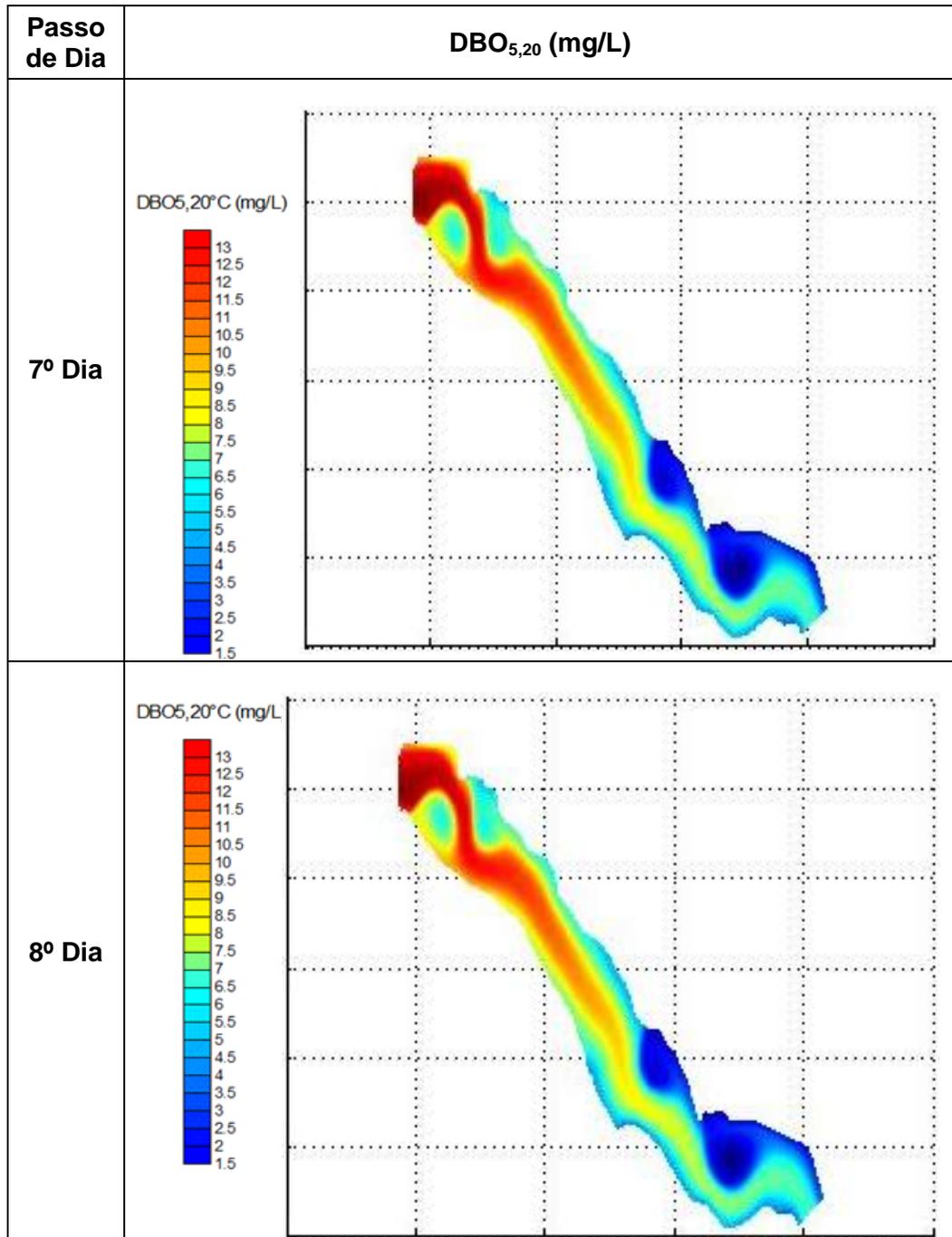
Quadro 5 - Evolução da concentração de DBO_{5,20} durante o 1º e o 2º dia.



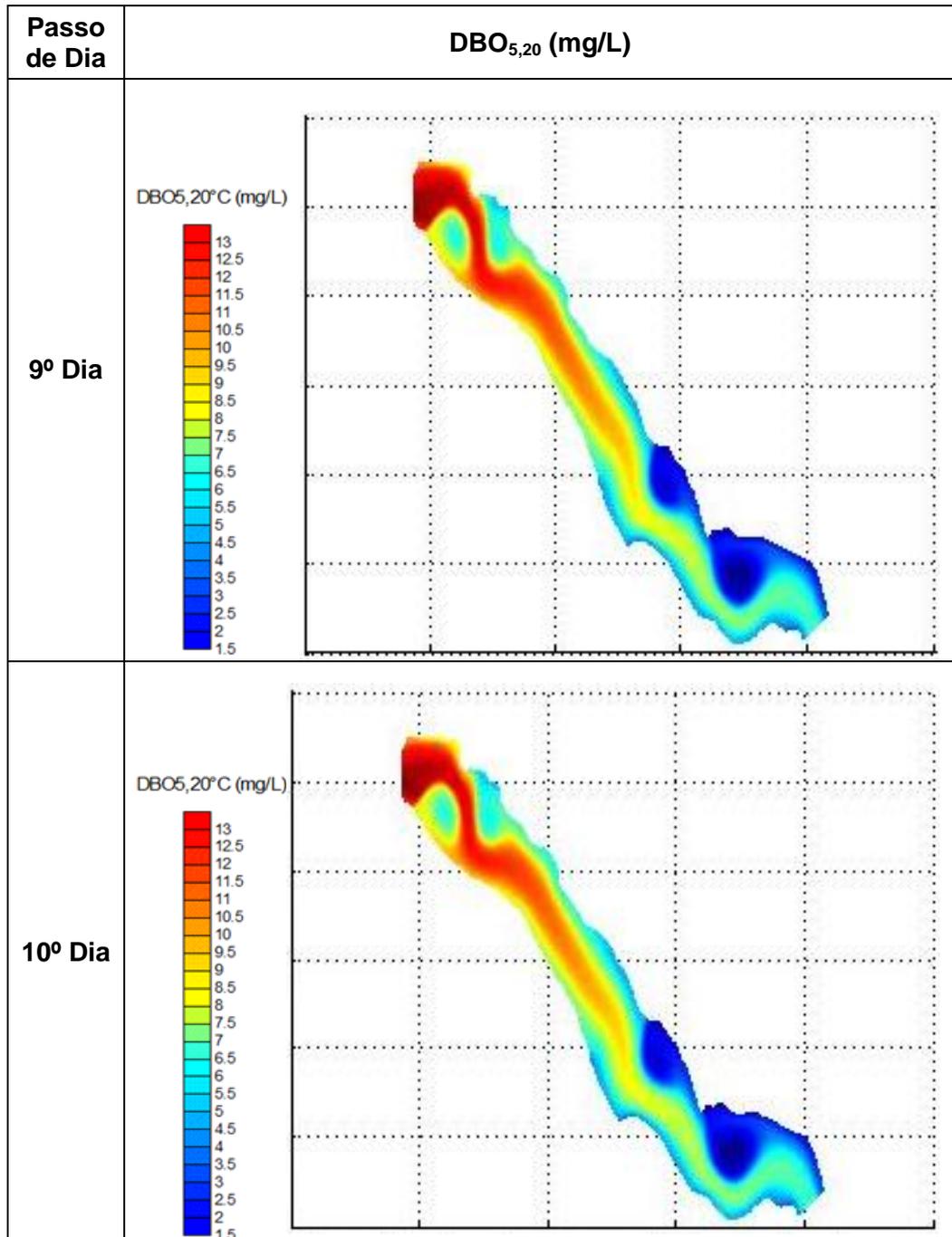
Quadro 6 - Evolução da concentração de DBO_{5,20} durante o 3º e o 4º dia.



Quadro 7 - Evolução da concentração de DBO_{5,20} durante o 5º e o 6º dia.



Quadro 8 - Evolução da concentração de DBO_{5,20} durante o 7º e o 8º dia.



Quadro 9 - Evolução da concentração de DBO_{5,20} durante o 9º e o 10º dia.

Em análise do comportamento da concentração de DBO_{5,20} no decorrer dos 10 dias, percebe-se que esta concentração de saída do lago apresenta um aumento até o 3º dia, posteriormente passa a ser equivalente a partir do 4º dia até o 10º dia.

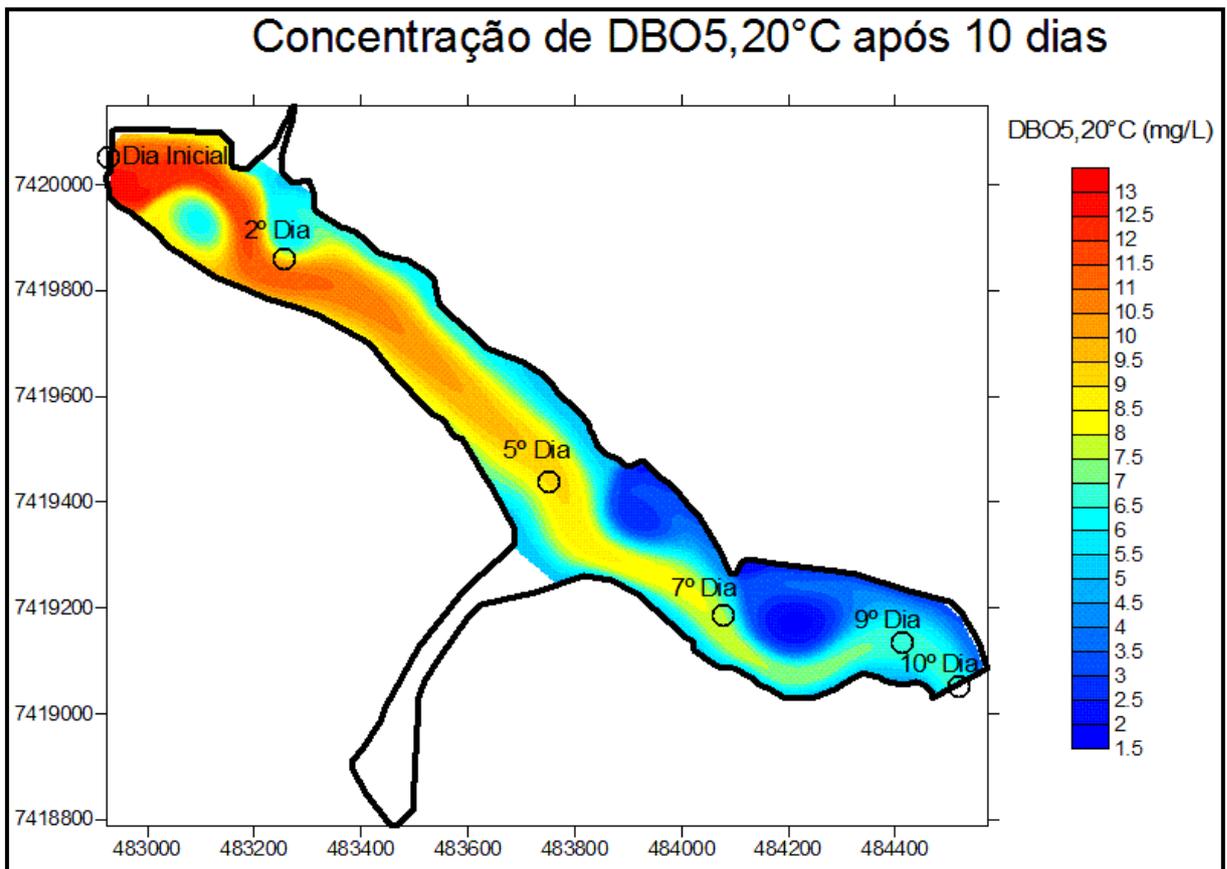


Figura 43 - Valores de Concentração da DBO_{5,20} de acordo com a simulação de decaimento, durante o TDH de 10 dias no fluxo central do Lago Igapó I.

Ao comparar os valores da concentração DBO_{5,20} obtidos das análises realizadas *in loco* da Tabela 28, com os valores simulados pelo modelo de decaimento da Figura 43, origina a percebe-se que o modelo possui ótima calibração dos valores cinéticos inseridos a partir das análises de DBO, pois os valores encontram-se em faixas semelhantes. Portanto o modelo mostrou-se válido, considerando o tempo de detenção hidráulica (TDH) e o coeficiente de desoxigenação (K_1), calculados no presente estudo para o fluxo central do lago Igapó I.

Na Figura 44, pode-se obser e comparar os dados obtidos das analises em laboratório e simulações da concentração de DBO_{5,20} durante os 10 dias.

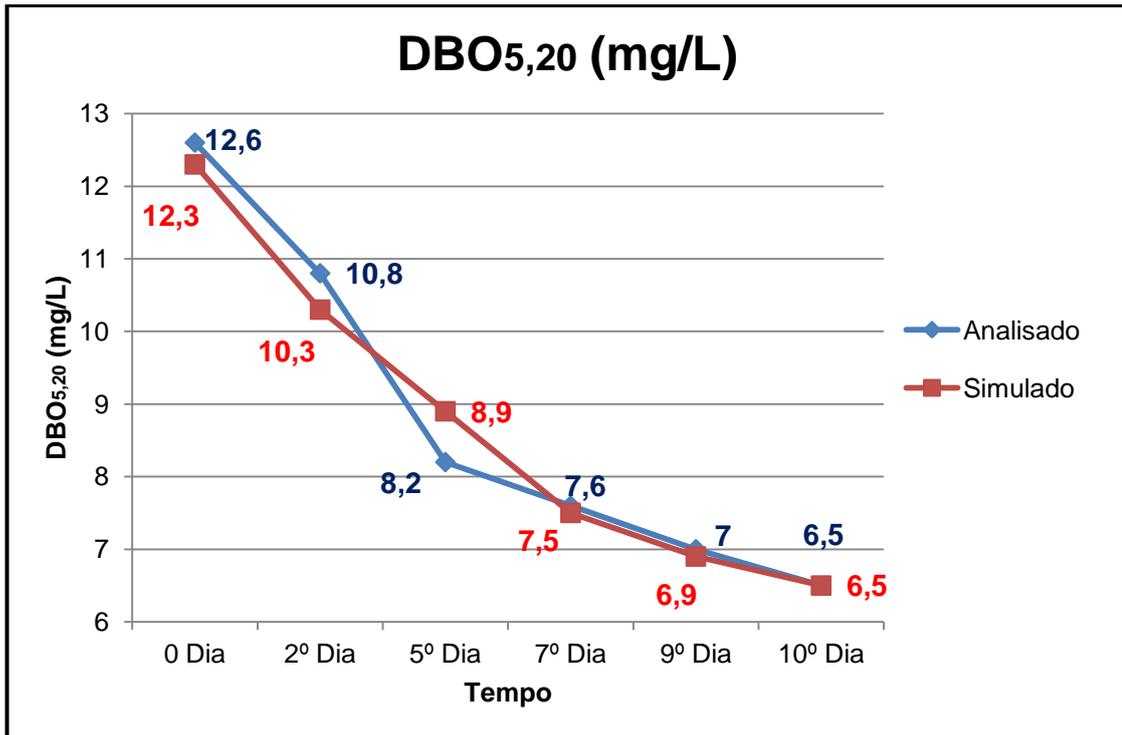


Figura 44 – Comparação dos valores analisados e simulados da concentração de DBO_{5,20} no fluxo central do lago Igapó I.

Os valores simulados apresentaram aproximadamente equivalentes durante o período de análise. Percebe-se que até o dia 5º dia, os valores de simulação apresentavam valores mais distintos dos analisados, porém a partir do 7º dia os valores simulados, apontaram praticamente equivalentes aos valores analisados.

6 CONCLUSÕES

O presente estudo foi desenvolvido visando analisar a qualidade de água a partir de algumas variáveis físico-químicas do lago Igapó I e seus tributários. A avaliação da qualidade de água deve ser entendida como uma questão complexa, na qual fatores temporais e hidrodinâmicos contribuem para a variação de parâmetros associados à qualidade de água em corpos hídricos urbanos.

Desta forma, este trabalho permite compreender melhor a variação de dados de temperatura e OD no Lago Igapó I, bem como calibrar um modelo desenvolvido para simular a variação da $DBO_{5,20}$ ao longo do tempo e do espaço.

Como conclusões deste trabalho, podem-se elencar:

- O tributário 1 – Lago Igapó II, dentro todos os tributários analisados, é o que mais contribui com o fluxo de massa líquida para o lago em estudo, cerca de 91%. Dentre os parâmetros analisados (DQO, DBO, CE, ST, STS, pH, Alcalinidade, OD, Temperatura, Cor Aparente e Turbidez) em relação à qualidade da água, é o tributário que apresentou maiores valores médios, ou seja, pior qualidade.
- Em relação os parâmetros da qualidade da água analisados, com a legislação vigente – Resolução nº 357/2005 do CONAMA – as variáveis de sólidos totais, sólidos suspensos e turbidez dos tributários e do lago Igapó I, apresentaram valores inferiores aos padrões estabelecidos para rios de classe I.
- O parâmetro OD do lago Igapó I também apresentou aceitável perante a resolução, pois só em maiores profundidades cerca de 3 metros que houve um decaimento da concentração em mg/L, fator no qual pode ser explicado como mencionado no item 5.3.2.1, que em profundidades equivalentes, ocorre alta taxa de decomposição da matéria orgânica por atividade microbiana, conseqüentemente maior consumo do OD.
- Na superfície do lago (nos perfis de 0,15 m, 0,5 m e 1m de profundidade), a concentração de OD decai conforme aumenta a temperatura.

- O Tributário 1 apresenta valores da sua concentração de OD menores que 6mg/L.
- Em conformidade a resolução nº357/2005 do CONAMA, as concentrações de $DBO_{5,20}$ analisadas nos tributários e no meio do lago Igapó I, em todas as campanhas, apresentaram valores acima do permitido.
- Apesar do modelo de decaimento da concentração de $DBO_{5,20}$, considerar apenas o fluxo central do lago Igapó I, com os valores analisados de concentração inicial (12,6 mg/L) e final (6,5 mg/L), e seu comportamento diante o TDH médio de 10 dias, juntamente com seu coeficiente de desoxigenação ($K_1 = 0,4469 \text{ dias}^{-1}$), foi possível calibrar o modelo, e obter resultados satisfatórios com o comportamento real do lago em estudo.

Neste trabalho foi possível verificar que o lago Igapó I comparando com os seus tributários, perante os parâmetros analisados, foi o que apresentou a pior qualidade, uma vez que este lago recebe cargas lançadas por estes tributários. O uso da modelagem matemática calibrada e validada, apresentou-se uma ferramenta útil e importante para avaliar a concentração de decaimento da $DBO_{5,20}$ do lago, tornando-se necessária em utilização de estudos e pesquisas da qualidade da água em corpos hídricos.

7 RECOMENDAÇÕES

A partir das limitações apresentadas e dos resultados obtidos neste estudo, propõem-se para a realização de trabalhos futuros, as seguintes recomendações:

- Realizar mais campanhas e medir mais variáveis físico-químicas e biológicas, a fim de levantar um banco de dados de quali-quantitativo, com o propósito de avaliar de forma eficaz os processos que ocorrem no lago Igapó I;
- Avaliar outras possibilidades de modelagem do lago, considerando o “braço” e as entradas de concentração de DBO pelos tributários como o córrego do Leme, o córrego Capivara e o córrego circular juntamente com o reservatório.
- Realizar calibração de outros parâmetros como DQO, OD, nitrogênio e coliforme fecais associados a modelos de decaimento.

REFERÊNCIAS

ALAVAREZ, R.P.P. **Estudo Experimental e Teórico da qualidade de água da drenagem urbana de água da Drenagem Urbana com base Ecohidrológica**. 2010. 238 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

APHA, AWWA, WEF . **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21 edition, American Public Health Association, Washington, D.C. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9897**: Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro. jun. 1987.

_____. **NBR 9898**: Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro. jun. 1987.

BRASIL. Resolução do CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e da outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 18 março 2005.

_____. Resolução do CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 16 maio 2011.

_____. Ministério da Saúde. Secretaria Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria GAB/SNVS nº518,2004. **Diário Oficial da União**, Brasília, Seção I, p. 266, 26 mar. 2004.

ESTEVES, F. DE A. **Fundamentos da Limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência Ltda, 1988. p.602.

GONÇALVES, G. W. P. S. **Urbanização e Qualidade da Água: Monitoramento em Lagos Urbanos de Londrina - PR**. 2008. 115 f. Dissertação (Mestrado em Geografia, Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

HELLER, L; PÁDUA, V. L. (org). **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006.

IBGE. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?uf=41&dados=1>> Acesso em 05 jun. 2012.

KNAPIK, H. G. **Reflexões sobre Monitoramento, Modelagem e Calibração na Gestão de Recursos Hídricos: Estudo de Caso da Qualidade da Água da Bacia do Alto Iguaçu**. 2009. 203 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recurso Hidricos e Ambiental) – Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

KONDAGESKI, J. H. **Calibração de Modelo de Qualidade da Água para o Rio Utilizando Algoritmo Genético**. 2008. 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recurso hidricos e Ambiental) – Engenharia de Recursos Hidricos e Ambiental da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

MACHADO, W. C. P. **Indicadores da Qualidade da Água na Bacia Hidrográfica do Rio Pato Branco**. 2006. 340 f. Tese (Doutorado) – Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

PARDO, S. R. **Uma Modelagem do Transporte e Reações dos Ciclos do Carbono e do Nitrogênio no Lago Igapó 1 – Londrina, Paraná**. 2009. 81 f. Dissertação (Mestrado em Matemática Aplicada e Computacional (PGMAC)) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.

PIVELI, R.P; KATO, M.T. **Qualidade da Água e Poluição: Aspectos Físico-Químicos**. São Paulo: ABES, 2005. 285 p.

PORTO, R.M. (2206). **Hidráulica Básica**. 4. ed. São Carlos: EESC-USP, 2006.p.519.

RIBEIRO, K. H. **Qualidade da Água Superficial e a Relação Com o Uso do Solo e Componentes Ambientais na Microbacia do Rio Campestre, Colombo, PR**. 2009. 50 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

ROMEIRO, N. M. L. et. al. Estudo do Escoamento e da Dispersão de Poluentes na Superfície do Lago Igapó I, **Unidade VI – Águas: Sanamento, Saúde e**

Monitoramento, Londrina, v. 2. Livro 2, p 14-28, 2007. Disponível em: <<http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1007/1007.5296.pdf>>. Acesso em: 2 maio. 2012.

ROMEIRO, N. M. L. et al. Local calibration of coliforms parameters of water quality problem at Igapó I Lake, Londrina, Paraná, Brazil. **Ecological Modelling**, v. 222, n. 11, p. 1888-1896, jun. 2011.

SOMLYODY, L; VA RIS, O. **Freshwater under pressure. International Review for Environmental Strategies**, v.6, n.2, p.181-204, 2006.

TUCCI. C.M. Água no meio Urbano. In: REBOUÇAS, Aldo da Cunha; BRAGA, Benedito; TUNDISI, José Galizia (Org). **Águas doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação**. 2.ed. São Paulo: Escrituras, 2002.

VILLA, A. T. **Avaliação Ambiental de Qualidade da Água do Lago do Parque Barigüi : Potencial de Poluição Orgânica**. 2005. 203 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos hídricos e Ambiental) – Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. v.7. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 588 p.

XAVIER, C. D. F. **Avaliação da Influência do Uso e Ocupação do Solo e de Características Geomorfológicas sobre a Qualidade das Águas de Dois Reservatórios da Região Metropolitana de Curitiba – Paraná**. 2005. 167 f. Dissertação (Mestrado em Solos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

ANEXOS

ANEXO A – PORTARIA SUREHMA N° 003/91 DE 21 DE MARÇO DE 1991**BACIA DO RIO TIBAGI****PORTARIA SUREHMA N°003/91 DE 21 DE MARÇO DE 1991**

O Superintendente da SUREHMA – Superintendência dos Recursos Hídricos e Meio Ambiente, no uso de suas atribuições, que lhe conferem os incisos I, IX e X do Art. 6º do Regulamento aprovado pelo Decreto Estadual nº6589 de 22 de fevereiro de 1990; considerando os incisos III, XI e XX do Art. 6º do Regulamento aprovado pelo Decreto Estadual nº857 de 18 de julho de 1979, acrescentado pelo Decreto Estadual nº4141 de 11 de novembro de 1988 e considerando o Art. 20, alínea “c” da Resolução nº20 de 18 de julho de 1986, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA.

RESOLVE:

Enquadrar os cursos d’água da **BACIA DO RIO TIBAGI**, conforme abaixo especificado:

Art. 1º - Todos os cursos d’água da Bacia do Rio Tibagi, pertencem à classe “2”.

Art. 2º - Constitui exceção ao enquadramento constante no Art. 1º.

I – Todos os cursos d’água utilizados para abastecimento público e seus afluentes, desde suas nascentes até a seção de captação para abastecimento público, quando a área desta bacia de captação for menor ou igual a 50 (cinquenta) quilômetros quadrados, tais como os abaixo relacionados, pertencem à classe “1”.

- Rio Jataizinho, manancial de abastecimento público do município de Assaí.
- Rio Água Sete, manancial de abastecimento público do município de Califórnia.
- Arroio São Cristóvão, manancial de abastecimento público do município de Castro.
- Córrego Curiúva, manancial de abastecimento público do município de Curiúva.

- Rio Imbituvinha, manancial de abastecimento público do município de Irati.
- Arroio Bom Jardim do Sul, manancial de abastecimento público da localidade de Bom Jardim do Sul, município de Ivaí.
- Córrego da Chegada, manancial de abastecimento público da localidade de Natingui, município de Ortigueira.
- Rio Formiga, manancial de abastecimento público do município de Ortigueira.
- Rio Quero Quero, manancial de abastecimento público da localidade de Colônia Quero Quero, município de Palmeira.
- Rio Pugas, manancial de abastecimento público do município de Palmeira.
- Arroio Moinho ou Faxinal Grande, manancial de abastecimento público da localidade de Guaragi, município de Ponta Grossa.
- Rio Maromba, manancial de abastecimento público do município de Reserva.
- Córrego Número Um, manancial de abastecimento público da localidade de Angai, município de Teixeira Soares.
- Rio Furreiro, manancial de abastecimento público da localidade de Imbaú, município de Telêmaco Borba.

II - Rio Harmonia e seus afluentes, contribuinte da margem direita do rio Tibagi, município de Telêmaco Borba, até a barragem que pertence à Indústria Klabin do Paraná e Celulose S/A, que pertence à classe “1”.

III - Ribeirão Cambé e seus afluentes, contribuinte da margem esquerda do rio Tibagi, município de Londrina, até o Parque Arthur Thomas, que pertence à classe “1”.

IV - Afluentes da margem esquerda do Ribeirão dos Apertados, contribuinte da margem esquerda do Rio Tibagi, município de Londrina, dentro dos limites do Parque Estadual Mata do Godoy, que pertence à classe “1”.

V - Rio Quebra Perna, Rio Barrosinho e seus afluentes, contribuintes da margem direita do rio Tibagi, município de Ponta Grossa, que pertence à classe “1”.

VI - Rib. Lindóia e seu afluente Rib. Quati, contribuinte da margem esquerda do rio Tibagi, município de Londrina, que pertence à classe “3”.

VII – Arroio da Ronda, contribuinte da margem direita do rio Tibagi, município de Ponta Grossa, que pertence à classe “3”.

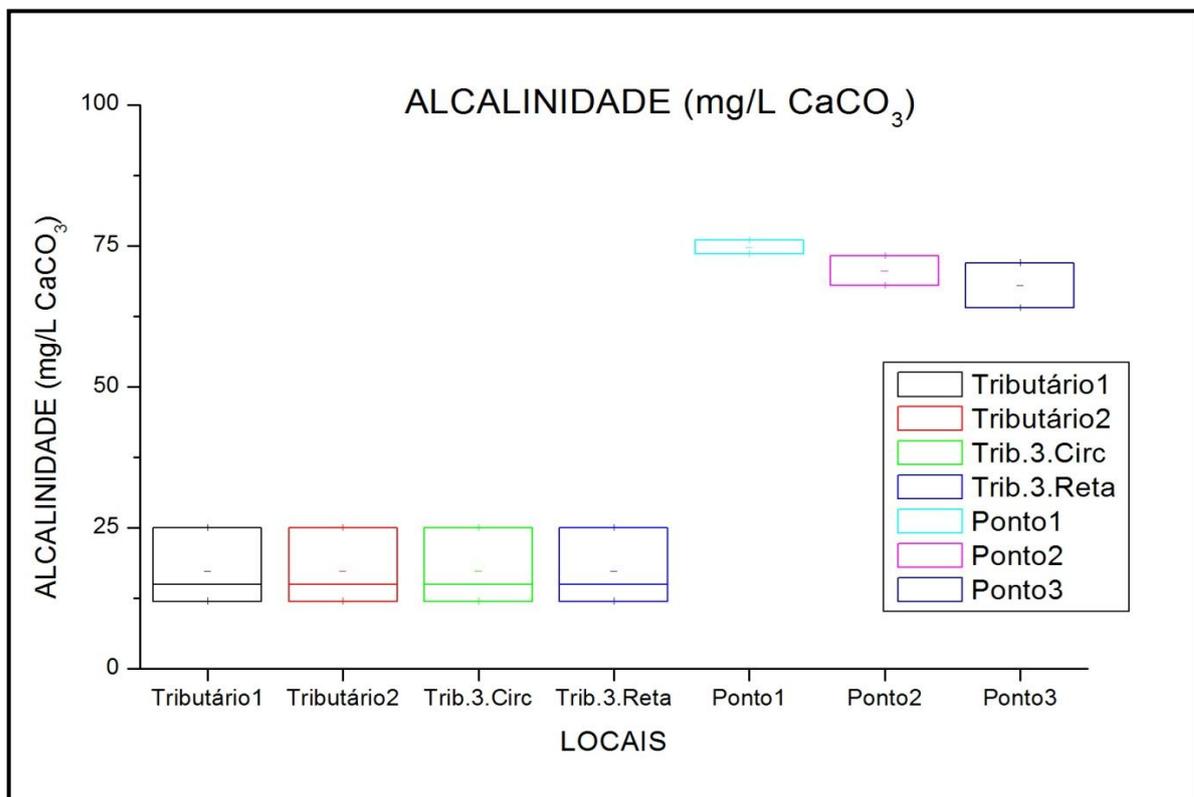
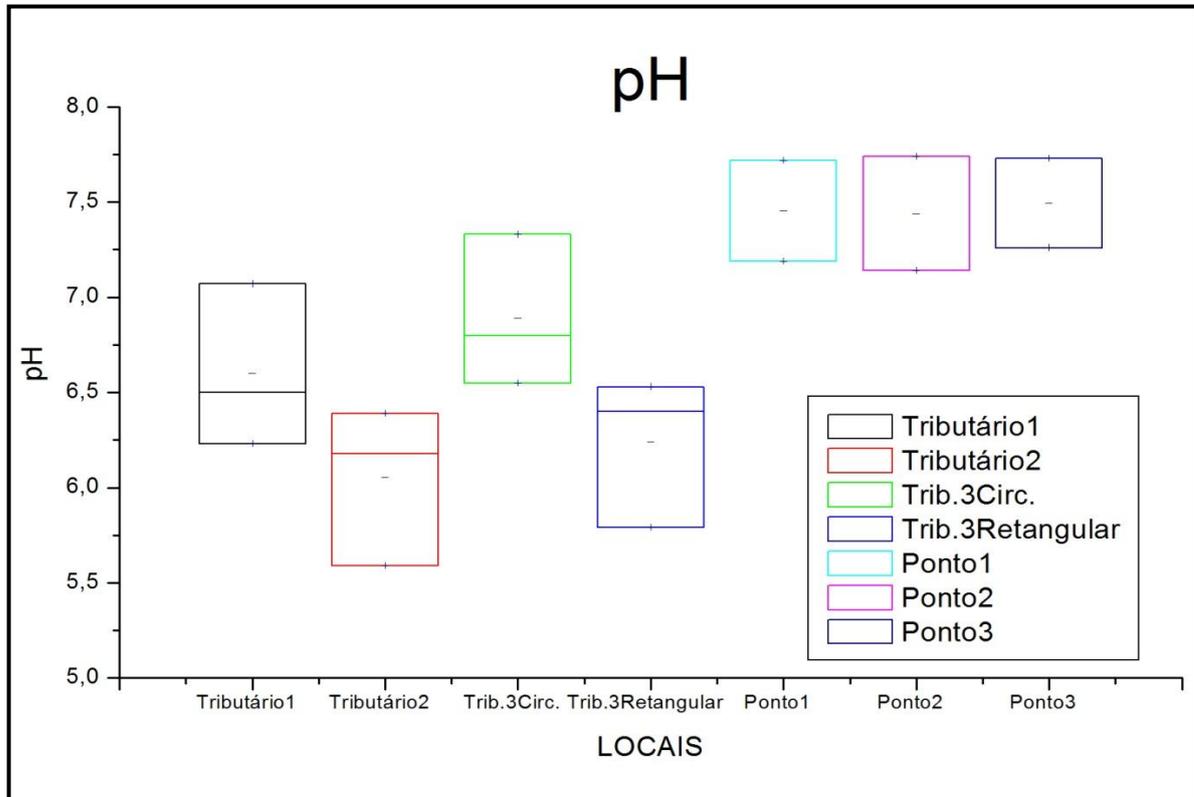
Art. 3º - Esta Portaria entrará em vigor na data de sua publicação, revogadas as disposições em contrário.

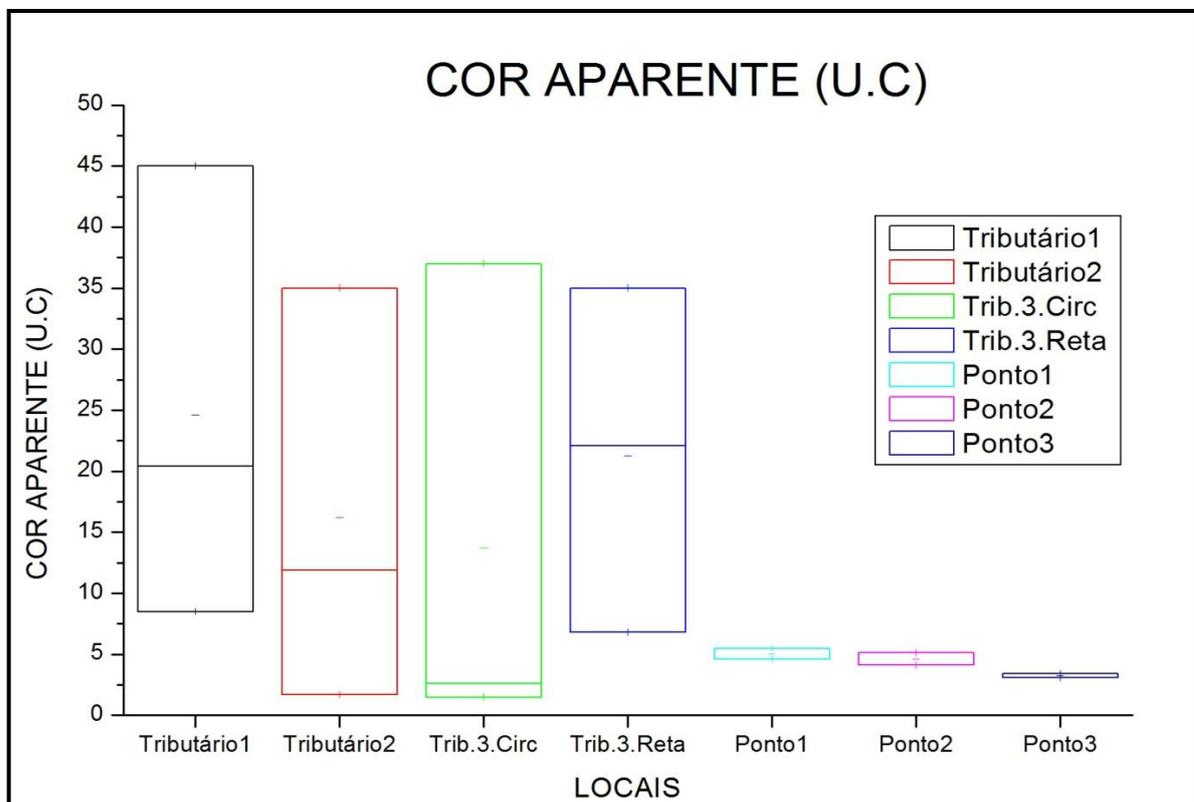
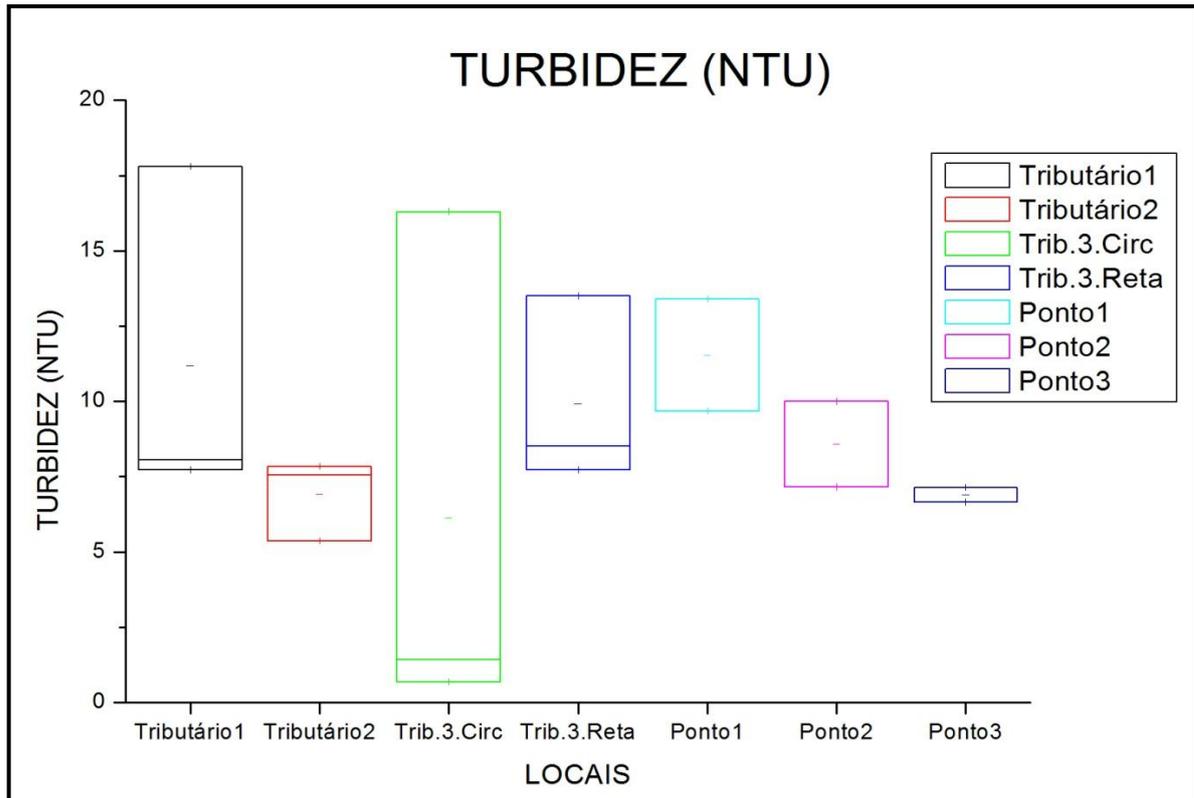
ANEXO B - BATIMETRIA POR PONTOS DO LAGO IGAPÓ I

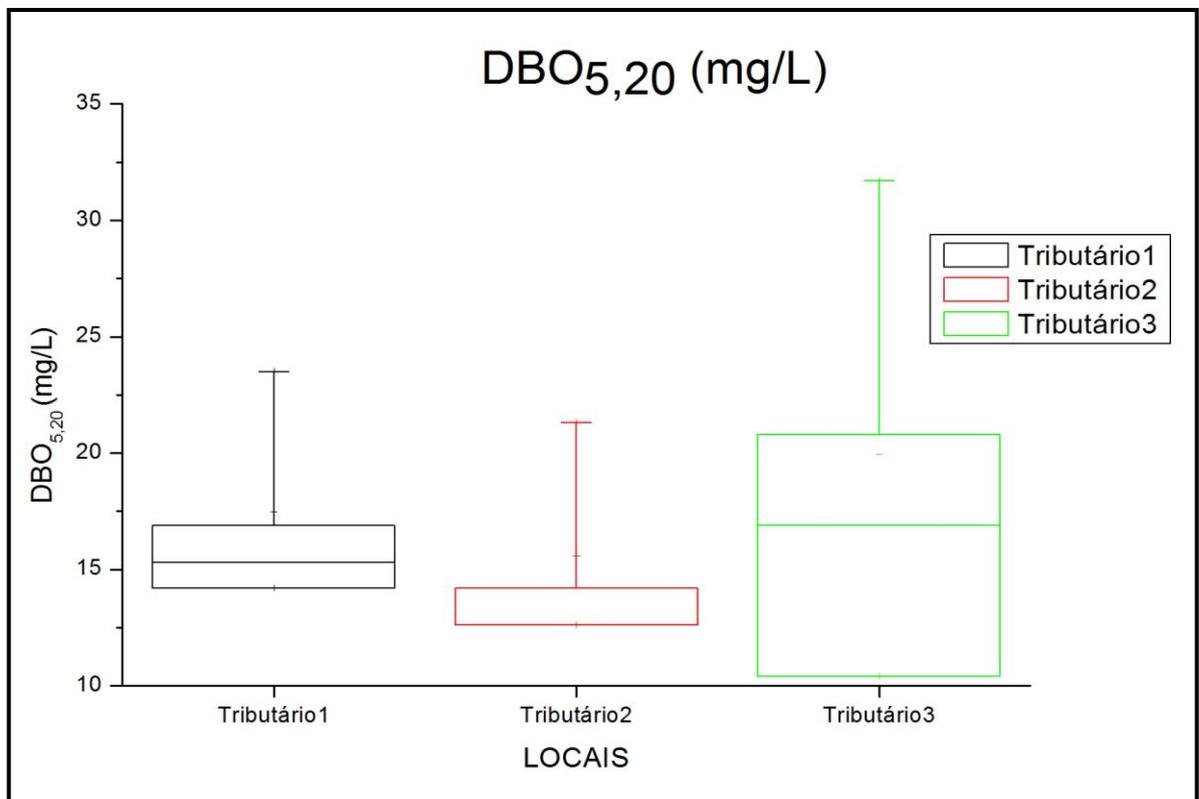
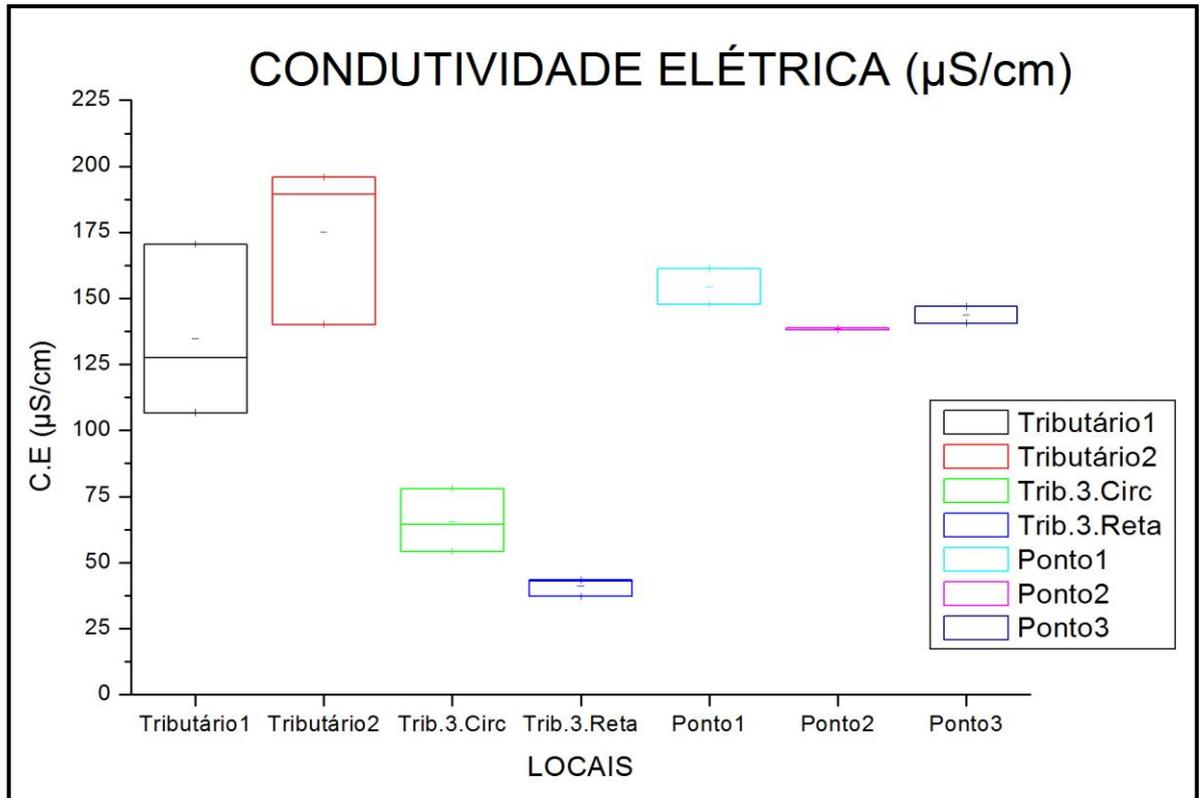
X	Y	Profundidade (m)
484428	7419047	3,25
484415	7419019	1,05
484452	7419030	5
484480	7419042	4,7
484461	7419118	3,3
484427	7419099	5
484400	7419082	5,8
484361	7419057	4,7
484298	7419050	2,78
484252	7419074	4,3
484236	7419105	4,43
484253	7419190	4
484150	7419210	2,42
484025	7419226	3,6
483962	7419336	2,92
483826	7419419	1,3
483737	7419517	3,2
483602	7419619	3,22
483485	7419723	2,59
483348	7419833	2,18
483234	7419919	0,6
483168	7419931	1,73
483087	7419972	2
482993	7420002	2,28
482975	7419877	1,8
483039	7419826	2,47
483129	7419784	2,6
483228	7419748	2,74
483336	7419690	2,68
483407	7419618	2,8
483493	7419540	3,35
483561	7419462	2,85
483594	7419416	3,34
483634	7419330	2,8
483640	7419261	2,54
483588	7419215	2,83
483518	7419142	3,15
483451	7419051	2,66
483401	7418941	1,62
483381	7418873	1,63
483404	7418866	1,52
483424	7418892	1,36

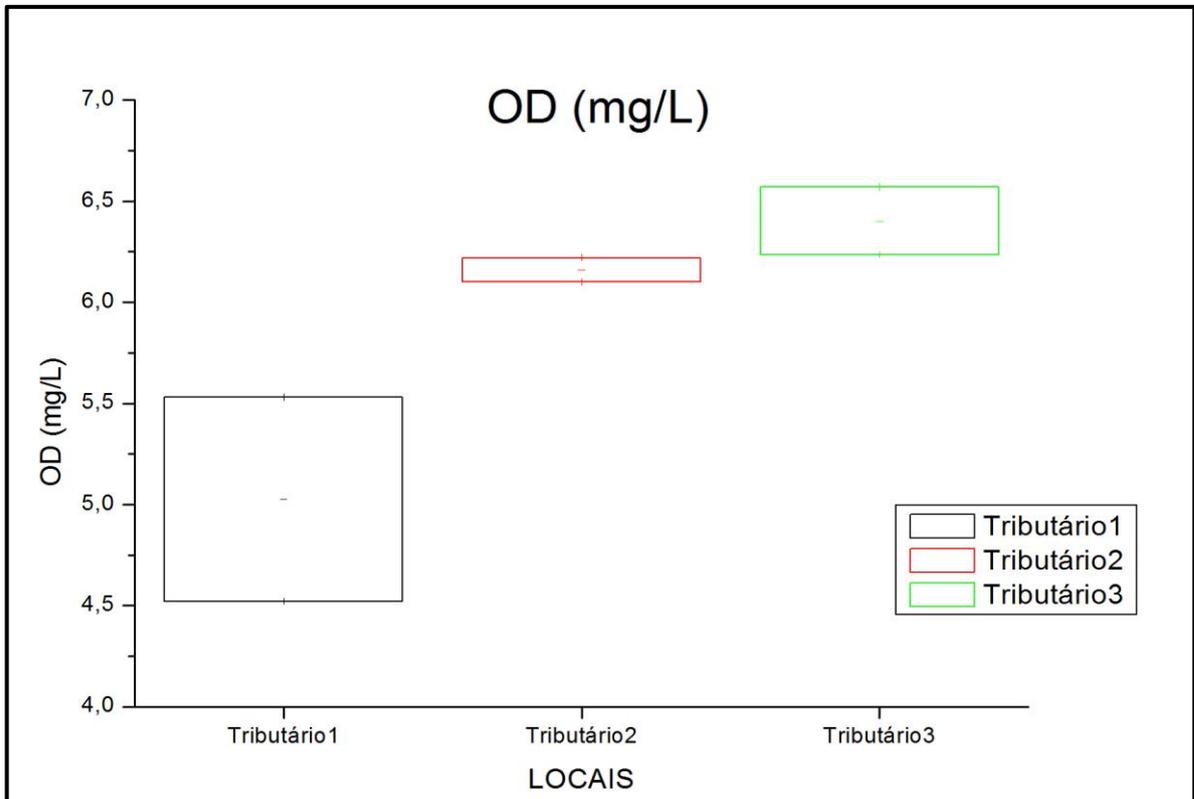
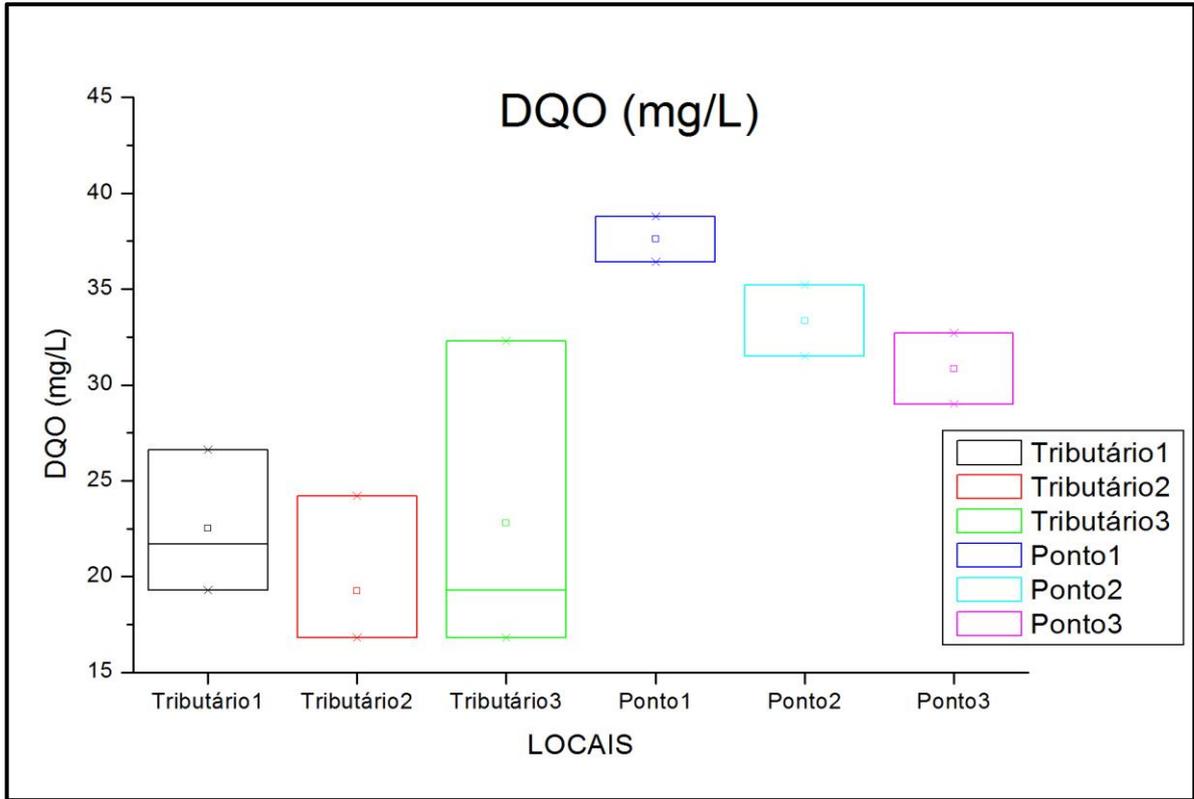
483440	7418975	1,6
483476	7419060	2,35
483548	7419150	1,77
483586	7419192	3,3
483652	7419216	2,85
483786	7419233	3,4
483879	7419188	3,6
483959	7419127	3,57
484045	7419061	3,84
484115	7419020	3,57
484429	7419073	4
484327	7419084	5,3
484197	7419095	4,3
484041	7419136	4,35
483888	7419254	4,3
483726	7419379	4,2
483621	7419504	3,82
483469	7419636	3,75
483279	7419774	2,66
483095	7419896	2
482958	7419960	2,25
482918	7419983	2,67
483047	7419946	2,63
483167	7419867	2
483261	7419811	2,15
483360	7419751	2,73
483450	7419715	3,12
483529	7419661	3,35
483653	7419540	3,4
483623	7419510	3,6
483745	7419422	3,7
483814	7419318	3,63
483930	7419238	4,1
484042	7419162	4,23
484129	7419133	4,1
484230	7419129	4,32
484444	7419024	3
484467	7419044	5,75
484476	7419073	5

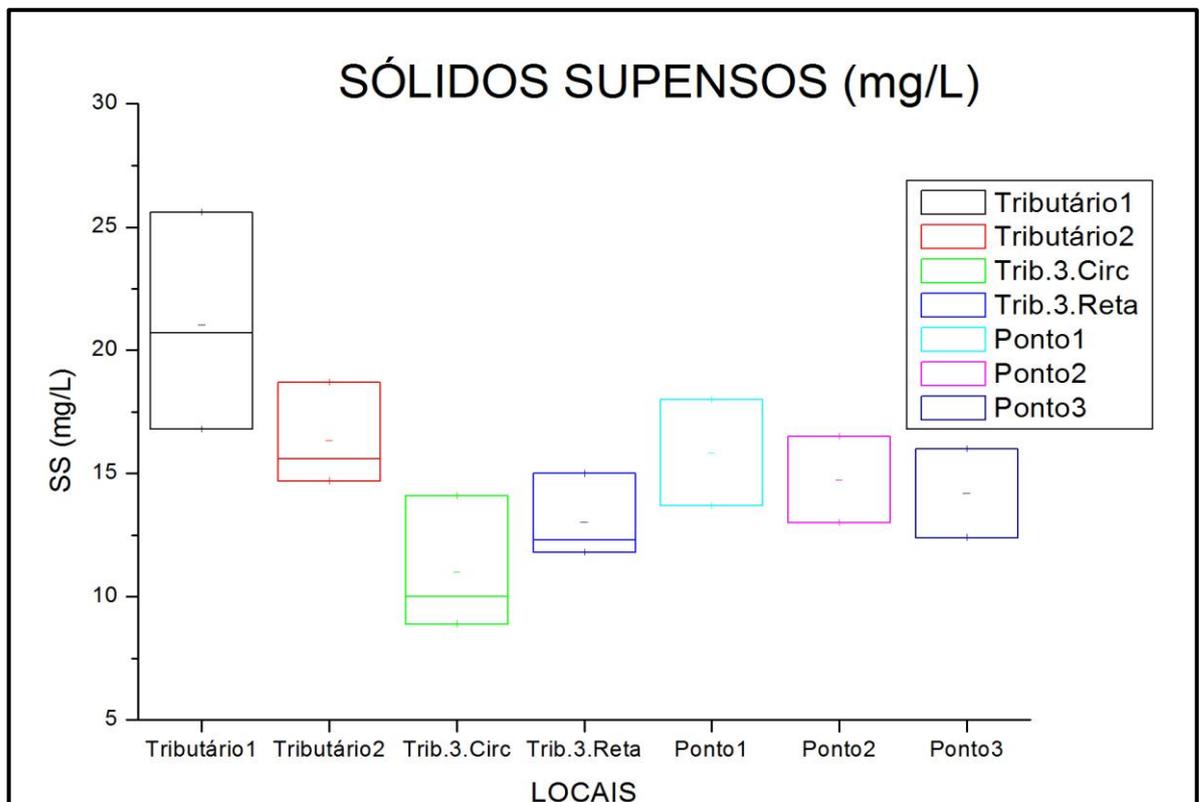
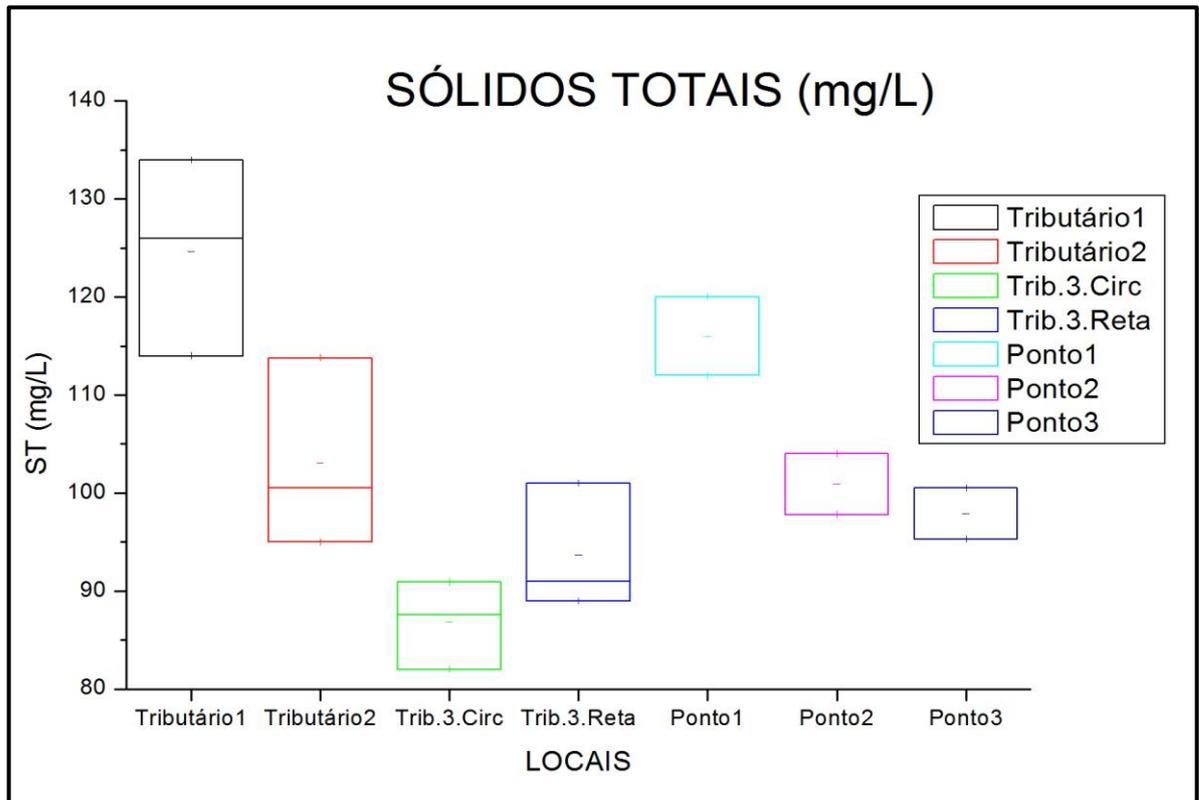
ANEXO C – COMPORTAMENTO DAS VARIÁVEIS DA QUALIDADE DA ÁGUA EM RELAÇÃO OS LOCAIS DE ANÁLISES











ANEXO D – PERFIL DE OXIGÊNIO E TEMPERATURA POR PONTOS DO LAGO IGAPÓ I

Pontos	X	Y	Profundidade (m)	Temperatura (°C)	OD (mg/L)
1	484459	7419089	0,15	25,3	6,26
			0,5	25,3	6,33
			1	25,2	6
			2	25,2	5,96
			3	24,7	3,55
2	484417	7419052	0,15	25,4	6,92
			0,5	25,3	7,33
			1	25,2	7,14
			2	25,2	6,35
			3	-	-
3	484429	7419045	0,15	25,2	7,23
			0,5	25,2	7
			1	25,2	6,71
			2	25,2	6,48
			3	24,7	3,54
4	484391	7419022	0,15	25,4	7,23
			0,5	25,3	7,09
			1	25,3	6,9
			2	-	-
			3	-	-
5	484291	7419042	0,15	25,4	7,38
			0,5	25,4	7,05
			1	25,3	6,97
			2	25,2	6
			3	-	-
6	484306	7419105	0,15	25,5	7,25
			0,5	25,4	7,01
			1	25,3	7,19
			2	25,2	6,75
			3	24,7	3,72
7	484273	7419175	0,15	25,5	7,29
			0,5	25,4	6,98
			1	25,3	6,7
			2	25,2	6,39
			3	24,7	3,85
8	484017	7419220	0,15	25,5	7,12
			0,5	25,5	6,95
			1	25,4	6,94

			2	25,3	6,9
			3	24,7	3,67
9	483984	7419173	0,15	25,7	7,18
			0,5	25,6	7,16
			1	25,5	7,07
			2	25,3	6,86
			3	24,7	4,14
10	483985	7419126	0,15	25,6	7,21
			0,5	25,6	7,16
			1	25,4	6,32
			2	25,2	5,46
			3	24,7	2,99
11	483435	7418985	0,15	25,8	7,14
			0,5	25,2	6,48
			1	24,8	6,1
			2	-	-
			3	-	-
12	483461	7419047	0,15	25,6	7,17
			0,5	25,4	6,75
			1	25,2	6,8
			2	24,2	6,35
			3	-	-
13	483539	7419154	0,15	25,7	7,41
			0,5	25,7	7,18
			1	25,4	7
			2	25,2	6,86
			3	24,1	6,37
14	483507	7419123	0,15	25,9	7,42
			0,5	25,6	7,35
			1	25,3	6,75
			2	24,8	6,61
			3	24,4	6,03
15	483743	7419268	0,15	26,3	6,74
			0,5	25,6	6,69
			1	25,4	6,63
			2	25,3	6,28
			3	24,7	5,67
16	483810	7419298	0,15	26,3	6,52
			0,5	26,1	6,44
			1	25,9	6,31
			2	25,3	5,74
			3	24,8	5,09

17	483888	7419331	0,15	26,4	6,87
			0,5	25,6	6,8
			1	25,4	6,59
			2	25,2	5,83
			3	24,8	3,25
18	483586	7419620	0,15	26,5	6,78
			0,5	25,6	6,68
			1	25,3	6,47
			2	25,1	5,91
			3	25,1	4,02
19	483514	7419610	0,15	26,3	6,74
			0,5	25,7	6,71
			1	25,4	6,51
			2	25,2	6,04
			3	25	5,73
20	483106	7419801	0,15	26,5	6,26
			0,5	26,1	6,31
			1	25,4	6,65
			2	24,9	6,52
			3	-	-
21	483123	7419878	0,15	26,3	6,44
			0,5	25,7	6,19
			1	25,6	5,95
			2	24,8	4,3
			3	-	-
22	483154	7419935	0,15	26,8	6,4
			0,5	26,1	6,38
			1	25,2	6,15
			2	24,9	4,52
			3	-	-

ANEXO E – PERFIS DE OXIGÊNIO DE TODOS OS PONTOS ANALISADOS NO LAGO IGAPÓ I

