

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

CRISTIANO CIGAGNA

ESTUDO DA EUTROFIZAÇÃO DO RESERVATÓRIO DA FLORESTA ESTADUAL
“EDMUNDO NAVARRO DE ANDRADE” (FEENA) - RIO CLARO (SP)

Dissertação de Mestrado apresentada
ao Instituto de Geociências e
Ciências Exatas do *Campus* de Rio
Claro, da Universidade Estadual
Paulista Júlio de Mesquita Filho,
como parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre em
Geociências e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Marcos Bonotto

RIO CLARO-SP
2013

551.4+ C571e Cigagna, Cristiano
Estudo da eutrofização do reservatório da Floresta
Estadual Edmundo Navarro de Andrade (FEENA) - Rio Claro
(SP) / Cristiano Cigagna. - Rio Claro, 2013
136 f. : il., figs., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Daniel Marcos Bonotto

1. Geografia física - Aspectos ambientais. 2. Grau de
trofia. 3. Batimetria. 4. Morfometria. 5. Krigagem. 6.
Limnologia. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

CRISTIANO CIGAGNA

ESTUDO DA EUTROFIZAÇÃO DO RESERVATÓRIO DA FLORESTA ESTADUAL
“EDMUNDO NAVARRO DE ANDRADE” (FEENA) - RIO CLARO (SP)

Dissertação de Mestrado apresentada
ao Instituto de Geociências e
Ciências Exatas do *Campus* de Rio
Claro, da Universidade Estadual
Paulista Júlio de Mesquita Filho,
como parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre em
Geociências e Meio Ambiente.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Daniel Marcos Bonotto
(Departamento de Petrologia e Metalogenia IGCE UNESP/Rio Claro)
- orientador -

Prof. Dr. José Ricardo Sturaro
(Departamento de Geologia Aplicada IGCE UNESP/Rio Claro)

Prof. Dr. Antonio Fernando Monteiro Camargo
(Departamento de Ecologia IB UNESP/Rio Claro)

Resultado: Aprovado

Rio Claro, 06 de dezembro de 2013.

DEDICATÓRIA

*Aos meus familiares, em especial,
ao meu pai Izidoro J. Cigagna
(in memoriam).*

AGRADECIMENTOS

À minha família que me apoiou em todos os momentos, em especial, à minha mãe Evair, meus irmãos Fábio, Izidoro e Selma, minha sobrinha Natália e seu esposo Wagner e ao *bambino* Leonardo.

Ao Prof. Dr. Daniel Marcos Bonotto, pela amizade, por tão gentilmente ter aceitado me orientar nesse trabalho e por todos os conhecimentos transmitidos e oportunidades proporcionadas ao longo dessa jornada.

Ao Prof. Dr. José Ricardo Sturaro e ao Prof. Dr. Antonio Fernando Monteiro Camargo, pela amizade, pelos valiosos conselhos e pelas críticas construtivas que nortearam este trabalho.

Aos meus amigos Marcel Perez, Brice Hoffer, Danilo Piccoli, Wagner Bizarro, Alessandro Baungartner e Leonardo Salim pelo apoio durante os trabalhos de campo. E minhas amigas Juliana Galhardi e Fanny Roxana M. Matamet.

Ao Carlos, técnico do laboratório de limnologia do Departamento de Ecologia do Instituto de Biociências da Unesp - *Campus* de Rio Claro e ao Fábio, técnico do LABIDRO do Departamento de Petrologia e Metalogenia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Unesp - *Campus* de Rio Claro por todo o apoio durante às análises químicas.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pelo apoio financeiro na forma de concessão de bolsa de estudos.

Ao programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, pela oportunidade de desenvolver essa pesquisa.

Enfim, a todos que colaboraram, direta ou indiretamente, para o desenvolvimento dessa dissertação.

"Se um homem puder atravessar o vale entre a vida e a morte, se ele puder continuar vivendo mesmo após sua morte. Então, talvez, ele tenha sido um grande homem.

O verdadeiro sucesso é a imortalidade."

James Dean

RESUMO

As características morfométricas têm efeitos relevantes sobre quase todas as variáveis físicas, químicas e biológicas de um lago ou reservatório. Nesse sentido, esta pesquisa teve como objetivo caracterizar a morfometria e o grau de trofia do reservatório da Floresta Estadual “Edmundo Navarro de Andrade” (FEENA), assim como estimar a variabilidade horizontal das variáveis físicas, químicas e biológicas (clorofila-*a*) na coluna d’água durante um período sazonal e nictemeral. Este estudo apresenta a primeira carta batimétrica do reservatório da FEENA. Os mapas batimétricos e de dispersão horizontal das variáveis estudadas foram gerados utilizando a Geoestatística como ferramenta no tratamento dos dados. Os resultados do levantamento batimétrico demonstraram que o reservatório encontra-se muito raso, principalmente em seu compartimento norte, próximo ao tributário. A profundidade média do reservatório é de 0,86 m e a máxima de 2,16 m. Devido à profundidade reduzida detectou-se grande variabilidade nos padrões de estratificação térmica da coluna d’água durante o monitoramento sazonal e nictemeral. Desta forma, o reservatório foi classificado como polimítico. Os estudos geoestatísticos subsidiaram as análises de caracterização morfométrica e a estimativa da variabilidade horizontal das variáveis no reservatório. O emprego da krigagem ordinária, com o recurso da estimativa de uma medida de dispersão, como o desvio padrão da krigagem, foi de significativa importância para a consistência deste trabalho. Por meio de uma análise comparativa entre os mapas de dispersão horizontal das variáveis clorofila-*a*, nitrogênio total e fósforo total gerados pela krigagem ordinária, foi possível observar que os níveis mais elevados concentraram-se na região intermediária e próxima ao vertedouro do reservatório, e os menores índices próximo ao tributário. Observa-se, ainda, que os valores de clorofila-*a* apresentaram maior correlação com nitrogênio total durante o período sazonal em comparação com o fósforo total. Os baixos valores obtidos no cálculo da razão N:P apresentam um indicativo de que a limitação da produtividade primária no reservatório provavelmente esteja ocorrendo por nitrogênio e não por fósforo. O cálculo do Índice do Estado Trófico permitiu classificar o ambiente como mesotrófico durante a estiagem e como eutrófico no período de chuvas.

Palavras-chave: Grau de trofia. Batimetria. Morfometria. Krigagem. Limnologia.

ABSTRACT

The morphometric characteristics have significant effects on almost all physical, chemical and biological characteristics of a lake or reservoir. Accordingly, this study aimed to characterize the morphometry and trophic state of the reservoir State Forest "Edmundo Navarro de Andrade" (FEENA), as well as estimate the horizontal variability of physical, chemical and biological (chlorophyll a) in the column water during a seasonal and diurnal period. This study presents the first bathymetric chart of the FEENA reservoir. The bathymetric and variables dispersion maps were generated using geostatistics as a tool in data processing. Bathymetric survey results showed that the reservoir is silted up very especially in its sector north nears the tributary. The average depth of the reservoir is 0,86 m and the max depth is 2,16 m. Due to the reduced depth was detected high thermal variability of the water column during the diurnal and seasonal monitoring. Thus, the reservoir was ranked as polymitic. Geostatistical studies subsidized the analysis of morphometric characterization and estimation of the horizontal variability of the variables in the reservoir. The use of ordinary kriging, with the resource of estimating a measure of dispersion as the standard deviation of kriging, was of significant importance for the consistency of this work. Through a comparative analysis between the horizontal dispersion maps variable chlorophyll-a, total nitrogen and total phosphorus generated by ordinary kriging, it is observed that the highest levels concentrated in the intermediate region and near the spillway of the reservoir, and lower rates in the proximal portion to the tributary. Was observed also that the values of chlorophyll-a showed a higher correlation with total nitrogen seasonality of the environment in comparison with the total phosphorus. The low values obtained in the N : P ratio indicates that the limitation of primary productivity in the reservoir probably is occurring with nitrogen and not phosphorus. The calculation of the Trophic State Index allowed classifying the environment as mesotrophic during the dry season and as eutrophic in the rainy season.

Keywords: Trophic state. Bathymetry. Morphometry. Kriging. Limnology.

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - Perfil de estratificação térmica em lagos.....	25
Figura 2 - Padrão sazonal de circulação e estratificação térmica em um lago temperado.....	27
Figura 3 - Mapa de localização da área de estudo.....	39
Figura 4 - Valores médios das variações de temperatura nos últimos 13 anos na cidade de Rio Claro/SP.....	41
Figura 5 - Valores médios das precipitações pluviométricas nos últimos 13 anos na cidade de Rio Claro/SP.....	41
Figura 6 - Mapa Geológico da FEENA.....	45
Figura 7 - Posicionamento dos transectos no trecho do córrego a jusante.....	48
Figura 8 - Coleta de dados durante o levantamento batimétrico do reservatório da FEENA...49	
Figura 9 - Representação dos transectos no trecho do córrego a jusante.....	53
Figura 10 - Perfil do transecto.....	53
Figura 11 - Localização dos 27 pontos de amostragem no reservatório da FEENA.....	55
Figura 12 - Procedimento de amostragem utilizando garrafa do tipo <i>Van Dorn</i>	56
Figura 13 - Localização do ponto de profundidade máxima no reservatório (P-Zmax).....	57
Figura 14 - Disco de Secchi.....	59
Figura 15 - Mapa de isóbatas do reservatório da FEENA.....	66
Figura 16 - Perfis batimétricos do reservatório da FEENA em perspectiva tridimensional.....	67
Figura 17 - Sobreposição dos mapas de isóbatas e perspectiva tridimensional.....	69
Figura 18 - Curvas hipsográficas do reservatório da FEENA.....	75
Figura 19 – Variação sazonal das variáveis de temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e potencial hidrogeniônico no reservatório.....	79
Figura 20 – Padrões de estratificação térmica da coluna d’água no reservatório (24/01/2013).....	83
Figura 21 - Profundidade do disco de Secchi.....	85
Figura 22 - Variação sazonal dos valores de Sólidos Sedimentáveis.....	86
Figura 23 - Variação sazonal dos valores de Material em Suspensão.....	86
Figura 24 - Histograma e variograma modelado da variável clorofila- <i>a</i> na superfície do reservatório (período de estiagem).....	88
Figura 25 - Histograma e variograma modelado da variável nitrogênio total na superfície do reservatório (período de estiagem).....	88

Figura 26 - Histograma e variograma modelado da variável fósforo total na superfície do reservatório (período de estiagem).....	89
Figura 27 - Histograma e variograma modelado da variável clorofila- <i>a</i> total no fundo do reservatório (período de estiagem).....	89
Figura 28 - Histograma e variograma modelado da variável nitrogênio total no fundo do reservatório (período de estiagem).....	90
Figura 29 - Histograma e variograma modelado da variável fósforo total no fundo (período de estiagem).....	90
Figura 30 - Histograma e variograma modelado da variável clorofila- <i>a</i> na superfície do reservatório (estação chuvosa).....	91
Figura 31 - Histograma e variograma modelado da variável nitrogênio total na superfície do reservatório (estação chuvosa).....	92
Figura 32 - Histograma e variograma modelado da variável fósforo total na superfície do reservatório (estação chuvosa).....	92
Figura 33 - Histograma e variograma modelado da variável clorofila- <i>a</i> no fundo do reservatório (estação chuvosa).....	93
Figura 34 - Histograma e variograma modelado da variável nitrogênio total no fundo do reservatório (estação chuvosa).....	93
Figura 35 - Histograma e variograma modelado da variável fósforo total no fundo do reservatório (estação chuvosa).....	94
Figura 36 - Mapas de dispersão da clorofila- <i>a</i> na superfície (a) e fundo (b) do reservatório no período de estiagem.....	98
Figura 37 - Mapas de dispersão do nitrogênio total na superfície (a) e fundo (b) do reservatório no período de estiagem.....	99
Figura 38 - Mapas de dispersão do fósforo total na superfície (a) e fundo (b) do reservatório no período de estiagem.....	100
Figura 39 - Mapas de dispersão da clorofila- <i>a</i> na superfície (a) e fundo (b) do reservatório no período de chuvas.....	101
Figura 40 - Mapas de dispersão do nitrogênio total na superfície (a) e fundo (b) do reservatório no período de chuvas.....	102
Figura 41 - Mapas de dispersão do fósforo total na superfície (a) e fundo (b) do reservatório no período de chuvas.....	103

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 - Classificação de lagos pela origem.....	19
Tabela 2 - Parâmetros morfométricos.....	22
Tabela 3 - Limites para diferentes níveis de estado trófico segundo o sistema de classificação de Carlson modificado por Toledo (1990).....	35
Tabela 4 - Parâmetros morfométricos do reservatório central da FEENA.....	74
Tabela 5 - Representação do volume e área do reservatório da FEENA, por estratos de profundidade.....	75
Tabela 6 - Valores para a profundidade do disco de Secchi, coeficiente de atenuação vertical da radiação (k) e extensão da zona eufótica.....	85
Tabela 7 - Parâmetros variográficos referentes ao período de estiagem.....	95
Tabela 8 - Parâmetros variográficos referentes ao período de chuvas.....	95
Tabela 9 - Coeficiente de correlação entre os mapas da krigagem das variáveis CL-a, N e P na superfície (estiagem).....	104
Tabela 10 - Coeficiente de correlação entre os mapas da krigagem no fundo (estiagem).....	104
Tabela 11 - Coeficiente de correlação entre os mapas da krigagem na superfície (chuvas).....	105
Tabela 12 - Coeficiente de correlação entre os mapas da krigagem no fundo (chuvas).....	105
Tabela 13 - Razões N:P na superfície e fundo para os períodos de estiagem e chuvas.....	107
Tabela 14 - Índice do estado trófico calculado no período de estiagem.....	108
Tabela 15 - Índice do estado trófico calculado no período de chuvas.....	108

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	15
1.2 OBJETIVOS.....	17
CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DE AMBIENTES LACUSTRES.....	18
2.1.1 Gênese dos lagos.....	18
2.1.2 Morfologia e Morfometria.....	20
2.1.3 As propriedades térmicas dos lagos.....	22
2.1.4 Lagos em regiões de clima temperado.....	25
2.1.5 Lagos em regiões de clima tropical.....	27
2.1.6 Classificação dos lagos quanto ao número e tipo de circulação.....	28
2.2 EUTROFIZAÇÃO.....	30
2.2.1 Consequências da eutrofização artificial.....	31
2.2.2 Nutriente limitante.....	32
2.2.3 Clorofila- <i>a</i>	34
2.2.4 Índice do Estado Trófico (IET).....	34
2.3 GEOESTATÍSTICA.....	35
2.3.1 Função semivariograma.....	36
2.3.2 Krigagem ordinária.....	37
CAPÍTULO 3 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS.....	39
3.1 Climatologia.....	40
3.2 Hidrografia.....	42
3.3 Geologia regional.....	42
3.4 Geologia local.....	43
3.4.1 <i>Formação Corumbataí</i>	43
3.4.2 <i>Formação Serra Geral</i>	44
3.4.3 <i>Formação Rio Claro</i>	44
CAPÍTULO 4 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	46
4.1 BATIMETRIA.....	46
4.2 PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS PRIMÁRIOS.....	50
4.2.1 Área (A) e Volume (V).....	50

4.2.2 Profundidade máxima (Z_{max}).....	50
4.2.3 Perímetro (m).....	50
4.2.4 Comprimento máximo (L_{max}).....	50
4.2.5 Largura máxima (La_{max}).....	51
4.3 PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS SECUNDÁRIOS.....	51
4.3.1 Profundidade média (Z_{med}).....	51
4.3.2 Profundidade relativa (Z_r).....	51
4.3.3 Desenvolvimento do perímetro (D_p).....	51
4.3.4 Desenvolvimento do volume (D_v).....	52
4.4 PARÂMETROS HIDROLÓGICOS.....	52
4.4.1 Vazão.....	52
4.4.2 Tempo de retenção hidráulica.....	54
4.5 DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE COLETA E PROCEDIMENTOS DE AMOSTRAGEM.....	55
4.6 VARIÁVEIS FÍSICAS E QUÍMICAS.....	58
4.6.1 Temperatura.....	58
4.6.2 Oxigênio dissolvido.....	58
4.6.3 pH.....	58
4.6.4 Condutividade.....	58
4.6.5 Transparência.....	58
4.6.6 Sólidos Sedimentáveis.....	60
4.6.7 Material em Suspensão.....	60
4.6.8 Fósforo total.....	61
4.6.9 Nitrogênio total.....	61
4.7 VARIÁVEL HIDROBIOLÓGICA.....	62
4.7.1 Clorofila- <i>a</i>	62
4.8 ÍNDICE DO ESTADO TRÓFICO (IET).....	63
CAPÍTULO 5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	65
5.1 BATIMETRIA.....	65
5.2 PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS.....	70
5.2.1 Área (A).....	70
5.2.2 Volume (V).....	70
5.2.3 Profundidade máxima (Z_{max}).....	71

5.2.4 Profundidade média (Z_{med}).....	71
5.2.5 Profundidade relativa (Z_r).....	72
5.2.6 Perímetro (m) e Desenvolvimento do perímetro (D_p).....	72
5.2.7 Desenvolvimento do volume (D_v).....	73
5.2.8 Comprimento máximo (L_{max}) e Largura máxima (La_{max}).....	73
5.3 CURVAS HIPSOGRÁFICAS.....	74
5.4 PARÂMETROS HIDROLÓGICOS.....	76
5.4.1 Vazão e tempo de retenção hidráulica.....	76
5.5 VARIÁVEIS FÍSICAS E QUÍMICAS.....	76
5.5.1 Variação sazonal.....	76
5.5.2 Variação diária.....	82
5.5.3 Disco de Secchi.....	84
5.5.4 Sólidos Sedimentáveis e Material em Suspensão.....	85
5.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA E VARIOGRÁFICA DAS VARIÁVEIS CL-a, N, P.....	87
5.6.1 Período de estiagem.....	87
5.6.2 Período de chuvas.....	91
5.6.3 Parâmetros variográficos.....	94
5.7 ESTIMATIVAS DA VARIABILIDADE HORIZONTAL DA CL-a, N, P, (ESTIAGEM E CHUVAS) POR MEIO DA KRIGAGEM ORDINÁRIA.....	96
5.7.1 Correlação entre os mapas da krigagem.....	104
5.7.2 Desvio padrão da krigagem.....	105
5.7.3 Razão N:P.....	105
5.8 ÍNDICE DO ESTADO TRÓFICO (IET).....	107
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	109
6.1 Conclusões.....	109
6.2 Recomendações.....	110
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	112
APÊNDICE A - MAPAS DOS DESVIOS PADRÃO DA KRIGAGEM.....	117
APÊNDICE B - DADOS BATIMÉTRICOS DO RESERVATÓRIO DA FEENA.....	123
APÊNDICE C - TEORES DE CL-a, N TOTAL E P TOTAL NA SUPERFÍCIE E FUNDO DO RESERVATÓRIO (ESTIAGEM E CHUVAS).....	126
APÊNDICE D - VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS (MONITORAMENTO SAZONAL E NICTEMERAL).....	128

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

As características físicas de um reservatório constituem elementos importantes para avaliação do seu comportamento hidrológico. O estudo de parâmetros morfométricos auxilia no entendimento da estrutura e funcionamento dos corpos d'água, permitindo a associação desses atributos com a qualidade da água do ambiente, particularmente ao seu grau de trofia. A morfometria dos corpos d'água tem relação direta com o balanço de nutrientes, a produtividade biológica, com a estabilidade térmica da coluna d'água e os processos de circulação e dispersão de organismos (PANOSSO et al., 1995).

Grande parte das pesquisas dedicadas ao entendimento dos mecanismos que governam os padrões de mistura e estratificação da coluna d'água em ambientes lacustres foram realizadas em regiões de clima temperado. Em lagos de regiões tropicais, os fenômenos de estratificação ocorrem de maneira bastante diferenciada daqueles de regiões temperadas (ESTEVES, 2011).

Os padrões de estratificação térmica podem ser muito dinâmicos em lagos tropicais, mesmo em ambientes localizados numa mesma região, visto que, além dos fatores climatológicos, fatores inerentes ao próprio ecossistema aquático como, por exemplo, a sua morfologia, possuem importante papel nesta dinâmica (ESTEVES, 2011). Ainda segundo o autor, a maioria dos lagos tropicais apresentam profundidade reduzida devido aos processos geológicos que os originaram, e por isso, as características térmicas da coluna d'água de tais ambientes apresentam forte variabilidade, muitas vezes ocorrendo estratificações e desestratificações diárias. A dinâmica de circulação e estratificação do corpo d'água é o principal fator que regula a distribuição de substâncias e de organismos na massa líquida, sendo, portanto, fundamental o estudo aprofundado deste processo físico (SPERLING, 1999).

Mesmo lagos localizados em um mesmo distrito lacustre podem apresentar características bastante distintas. Pesquisando o sistema de lagos do Médio Rio Doce, no leste do Brasil, Tundisi & Matsumura-Tundisi (2008) observaram que o processo que os originou é, provavelmente, o mesmo. Porém, há diferenças consideráveis entre cada um quanto à morfometria e à produtividade primária. O estudo comparado dos lagos localizados em um mesmo distrito e entre outros diversos distritos lacustres, possibilita realizar uma classificação regional.

Para melhor entender como os processos de mistura e estratificação se desenvolvem é fundamental um conhecimento pormenorizado sobre a estrutura do corpo d'água. A melhor maneira de descrever a morfologia de um lago é por meio de um mapa batimétrico

(HUTCHINSON, 1975). A batimetria consiste na determinação do relevo de fundo de um corpo d'água e de sua respectiva representação gráfica (SPERLING, 1999).

A morfologia é a ciência que tem por objetivo o estudo da forma de determinado elemento, organismo ou sistema. Enquanto que a morfometria trata da quantificação dessas formas e elementos (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008). A morfologia e a morfometria de um lago ou reservatório têm efeitos relevantes sobre quase todas as variáveis físicas, químicas e biológicas (WETZEL, 2001).

Dentre as variáveis mais significativamente afetadas pela morfologia e morfometria, podem ser destacadas a estabilidade térmica da coluna d'água, a amplitude de atuação do vento, e o aporte de nutrientes, como exemplos de condicionantes morfológicos que afetam significativamente tanto a localização de macro e microrganismos na massa líquida, quanto à distribuição de compostos químicos nas suas formas dissolvida e particulada. Além disso, a análise dos dados morfométricos possibilita a avaliação da capacidade de assimilação de impactos decorrentes da entrada de efluentes, taxas de acumulação e padrões de dispersão de poluentes (SPERLING, 1999).

O reservatório da Floresta Estadual “Edmundo Navarro de Andrade” (FEENA), objeto de pesquisa neste trabalho, é um ambiente ainda pouco explorado do ponto de vista limnológico e, a pequena quantidade de registros referentes à qualidade ecológica do reservatório dificulta a avaliação do verdadeiro grau de deterioração em que esse ecossistema se encontra, embora seja reconhecido que o processo de degradação tenha-se intensificado nas últimas décadas (GALVÃO E RADUAN, 1982), (ZEVALLOS, 1986), (STRADIOTO, 2003), (HARDT, 2009).

O conhecimento das variáveis morfométricas de um ambiente lacustre traz uma inestimável contribuição, considerando-se, sobretudo, a aplicação imediata dos resultados obtidos no desenvolvimento de novas estratégias para a recuperação e preservação desse tipo de ecossistema aquático, como por exemplo, a utilização dos parâmetros morfométricos na criação de modelos hidrodinâmicos. Nesse sentido, a geoestatística se destaca como uma importante ferramenta capaz de caracterizar a dinâmica das variáveis ambientais no espaço assim como realizar a integração dessas variáveis. Esse recurso permite evidenciar as complexas inter-relações entre os vários componentes do ambiente aquático, possibilitando previsões acerca da evolução desses ecossistemas e seu manejo.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho foi de pesquisar as possíveis relações entre as características morfométricas do reservatório da FEENA com a instabilidade térmica da massa d'água e o atual grau de trofia do ecossistema aquático.

Especificamente, realizou-se:

- A batimetria do reservatório e o levantamento das variáveis morfométricas mais relevantes para o estudo em questão;
- A correlação dos padrões de estratificação da massa d'água com as características morfométricas;
- O monitoramento sazonal e nictemeral das variáveis de temperatura, oxigênio dissolvido, pH e condutividade elétrica da coluna d'água.
- A estimativa da dispersão horizontal da clorofila-*a* (Cl-*a*), nitrogênio total (N) e fósforo total (P) durante o período de estiagem e chuvas por meio da krigagem ordinária;
- A classificação do Índice do Estado Trófico (IET) do reservatório.

CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica se baseou em trabalhos concernentes ao entendimento dos mecanismos que governam os padrões de estratificação térmica e eutrofização em ambientes lacustres com maior ênfase nos aspectos morfométricos.

2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DE AMBIENTES LACUSTRES

2.1.1 Gênese dos lagos

A origem de ambientes lacustres está associada à ocorrência de fenômenos naturais, de natureza geológica ou a atuações provocadas pelo homem, portanto, de natureza antrópica (SPERLING, 1999). Neste último caso, os ambientes formados são denominados represas, açudes, reservatórios ou barragens.

Os lagos não são elementos permanentes na paisagem da Terra, pois correspondem a fenômenos de curta durabilidade na escala geológica, portanto, surgem e desaparecem ao longo do tempo. O seu desaparecimento é inerente a vários fenômenos, dentre os quais os de maior relevância são ligados ao seu próprio metabolismo, como por exemplo, o acúmulo de matéria orgânica no fundo e a deposição de sedimentos transportados por afluentes (ESTEVES, 2011). A natureza côncava da bacia do lago leva inexoravelmente ao acúmulo de sedimentos e, assim, a eventual morte do lago. Erosão e a ação eólica contribuem com uma parcela de material alóctone que se depositam no fundo (COLE, 1975). Todos os sistemas continentais estão submetidos a um processo contínuo de alteração produzido pela contribuição das respectivas bacias hidrográficas. Segundo Tundisi & Matsumura-Tundisi (2008), os sistemas continentais são preenchidos por:

- Sedimentos de contribuintes da bacia hidrográfica (erosões linear e laminar) ou provenientes da drenagem difusa;
- Material acumulado em transporte do vento;
- Deposição por ação de ventos e marés;
- Material biológico com estruturas depositado no lago (restos com carbonatos, fósforo).

A geomorfologia dos lagos está intimamente ligada aos acontecimentos de natureza física, química e biológica que ocorrem dentro das bacias lacustres e desempenha um papel muito importante no controle do metabolismo do lago, dentro das limitações climatológicas inerentes à sua localização. É a geomorfologia de um lago que controla a natureza da drenagem, as entradas de nutrientes para o lago e o volume do influxo em relação ao tempo de residência da água. Os padrões térmicos e de estratificação são marcadamente influenciados pela morfometria da bacia e pelo volume do influxo. Estes padrões governam por sua vez a distribuição de gases dissolvidos, dos nutrientes e dos próprios organismos, de modo que, todo o metabolismo do ecossistema aquático é influenciado em maior ou menor grau pela geomorfologia da bacia e pelas modificações que ela sofre através do tempo subsequente à sua formação (WETZEL, 2001).

Davis (1882) apud Hutchinson (1975) classificava a origem de lagos segundo o predomínio de processos construtivos, destrutivos ou obstrutivos. Um processo construtivo ocorre em uma escala geológica de tempo, enquanto que os processos destrutivos atuam de forma localizada e em um curto período de tempo, como é o caso de uma explosão vulcânica. O processo obstrutivo está associado a barramentos de cursos d'água, provocados, por exemplo, por derramamentos de lava ou por erosão eólica (SPERLING, 1999).

Hutchinson (1975), em sua obra clássica *A Treatise on Limnology*, diferencia 76 tipos de lagos com base na geomorfologia, reunindo em seguida os diversos processos formadores em 11 grupos descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação de lagos pela origem.

1- Bacias tectônicas
2- Lagos formados pela atividade vulcânica
3- Lagos formados por deslizamentos de terra
4- Lagos formados pela atividade dos glaciares
5- Lagos de dissolução
6- Bacias lacustres de origem fluvial
7- Bacias lacustres formadas pelo vento
8- Bacias formadas pela atividade costeira
9- Lagos formados pela acumulação orgânica
10- Lagos formados por organismos
11- Bacias originadas por impacto de meteorito

Fonte: Hutchinson (1975).

Além dessas classificações de lagos, baseadas na geomorfologia, segundo Tundisi (2008) é necessário considerar a perenidade dos sistemas ou sua intermitência, lagos com fases úmidas e de inundação muito irregulares, áreas alagadas, canais e lagoas de inundação em rios, lagos e lagoas costeiras ou permanentemente conectadas às águas costeiras por meio de canais.

A produtividade primária é muitas vezes determinada pela forma da bacia lacustre (WETZEL, 2001). Bacias com encostas muito inclinadas em forma de U ou de V, formadas muitas vezes por forças tectônicas, são geralmente profundas e relativamente pouco produtivas. Nos lagos deste tipo há um volume proporcionalmente menor de água em contato com os sedimentos. As depressões pouco profundas, com uma percentagem maior de contato da água com os sedimentos, caracterizam-se em regra por apresentarem maiores valores de produtividade.

A geomorfologia dos lagos tem, portanto, um papel relevante no estabelecimento das condições físicas, químicas e biológicas, cuja série de eventos dados os limites das condições climatológicas das bacias lacustres, depende, em grande parte, dos mecanismos fundamentais de funcionamento proporcionados pelas condições morfométricas e morfológicas iniciais estabelecidas pelo padrão geomorfológico (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

2.1.2 Morfologia e Morfometria

A morfologia das bacias lacustres é extremamente variada e reflete o seu modo de origem, os fenômenos subsequentes de alteração dos movimentos da água dentro da bacia e o grau de enchimento por material proveniente da bacia hidrográfica (WETZEL, 2001).

O ramo da limnologia que lida com a determinação das características morfológicas significativas de qualquer bacia e incluindo sua massa de água é conhecido como morfometria. Certas condições fundamentais de produção surgem diretamente das inter-relações entre tamanho e forma (WELCH, 1952).

Morfologia dos lagos significa o estudo de sua forma e tem uma relação importante com a gênese do sistema. A morfometria trata da quantificação dessas formas e elementos. A morfologia e a morfometria dos lagos dependem fundamentalmente dos processos que os originaram (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008). A origem do lago estabelece, portanto, algumas condições morfológicas e morfométricas básicas. Estas, evidentemente, alteram-se com o tempo, dependendo de uma série de fatores e, principalmente, da atividade

antrópica e dos próprios eventos que ocorrem na bacia hidrográfica, que afetam, em último caso, o sistema lacustre.

Com relação à morfologia dos lagos, Hutchinson (1975) apresenta uma série de diferentes tipos. Os principais são:

- Circular: exemplificado na maioria por lagos em crateras, pelos lagos de dolina mais perfeitos, pelas bacias de deflação menores e em algumas crateras de meteoritos. O desenvolvimento da linha de costa se aproxima da unidade em tais lagos;
- Subcircular: de forma ligeiramente modificada em relação à circular, pela maior deposição de material em um lado do lago em relação ao outro, pela ação dos ventos e processos de remodelagem das margens não consolidadas;
- Elíptico: tipicamente lagos do Ártico. O desenvolvimento da linha de costa é um pouco maior comparado ao dos lagos circulares;
- Sub-retangular, alongado: exemplificado por lagos em *grabens* e lagos de origem glacial em vales escavados;
- Dendríticos: representados por lagos originados a partir de vales submersos bloqueados por represamento, com muitos braços e baías;
- Semilunar: alguns lagos marginais em forma de meia lua, lagos de caldeira localizados em regiões vulcânicas;
- Triangular: são normalmente lagos laterais, em estuários, costa marítima;
- Irregular: lagos em áreas onde ocorreu a fusão de bacias, atividade glacial.

São também as características morfológicas que definem a configuração dos três principais compartimentos de lagos e represas, quais sejam, as regiões litorânea, limnética e profunda. Em cada um destes compartimentos há o desenvolvimento de comunidades aquáticas adaptadas às condições ali reinantes, o que conduz, por sua vez, ao predomínio de características químicas específicas, como por exemplo, as concentrações de oxigênio dissolvido, variações de pH e solubilização de compostos (SPERLING, 1999).

O principal método para descrever a morfologia de um lago é por meio de um mapa batimétrico (HUTCHINSON, 1975). A batimetria consiste na determinação do relevo de fundo de um corpo d'água e de sua respectiva representação gráfica, trata-se de um procedimento necessário para o levantamento de todas as variáveis morfométricas importantes (WETZEL, 2001). Normalmente, a batimetria é feita em transectos que permitem

a construção das principais linhas de contorno da bacia e o cálculo do volume total do lago ou do reservatório (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008). A morfometria se ocupa da quantificação e medida dos diversos elementos da forma, englobando, portanto, o conjunto de métodos para determinar as dimensões físicas de um sistema. Hutchinson (1975) apresenta uma discussão detalhada sobre as muitas variáveis morfométricas que podem ser determinadas a partir de um mapa batimétrico. As mais utilizadas estão indicadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros morfométricos.

Área	(A)
Volume	(V)
Profundidade máxima	(Z _{max})
Perímetro	(m)
Desenvolvimento do perímetro	(D _p)
Desenvolvimento do volume	(D _v)
Comprimento máximo	(L _{max})
Largura máxima	(La _{max})
Profundidade média	(Z _{med})
Profundidade relativa	(Z _r)

Fonte: Tundisi & Matsumura-Tundisi (2008).

Existem modificações morfométricas importantes que podem ocorrer quando um lago fica sujeito a inúmeros impactos, principalmente aqueles resultantes das atividades antropogênicas. Como por exemplo, podemos citar o desmatamento em bacias hidrográficas, que pode resultar em mudanças consideráveis na morfometria e na morfologia do lago, devido ao carreamento de sedimentos para o seu interior (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008). As características morfológicas e morfométricas de uma bacia lacustre têm efeitos relevantes sobre quase todas as variáveis físicas, químicas e biológicas dos lagos (WETZEL, 2001).

2.1.3 As propriedades térmicas dos lagos

O principal processo que gera o aquecimento térmico em ambientes lacustres é a radiação solar que atinge a superfície da água. As radiações de ondas longas, no infravermelho, são absorvidas nos primeiros centímetros. O aquecimento térmico estabelece uma camada de água menos densa e com a temperatura mais elevada na superfície. Essa

estratificação térmica e de densidade, é um importante fenômeno nos sistemas aquáticos continentais, e grande parte dos processos e mecanismos de funcionamento do lago resultam do gradiente vertical assim formado (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

A quantidade de energia luminosa absorvida por uma solução aumenta de forma exponencial com a distância que a luz tem que percorrer ao atravessá-la. Para a luz com o comprimento de onda de 750 nm, 90% são absorvidos em 1 metro de profundidade, sendo apenas 1% transmitido através dos 2 metros seguintes de água pura. A absorção aumenta de modo notório com a presença de matéria orgânica dissolvida. Como muita da energia solar é de baixa frequência na porção do infravermelho do espectro, em comprimentos de onda superiores a 750 nm, os primeiros 2 metros da coluna d'água do lago absorvem mais da metade da radiação solar (WETZEL, 2001).

O calor, que é a forma de manifestação da energia térmica, pode se propagar na água de molécula a molécula, em um processo muito lento conhecido por condução. Nos corpos d'água, devido à forte absorção de radiação no primeiro metro de profundidade, deveria ocorrer abaixo desta camada uma queda brusca de temperatura. No entanto, este fenômeno não ocorre, principalmente devido ao vento, que promove a turbulência da água e produz a redistribuição do calor por toda a massa d'água (ESTEVES, 2011).

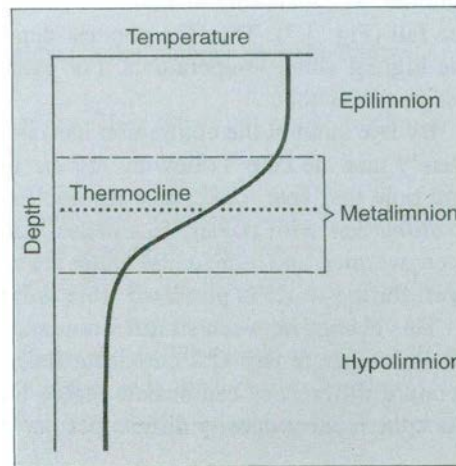
A água apresenta sua máxima densidade quando sua temperatura se aproxima de 4° C, tornando-se menos densa à medida que a temperatura se afasta de 4° C por aquecimento ou arrefecimento. A água menos densa é flutuante em relação à água de maior densidade. De 4 a 0° C, a água tem uma diferença de densidade de cerca de 0,13 g/L⁻¹ e entre 4 e 20° C de 1,77 g/L⁻¹ (LAMPERT & SOMMER, 1997). Ainda segundo os autores, a diferença de densidade torna-se maior com o aumento da temperatura, entre 24 e 25° C a diferença é 30 vezes maior do que entre 4 e 5° C. A maior parte da troca de calor entre os lagos e o ambiente ocorre através da superfície da água. O lago é aquecido pela radiação solar e perde calor para a atmosfera por meio de refrigeração radiante durante a noite, e por evaporação. Quando a água de superfície de resfriamento torna-se mais densa ela afunda até encontrar água de ainda maior densidade. Em latitudes temperadas geralmente há períodos na primavera e no outono, durante o qual a água da superfície é arrefecida a 4° C. Portanto, as temperaturas das águas do hipolímnio em lagos suficientemente profundos, estão sempre perto de 4° C. Uma exceção são os lagos de grande altitude que são extremamente frios. Em lagos tropicais, a água de superfície nunca esfria a 4° C, sendo assim, as temperaturas são mais elevadas no hipolímnio de tais ambientes aquáticos (LAMPERT & SOMMER, 1997).

O elevado calor específico da água torna possível a dissipação da energia luminosa e a sua acumulação sob a forma de calor. A retenção do calor está ligada a fatores que influenciam a sua distribuição dentro do sistema lacustre, tais como: trabalho físico realizado por energia eólica, correntes e outros movimentos da água, morfometria da bacia e perdas de água pelo sistema. Os padrões de estratificação térmica que resultam da interação de todos estes fatores exercem uma influência fundamental sobre os ciclos físicos e químicos dos lagos, os quais por sua vez governam a produtividade e os processos de decomposição (WETZEL, 2001).

A forma de distribuição de temperatura é extremamente característica. Em todos os lagos suficientemente profundos, durante o aquecimento de primavera a partir de uma temperatura baixa, a água tende a se dividir em uma zona superior mais aquecida e menos densa, o epilímnio, e outra que se estende até o fundo, uma zona de águas mais frias, mais densas e pouco perturbada, chamada hipolímnio (HUTCHINSON, 1975). A região que separa o epilímnio do hipolímnio onde ocorre uma queda brusca de temperatura é chamada de metalímnio. O metalímnio é difícil de ser determinado. Seguindo a definição de Birge (1897) apud Lampert & Sommer (1997), os limites superiores e inferiores do metalímnio estão compreendidos em uma região onde a queda de temperatura é superior a 1° C por metro. Hutchinson (1975) definiu como termoclina a região que compreende um plano imaginário no lago separando as camadas onde ocorre uma maior variação de temperatura. Os termos metalímnio, termoclina, termoclina planar, mesolímnio, *Sprungschicht* (alemão) e *discontinuity layer*, são frequentemente citados na literatura como sinônimos. Para Esteves (2011), a variação de temperatura na camada denominada de termoclina, refere-se somente a descontinuidade de temperatura e não à camada, que é denominada metalímnio. Durante o período de estratificação térmica, geralmente acontece a formação de várias termoclinas. Uma termoclina primária, que é maior, e várias secundárias, que são menores. Este fenômeno pode ser observado em lagos de qualquer latitude.

Os padrões de estratificação da coluna d'água em ambientes lacustres podem ser muito variáveis, mesmo em ecossistemas localizados numa mesma região, visto que, além dos fatores climatológicos, fatores inerentes ao próprio ecossistema, como por exemplo, a sua morfometria, tem grande relevância (ESTEVES, 2011).

Figura 1 – Perfil de estratificação térmica em lagos.



Fonte: Lampert & Sommer (1997).

2.1.4 Lagos em regiões de clima temperado

O exemplo a seguir, refere-se a lagos temperados que, durante o inverno, formam uma cobertura de gelo na superfície (Figura 2). Estes lagos circulam suas águas na primavera e outono e estratificam no verão e no inverno (estratificação inversa).

Com a chegada da primavera, ocorre o derretimento da camada de gelo que cobriu a superfície do espelho d'água durante o inverno. A diferença de densidade da água entre 4 e 0° C é muito pequena, formando-se apenas um gradiente de densidade muito reduzido sob a superfície que pode ser facilmente destruído por uma pequena quantidade de energia eólica (WETZEL, 2001). Como a água subjacente a camada de gelo possui temperatura por volta de 4° C e a água proveniente do derretimento do gelo logo atinge esta mesma temperatura, logo se estabelece uma situação de homeotermia da coluna d'água e, conseqüentemente, a circulação total da massa d'água, denominada circulação de primavera.

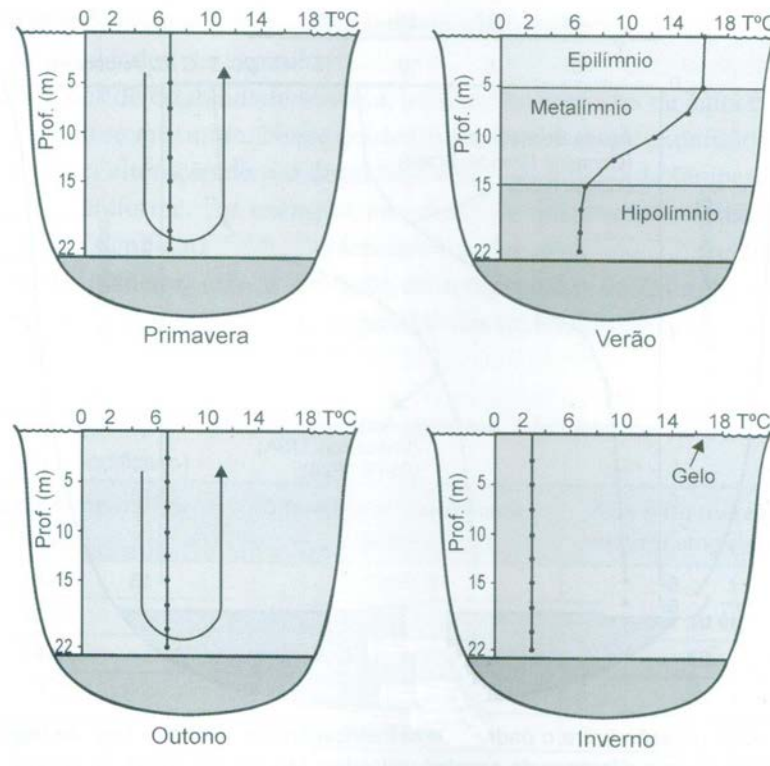
Com a elevação das temperaturas durante o verão, ocorre o aquecimento das camadas superficiais do lago tornando-as menos densas do que as camadas subjacentes. Esta diferença de temperatura e densidade torna-se cada vez mais acentuada ao longo da estação, dificultando a mistura das camadas. O processo é intensificado durante os dias quentes de verão e com pouco vento. Observando a temperatura da coluna d'água neste período, verifica-se que o lago apresenta três camadas com diferentes gradientes de temperatura e densidade: uma camada superior chamada epilimnion, caracterizada por uma temperatura uniforme e

aquecida; e uma camada inferior, o hipolímnio, com águas mais frias e densas. Entre estas camadas encontra-se o metalímnio, caracterizado por uma descontinuidade térmica chamada termoclina (ESTEVES, 2011).

Ao final do outono o epilímnio se arrefece e o vento pode voltar a misturar completamente o lago, estabelecendo uma homeotermia da coluna d'água pela segunda vez no ano. De uma forma geral, a circulação de outono é uma repetição da circulação de primavera, a diferença marcante é que o processo ocorre devido a uma queda na temperatura do ar e não por um aumento de temperatura (LAMPERT & SOMMER, 1997). Segundo Hutchinson (1975), a duração do período de circulação de outono depende de condições meteorológicas e da profundidade do lago. Quanto maior a massa d'água, mais demorado será processo de arrefecimento.

A queda na temperatura do ar no início do inverno começa a baixar a temperatura da superfície do lago até que a água fique abaixo de 4° C. Depois que a água se torna ainda mais fria, e progressivamente menos densa, a água já não mais afunda, mas permanece na superfície até que congele. Quando comparado com o período de estagnação de verão, as condições de temperatura são apenas o inverso, a água mais aquecida fica na camada inferior com a água mais fria na camada superior, mas com respeito à densidade, as condições são as mesmas, a água menos densa permanece na camada superior. As formas de cobertura de gelo na superfície do lago o protegem completamente de distúrbios provocados pelo vento, desta forma, todo o lago se assemelha, de uma maneira geral, ao hipolímnio do período de estabilidade térmica de verão (WELCH, 1952). Esta estratificação invertida ocorre somente quando o lago encontra-se sob condições de cobertura de gelo, e é denominada estagnação de inverno (HUTCHINSON, 1975).

Figura 2 – Padrão sazonal de circulação e estratificação térmica em um lago temperado.



Fonte: A partir de dados de Müller (1977) apud Esteves (2011), modificado.

2.1.5 Lagos em regiões de clima tropical

Os padrões de estratificação da massa d'água em lagos tropicais se diferenciam daqueles de região de clima temperado. Lagos em regiões de clima tropical sofrem estratificações e desestratificações diárias ou estratificação durante a primavera, verão e outono, e desestratificação no inverno (ESTEVES, 2011).

Os lagos naturais de regiões tropicais são tipicamente rasos, em decorrência das características de seus processos formadores (SPERLING, 1999). Sendo assim, as características térmicas destes ambientes lacustres são influenciadas de forma mais significativa pela flutuação diária de temperatura do que pela variação sazonal (COLE, 1975). Assim, devido a estes fatores, lagos tropicais normalmente apresentam estratificação que se desenvolve durante o período do dia, com um máximo de estabilidade térmica por volta das 17 horas e desestratificação noturna, devido a perda de calor para a atmosfera. Este processo de rompimento da estabilidade térmica é facilitado quando a área do espelho d'água é muito

grande em relação à profundidade do corpo d'água e quando o ambiente encontra-se exposto ao vento.

Em decorrência dos maiores índices de precipitação pluviométrica que ocorrem durante o verão em regiões tropicais, os ambientes suficientemente profundos podem apresentar estratificações duradouras devido à elevação do nível d'água, podendo se estender por todo o verão. Isto em razão da pequena variação diária de temperatura do ar que, para o ecossistema aquático, implica em reduzidas perdas de calor para a atmosfera, mesmo no período da madrugada. A estratificação diária também é induzida pela maior profundidade da coluna d'água neste período (ESTEVES, 2011).

Pesquisando a estrutura térmica da Lagoa do Nado, um pequeno reservatório situado em Belo Horizonte-MG, Bezerra-Neto & Pinto-Coelho, (2002) identificaram somente uma circulação da massa d'água durante o ano de estudo, que ocorreu no período de inverno. Sendo assim, o ambiente foi classificado como monomítico quente, um padrão que não é típico de regiões tropicais, onde predominam lagos polimíticos. Segundo os autores, este padrão de circulação identificado na Lagoa do Nado se deve ao fato da lagoa estar localizada no fundo de um pequeno vale, com margens protegidas por uma vegetação arbórea de grande porte, o que lhe confere uma proteção extra sobre a ação do vento sobre a lâmina d'água. As características morfométricas também contribuem significativamente neste processo, como por exemplo, o formato cônico da bacia de acumulação, o valor elevado da profundidade relativa e o reduzido comprimento e largura máximos efetivos.

Nos lagos tropicais rasos, observa-se frequentemente a região litorânea densamente colonizada por macrófitas aquáticas. Nestas condições, as macrófitas reduzem de forma acentuada o efeito do vento sobre o espelho d'água, diminuindo a circulação na região litorânea e retendo calor. Assim, observa-se a coluna d'água totalmente desestratificada na região limnética, enquanto que a região litorânea permanece estratificada (ESTEVES, 1998). Desta forma, grande parte dos lagos e reservatórios tropicais, por apresentarem forte dinâmica em suas características térmicas, são classificados como sistemas polimíticos.

2.1.6 Classificação dos lagos quanto ao número e tipo de circulação

Os ambientes lacustres podem ser classificados quanto ao número e tipos de circulação que podem ocorrer ao longo do ano. As definições têm por critérios de base os padrões de circulação, e aplicam-se a lagos com profundidade suficiente para formar um hipolímnio (WETZEL, 2001).

a) Lagos Amícticos: segundo Wetzel (2001) possuem um selo permanente e não circulam, estando isolados pelo gelo na maior parte das variações anuais de temperatura. Estes lagos com cobertura de gelo perene são raros e estão em grande parte limitados à Antártida, ou, mais raramente, a regiões montanhosas muito elevadas.

b) Lagos Holomícticos: são ambientes cuja circulação das camadas atinge toda a coluna d'água. Dentre estes, podem ser destacados:

b.1) Lagos Dimícticos: circulam livremente duas vezes por ano, na primavera e no outono, estratificando no verão (estratificação direta) e no inverno (estratificação invertida). Os lagos dimícticos representam o tipo mais comum de estratificação térmica observada na maior parte dos lagos de regiões temperadas;

b.2) Lagos Monomícticos Quentes: apresentam somente uma circulação por ano, e que ocorre no inverno. Neste tipo de lago, a temperatura da superfície nunca cai abaixo de 4° C. Esses lagos circulam livremente no inverno com temperatura acima de 4° C e sofrem estratificação no verão. São encontrados frequentemente nas regiões quentes das zonas temperadas, bem como nas regiões montanhosas das latitudes subtropicais. Tal fenômeno foi descrito para o lago Vitória na África e para os lagos do Vale do Rio Doce, em Minas Gerais, especialmente para o lago Dom Helvécio (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008);

b.3) Lagos Monomícticos Frios: da mesma forma, circulam somente uma vez por ano, mas neste caso, no verão. A temperatura da superfície nunca ultrapassa 4° C. Estão localizados em regiões subpolares e em altas montanhas de regiões temperadas;

b.4) Lagos Oligomícticos: geralmente lagos tropicais e profundos, com períodos raros de circulação a intervalos irregulares e sua temperatura situa-se sempre bem acima dos 4° C. Apresentam uma estratificação estabilizada, apesar da diferença de temperatura entre a superfície e os estratos subjacentes seja muito pequena. Durante o período de estratificação, estes lagos apresentam hipolímnio anóxico. São exemplos, o lago Edward e o lago Tanganica, ambos na África (ESTEVEZ, 2011);

b.5) Lagos Polimícticos: apresentam períodos de circulação muito frequentes ou com circulação contínua. São lagos de grande área e pouco profundos localizados em regiões equatoriais onde as amplitudes térmicas sazonais do ar são pequenas. A perda de calor para a atmosfera durante a noite e a profundidade reduzida, favorece sua homeotermia. Como exemplos há os lagos George (Uganda), Clear Lake (Califórnia) e a represa do Lobo (Broa) no Estado de São Paulo (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008);

c) Lagos Meromícticos: são lagos que não circulam completamente, a massa de água superior não se mistura com a porção inferior. Nestes lagos, o estrato mais profundo, denominado

monimolimnion, é mantido em um isolamento perene e o estrato subjacente, o *mixolimnion*, circula periodicamente. Separando estes dois estratos, onde ocorre um gradiente muito acentuado de salinidade, localiza-se o *chemolimnion*, o plano que define a mudança de densidade neste estrato é chamado de *chemocline*;

c.1) Meromixia Crenogênica: é resultante da intrusão de água muito densa proveniente de fontes submersas de água salgada nas zonas profundas das bacias dos lagos. Esta estratificação química estabelece uma camada profunda e mais densa do que a camada subjacente, devido à maior concentração de sais dissolvidos. A meromixia crenogênica consiste numa subclassificação do grupo mais geral de meromixia de interferência externa chamada ectogênica. Um exemplo é o lago Tokke no sul da Noruega (WETZEL, 1993);

c.2) Meromixia Biogênica: que também pode ser chamada de endogênica, provem da acumulação de sais no *monimolimnion*, os quais são geralmente provenientes de matéria orgânica em decomposição, tanto nos sedimentos como ainda em deposição. Esse fenômeno ocorre em alguns lagos do Médio Rio Doce (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008). A acumulação de salinidade no hipólímnio de natureza biogênica pode ser suficiente para que a meromixia persista temporariamente ou de forma permanente.

2.2 EUTROFIZAÇÃO

O aumento da condição trófica em ambientes lacustres é denominado eutrofização (LAMPERT & SOMMER, 1997). Segundo Esteves (2011), como decorrência deste processo, o ecossistema aquático passa da condição de baixa produtividade para uma condição de alta produtividade, ou seja, de oligotrófico ou mesotrófico para eutrófico ou mesmo hipereutrófico.

A eutrofização pode ser natural ou artificial. Quando de origem natural, a eutrofização ocorre lentamente e faz parte de um processo na história geológica de um lago. Trata-se de uma sequência natural de amadurecimento de um lago (WELCH, 1952). A bacia lacustre gradualmente acumula sedimentos, reduzindo o volume devido ao assoreamento. Esta redução no volume da bacia eleva a condição trófica do ambiente aquático, mesmo que não ocorra nenhuma mudança no aporte de nutrientes (LAMPERT & SOMMER, 1997). Quando a eutrofização ocorre artificialmente, ou seja, quando é de origem antrópica, os nutrientes podem ter diferentes origens, tais como: as entradas de águas residuárias domésticas e industriais, a drenagem superficial, a contribuição de águas subterrâneas, fertilizantes utilizados na agricultura e erosão do solo, também são outras causas da eutrofização

(TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008). As alterações antrópicas nos ecossistemas aquáticos interferem no crescimento e na produção primária de macrófitas aquáticas (CAMARGO & BIUDES, 2008). Segundo os autores, a eutrofização artificial promove o crescimento de macrófitas flutuantes, emersas e submersas.

O maior fator de deterioração está, no entanto, associado ao lançamento de efluentes oriundos das atividades urbanas. Os efluentes contêm nitrogênio e fósforo, presentes nas fezes e urina, nos restos de alimentos, nos detergentes e outros subprodutos das atividades antrópicas. O aporte excessivo de nitrogênio (N) e fósforo (P) no ambiente lacustre provoca uma elevação nas populações de algas e outras plantas aquáticas trazendo uma série de problemas (SPERLING, 2005). A importância destes elementos como desencadeadores do processo de eutrofização, resulta da sua atuação como fatores limitantes na produção primária de ecossistemas aquáticos por estarem relacionados com o processo fotossintético. Dependendo da capacidade de assimilação do corpo d'água, as superpopulações de algas podem atingir valores bastante elevados, prejudicando os diversos tipos de uso da água (ESTEVES, 2011).

2.2.1 Consequências da eutrofização artificial

Segundo Sperling (2005), são diversos os efeitos decorrentes da eutrofização artificial nos ecossistemas aquáticos. Esse autor apresenta uma síntese das principais alterações que podem ocorrer quando um ecossistema límnic é submetido ao processo de eutrofização.

- Problemas estéticos e recreacionais causam a redução geral na atração turística devido a:
 - Frequentes florações de algas;
 - Crescimento excessivo da vegetação;
 - Eventuais maus odores;
 - Eventuais mortandades de peixes;
- Condições anaeróbias no hipolímnio: devido à elevação da concentração de bactérias heterotróficas, que se alimentam da matéria orgânica de algas e de outros microrganismos mortos, consumindo oxigênio dissolvido do meio líquido em ambientes produtivos. No fundo do corpo d'água predominam condições anaeróbias, devido à sedimentação da matéria orgânica e à reduzida penetração do oxigênio a estas profundidades, bem como à ausência de

fotossíntese. Com a anaerobiose, predominam condições redutoras, com compostos e elementos na forma reduzida;

- Eventuais mortandades de peixes podem ocorrer em função de:
 - Anaerobiose;
 - Toxicidade por amônia. Em condições de pH elevado a amônia apresenta-se em grande parte na forma livre (NH_3), tóxica aos peixes, ao invés da forma ionizada (NH_4^+), não tóxica;
- Maior dificuldade e aumento nos custos de tratamento da água captada no lago ou reservatório devido à necessidade de:
 - Remoção da própria alga;
 - Remoção de cor;
 - Remoção de sabor e odor;
 - Maior consumo de produtos químicos envolvidos no tratamento da água;
 - Lavagem mais frequentes dos filtros;
- Toxicidade das algas pode levar a rejeição da água para o abastecimento humano e animal em razão da presença de secreções tóxicas de cianobactérias;
- Modificação na biodiversidade e abundância da ictiofauna;
- Redução na navegação e capacidade de transporte, devido ao crescimento excessivo de macrófitas flutuantes que dificultam a navegação;
- Desaparecimento gradual do lago como um todo, em decorrência da eutrofização e do assoreamento, devido ao acúmulo de material orgânico e inorgânico na bacia, fazendo com que o lago se torne cada vez mais raso até vir a desaparecer. A atividade antrópica acelera esse processo abruptamente. Caso medidas preventivas e/ou corretivas não sejam tomadas, o corpo d'água pode desaparecer de forma relativamente rápida.

2.2.2 Nutriente limitante

A existência de vida animal e vegetal depende da composição qualitativa e quantitativa adequada do ambiente para cada organismo componente. O conceito de nutriente limitante é baseado na “Lei do Mínimo” proposta por Liebig, a qual estabelece que a produção de um organismo seja determinada pela abundância da substância que estiver presente no ambiente na menor quantidade relativa à sua necessidade (WETZEL, 2001). Segundo Ruttner (1963), a produtividade é limitada pelo macronutriente presente no menor valor a qualquer momento.

Cada organismo requer certa quantidade de nutrientes, e cada um destes nutrientes devem estar presentes numa certa quantidade. Se o nutriente estiver presente em quantidade mínima, o crescimento irá ser mínimo. O resultado se mantém mesmo se outras substâncias necessárias estiverem presentes em grande quantidade. O rendimento de uma planta ou animal, de acordo com esta lei, é determinado pela disponibilidade da substância necessária que está presente em quantidade mínima, conforme determinado pelas exigências do organismo. Sendo assim, o aumento progressivo desta substância mínima produz um aumento na produção em proporção com a quantidade adicionada até ser atingido o ponto em que alguma outra substância começa a atuar como um fator limitante ao crescimento (WELCH, 1952).

O fósforo tem grande relevância como macronutriente para os seres vivos, a frequente escassez do elemento na forma biologicamente disponível, comparado a outros nutrientes, explica o motivo de o fósforo sempre ser considerado o principal fator limitante da produtividade em muitos ecossistemas continentais. Porém, atualmente, assume-se que o nitrogênio, juntamente com o fósforo, pode regular a produtividade primária aquática na maioria das águas continentais, em regiões tropicais, subtropicais e temperadas (ESTEVES, 2011).

A constituição da biomassa algal é normalmente derivada da chamada relação de Redfield ($C_{106}H_{118}O_{45}N_{16}P$), o que vale dizer que as algas, em média, demandam 16 vezes mais nitrogênio do que fósforo. Sendo assim, Sperling (2000) propõe que as concentrações totais de nitrogênio e de fósforo devem ser divididas pelas suas respectivas massas atômicas (14 e 31), sendo então calculada a razão entre N e P. Se esta for consideravelmente superior a 16 há indicação de que o fósforo seja o nutriente limitante, se for menor, o nutriente limitante passa a ser o nitrogênio. Thomann e Mueller (1987) sugerem que, quando a razão das concentrações de N:P for >10 , o nutriente limitante é o fósforo, ao contrário, quando a razão for <10 , a limitação é por nitrogênio. Segundo Tundisi & Matsumura-Tundisi (2008), concentrações baixas de nitrogênio e fósforo em lagos tropicais muitas vezes produzem baixas razões N:P, o que leva a um florescimento rápido e excessivo de cianofíceas que fixam nitrogênio. É difícil generalizar, ambos os nutrientes N e P ou mesmo outro macronutriente, como por exemplo, o carbono, podem agir como limitantes, dependendo, naturalmente, do ecossistema aquático considerado e de suas inter-relações. A individualidade dos lagos, nesse aspecto, é também muito característica (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

2.2.3 Clorofila-*a*

A clorofila-*a* (CL-*a*) é o pigmento fotossintetizante primário dos organismos fotossintetizantes. A concentração de clorofila-*a* pode ser a base para uma estimativa da quantidade de plâncton ou até mesmo para a sua produção no ambiente lacustre (MARGALEF, 1983). Se o teor de clorofila-*a* de uma amostra de água pode ser medido, e se a clorofila-*a* assim determinada pode ser usada como um índice da capacidade fotossintética, então esta medição pode ser utilizada como um método conveniente de avaliação da produtividade primária no ecossistema aquático (WELCH, 1952).

2.2.4 Índice do Estado Trófico (IET)

O Índice do Estado Trófico tem por finalidade classificar os corpos d'água em diferentes graus de trofia, ou seja, avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes. Porém, vale destacar que, o Índice do Estado Trófico não faz distinção entre ambientes naturalmente eutróficos daqueles eutrofizados artificialmente.

O IET aplicado neste trabalho, foi o índice adotado pela CETESB para a classificação de ambientes lênticos introduzido por Carlson (1977), e modificado por Toledo et al. (1983) que, por meio de análise estatística por regressão, alterou as expressões originais para adequá-las aos ambientes subtropicais. O IET de Carlson (1977) foi novamente modificado por Lamparelli (2004), que propôs novas gamas de classificação, pois, além de ambientes classificados como oligotróficos, mesotróficos e eutróficos, também são registrados ambientes ultra-oligotróficos e hipereutróficos bem como de uma nova classe (supereutrótica). A CETESB normalmente, não considera, no cálculo do IET, a variável transparência (disco de Secchi – Z_{sd}), pois esta é afetada pela elevada turbidez decorrente de material em suspensão, comum em reservatórios e rios do Estado de São Paulo.

No caso de não haver resultados para o fósforo total ou para a clorofila-*a*, o índice é calculado com a variável disponível e considerado equivalente ao IET, devendo, apenas, constar uma observação junto ao resultado, informando que apenas uma das variáveis foi utilizada. Os limites estabelecidos para as diferentes classes de trofia para ambientes lênticos estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3 – Limites para diferentes níveis de estado trófico segundo o sistema de classificação de Carlson modificado por Toledo (1990).

Critério	Estado Trófico	Transparência (m)	Fósforo total (mg/L)	Clorofila <i>a</i> (µg/L)
IET ≤ 24	Ultraoligotrófico	≥ 7,8	≤ 0,006	≤ 0,51
24 < IET ≤ 44	Oligotrófico	7,7 - 2,0	0,007 - 0,026	0,52 - 3,81
44 < IET ≤ 54	Mesotrófico	1,9 - 1,0	0,027 - 0,052	3,82 - 10,34
54 < IET ≤ 74	Eutrófico	0,9 - 0,3	0,053 - 0,211	10,35 - 76,06
IET > 74	Hipereutrófico	< 0,3	> 0,211	> 76,06

Fonte: Lamparelli (2004).

Para a determinação do grau de limitação da produtividade do fitoplâncton, são comparadas as classificações obtidas entre o IET (CL) e o IET (PT). Quando os dois índices classificam o ambiente na mesma classe trófica, o grau de limitação é considerado “normal”. Quando o índice do fósforo classifica o ambiente em uma classe superior àquela obtida pelas concentrações de clorofila-*a*, indicando que há algum fator limitante que reduz a produtividade fitoplanctônica, o grau de limitação é considerado “alto”. Ao contrário, quando as concentrações de clorofila-*a* resultarem em uma classificação superior à obtida pelo fósforo, o grau de limitação é considerado “baixo”, indicando a existência de condições favoráveis para a produtividade primária no ambiente, considerando a disponibilidade dos nutrientes (LAMPARELLI, 2004). Esta autora pesquisou o grau de trofia nos corpos d’água do Estado de São Paulo e identificou que, com a aplicação dos novos índices propostos, há um aumento de ocorrência de concordância entre as classificações dos ambientes estudados por meio das concentrações de clorofila-*a* ou de fósforo total, o que é expresso como grau de limitação “normal”. Com o estabelecimento de classes tróficas equivalentes, podem-se utilizar os resultados dos índices de estado trófico para se avaliar o comportamento de um ecossistema aquático quanto às condições, favoráveis ou não, para o crescimento algal.

2.3 GEOESTATÍSTICA

A Teoria das Variáveis Regionalizadas, também denominada de Geoestatística, foi desenvolvida com base na descrição, modelamento, e no uso da continuidade espacial. Segundo essa teoria, as variáveis que representam um fenômeno regionalizado possuem uma

variação casual no espaço, porém á medida que as mesmas se aproximam, nota-se a existência de uma correlação que reflete a estrutura do fenômeno regionalizado.

A aplicação desta teoria também é comumente conhecida como Geoestatística, cujo desenvolvimento foi apoiado em diversos trabalhos de natureza empírica realizados por pesquisadores nas minas de ouro na África do Sul na década de 50, com destaque para Krige, Sichel, entre outros.

Uma notável diferença entre a Estatística Clássica e a Geoestatística consiste em que, a primeira requer valores das amostras independentes espacialmente, enquanto que, a segunda requer valores das amostras correlacionadas (dependentes) no espaço. Por esta característica, a Geoestatística tem tido grandes aplicações nas Geociências, principalmente para efetuar estimativas e/ou simulações de variáveis em locais não avaliados.

Segundo Matheron (1963), o ponto de partida para o desenvolvimento da Geoestatística foi devido à inabilidade da Estatística Clássica em considerar o aspecto espacial de um fenômeno, que constitui a feição mais importante num estudo geológico.

A metodologia da Geoestatística proporciona extrair de uma aparente aleatoriedade dos dados coletados, as maiores características estruturais do fenômeno natural assim como uma medida de correlação entre os valores, situados numa determinada vizinhança no espaço (HUIJBREGTS, 1975). Uma característica importante dos métodos geoestatísticos é o cálculo dos erros associados aos valores estimados, que possibilitam avaliar a representatividade do modelo usado na estimativa assim como, a malha de amostragem.

Desde os anos 60 até os dias de hoje, a Geoestatística tem contribuído para diversas áreas das Geociências, com destaque para a Pesquisa e Prospecção Mineral, Hidrogeologia, Cartografia e nas Ciências Ambientais.

2.3.1 Função semivariograma

A função semivariograma, que representa basicamente a hipótese intrínseca, é utilizada em Geoestatística para expressar a variabilidade espacial numa direção pré-definida.

O semivariograma constitui-se no gráfico das semivariâncias das diferenças dos valores experimentais situados a intervalos regulares. Em condições estacionárias, o valor médio esperado é constante ou zero, o que reduz o semivariograma á média quadrática das diferenças dos valores experimentais.

Desta forma, para um conjunto de valores experimentais $Z(x)$ e $Z(x_i+h)$, separados pela distância orientada h , define-se o semivariograma experimental pela expressão:

(Eq. 1)

$$C(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(X_i) - z(X_i + h)]^2$$

Onde:

$N(h)$ = número de pares experimentais

h = intervalo regular que separa $z(X_i)$ e $z(X_i + h)$

Desta forma, para a obtenção de um variograma, é suposto que a variável regionalizada tenha um comportamento ligeiramente estacionário, onde os valores esperados, assim como sua covariância espacial, sejam os mesmos por uma determinada área. Assume-se, desse modo, que os valores dentro da área de interesse não apresentam tendência que possam afetar os resultados (LANDIM et. al, 2002).

Esta técnica pode ser utilizada para descrever e modelar padrões espaciais (variografia), prever valores em locais não amostrados (krigagem), obter a incerteza associada a um valor estimado em locais não amostrados (variância da krigagem) e otimizar malhas de amostragem.

2.3.2 Krigagem ordinária

A krigagem pode ser definida como uma técnica geoestatística, fundamentada nas funções aleatórias, cujo objetivo maior é a minimização da variância dos erros das estimativas. Após o modelamento matemático da variabilidade espacial da propriedade sob estudo, pode-se estabelecer a arquitetura para resolução do sistema da matriz de autocorrelação, cuja solução é baseada no método numérico dos mínimos quadrados. Estes procedimentos possibilitam obter os melhores ponderadores das amostras situadas em uma determinada vizinhança com relação ao local a ser estimado. As estimativas, assim como a variância do erro podem ser calculadas para blocos, painéis e pontos, com base na função de correlação espacial (GOOVAERTS, 1997). Ainda segundo o autor, a técnica de estimativa da krigagem pode ser sinteticamente assim expressa:

Todas as técnicas da krigagem têm o objetivo de minimizar a variância do erro da estimativa $\sigma_E^2(u)$ sob as condições de limitar o viés da estimativa, isto é,

(Eq. 2)

$$\begin{aligned}\sigma^2_E(u) &= \text{Var} \{Z^*(u) - Z(u)\} \\ E\{Z^*(u) - Z(u)\} &= 0\end{aligned}$$

A krigagem varia dependendo do modelo adotado para a função randômica, tendo em vista o emprego da função de correlação espacial (semivariograma). A krigagem arquitetada segundo a estrutura dos mínimos quadrados leva em consideração a distância das amostras ao ponto a ser estimado, a redundância da amostragem e a função de variabilidade espacial pré-estabelecida $Z(u)$ em si. A RF $Z(u)$ é geralmente decomposta numa componente residual $R(u)$ e uma componente de tendência $m(u)$:

(Eq. 3)

$$Z(u) = m(u) + R(u)$$

A componente residual é modelada como estacionária RF com média zero e covariância $C_R(h)$:

Eq. 4)

$$\begin{aligned}E\{R(u)\} &= 0 \\ \text{Cov} \{R(u), R(u+h)\} &= E \{R(u) \cdot R(u+h)\} = C_R(h)\end{aligned}$$

O valor esperado da RV Z na localização u é o valor da componente de tendência neste local:

(Eq. 5)

$$E\{Z(u)\} = m(u)$$

A krigagem simples (SK) considera a média $m(u)$ conhecida e constante ao longo da área de estudo A :

(Eq. 6)

$$M(u) = m, \text{ conhecida } \forall u \in A$$

Krigagem (KO) considera as flutuações locais da média, limitando o domínio de estacionariedade da média em uma vizinhança $W(u)$:

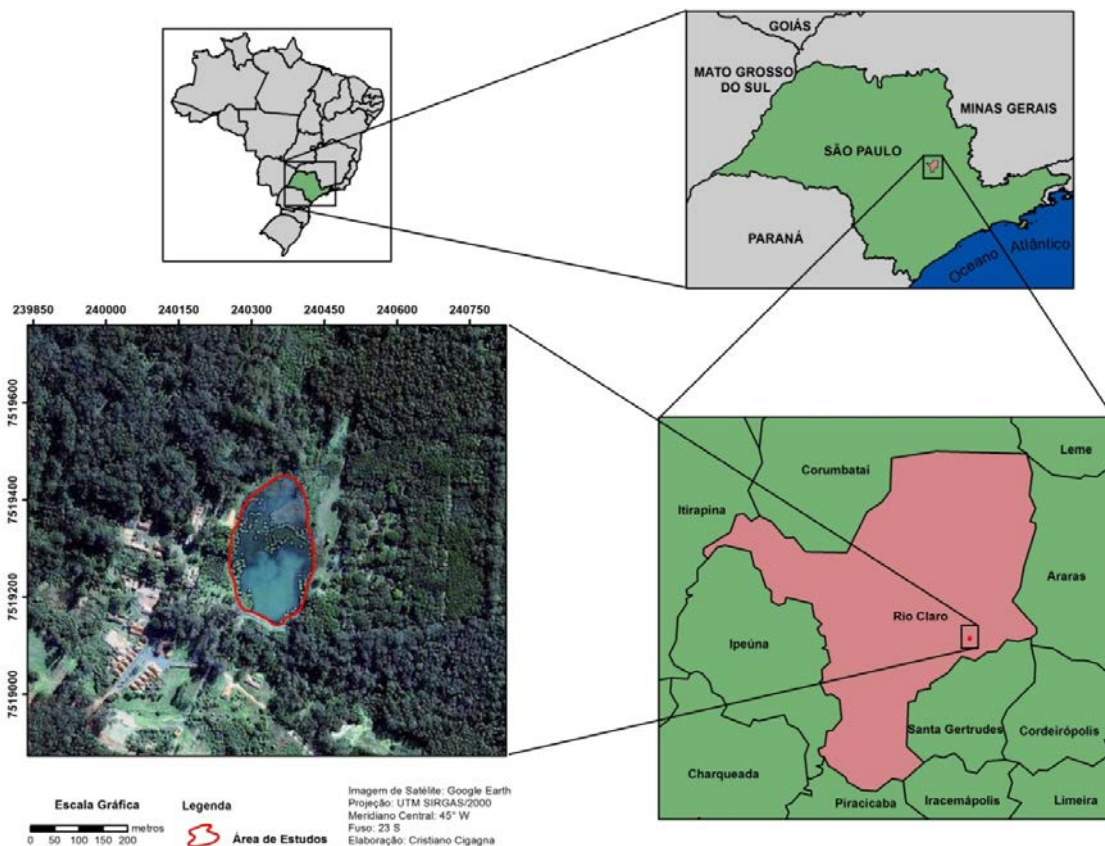
(Eq. 7)

$$m(u') = \text{constante desconhecida } \forall u' \in W(u)$$

CAPÍTULO 3 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

A área selecionada para o desenvolvimento da pesquisa foi o reservatório central da Floresta Estadual “Edmundo Navarro de Andrade” (FEENA), a qual está situada a leste da área urbana do município de Rio Claro (SP), distando 175 km a noroeste da Capital, com acesso rodoviário por meio do sistema Anhanguera-Bandeirantes e rodovia Washington Luiz (SP-310). As coordenadas UTM (*Universal Transverse Mercator*) que abrangem a área de estudos são: 240258 – 240442m E e 7519137 – 7519380m S, zona 23K, datum SIRGAS/2000.

Figura 3 – Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A área ocupada na atualidade pela Floresta Estadual “Edmundo Navarro de Andrade” (FEENA), começou a se delinear em 1909, mediante a aquisição de terras pela Cia. Paulista de Estradas de Ferro dando origem ao Horto Florestal de Rio Claro.

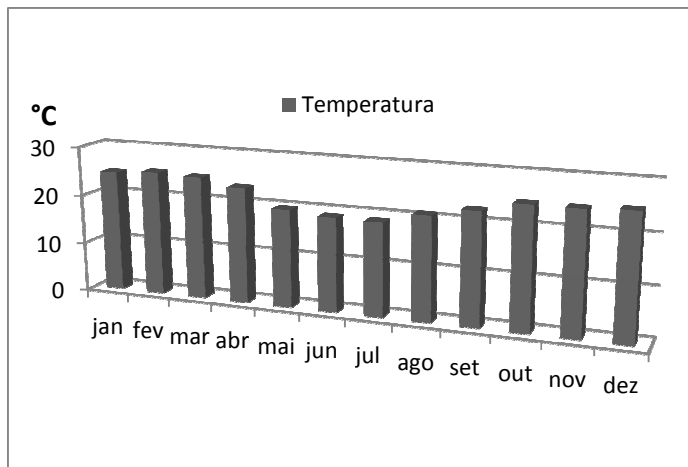
Em 11 de Junho de 2002, por meio do Decreto n.º 46.819, o Horto Florestal “Edmundo Navarro de Andrade” foi transformado em Floresta Estadual “Edmundo Navarro de Andrade”, Uma Unidade de Conservação (UC), pertencente ao grupo das Unidades de Uso Sustentável, prevista na Lei Federal n.º 9.985/2000, sob a administração do Instituto Florestal, órgão da Secretaria do Estado de Meio Ambiente (PLANO DE MANEJO DA FEENA, 2005).

Dentro da paisagem atual, a FEENA está compreendida em uma área de 2.230,5358 hectares, com um perímetro de 27.2 km, dos quais cerca de 8 km em divisa com a malha urbana do município de Rio Claro, cuja composição florestal é representada fundamentalmente por espécies do gênero *eucalyptus* com talhões que datam do início do século XX, coexistindo com 16 áreas de visitação pública, que perfazem 434.863,39 m² (MARTINI, 2004). A FEENA não é apenas um significativo patrimônio histórico-cultural, mas também uma ampla cobertura florestal propícia à conservação da diversidade da flora e fauna regional, e enriquecimento paisagístico local.

3.1 Climatologia

O clima da área de estudos pode ser considerado tropical com duas estações definidas - Cwa na classificação de Köppen, ou seja, w: seca no inverno, a: mês mais quente com temperatura superior a 22° C, a amplitude térmica diária é maior do que a amplitude anual (TROPMAIR, 2012). A área também pode ser classificada dentro de um clima tropical alternadamente seco e úmido, controlado por massas tropicais e equatoriais, que predominam em mais de 50% do ano (MONTEIRO, 1973). Assim, podem ser definidas estações alternadamente chuvosas (verão, com temperatura máxima de 38° C e média de 25° C) e seca (inverno, com temperatura média do mês mais frio variando entre 3° C e 18° C). As temperaturas médias anuais situam-se entre 18,1 e 20,9° C (TROPMAIR, 1978). A temperatura média do mês mais frio é de 18,88° C e ocorre em julho, enquanto que a média do mês com temperaturas mais elevadas é de 25,22° C, em fevereiro. Os ventos dominantes provêm dos quadrantes S - 28% e SE - 34% (COTTAS, 1983). As altitudes do município de Rio Claro variam entre 550m e 750m (TROPMAIR, 1978).

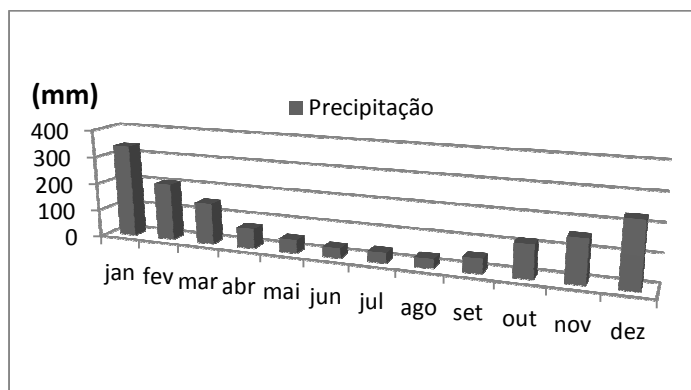
Figura 4 – Valores médios das variações de temperatura nos últimos 13 anos na cidade de Rio Claro/SP.



Fonte: CEAPLA - Unesp Rio Claro-SP (2013), adaptado pelo autor.

Quanto à distribuição anual do regime das chuvas, ocorre um período seco entre abril e setembro, com precipitação média de 34,2 a 72,3 mm, representando 18,99% da precipitação anual; um período chuvoso, de outubro a março, com 81,01% das precipitações anuais, e com a média variando entre 119,3 mm no mês de outubro, a 338,6 mm no mês de janeiro. Nos últimos 13 anos o índice pluviométrico variou entre 1186,4 a 1896,7 mm/ano.

Figura 5 – Valores médios das precipitações pluviométricas nos últimos 13 anos na cidade de Rio Claro/SP.



Fonte: CEAPLA - Unesp Rio Claro-SP (2013), adaptado pelo autor.

3.2 Hidrografia

A FEENA está inserida na sub-bacia do Ribeirão Claro que por sua vez, insere-se na bacia hidrográfica do rio Corumbataí. O principal sistema de drenagem da região é representado pelo Rio Corumbataí e seus afluentes: Ribeirão Claro, Cabeça e Passa Cinco. Esses rios nascem nas encostas da cuesta e se deslocam para sul, desaguardo no Rio Piracicaba que, correndo no sentido oeste, leva suas águas para o Rio Tietê (COTTAS, 1983). Os principais tributários do Ribeirão Claro que cortam a FEENA são o Córrego Lavapés, Córrego Santo Antônio e o Córrego Ibitinga. O Ribeirão Claro é responsável por parte do abastecimento de água do município de Rio Claro. Este rio percorre a extremidade oeste da FEENA no sentido norte-sul tendo como afluente esquerdo o Córrego Santo Antônio e como afluente direito o Córrego Lavapés.

O reservatório central é resultado do represamento das águas do Córrego Ibitinga na porção final de seu curso, dentro dos limites da FEENA. As águas abastecem o reservatório por sua extremidade norte, o vertedouro encontra-se ao sul, drenando as águas no Córrego Santo Antônio. As nascentes do Córrego Ibitinga estão localizadas fora dos limites da UC, em áreas onde predominam o cultivo de monoculturas, em especial cana de açúcar, e algumas pequenas propriedades rurais.

3.3 Geologia regional

O município de Rio Claro localiza-se, geologicamente, no setor paulista do flanco nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná, no compartimento de relevo do Estado de São Paulo denominado Depressão Periférica Paulista, representada por rochas sedimentares e vulcânicas das eras Paleozóica (Grupo Itararé, formações Tatuí, Irati e Corumbataí), Mesozóica (Formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral) e Cenozóica (Formação Rio Claro e depósitos recentes), (ZAINE, 1994). No contexto geomorfológico, a Depressão Periférica Paulista, corresponde à área deprimida além das cuestas que delimitam a borda oriental dos derrames basálticos no Estado de São Paulo. Os limites do município de Rio Claro se estendem até o sopé das cuestas. Para sul, em direção ao centro da Depressão Periférica, a maior parte do município encontra-se em terrenos de topografia mais suave, com interflúvios subtabulares, normalmente capeados por sedimentos arenosos e de vertentes convexas no alto e côncavas no sopé, as altitudes de tais interflúvios, oscilam entre 550 e 650 metros (COTTAS, 1983).

A análise pedológica revela que existem três grandes grupos de solos predominantes na Depressão Periférica: o Podzólico Vermelho Amarelo Laras, o Podzólico com cascalho e o Latossolo Vermelho Amarelo fase arenosa. Os arenitos que forneceram o material de origem para estes solos são responsáveis pela textura arenosa, pelo predomínio de macroporos e pela consequente rápida infiltração, percolação e lixiviação, resultando em solos ácidos com pH variando entre 4,5 e 5,5 (TROPMAIR, 2004).

3.4 Geologia local

A UC está localizada em uma área onde ocorrem três principais tipos de formações geológicas (PLANO DE MANEJO DA FEENA, 2005): Formação Corumbataí (pertencente ao grupo Passa Dois), Formação Serra Geral (grupo São Bento) e a Formação Rio Claro (depósitos cenozóicos). Segundo Zaine (1994), na área predominam as litologias vinculadas as intrusivas básicas, representadas por "sills de diabásio" da era mesozóica que encontram-se no setor E, NE e N, entre as cotas de 630 e 656 metros, ocorrem litologias vinculadas a Formação Rio Claro, datada do cenozóico, e entre 568 e 650 metros ocorrem os argilitos da Formação Corumbataí de idade Permiana; e ao longo do canal do Ribeirão Claro destaca-se a presença contínua de depósitos aluvionares quaternários constituídos de areias e argilas. (figura 6 – Mapa Geológico da FEENA).

3.4.1 Formação Corumbataí

A Formação Corumbataí é definida como sendo a unidade superior do Grupo Passa Dois, no Estado de São Paulo, com área de ocorrência bastante extensa no vale do Rio Corumbataí. Litologicamente é constituída por argilitos, siltitos e folhelhos arroxeados e marrom-avermelhados, às vezes esverdeados, com intercalações de arenitos, leitões carbonáticos e coquinas. Seus espessos e contínuos pacotes lamíticos são alvos de intensa atividade de mineração, sendo cada vez mais explorada para fabricação de cerâmica vermelha (ZAINÉ, 1994.). A espessura da formação Corumbataí, junto a sua faixa aflorante, em território paulista, é da ordem de 130 m. Na região de Rio Claro é admitida uma espessura máxima de 130 m, adelgçando para norte, não ultrapassando 60 m nas proximidades de Leme e Pirassununga (LANDIM, 1970).

3.4.2 Formação Serra Geral

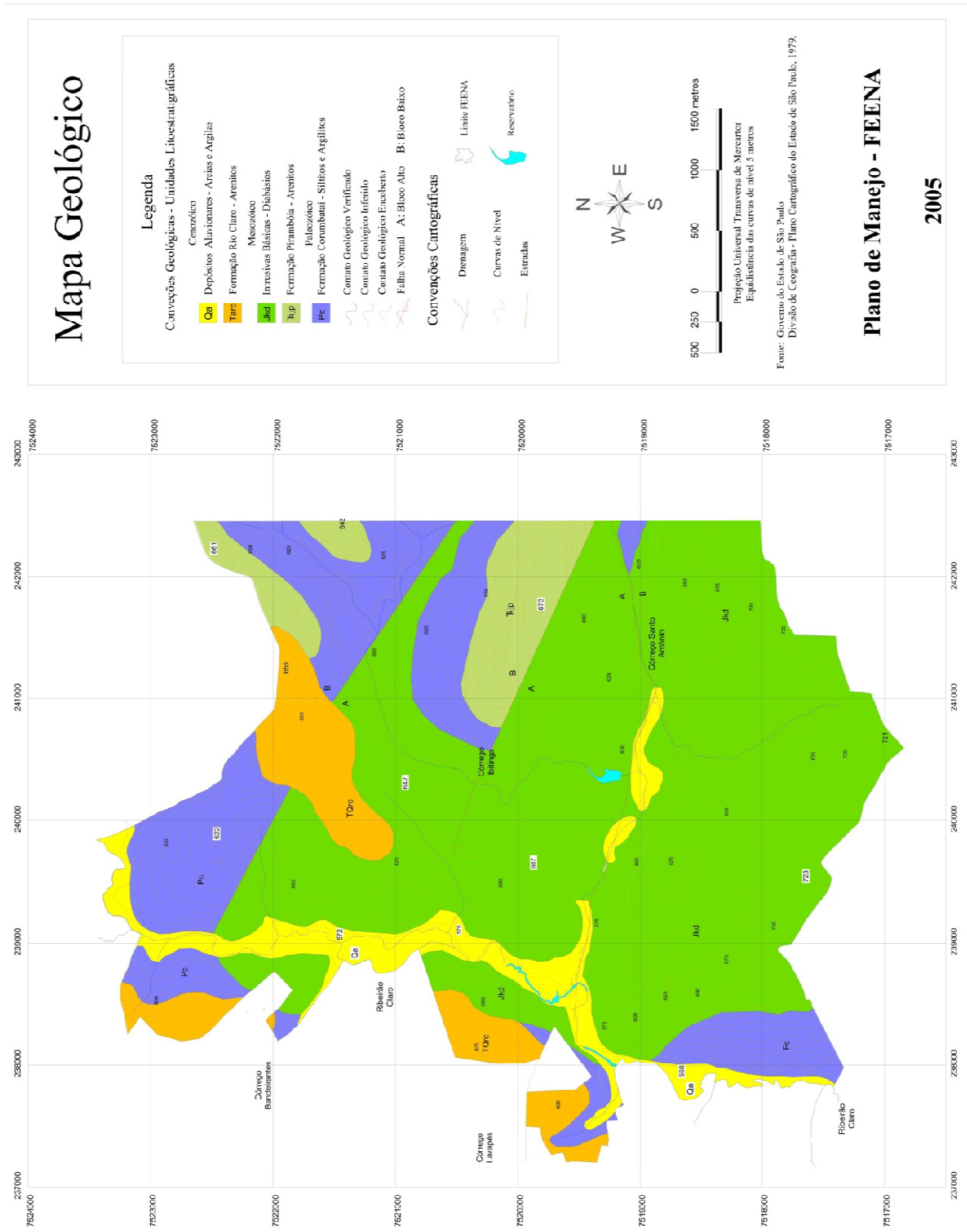
As rochas da Formação Serra Geral repousam sobre a Formação Botucatu em discordância. Tratam-se de basaltos toleíticos de textura afanítica e cores cinza-escuro e preto (COTTAS, 1983). Estão incorporadas aqui as rochas intrusivas associadas ao evento do vulcanismo da Bacia do Paraná, constituídas por diques e expressivas soleiras de diabásio. Na Folha Rio Claro, estão presentes apenas *sills* e diques de diabásio, principalmente, na Serra de Santana, na FEENA e nos leitos dos rios Corumbataí e Passa Cinco, com importância na caracterização do relevo, tanto sustentando feições mais elevadas, como atuando como nível de base na média Bacia do Rio Corumbataí (ZAINE, 1994).

3.4.3 Formação Rio Claro

A Formação Rio Claro, na Folha Rio Claro, constitui-se no registro mais significativo e, provavelmente, mais antigo do Cenozóico, dentro da Depressão Periférica Paulista (ZAINE, 1994). A espessura máxima registrada é da ordem de 30 m e a unidade capeia os principais interflúvios, formando extensos tabuleiros. Em dados de sondagens, realizadas em indústrias do bairro Distrito Industrial para monitoramento do lençol freático, Cotas (1983) verificou espessuras da ordem de 25 a 30 m, com o nível de água subterrânea, estando sempre na base da Formação Rio Claro, ou seja, no contato com a Formação Corumbataí. Os litotipos mais frequentes da unidade são arenitos de cores variadas, esbranquiçados, amarelados, avermelhados e arroxeados, de granulometria predominantemente fina a média, variando para frações grossas a conglomeráticas, com níveis bem selecionados e friáveis.

No limite leste, próximo ao *Campus* da Unesp e da FEENA, esta unidade cenozóica recobre, em alguns pontos, corpos de diabásio que ali ocorrem penetrados na Formação Corumbataí. A influência destas rochas básicas pode ser observada no solo de alteração da Formação Rio Claro, que apresenta uma coloração mais escura (latossolo vermelho-escuro) e, também pela presença mais marcante de lateritas ferruginosas na base do solo coluvionar. Também de grande importância na definição deste cenário, estão corpos intrusivos como os do morro da FEENA e de Santa Gertrudes, hoje com destaque discreto no relevo, em cotas de 650 a 700 m (ZAINE, 1994).

Figura 6 – Mapa Geológico da FEENA.



Fonte: Plano de Manejo da FEENA (2005).

CAPÍTULO 4 - MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados apresentados neste trabalho foram coletados no reservatório central da Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade (FEENA), na cidade Rio Claro-SP. A autorização para o desenvolvimento desta pesquisa foi concedida pelo Instituto Florestal – Secretaria do Meio Ambiente (Processo SMA nº 260108-006.744/2012).

Em uma primeira abordagem, foram obtidos dados de duzentos e setenta e dois pontos destinados ao levantamento batimétrico do reservatório. Na segunda abordagem, outros vinte e sete pontos de amostragem foram distribuídos homogeneamente sobre o espelho d'água, com o objetivo de caracterizar a dinâmica das variáveis: clorofila-*a*, fósforo total e nitrogênio total. Realizou-se a amostragem em duas profundidades, superfície e fundo. Nesta última, as coletas foram conduzidas em duas campanhas, a primeira durante o período de estiagem, ou seja, em setembro de 2012 e a segunda durante a estação das chuvas (janeiro de 2013). Foram realizadas 162 análises laboratoriais na primeira campanha (estiagem) e outras 162 análises na segunda campanha (chuvas), totalizando 324 análises.

O ponto de maior profundidade do reservatório foi escolhido para o monitoramento da variabilidade dos parâmetros de Temperatura, Oxigênio dissolvido, pH, Condutividade elétrica, Sólidos Sedimentáveis, Material em Suspensão e Transparência da água, entre os meses de setembro de 2012 e julho de 2013. Além do monitoramento sazonal, realizou-se o monitoramento nictemeral das variáveis no dia 24/01/2013.

Do ponto de vista operacional, os trabalhos de campo foram de difícil realização, principalmente quanto ao deslocamento da embarcação durante o levantamento batimétrico e coleta das amostras, devido à presença de macrófitas flutuantes e submersas, que predominam em boa parte do corpo d'água, dificultando a mobilidade.

4.1 BATIMETRIA

A metodologia adotada para este levantamento batimétrico justifica-se, devido à profundidade reduzida do reservatório e a grande quantidade de macrófitas flutuantes e submersas presentes no ambiente. O uso de um ecobatímetro foi descartado em virtude das dificuldades operacionais inerentes ao local, que poderiam ocasionar possíveis erros de leitura dos dados no equipamento. Para Sperling (1999), um dos aspectos mais complexos no levantamento batimétrico é a possibilidade de interferência da vegetação de fundo e dos sedimentos. Pode ocorrer que o resultado fornecido pelo ecobatímetro não se refira à

profundidade real do lago naquele ponto. Esta influência é ainda maior em águas rasas, onde a penetração de radiação solar favorece o crescimento mais intenso de vegetação aquática subsuperficial. Considera-se, portanto que os ecobatímetros são pouco precisos em ambientes lacustres com profundidades inferiores a dois metros.

O levantamento dos dados batimétricos do reservatório central da FEENA, foi realizado no dia 03/09/2012, por meio de medições diretas. Utilizou-se uma trena métrica de fibra de vidro da marca *Western*, com uma esfera de chumbo presa em sua extremidade, para a determinação da profundidade do reservatório em cada ponto.

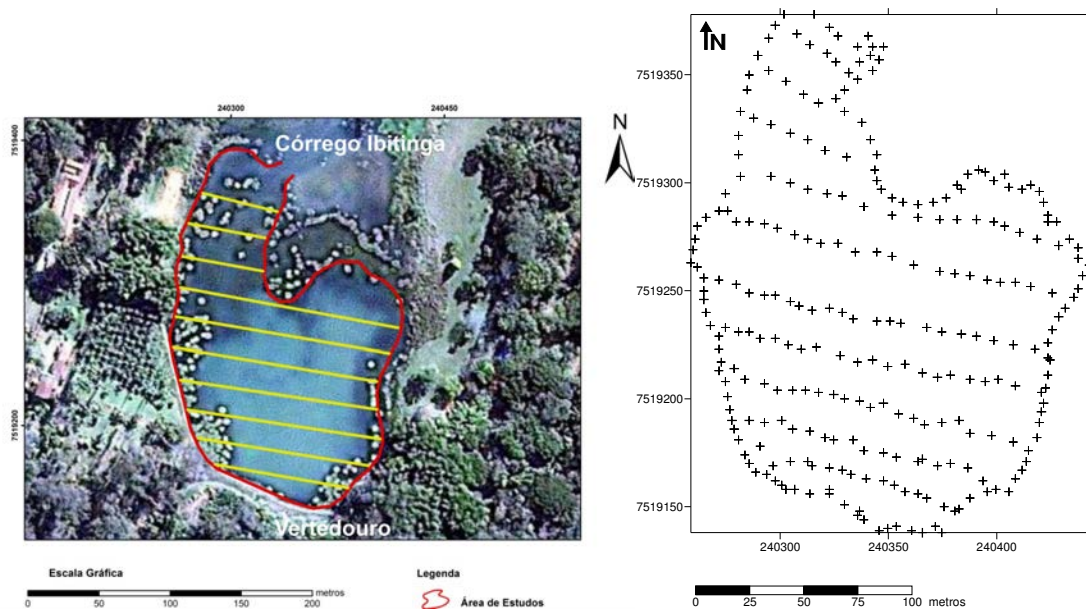
A aquisição das coordenadas dos pontos onde a profundidade foi aferida se deu por meio de um equipamento de GPS *Garmin*, modelo GPS12. Neste caso, o sistema de projeção UTM (*Universal Transverse Mercator*) e o *datum* SIRGAS/2000, foram utilizados.

A carta batimétrica foi confeccionada por meio do *software Surfer 8[®]* (*Golden Software Inc.*) e para isso, duzentos e setenta e um pontos foram georreferenciados, delineando o contorno do reservatório e representando as diversas profundidades do ambiente. Os dados originais do levantamento batimétrico são apresentados no APÊNDICE-C.

Para delinear o contorno do reservatório, as coordenadas de cada ponto foram adquiridas a cada cinco metros, percorrendo toda a margem alcançada pela lâmina d'água. Foram estabelecidos cento e vinte e seis pontos e para cada ponto georreferenciado, foi atribuído o valor de profundidade zero.

Foram estabelecidos dez transectos sobre o espelho d'água (Figura 7) no sentido leste-oeste do reservatório, partindo de um ponto de profundidade zero de uma margem, e terminando na outra margem, em outro ponto de profundidade zero, mantendo o alinhamento do transecto. Os transectos receberam, previamente, marcações equidistantes em cinco metros para a orientação durante a coleta dos dados. Em cada marcação do transecto, foi determinada a profundidade do reservatório e obtidas às coordenadas UTM do ponto.

Figura 7 - Posicionamento dos transectos e localização dos pontos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o deslocamento e transporte dos equipamentos durante a coleta dos dados, utilizou-se uma pequena embarcação a remo. A embarcação percorreu todos os transectos realizando paradas a cada cinco metros. No ponto marcado, a trena foi submergida até que a esfera de chumbo tocasse o fundo do reservatório e a leitura da profundidade pudesse ser observada na superfície da lâmina d'água, as coordenadas do ponto foram adquiridas e registradas em uma ficha de campo juntamente com dado de profundidade.

Figura 8 - Coleta de dados durante o levantamento batimétrico do reservatório da FEENA.



Fonte: O autor.

Os dados de profundidade foram inseridos em uma planilha para serem processados no software *VARIOWIN*[®] 2.21 de autoria de (PANATIER, 1996). O *VARIOWIN*[®] é composto por três módulos, *Prevar2D*, *Vario2D* e *Model*. Com o programa *Prevar2D* foi criado um arquivo com extensão PCF, (*Pair Comparison File*) contendo todas as possíveis distâncias entre os pontos de observação dos dados. Em seguida, o *Vario2D* foi utilizado para o cálculo do semivariograma experimental dos dados de profundidade. As direções principais foram de

90° e 0° por apresentarem, respectivamente, maior e menor continuidade dos dados, utilizando-se uma tolerância angular de 45°. A modelagem foi feita acessando-se o programa *Model* do *software VARIOWIN*[®]. O modelo esférico foi ajustado com os seguintes parâmetros: *Nugget* (0,03), *Range* (73,3), *Sill* (0,42) e *Anisotropia* (0,87).

A carta batimétrica 3D foi confeccionada por meio do *software Surfer 8*[®], utilizando-se os dados de profundidade coletados no campo e os parâmetros obtidos na modelagem do semivariograma, adotando-se a Krigagem ordinária como método de interpolação dos dados.

4.2 PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS PRIMÁRIOS

4.2.1 Área (A) e Volume (V)

Os cálculos dos parâmetros morfométricos primários de área e volume do reservatório, foram realizados por meio de sub-rotinas do *software Surfer 8*[®] utilizando-se a função *gridvolume*. O arquivo utilizado para os cálculos foi o *grid* gerado a partir da interpolação dos dados batimétricos.

4.2.2 Profundidade máxima (Z_{\max})

A profundidade máxima do reservatório foi determinada por meio de medições diretas nos trabalhos de campo durante o levantamento batimétrico utilizando-se uma trena métrica.

4.2.3 Perímetro (m)

A medida do contorno do reservatório, ou seja, seu perímetro foi realizada no campo durante o levantamento batimétrico. Foram georreferenciados cento e vinte e seis pontos equidistantes em cinco metros cobrindo todo o contorno do reservatório alcançado pela lâmina d'água.

4.2.4 Comprimento máximo (L_{\max})

O comprimento máximo do reservatório foi obtido no campo traçando-se uma linha unindo os dois pontos da margem mais afastados entre si, sem cruzar terras, mas podendo atravessar ilhas (SPERLING, 1999).

4.2.5 Largura máxima (L_{\max})

A largura máxima foi obtida traçando-se uma linha perpendicular ao comprimento máximo, conectando os dois pontos mais afastados da margem e podendo cruzar ilhas (SPERLING, 1999).

4.3 PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS SECUNDÁRIOS

4.3.1 Profundidade média (Z_{med})

A profundidade média do reservatório foi dada pela relação entre o volume d'água acumulado e a superfície do espelho d'água (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

(Eq. 8)

$$Z_{\text{med}} = \frac{\text{Volume}}{\text{Área}}$$

4.3.2 Profundidade relativa (Z_r)

O cálculo de Z_r é a razão da profundidade máxima como percentagem do diâmetro médio do lago à superfície, expressa em percentagem (WETZEL, 1993).

(Eq. 9)

$$Z_r (\%) = \frac{50 \cdot Z_{\text{max}} \cdot \sqrt{\pi}}{\sqrt{A_o}}$$

Onde:

Z_{max} = Profundidade máxima (em metros)

A_o = Área superficial (m^2)

4.3.3 Desenvolvimento do perímetro (D_p)

O desenvolvimento do perímetro, também chamado de desenvolvimento da margem, consiste na relação entre o perímetro do lago e a circunferência de um círculo que possua a mesma área do lago (SPERLING, 1999).

(Eq. 10)

$$Dp = \text{Perímetro} / (2 \cdot \pi \cdot R) = \frac{0,28 \cdot P}{\sqrt{A}}$$

Onde:

P = Perímetro (em metros)

A = Área superficial (m²)

4.3.4 Desenvolvimento do volume (D_v)

O desenvolvimento do volume é a razão entre o volume do lago e o volume de um cone que tenha área igual à do lago e altura equivalente à sua profundidade máxima (SPERLING, 1999).

(Eq. 11)

$$Dv = \frac{V}{V_{\text{cone}}} = V / (1/3 \cdot A \cdot Z_{\text{max}}) = 3 \cdot \frac{V}{A} \cdot Z_{\text{max}} = 3 \cdot \frac{Z_{\text{med}}}{Z_{\text{max}}}$$

Onde:

V = Volume do lago

A = Área do lago

V_{cone} = Volume do coneZ_{max} = Profundidade máximaZ_{med} = Profundidade média

Zmed = Profundidade média

4.4 PARÂMETROS HIDROLÓGICOS

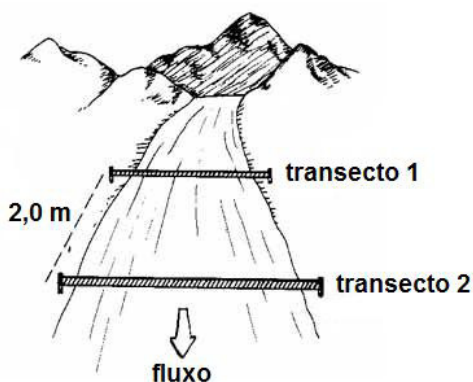
4.4.1 Vazão

A vazão ou descarga é conceituada como sendo o volume de água que passa por uma determinada seção, de um rio ou canal, num determinado intervalo de tempo. Normalmente é expressa em metros cúbicos por segundo (m³/s) (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1997).

A vazão do reservatório foi determinada aferindo-se a descarga do córrego a jusante do vertedouro do reservatório. Em um trecho retilíneo do córrego, denominado distância (L),

foram estabelecidos dois transectos espaçados em dois metros (Figura 9). Cada transecto recebeu marcações equidistantes em vinte centímetros, em cada ponto marcado foi aferida a profundidade do córrego utilizando-se uma trena métrica.

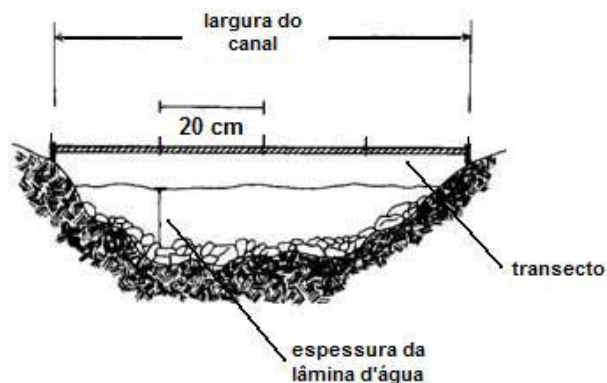
Figura 9 – Representação dos transectos no trecho do córrego a jusante.



Fonte: Environmental Protection Agency (1997), adaptado pelo autor.

Multiplicando-se a largura do córrego pela média das profundidades, foi calculada a área da seção transversal para cada um dos transectos (Figura 10). O cálculo da área média do trecho (A) é a soma da área de cada uma das seções transversais dividido por dois.

Figura 10 – Perfil do transecto.



Fonte: Environmental Protection Agency (1997), adaptado pelo autor.

Para determinar a velocidade superficial de escoamento (T), cronometrou-se o tempo que o flutuador levou para percorrer o trecho de dois metros entre os transectos um e dois, o procedimento foi repetido cinco vezes. O resultado de (T), foi a média aritmética do número de repetições. Para o cálculo da vazão utilizou-se a seguinte equação:

(Eq. 12)

$$Vazão \text{ m}^3/\text{s} = \frac{A \cdot L \cdot C}{T}$$

Onde:

A = área média do trecho

L = distância entre os transectos

C = fator de correção (0,8 para rios com fundo pedregoso ou 0,9 para rios com fundo barrento)

T = tempo, em segundos, que o flutuador leva para percorrer o comprimento (L).

O cálculo da vazão do reservatório foi realizado, respectivamente nos períodos de estiagem e chuvas.

4.4.2 Tempo de retenção hidráulica

Para o cálculo do tempo de retenção hidráulica ou tempo de residência, que é o tempo necessário para que toda a água do reservatório seja substituída (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008). Aplicou-se a seguinte equação:

(Eq. 13)

$$T = \frac{V}{Q}$$

Onde:

T = tempo de retenção (em dias)

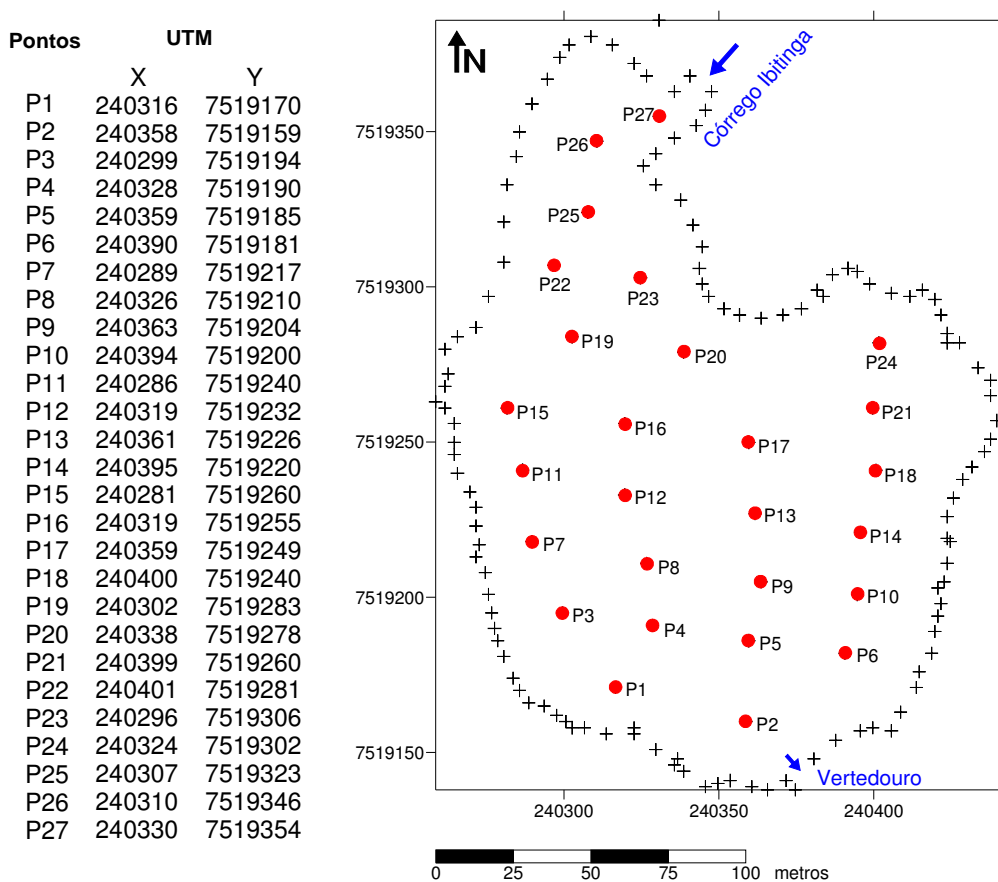
V = volume do reservatório (m³)

Q = vazão do reservatório (m³/s) multiplicado por 86.400s.

4.5 DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE COLETA E PROCEDIMENTOS DE AMOSTRAGEM

Foram estabelecidos vinte e sete pontos para a amostragem sistemática das variáveis limnológicas no reservatório distribuídos em uma malha regular com vistas a uma adequada representação dos parâmetros analisados na área estudada. Cada ponto foi georreferenciado e identificado, partindo do ponto de coleta número um (P1), localizado na parte sul do reservatório próximo ao vertedouro, até o ponto de coleta número vinte e sete (P27), localizado na extremidade norte próximo ao Córrego Ibitinga, afluente do reservatório. Após análise dos dados e modelagem variográfica, os teores obtidos para os 27 pontos foram interpolados utilizando-se o *software Surfer 8*[®], adotando-se a Krigagem ordinária como método de interpolação.

Figura 11 - Localização dos 27 pontos de amostragem no reservatório da FEENA.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As coletas das amostras foram realizadas no período de estiagem (setembro de 2012) e chuvas (janeiro de 2013), em duas profundidades, na superfície e fundo do reservatório. Para efetuar a amostragem em diferentes profundidades foi utilizada uma garrafa do tipo Van Dorn horizontal, da marca *Wildco*, modelo 1120, com capacidade de armazenamento de 2,2 litros.

Figura 12 - Procedimento de amostragem utilizando garrafa do tipo Van Dorn.



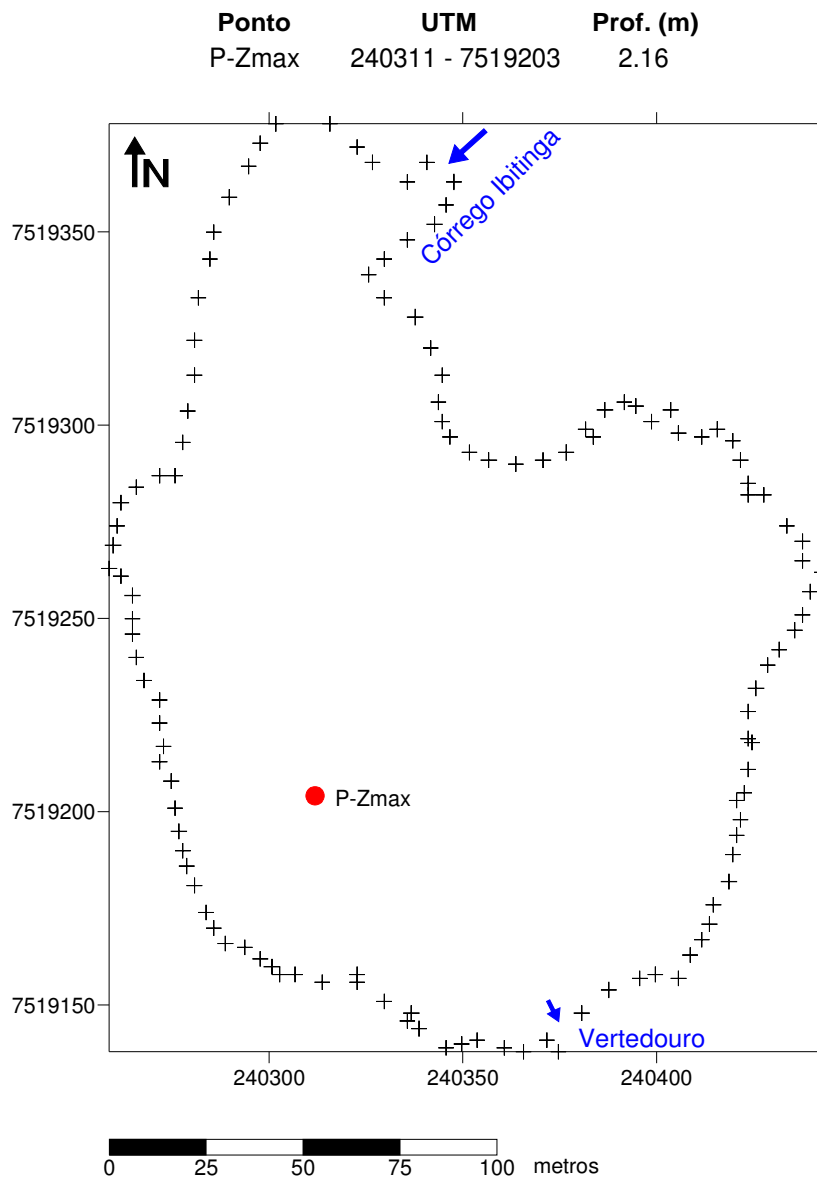
Fonte: O autor.

As amostras coletadas foram acondicionadas em garrafas plásticas foscas com capacidade de 500 ml devidamente identificadas e armazenadas em uma caixa térmica contendo gelo artificial reutilizável para a preservação das amostras. Em seguida, as amostras foram transportadas até o laboratório de limnologia do Departamento de Ecologia do Instituto de Biociências da Unesp *Campus* de Rio Claro, onde foram realizadas as determinações de clorofila-*a*, fósforo total e nitrogênio total. Os dados originais das variáveis estudadas na superfície e fundo do reservatório juntamente com as coordenadas UTM dos pontos, são apresentados no APÊNDICE-C.

O ponto de maior profundidade do reservatório ($P-Z_{max}$), também chamado de ponto limnológico, foi escolhido para a realização do monitoramento do perfil de variação nictemeral e sazonal das variáveis de Temperatura, Oxigênio dissolvido, pH, Condutividade elétrica, Sólidos Sedimentáveis, Sólidos Totais Suspensos e Transparência da água. Com o objetivo de determinar a variabilidade durante um período sazonal, realizou-se o monitoramento nos meses de setembro e novembro de 2012 e janeiro, março, maio e julho de 2013. Além disso, o mesmo monitoramento foi aplicado para a determinação da variação

nictemeral das variáveis, ou seja, a variação diária. A análise nictemeral foi realizada no dia 24/01/2013. O primeiro monitoramento foi realizado às 7h00, em seguida às 10h00, 12h00, 15h00, 17h00 e 19h00.

Figura 13 – Localização do ponto de profundidade máxima no reservatório (P-Zmax).



Fonte: Elaborado pelo autor.

As amostras foram coletadas na superfície e a cada trinta centímetros de profundidade, até o fundo do reservatório. O perfil das variáveis Temperatura, Oxigênio dissolvido, pH,

Condutividade elétrica e Transparência da água foram determinados *in situ*. As análises de Sólidos Sedimentáveis e Material em Suspensão foram realizadas no LABIDRO - Laboratório de Isótopos e Hidroquímica do Departamento de Petrologia e Metalogenia (DPM) do Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE) da (Unesp) - *Campus* de Rio Claro.

4.6 VARIÁVEIS FÍSICAS E QUÍMICAS

4.6.1 Temperatura

A temperatura foi determinada no campo, com 0,1 °C de precisão, por meio de termômetro digital de imersão.

4.6.2 Oxigênio dissolvido

As medições de OD foram realizadas no campo por meio de um oxímetro da marca *Hanna*, modelo HI-9146

4.6.3 pH

O pH foi medido potenciométricamente nos trabalhos de campo utilizando-se um pHmetro da marca *Digimed*, modelo DM-LP.

4.6.4 Condutividade

As medidas de condutividade foram tomadas no campo com um condutivímetro da marca *Analion*, modelo C-702.

4.6.5 Transparência

As medições de transparência da água foram realizadas utilizando-se um disco de Secchi e expressas em metros (m). Foi utilizado um disco de 20 cm de diâmetro com quadrantes intercalados em preto e branco (Figura 14). O procedimento de medida foi realizado mergulhando-se o disco no lado sombreado pelo barco, por meio de uma trena métrica. As leituras foram feitas em duas etapas, submergindo-se o disco até a profundidade

do seu desaparecimento e anotando-se a profundidade, baixando-se o disco mais alguns centímetros e suspendendo vagarosamente até o ressurgimento obtendo-se uma segunda leitura de profundidade. A média aritmética das duas medidas corresponde à profundidade do disco de Secchi (Z_{sd}). A profundidade de desaparecimento do disco de Secchi corresponde àquela profundidade na qual a radiação de 400 a 740 nm, portanto o espectro visível, refletida do disco não é mais sensível ao olho humano (ESTEVES, 2011). Todas as leituras foram tomadas entre o período de 10h00 e 12h00 nos meses de setembro e novembro de 2012 e janeiro, março, maio e julho de 2013.

Figura 14 - Disco de Secchi.



Fonte: O autor.

Embora a profundidade do disco de Secchi não forneça dados sobre a qualidade e principalmente sobre a quantidade de radiação, esta medida pode ser utilizada para efeito do cálculo indireto do coeficiente vertical de atenuação (k) (ESTEVES, 2011). O cálculo de k pode ser realizado da seguinte forma:

$$K = \frac{1,7}{Z ds} \quad (\text{Eq. 14})$$

Onde:

Z_{ds} = profundidade do disco de Secchi

1,7 = constante calculada

A profundidade do disco de Secchi também pode ser uma alternativa para a avaliação da extensão da zona eufótica. Para isso, multiplica-se o valor da profundidade do disco de Secchi pelo fator 3. O resultado é admitido como correspondente a 1% da radiação incidente na superfície do corpo d'água (ESTEVES, 2011).

4.6.6 Sólidos Sedimentáveis

Os Sólidos Sedimentáveis foram determinados por meio do método volumétrico (STANDARD METHODS 2540 F., 1998).

Uma amostra de água bem homogeneizada foi adicionada no cone de Imhoff até a marca de 1 L e posta para sedimentar durante um período de 45 minutos. Após esse período, a amostra foi levemente agitada com um bastão de vidro para desprender possíveis partículas aderidas nas paredes do cone e posta para sedimentar por mais 15 minutos. O volume foi registrado em mililitros por litro, (ml/L⁻¹).

4.6.7 Material em Suspensão

O método gravimétrico foi empregado na determinação de Material em Suspensão, e os resultados expressos em (mg/L⁻¹), (STANDARD METHODS 2540 D., 1998).

Foram utilizados filtros de fibra de vidro *Millipore* de 0.45 µm e 47 mm de diâmetro, os filtros foram aquecidos a uma temperatura de 103 a 105° C durante 1 hora e em seguida colocados em um dessecador e posteriormente pesados (peso do disco, mg). Com o auxílio de uma bomba a vácuo e equipamento de filtragem, um determinado volume de água foi filtrado utilizando-se os filtros anteriormente pesados. O volume oscilou em decorrência da sazonalidade do ambiente lêntico. Os filtros foram novamente aquecidos a uma temperatura de 103 a 105° C e após um período de 24 horas, foram pesados em balança analítica (peso do disco + resíduo, mg). O Material em Suspensão foi calculado por meio da seguinte equação:

(Eq. 15)

$$MS (mg/L^{-1}) = \frac{A-B \cdot 1000}{volume\ filtrado\ (ml)}$$

Onde:

A = peso do filtro + resíduo seco (mg)

B = peso do filtro (mg)

4.6.8 Fósforo total

Para a determinação do fósforo total (PT), utilizou-se o método descrito por (GOLTERMAN et al., 1978). As amostras contendo 10 mL de água não filtrada foram colocadas em tubos de ensaio, adicionou-se 1 ml de solução saturada de persulfato de potássio, cobriu-se os tubos de ensaio com papel alumínio e efetuou-se a digestão das amostras em autoclave à 120 °C por 30 minutos. Após o resfriamento adicionou-se 1 ml de reagente misto nas amostras e no “branco” (água destilada). A leitura das amostras foi realizada em espectrofotômetro no comprimento de onda 885 nm utilizando-se cubetas com passo ótico de 5 cm³. Os resultados foram fornecidos em (µg/L⁻¹).

- Preparo do reagente misto:
 - 2 partes de molibdato de amônia;
 - 5 partes de ácido sulfúrico 15%;
 - 2 partes de ácido ascórbico;
 - 1 parte de tartarato de antimônio e potássio.

4.6.9 Nitrogênio total

O nitrogênio total (NT), foi determinado utilizando-se o método descrito por Mackereth et al. (1978), e os resultados fornecidos em (mg/L⁻¹).

Em um erlenmeyer contendo 100 ml da amostra de água, adicionou-se 2 ml da mistura de digestão para posterior evaporação quase que total da solução em chapa aquecedora. Transferiu-se a solução para o tubo de digestão lavando com água deionizada quente, até atingir aproximadamente 20 ml. A digestão foi realizada a 350 °C até quase total evaporação da mistura. Após o resfriamento, a amostra foi transferida para o destilador Kjendall lavando com aproximadamente 5 ml de água deionizada quente e adicionando-se 3,3 ml de solução alcalina de tiosulfato de sódio. O destilado foi coletado em 5 ml de solução de ácido bórico 1% com 2 gotas de indicador misto. O destilado foi titulado com HCL 0,01N utilizando-se bureta de 5 ml.

A seguinte equação foi empregada na determinação do nitrogênio total:

(Eq. 16)

$$N \text{ total } (mg/L^{-1}) = \frac{v}{V} \cdot 0,14 \cdot 1000$$

Onde:

v = volume de ácido (HCL 0,01N) gasto na titulação em (ml)

V = volume da amostra em (ml)

Preparo dos reagentes:

- Mistura de Digestão - Dissolver 100 g de sulfato de potássio (K_2SO_4) livre de nitrogênio em 100 ml de água destilada. Aquecer até que se dissolva completamente. Adicionar 1 ml de NaOH 1N (4 g em 100 ml de água destilada). Continuar fervendo até formar o precipitado e quase secar. Em seguida dissolver 32,5 g de K_2SO_4 (*N-free*) em água deionizada. Adicionar 0,8 g de HgO (Óxido de mercúrio – vermelho) e 50 ml de H_2SO_4 concentrado, agitando para total dissolução. Completar o volume para 500 ml com água deionizada;
- Solução Alcalina de Tiosulfato de Sódio - Dissolver 100 g de NaOH em água destilada quente. Esfriar, e adicionar 20 g de Tiosulfato de Sódio, agitar até dissolver. Completar o volume para 500 ml;
- Solução de Ácido Bórico (1%) - Dissolver 1 g de Ácido Bórico em 100 ml de água destilada;
- Indicador Misto - Preparar solução a 0,66% de vermelho de Metil em etilenoglicol. Preparar a solução de verde de bromocresol 0,33% em etilenoglicol. Misturar volumes iguais das soluções.

4.7 VARIÁVEL HIDROBIOLÓGICA

4.7.1 Clorofila-a

A metodologia empregada na determinação das concentrações de clorofila-a (Cl-a) foi descrita por (LORENZEN, 1967).

As amostras foram acondicionadas em recipientes de plástico fosco e refrigeradas até a entrada no laboratório, onde foram imediatamente filtradas. O procedimento de filtragem das amostras, foi realizado em local protegido da luz utilizando-se bomba a vácuo, equipamento de filtragem e filtros de fibra de vidro 0.45 μm e 47 mm de diâmetro. Foram anotados os volumes das amostras filtradas e os filtros envolvidos em papel laminado e congelados. As análises foram realizadas em um período inferior a 10 dias em relação ao dia da coleta no campo. Os filtros foram cobertos com 5 ml de acetona 90% e macerados, o material foi transferido para tubos opacos e deixado em repouso por um período de 24 horas sob refrigeração. As amostras foram centrifugadas a 1.800 rpm por 20 minutos e o sobrenadante transferido para balões volumétricos, completando o volume para 10 ml com acetona 90%. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro marca/modelo GBC-UV/VIS 911 utilizando-se cubetas com passo ótico de 1 cm^3 , em duas etapas. A primeira leitura das amostras foi feita nos comprimentos de onda de 665 nm e 750 nm, para a segunda leitura, as amostras foram acidificadas com 3 gotas de HCL 0,1N e lidas novamente nos comprimentos de onda 665 nm e 750nm. A seguinte equação foi empregada na determinação da clorofila-*a*:

(Eq. 17)

$$Cl-a (\mu\text{g/L}^{-1}) = \frac{(k) \cdot (F) \cdot (B_{665} - A_{665}) \cdot (v)}{(V) \cdot (Z)}$$

Onde:

B_{665} = absorção da turbidez corrigida em 665nm antes da acidificação, $B_{665} = 665 - 750$

A_{665} = absorção da turbidez corrigida em 665nm depois da acidificação, $A_{665} = 665 - 750$

K = coeficiente de absorção da clorofila-*a*, = 11.0

F = fator para equiparar a redução da absorbância inicial da concentração de clorofila-*a*, = 2.43

v = volume do extrato em (ml)

V = volume de água filtrado em litros (L)

Z = passo ótico da cubeta em (cm^3)

4.8 ÍNDICE DO ESTADO TRÓFICO (IET)

O cálculo do IET é composto pelo índice do estado trófico para o fósforo total (PT) e clorofila-*a* (Cl-*a*), utilizando-se as seguintes equações:

(Eq. 18)

$$IET (PT) = 10 \{ 6 - [\ln (80,32 / PT) / \ln 2] \}$$
$$IET (Cl-a) = 10 \{ 6 - [(2,04 - 0,695 \ln (Cl-a) / \ln 2)] \}$$

onde:

PT = concentração de fósforo total medida à superfície d'água, em $\mu\text{g/L}^{-1}$

Cl-a = concentração de clorofila-a medida à superfície d'água, em $\mu\text{g/L}^{-1}$

ln = logaritmo natural

O Índice do Estado Trófico será a média aritmética simples do IET calculado para o fósforo (PT) e clorofila-a (Cl-a), obtido por meio da seguinte equação:

(Eq. 19)

$$IET = [IET (PT) + IET (Cl-a)] / 2$$

CAPÍTULO 5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 BATIMETRIA

O levantamento batimétrico do reservatório da FEENA foi realizado com um total de duzentos e setenta e dois pontos.

Por meio do *software Surfer 8[®]* (Golden Software Inc.), foram geradas três cartas batimétricas. A Figura 15 representando as isóbatas ou curvas de isovalores, a Figura 16 apresenta diferentes perfis do reservatório em perspectiva tridimensional e a Figura 17 é uma sobreposição dos mapas de isolinhas e tridimensional.

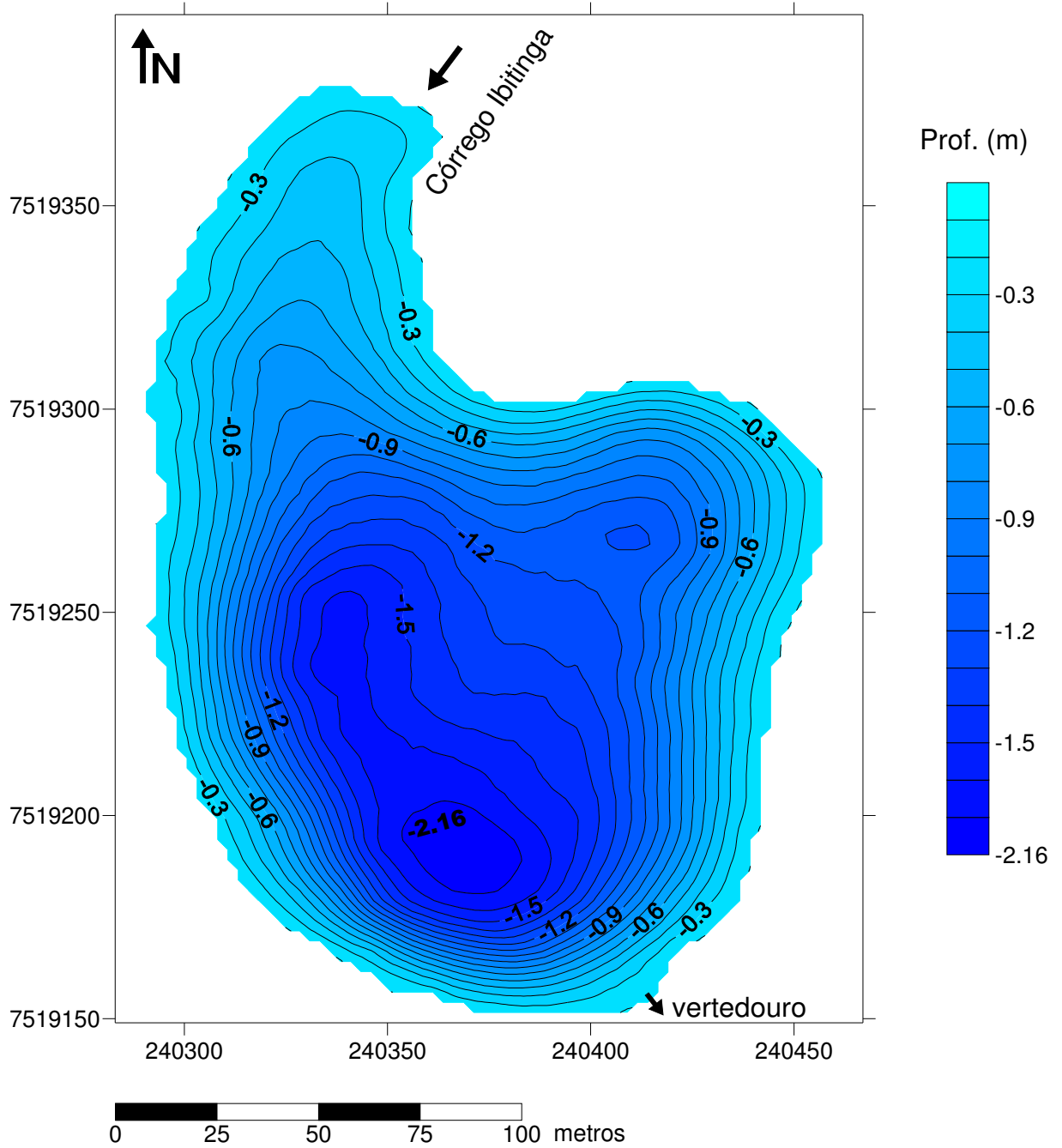
No lado norte do mapa de isóbatas (Figura 15), é possível notar uma zona onde possivelmente o aporte de sedimentos, advindos do Córrego Ibitinga, mantém um constante processo de assoreamento naquele compartimento onde as profundidades oscilam entre 30 e 80 cm. Cunha (1997) observou elevados índices de perda de solo acima da dinâmica natural, resultante da presença de solos expostos, técnicas de manejo do solo e retirada da mata ciliar das margens e cabeceira do Córrego Ibitinga localizada fora dos limites da Unidade de Conservação. Segundo a autora, em decorrência deste fato, observa-se no reservatório, um permanente processo de assoreamento. As áreas mais propensas à erosão localizam-se marginalmente ao baixo e alto curso do Córrego Ibitinga, bem como nas cabeceiras dos demais cursos d'água e também acompanhando toda a linha de ruptura topográfica que margeia o lado esquerdo do curso principal, em função das maiores declividades, principalmente nas vertentes côncavas. A montante do reservatório, o vale apresenta-se em “V”, evidenciando a competência do tributário em carrear sedimentos e impedir acumulação de depósitos fluviais (PINHEIRO & CUNHA, 2010).

O intenso aporte de material mineral é o fenômeno causador do assoreamento dos corpos d'água. No caso de lagos e reservatórios, que apresentam um maior tempo de residência da água, em comparação com os rios, segundo Sperling (1999), à deposição deste material ocorre na região de entrada dos tributários, podendo estender-se gradativamente por todo o fundo do lago. De um modo geral, a região litorânea do reservatório é bastante rasa e densamente povoada por macrófitas. Na parte leste do reservatório, onde o terreno adjacente apresenta forte declividade e pouca cobertura vegetal rasteira, nota-se um intenso processo assoreamento da região litorânea.

Pesquisando a geocronologia sedimentar nos corpos d'água da FEENA, Almeida (2003) detectou uma taxa de sedimentação de 16,2 mm/ano no reservatório e 8,7 mm/ano para

o Córrego Ibitinga, afluente do reservatório. A menor taxa de sedimentação foi registrada no Ribeirão Claro (2,4 mm/ano), localizado a jusante do reservatório.

Figura 15 - Mapa de isóbatas do reservatório da FEENA.

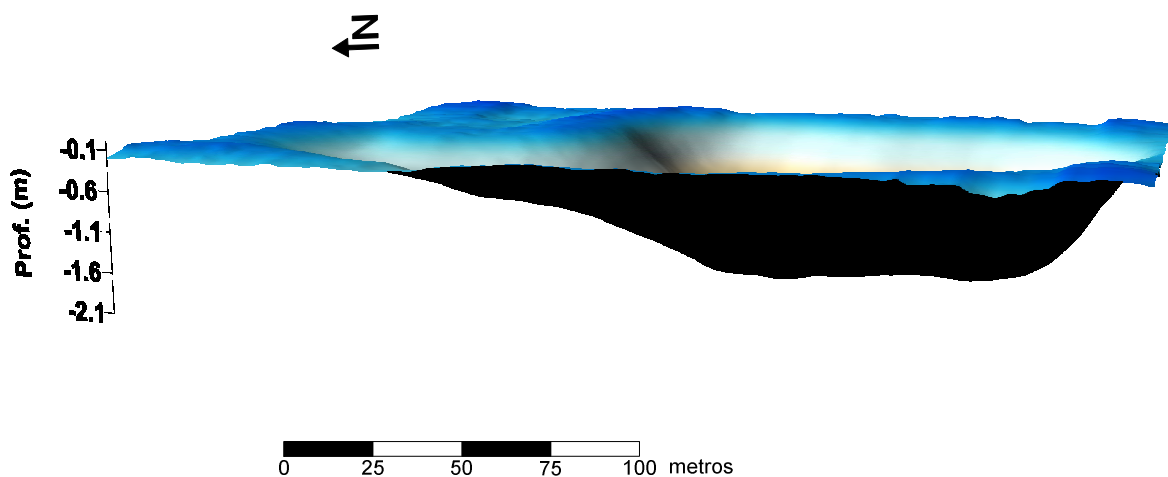


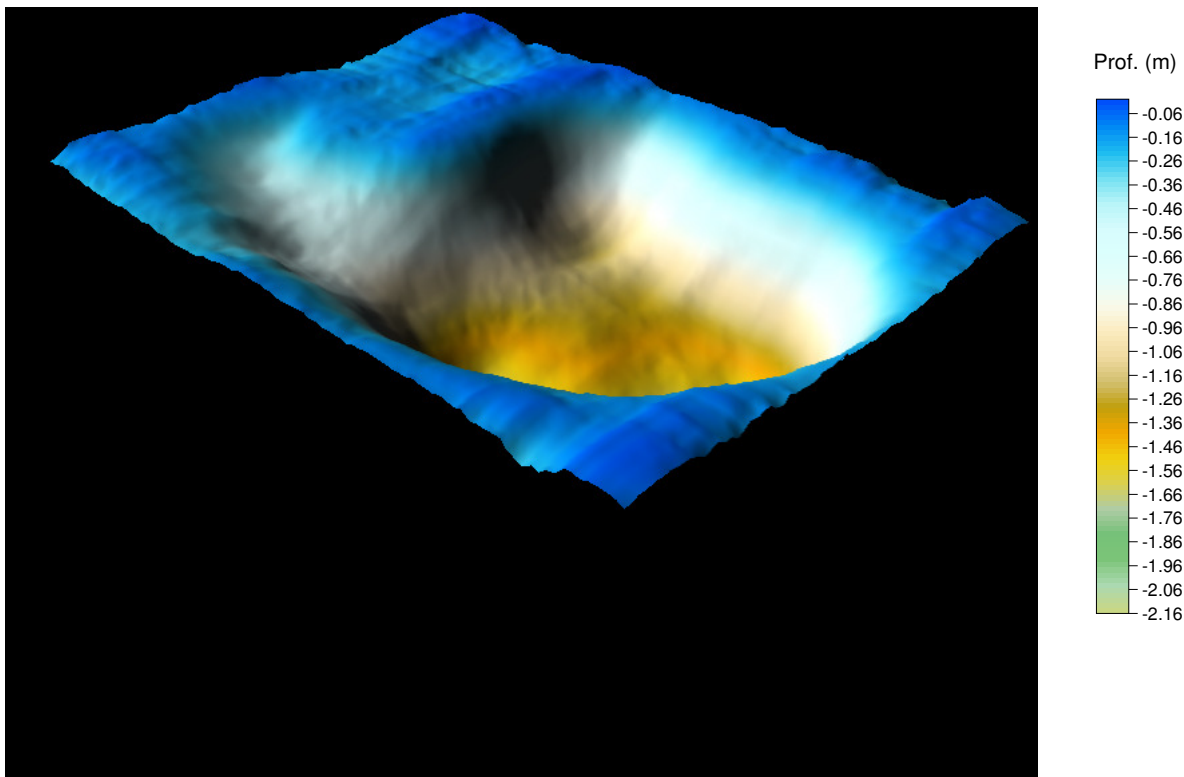
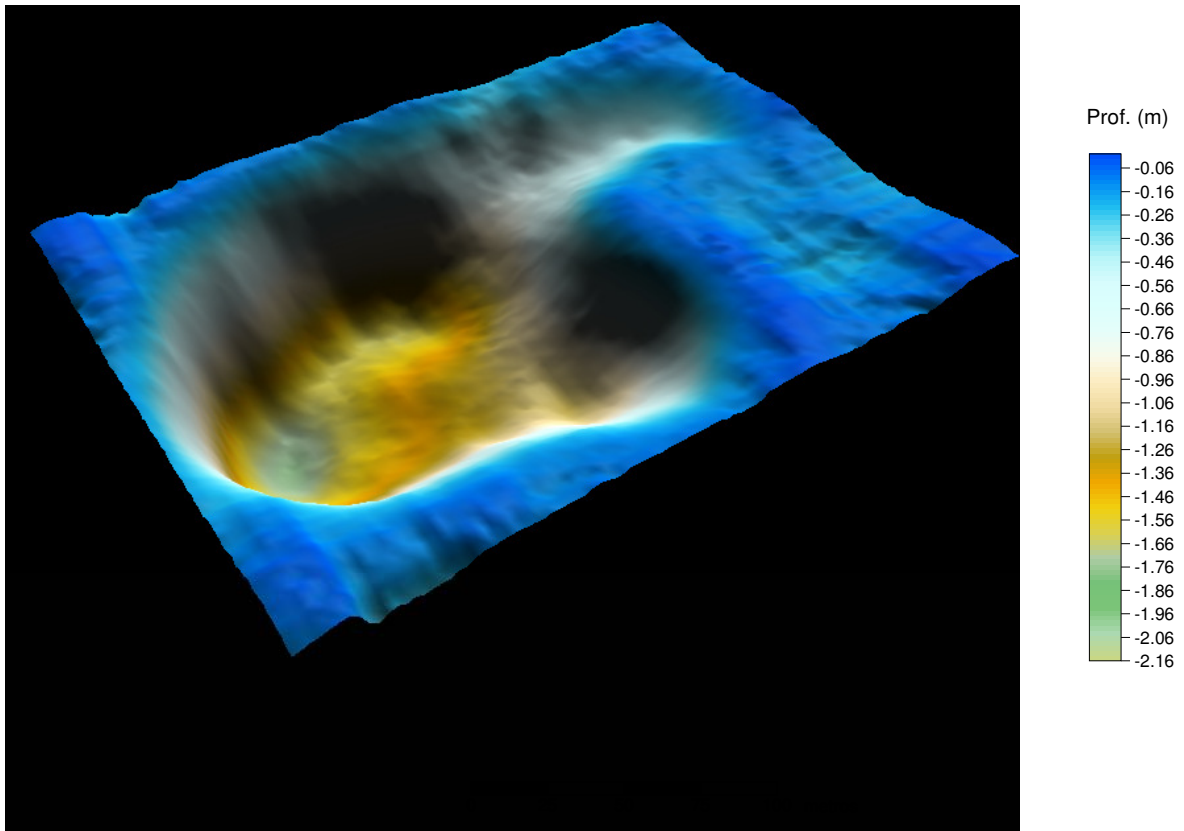
Fonte: Elaborado pelo autor.

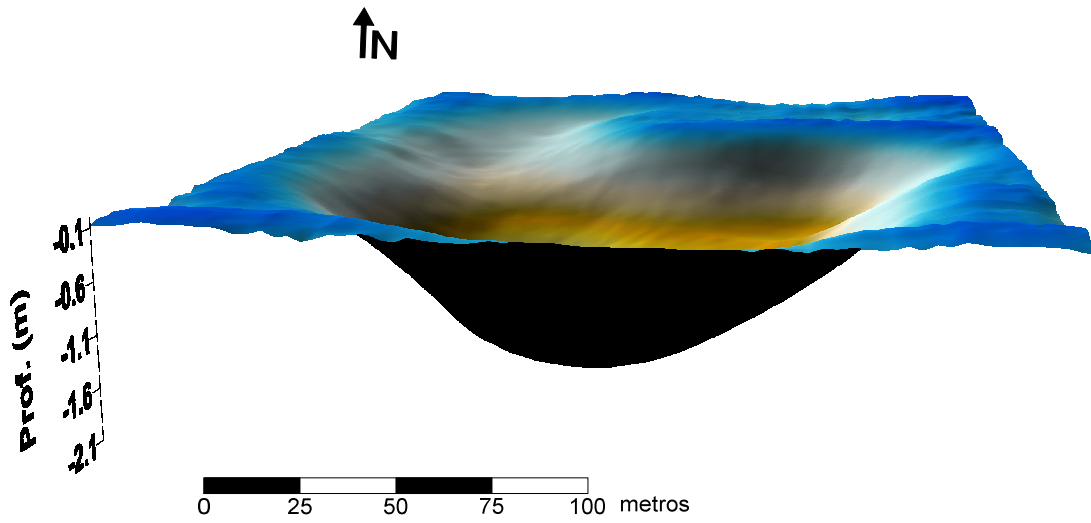
A morfologia de um corpo d'água exerce influências marcantes no comportamento limnológico do ambiente (SPERLING, 1999). O reservatório da FEENA possui uma forma semicircular, caracterizada pelo baixo valor de desenvolvimento do perímetro apresentado nos parâmetros morfométricos (Tabela 4). Quanto à forma do relevo do fundo, o reservatório apresenta uma inclinação regular no sentido norte-sul até o ponto de maior profundidade, próximo ao vertedouro. É possível notar que, aparentemente, a intrusão de água proveniente do Córrego Ibitinga mantém um processo de transporte de sedimentos no fundo do reservatório, estabelecendo um talvegue que converge até o vertedouro. Quando um rio ou córrego encontra as águas mais estáticas de um lago ou reservatório, de um modo geral, encontra massas d'água com temperaturas, salinidade ou turbidez diferentes. A água de intrusão pode ser, portanto, mais ou menos densa que a água de superfície do ecossistema lântico gerando camadas turbulentas. Essa intrusão significa um transporte de material, nutrientes ou organismos em várias profundidades (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008). O mesmo autor destaca ainda que, os reservatórios em rios barrados apresentam zonas longitudinais originadas por um fluxo de água em sentido único.

Dentro da classificação proposta por Sperling (1999), a bacia lacustre possui um formato côncavo. A margem apresenta-se inicialmente escarpada, suavizando-se à medida que se aprofunda.

Figura 16 - Perfis batimétricos do reservatório da FEENA em perspectiva tridimensional.

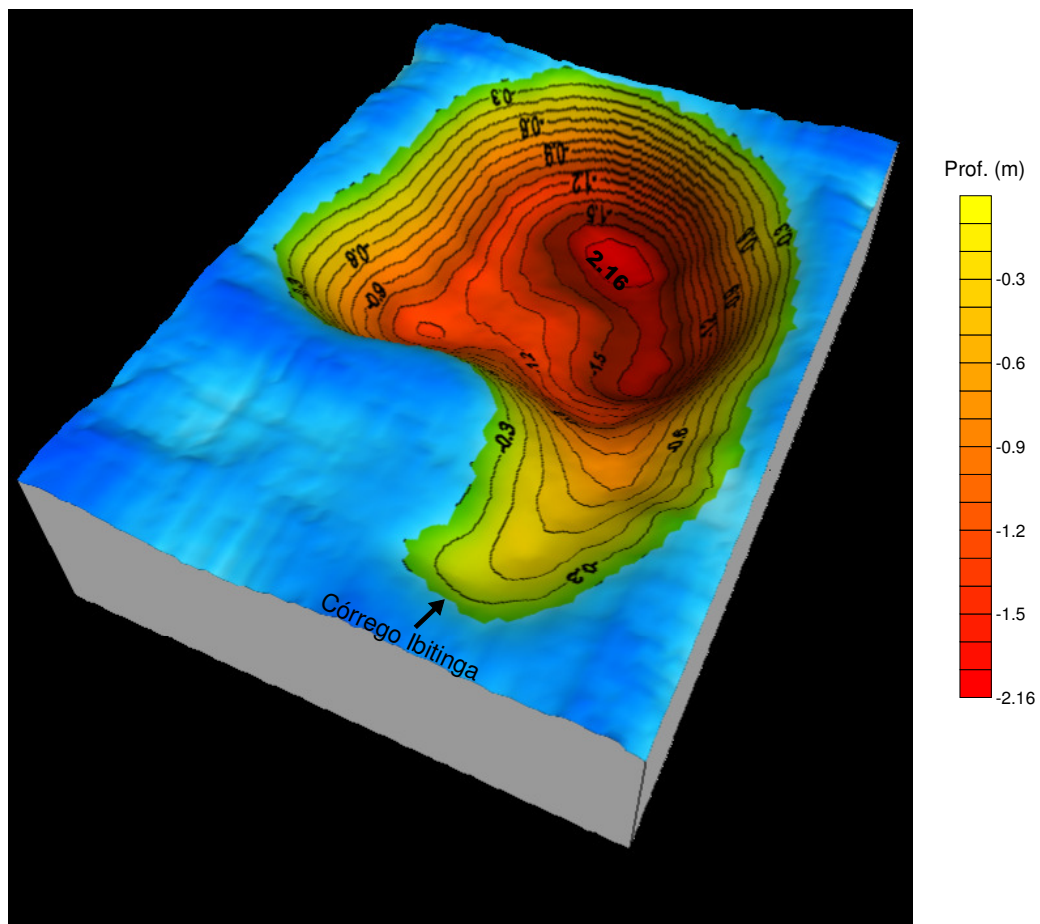






Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 17 - Sobreposição dos mapas de isóbatas e perspectiva tridimensional.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2 PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS

5.2.1 Área (A)

O cálculo da área superficial total do reservatório foi de 25.866 m², trata-se de um parâmetro morfométrico limnológico bastante relevante, isto porque se considera a exposição do espelho d'água à radiação solar (COLE, 1975). A exposição da superfície aos raios solares regula o desenvolvimento da atividade de produção primária e a dinâmica de circulação e estratificação do corpo d'água. O conhecimento da área tem um forte significado como elemento comparativo entre distintos lagos. O cálculo das cargas que chegam a um lago, como por exemplo, a carga de nutrientes e de metais pesados, só permite a sua comparação quantitativa com outros ambientes, se os seus valores forem divididos pela área, obtendo-se assim as chamadas cargas superficiais (SPERLING, 1999).

Quanto ao tamanho, o reservatório pode ser classificado como muito pequeno dentro das categorias de reservatórios com base nas dimensões, estando compreendido em uma área menor que 1 Km² (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

5.2.2 Volume (V)

O volume de um lago ou reservatório está associado à dimensão dos compartimentos aquáticos e à capacidade de diluição do corpo d'água. Lagos de grande volume possuem maior quantidade de oxigênio dissolvido, e apresentam, portanto, melhores condições de assimilação de cargas poluidoras de origem orgânica (SPERLING, 1999). A relação entre o volume do epilímnio (estrato superior) e do hipolímnio (estrato inferior) foi proposta por Thienemann (1927) apud Hutchinson (1975), para representar o grau de resistência do ambiente aquático aos impactos provenientes de fontes poluidoras, principalmente o lançamento de efluentes domésticos. O volume do reservatório central da FEENA é de 22.251 m³, um volume reduzido, evidentemente por se tratar de um ecossistema aquático raso e de pequenas dimensões. Desta forma, o ambiente apresenta pouca capacidade de assimilação de poluentes, tornando-se bastante vulnerável as atividades antropogênicas. Os lagos e represas volumosos apresentam uma capacidade de assimilação de poluentes bastante superior àquela encontrada em corpos d'água pequenos, rasos e de reduzido volume (SPERLING, 1999).

5.2.3 Profundidade máxima (Z_{max})

A profundidade de um lago ou reservatório é um dos parâmetros morfométricos de maior relevância limnológica. São marcantes as diferenças de comportamento encontradas em ambientes aquáticos rasos e profundos, especialmente no que se refere ao padrão de circulação e estratificação e à distribuição de organismos e compostos químicos ao longo da coluna d'água (SPERLING, 1999). O reservatório da FEENA caracteriza-se como um ambiente hidrologicamente raso, a profundidade máxima registrada foi de 2,16 m. Lagos rasos tendem a ser polimíticos, nos quais ocorrem circulações frequentes, muitas vezes diárias. Isso se deve ao resfriamento da camada superficial da coluna d'água durante a noite e à reduzida profundidade, que facilita a sua homeotermia (ESTEVES, 2011). A importância limnológica da profundidade máxima é tão grande que o ponto onde ela se situa constitui-se obrigatoriamente em uma estação de amostragem em campanhas de monitoramento, sendo usualmente designado por “ponto limnológico” (SPERLING, 1999). Segundo o autor, a maioria dos lagos rasos tendem a ser mais produtivos do que lagos profundos. Isto ocorre quando o ambiente apresenta baixa condição de turbidez, permitindo que a luz chegue até o sedimento criando um ambiente favorável ao crescimento de vegetação do tipo macrófitas, predominantes às margens de tais ambientes aquáticos.

5.2.4 Profundidade média (Z_{med})

A profundidade média do reservatório é de 0,86 m. Este parâmetro frequentemente é utilizado em modelos de avaliação de grau de trofia em ambientes aquáticos. Thienemann (1927) apud Cole (1975) propôs uma classificação onde lagos com profundidade média acima de 18 m apresentam características oligotróficas, já ambientes mais rasos, com profundidade média inferior aos 18 m apresentam maior produtividade, sendo classificados como eutróficos. A profundidade média de cada ambiente exerce forte influência na variação anual da produtividade do fitoplâncton em lagos tropicais. Isto porque em função da profundidade média, pode ocorrer ou não estratificação da coluna d'água, com profundas implicações na disponibilidade de nutrientes e na extensão da zona eufótica. Em muitos lagos rasos, a principal consequência da eutrofização artificial é o aumento exagerado das comunidades de macrófitas aquáticas. Em decorrência do crescimento destas comunidades, observa-se rápida redução da profundidade média do lago e a redução da sua qualidade ecológica (ESTEVES, 1998).

5.2.5 Profundidade relativa (Z_r)

A maior parte dos lagos tem uma profundidade relativa menor que 2%, enquanto que somente os lagos profundos e com áreas superficiais pequenas apresentam, em geral, profundidade relativa maior que 4% (WETZEL, 2001). A profundidade relativa constitui-se em um parâmetro bastante útil para descrever o padrão de circulação de um corpo d'água (SPERLING, 1999). A profundidade relativa do reservatório é de 1,19%, indicando que não existem limitações morfológicas para a completa movimentação vertical da massa d'água do reservatório da FEENA. Quando a profundidade relativa não é muito elevada ($\leq 5\%$) o lago pode circular completamente, desde que haja um suficiente aporte de energia externa, representada normalmente por ventos de grande intensidade, o que acarreta frequentes trocas de materiais entre superfície e fundo (SPERLING, 1999).

5.2.6 Perímetro (m) e Desenvolvimento do perímetro (D_p)

O perímetro do reservatório é de 645 m, trata-se de um parâmetro morfométrico primário bastante relevante, pois será empregado no cálculo do desenvolvimento do perímetro, um parâmetro morfométrico secundário que informa sobre o grau de irregularidade do corpo d'água. O cálculo do D_p foi de 1.12, indicando que o reservatório possui um formato semicircular. Um lago absolutamente circular possuiria um desenvolvimento do perímetro igual à unidade, que é conseqüentemente o menor valor que pode ser obtido para D_p . Qualquer variação no contorno da margem fará com que o valor de D_p supere a unidade, sendo maior quanto mais irregular for o contorno superficial do lago (SPERLING, 1999). Uma morfometria mais alongada faz aumentar o valor de D_p de modo pronunciado, como por exemplo, acontece em relação aos contornos dendríticos de lagos que ocupam vales alagados de rios (WETZEL, 2001). Segundo Tundisi (2008), os lagos que se afastam do formato circular têm valores de D_p entre 1.5 e 2.5, e lagos dendríticos muito irregulares, apresentam valores entre 3 e 5 como é o caso do lago Dom Helvécio. Lagos com contorno irregular das margens são mais resistentes ao impacto proveniente do recebimento de efluentes e de outros pulsos poluidores, devido ao fato de que a vegetação existente às margens, apresenta uma elevada capacidade assimiladora de poluentes. Além disso, a faixa vegetal litorânea protege as margens contra a erosão e reduz a amplitude térmica do ambiente. Por outro lado, devido ao seu formato dendrítico, ocorre o acúmulo de material nessas reentrâncias onde existe pouca movimentação da água, o que favorece o estabelecimento da eutrofização, cuja magnitude

depende do grau de irregularidade das margens (SPERLING, 1999). Desta forma, o baixo valor de D_p calculado para o reservatório da FEENA, entre outros atributos morfométricos, demonstra certa vulnerabilidade deste ambiente aquático a impactos poluidores, ou seja, uma baixa capacidade assimiladora. Porém, a regularidade das margens facilita a movimentação da água, o que dificulta o estabelecimento da eutrofização.

5.2.7 Desenvolvimento do volume (D_v)

O D_v é um parâmetro morfométrico que indica as características do formato vertical do corpo d'água. Calculou-se um D_v de 1.19 para o reservatório, constatando que a bacia possui um formato côncavo. Lagos com D_v inferior à unidade apresentam uma forma convexa (SPERLING, 1999). Segundo Cole (1975), a maioria dos lagos, para os quais existem bons dados morfométricos, ocupam depressões em forma de U na seção transversal, portanto com $D_v > 1$. Já os parâmetros muito elevados de D_v são encontrados em lagos rasos e com grande área. Os valores muito reduzidos de D_v verificam-se somente em lagos contidos em depressões profundas, tais como lagos de dissolução (WETZEL, 2001). A forma côncava do reservatório da FEENA favorece a circulação das águas, pois ambientes em forma de U, encontram-se mais expostos ao vento. Este fator influi na hidrodinâmica do ambiente aquático, provocando como consequência mais imediata um maior revolvimento do material de fundo, o que ocorre principalmente em lagos rasos (SPERLING, 1999).

5.2.8 Comprimento máximo (L_{max}) e Largura máxima (La_{max})

A exposição de um lago ao vento exerce um efeito direto no movimento das águas (COLE, 1975). Os parâmetros de L_{max} e La_{max} aferidos no reservatório foram de 268 e 159 m, respectivamente. São parâmetros morfométricos que cumprem geralmente um papel de cunho descritivo. O comprimento máximo é um importante parâmetro em estudos hidrodinâmicos. Segundo Sperling (1999), seu valor indica a influência do transporte advectivo. A maior distância entre as margens de um lago ou reservatório que apresenta certa continuidade retilínea do espelho d'água sem cortar qualquer obstáculo físico é denominada *fetch*. Portanto quanto maior o *fetch*, mais intensos serão os efeitos do vento sobre a superfície aquática. Lagos com *fetch* reduzidos apresentam conseqüentemente condições mais favoráveis à sedimentação, o que implica em um maior acúmulo de nutrientes no corpo d'água.

Hutchinson (1975 p.356) propõe uma fórmula para o cálculo da altura máxima das ondas em ambientes lacustres utilizando-se o *fetch*.

Tabela 4 - Parâmetros morfométricos do reservatório central da FEENA.

Parâmetros morfométricos primários	
Área (A)	25.866 m ²
Volume (V)	22.251 m ³
Profundidade máxima (Z _{max})	2,16 m
Perímetro (m)	645 m
Largura máxima (L _{max})	159 m
Comprimento máximo (L _{max})	268 m
Parâmetros morfométricos secundários	
Profundidade média (Z _{med})	0,86 m
Profundidade relativa (Z _r)	1,19%
Desenvolvimento do perímetro (D _p)	1.12
Desenvolvimento do volume (D _v)	1.19

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3 CURVAS HPSOGRÁFICAS

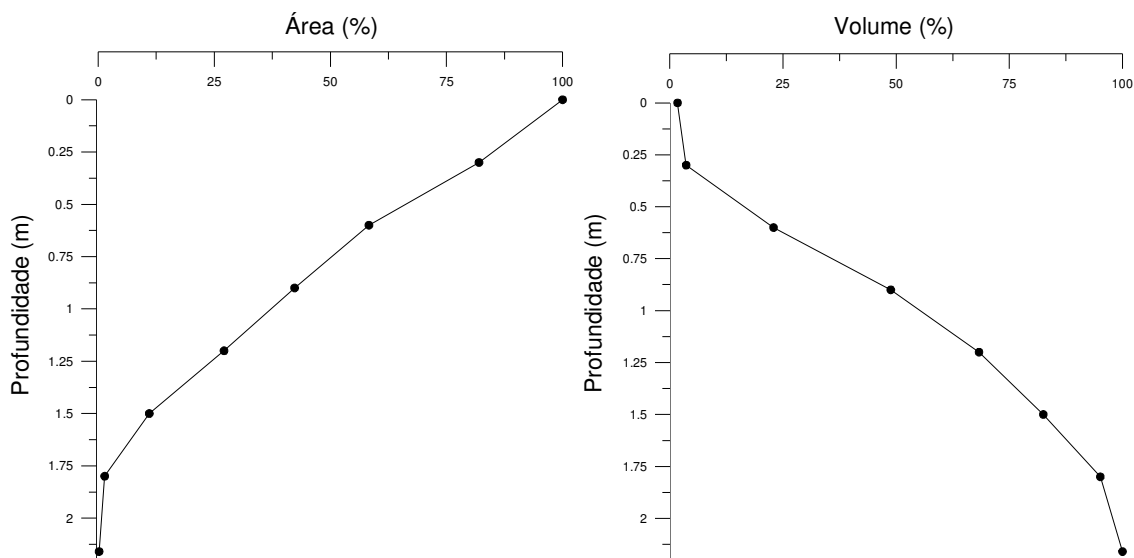
A interpretação das curvas (área x profundidade e volume x profundidade) fornece uma clara indicação sobre como a área de cada estrato vai diminuindo e o volume de água acumulado vai aumentando à medida que se avança em direção ao fundo do lago. Conforme a maior ou menor convexidade das paredes internas do lago as curvas adquirem configurações específicas, que retratam com fidelidade a forma do ambiente aquático (SPERLING, 1999).

As curvas hipsográficas (profundidade x área e profundidade x volume) estão representadas na Figura 18. Observa-se que 50% do volume total do reservatório encontram-se numa profundidade próxima aos 85 cm, enquanto que 50% da área da bacia estão localizados a uma profundidade de aproximadamente 75 cm.

Bezerra-Neto & Pinto-Coelho, (2002) elaboraram curvas hipsográficas para a Lagoa do Nado, um reservatório meso-eutrófico situado em Belo Horizonte-MG, e identificaram que o reservatório possui uma bacia de acumulação em formato cônico. Embora seja de um reservatório raso, o formato cônico e o fato do ambiente sofrer pouca ação dos ventos, devido à vegetação arbórea circundante, lhe conferem um padrão de circulação da massa d'água bastante peculiar para um corpo d'água raso, com somente um período de circulação durante

o ano. A importância dessas curvas de área e volume para a investigação em limnologia vem da relação existente entre a morfologia do lago e a sua produtividade primária (WETZEL, 2001). Segundo o autor, as depressões pouco profundas e com uma percentagem maior de contato da água com os sedimentos, caracterizam-se em regra por apresentarem maiores valores de produtividade primária.

Figura 18 - Curvas hipsográficas do reservatório da FEENA.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 5 - Representação do volume e área do reservatório, por estratos de profundidade.

Profundidade (m)	Área (m ²)	Área (%)	Estrato	Volume (m ³)	Volume (%)
0	25.865,7	100,0	0 - 0.3	1.142,9042	5,13
0.3	21.221,6	82,04	0.3 - 0.6	2.847,8926	12,79
0.6	15.074,9	58,28	0.6 - 0.9	3.209,9367	14,42
0.9	10.936,0	42,27	0.9 - 1.2	4.384,5831	19,70
1.2	7.014,9	27,12	1.2 - 1.5	5.823,8699	26,17
1.5	2.841,3	10,98	1.5 - 1.8	4.341,7564	19,51
1.8	366,2	1,41	1.8 - 2.16	500,1167	2,24
2.16	66,2	0,25	Total	22.251,06	100,0

Fonte: Elaborado pelo autor

5.4 PARÂMETROS HIDROLÓGICOS

5.4.1 Vazão e tempo de retenção hidráulica

A razão entre o volume do reservatório e a vazão afluyente, determina o tempo teórico de retenção hidráulica do reservatório (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008). A vazão diária registrada no reservatório durante o período de estiagem foi de 0.04603 m³/s ou 46.03 L/s. Neste período, a precipitação pluviométrica média é de 47,05 mm. Na estação das chuvas, quando ocorre uma precipitação média de 200.75 mm, a vazão do reservatório é 355,75% superior àquela registrada durante a estiagem, representando uma descarga de 0,20978 m³/s ou 209,78 L/s. O aumento do fluxo de água diminui o tempo de retenção hidráulica, o que ocasiona uma redução da biomassa de algas no ambiente aquático (ESTEVES, 1998). Porém, os resultados demonstram valores mais elevados de nutrientes (N e P) e de clorofila-*a* no período chuvoso. Isso pode ser resultado do processo de lixiviação do solo da floresta adjacente e do alto curso do Córrego Ibitinga, localizado em áreas de plantio de cana-de-açúcar onde o uso de fertilizantes no solo é constante. Esse processo pode estar contribuindo com o aporte de nutrientes no reservatório durante o período chuvoso.

Quanto ao tempo de retenção hidráulica, calculou-se um tempo de retenção de 5,6 dias no período de estiagem, e 1,2 dias, na estação das chuvas. A vazão reduzida durante a estiagem ocasionou um menor tempo de retenção, ocorrendo exatamente o oposto durante a estação das chuvas, quando a vazão foi maior. De certa forma, ambos os tempos de retenção calculados foram curtos (<10 dias). Segundo Tundisi & Matsumura-Tundisi (2008), o tempo de retenção hidráulica ou tempo de residência, que é o tempo necessário para que toda a água do lago seja substituída, está associado à qualidade das águas nos reservatórios. Este parâmetro é fundamental para o controle, monitoramento da poluição e cálculos sobre o balanço de nutrientes.

5.5 VARIÁVEIS FÍSICAS E QUÍMICAS

5.5.1 Variação sazonal

Todas as variáveis estudadas neste capítulo estão representadas na Figura 19.

Pesquisando as características térmicas da coluna d'água ao longo de um período sazonal, observa-se que, a maior amplitude térmica na superfície durante os meses de

monitoramento foi de 12 °C. Em março/2013, foi registrada a temperatura mais elevada na superfície, quando o valor máximo foi de 31,5 °C. Por outro lado, a menor temperatura observada em um período sazonal nesta mesma camada ocorreu em julho/2013, 19,5 °C. Já no fundo do reservatório, a amplitude térmica sazonal foi de 6,8 °C, com a temperatura mais elevada ocorrendo no mês de março/2013, registrando 24,2 °C, e a mínima em julho/2013, quando a temperatura foi de 17,4 °C. Vale ressaltar que, a maior amplitude térmica registrada entre a superfície e fundo, em um mesmo dia, foi de 7,3 °C e ocorreu em 15/03/2013. Enquanto que a temperatura na superfície era de 31,5 °C, o fundo, apresentava uma temperatura de 24,2 °C. Comparando com os demais resultados do monitoramento sazonal, este foi o dia em que toda a massa d'água apresentou a temperatura mais elevada. Quanto à menor amplitude térmica obtida entre a superfície e fundo em um mesmo dia, obteve-se um resultado de 0,2 °C, registrado no dia 24/01/2013, quando a temperatura na superfície era de 24,9 °C e no fundo de 24,7 °C. Neste dia, foi possível observar uma queda de 1,9 °C por volta de 60 cm de profundidade, seguida de um aumento gradativo de temperatura em direção ao fundo. Ocorreram formações de termoclinas entre 0.50 e 1 m de profundidade, estas variações de temperatura no perfil térmico da coluna d'água, podem estar relacionadas com as características morfométricas do ambiente. A menor temperatura obtida para toda a massa d'água ocorreu no dia 02/07/2013, quando a temperatura média foi de 18,1 °C. Nestas condições, possivelmente, ocorreu uma circulação total da massa d'água. Observou-se, neste dia, um índice mais elevado de oxigênio dissolvido no fundo, e não na superfície, como rotineiramente ocorreu durante todo o monitoramento sazonal.

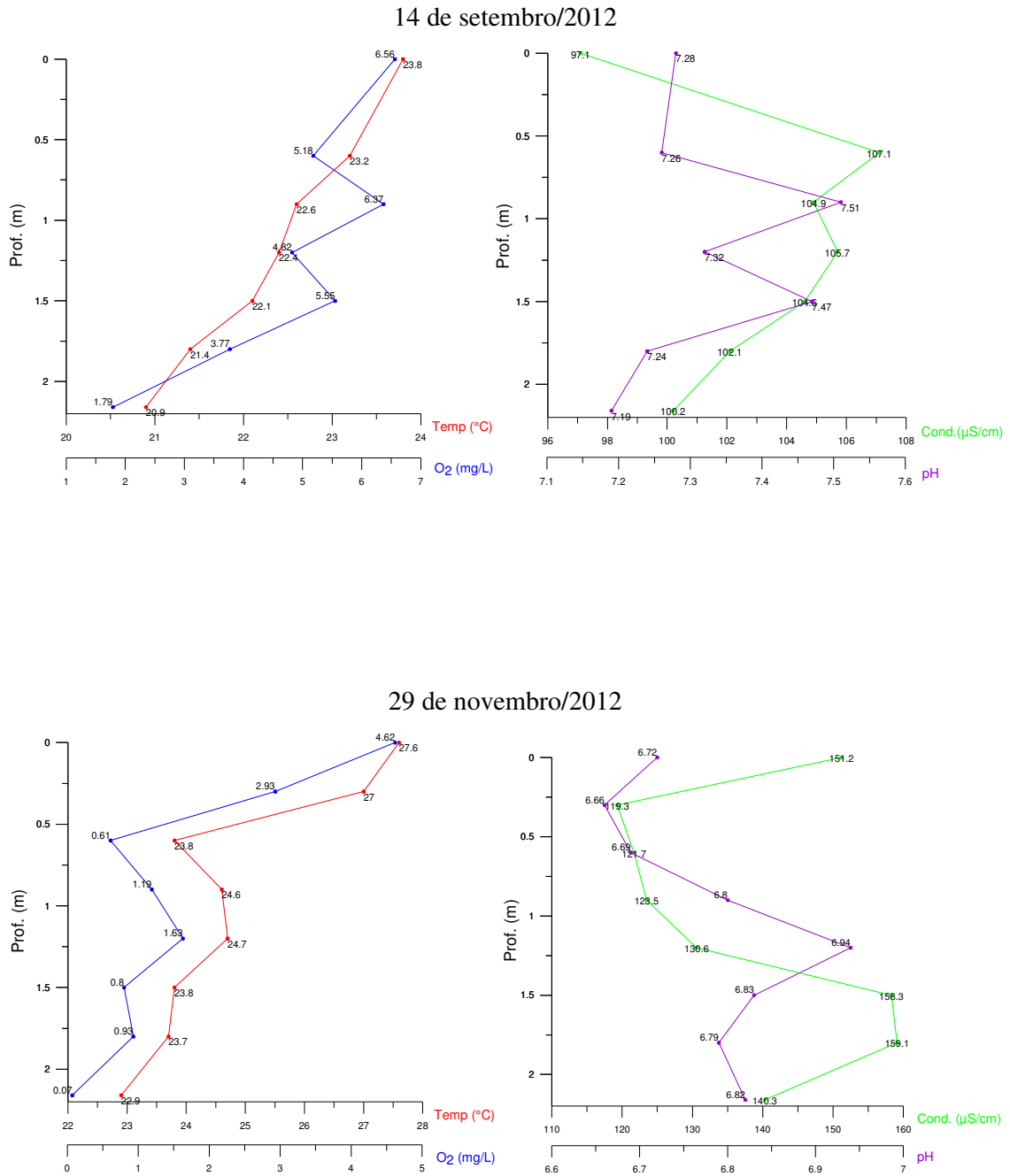
O oxigênio dissolvido (OD) apresentou uma amplitude de variação de 32,1% entre o dia 17/05/2013, quando foi registrada a maior solubilidade deste gás na superfície (97,4%), e o dia 02/07/2013, quando a concentração mínima foi de 65,3%. No fundo do reservatório, a maior concentração de OD ocorreu na data de 02/07/2013 (77,6%). A concentração mínima deste gás, neste mesmo estrato, foi detectada no dia 29/11/2012, quando a concentração atingiu o menor valor observado durante todo o período sazonal, 1,2%. A maior amplitude vertical do oxigênio dissolvido observada nos monitoramentos foi de 79,7%, e ocorreu no dia 17/05/2013, quando a concentração na superfície era de 97,4% e no fundo de 17,7%. Durante o inverno, foi detectada a menor amplitude vertical do oxigênio dissolvido, 12,3%. Um aspecto interessante neste monitoramento de inverno realizado no dia 02/07/2013, foi que a solubilidade deste gás foi maior no fundo do reservatório em comparação com a superfície, 77,6 e 65,3% respectivamente. Considerando-se que o monitoramento se deu em um mês onde ocorrem baixas temperaturas do ar, a coluna d'água apresentou instabilidade térmica,

gerando baixa resistência entre as camadas e desta forma, criando condições favoráveis para que os ventos circulassem toda a massa d'água, oxigenando as camadas mais profundas.

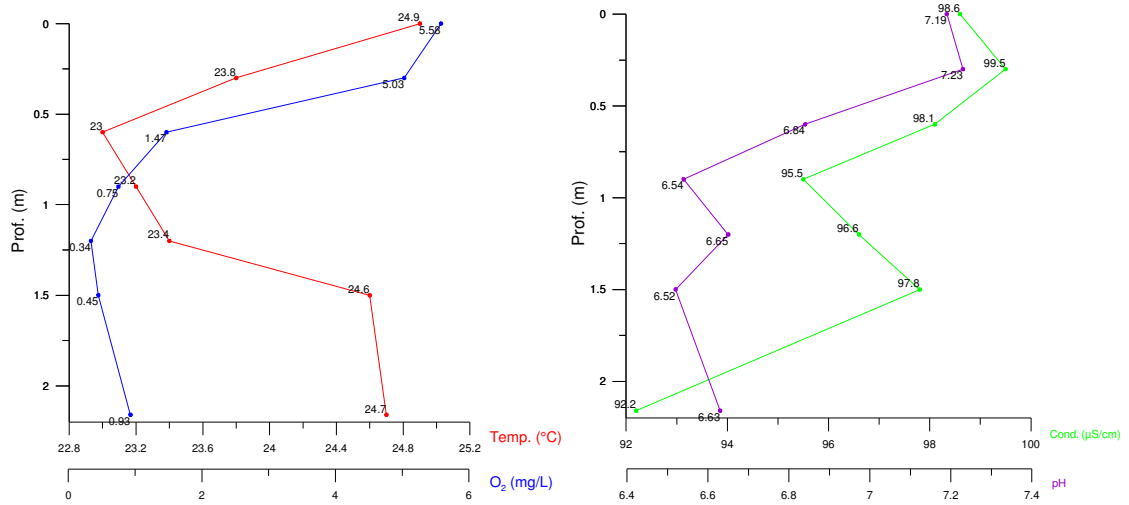
O potencial hidrogeniônico não apresentou grandes variações no perfil, mantendo-se com uma média de 6,71. O pH teve pouca amplitude de variação na superfície (1,44) e no fundo (1,15). O maior valor observado na superfície ocorreu no dia 15/03/2013, quando foi registrado um valor de 7,67, enquanto que a cota mínima para este parâmetro foi obtida no dia 02/07/2013, (6,23). No fundo do reservatório, ao longo do período sazonal, também houve pouca variação na amplitude do pH, (1,15). O índice máximo ocorreu no dia 14/09/2012 quando o pH foi de 7,19 enquanto que o valor mínimo ocorreu em 17/05/2013, (6,04). O pH novamente apresentou pouca variação de amplitude na coluna d'água quando observados os valores entre a superfície e o fundo. A maior amplitude foi de 1,17, determinada no dia 15/03/2013, quando o pH na superfície era de 7,67 e no fundo de 6,50. A menor amplitude (0,09) ocorreu em 14/09/2012, quando na superfície registrou-se um pH de 7,28 e no fundo de 7,19. Via de regra, a parte mais profunda do reservatório se manteve levemente mais ácida que os estratos sobrejacentes. Em geral, a atividade heterotrófica neste estrato tende a diminuir o pH por meio da produção de CO₂, via respiração. Os processos de decomposição da matéria orgânica também podem levar à diminuição do pH pelo mesmo motivo (ESTEVES, 2011).

Com relação à condutividade elétrica, a amplitude sazonal na superfície foi de 62,9 µS/cm. O maior valor de condutividade neste estrato foi de 151,2 µS/cm, obtido em 29/11/2012. Enquanto que o valor mínimo observado ocorreu no dia 17/05/2013, (88,3 µS/cm). Quanto ao fundo do reservatório, a amplitude sazonal foi de 64,6 µS/cm. A cota mais elevada ocorreu no dia 29/11/2012, quando se observou um valor de 140,3 µS/cm, enquanto que valor mínimo de condutividade registrado para este mesmo estrato em 02/07/2013 foi de 75,7 µS/cm. A maior amplitude entre a superfície e o fundo (16,8 µS/cm) ocorreu o dia 02/07/2013, e a menor (3,1 µS/cm), em 14/09/2012. Em ambas as situações, as variáveis apresentaram pouca variabilidade. Na primeira situação, a superfície apresentava um valor de condutividade de 92,5 µS/cm e o fundo, 75,7 µS/cm. Num segundo momento, a condutividade da superfície era de 97,1 µS/cm e no fundo de 100,2 µS/cm.

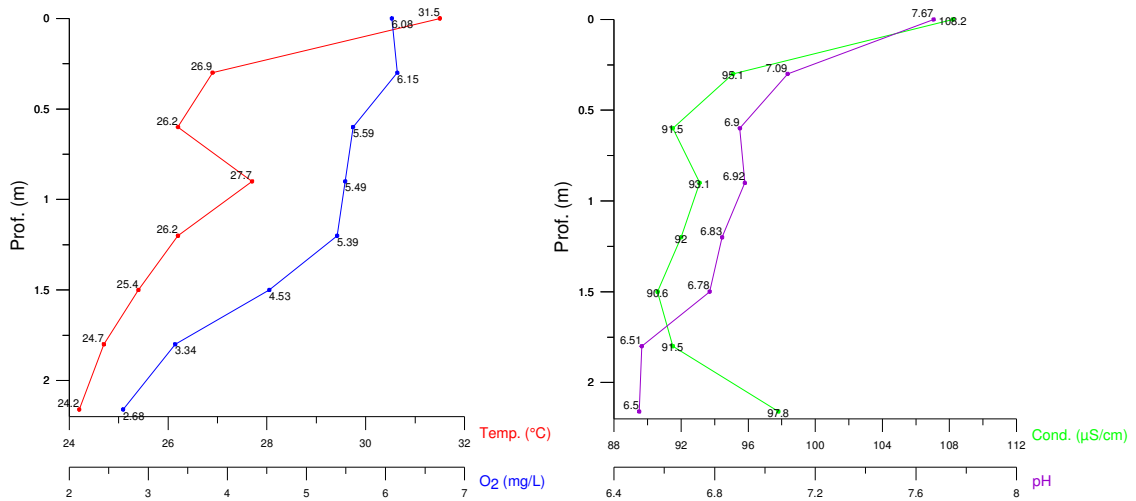
Figura 19 – Variação sazonal das variáveis de temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e potencial hidrogeniônico no reservatório.



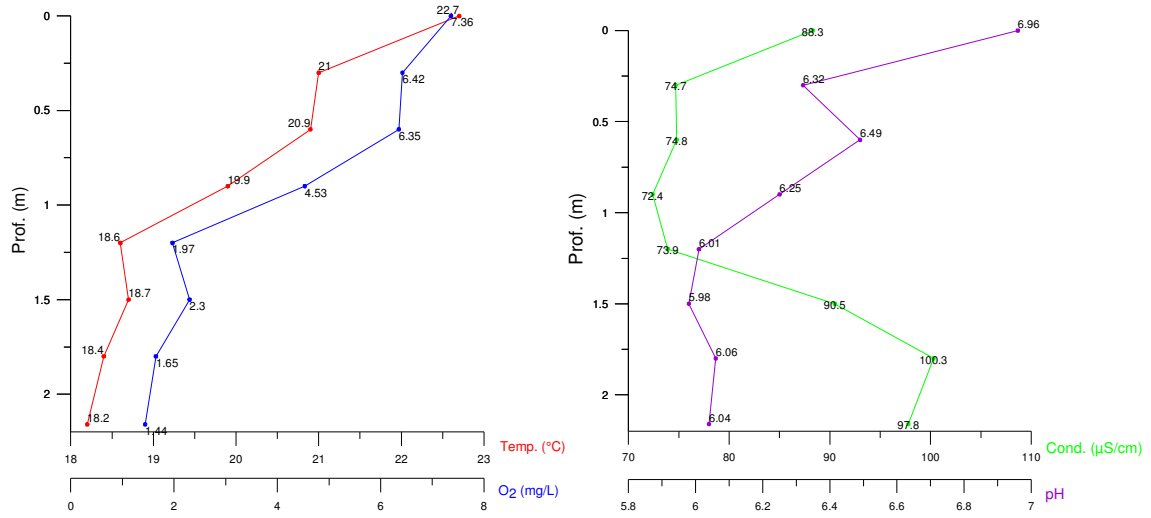
24 de janeiro/2013



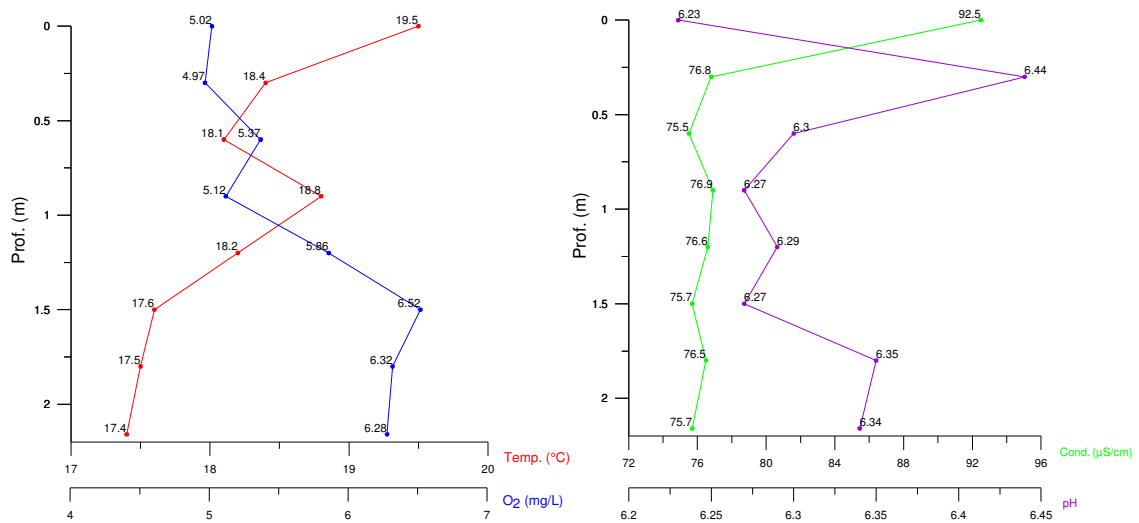
15 de março/2013



17 de maio/2013



02 de julho/2013



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.5.2 Variação diária

Durante um dia de verão, analisando-se a variabilidade nos padrões de estratificação térmica da coluna d'água do reservatório por um período de 12 horas (Figura 20), é possível observar a intensa dinâmica que ocorre em diferentes profundidades em um curto período de tempo.

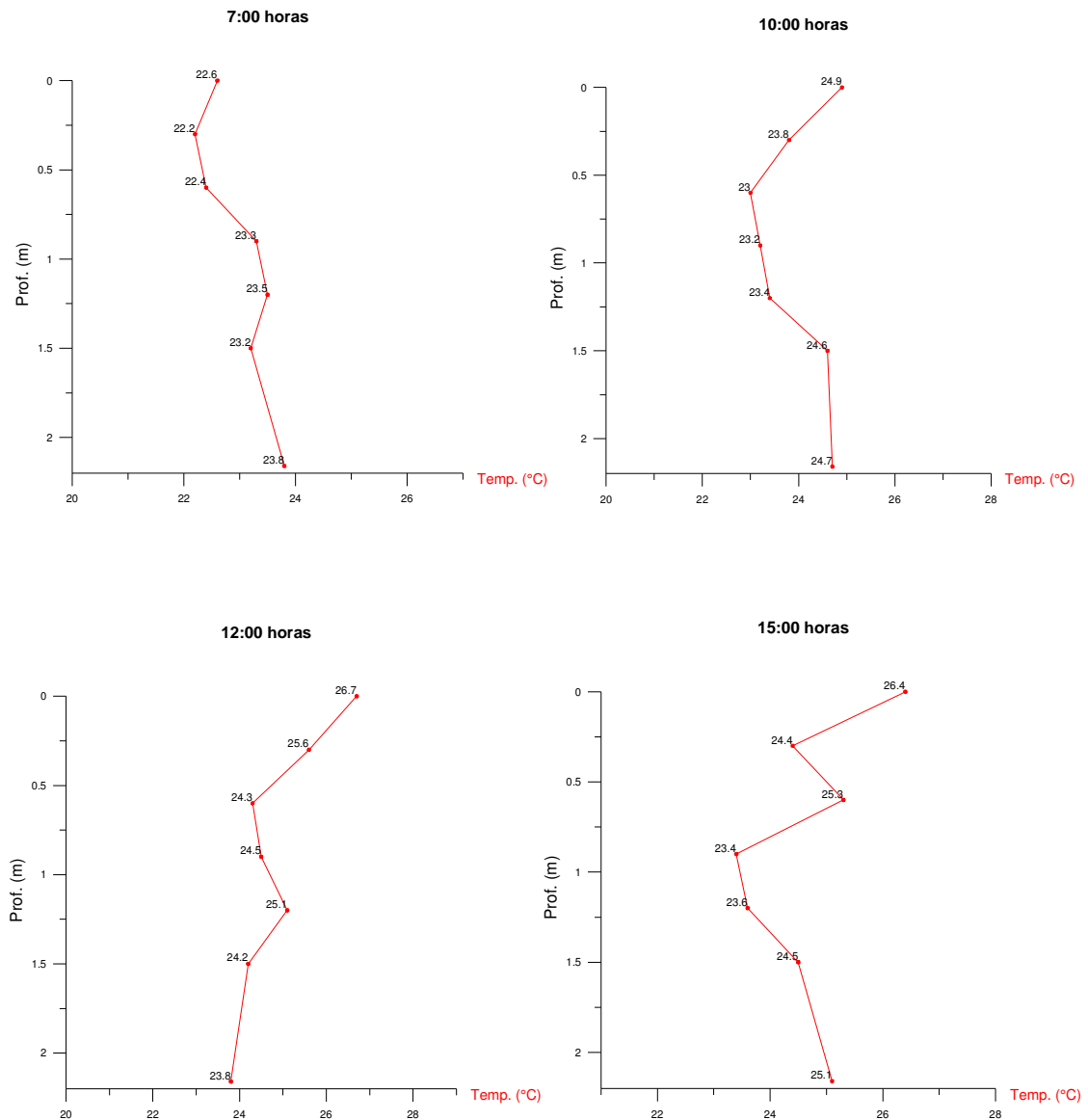
Às 7 horas do dia 24/01/2013, foi observada uma leve inversão térmica da massa d'água. A temperatura registrada na superfície era de 22,6 °C enquanto que na camada mais profunda, a temperatura era de 23,8 °C. Às 10 horas detectou-se uma isoterma da coluna d'água (em média 23,9 °C), quando a temperatura na superfície era de 24,9 °C, e no fundo de 24,7 °C. Esta foi a menor amplitude térmica entre as camadas registrada ao longo do dia (0,2 °C). No entanto, a partir das 12 horas a coluna d'água estratificou-se progressivamente, com a temperatura superficial atingindo um máximo de 28,2 °C às 17 horas. Neste horário a amplitude térmica entre a superfície e o fundo foi igual a 3,3 °C. A partir das 19 horas, devido à perda de calor para a atmosfera, iniciou-se um processo de resfriamento da camada superior da coluna d'água. Deve-se ressaltar que a maior amplitude térmica da camada superior ao longo do dia foi de 5,6 °C, enquanto que a variabilidade termal no fundo foi menos intensa, com uma amplitude de 1,5 °C.

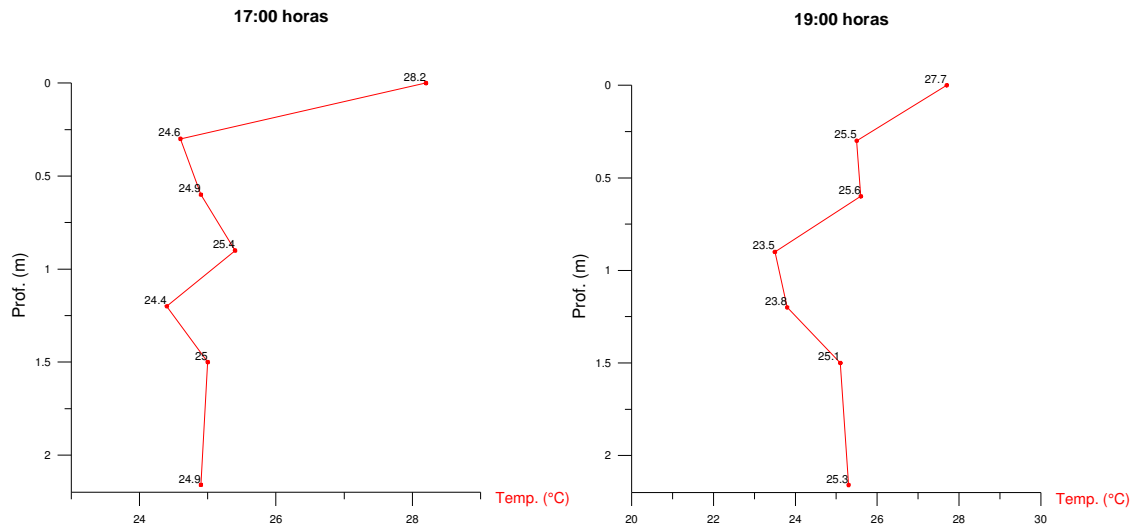
Quanto ao oxigênio dissolvido, as concentrações oscilaram significativamente ao longo do dia. A maior percentagem de saturação na camada superficial ocorreu às 17 horas, quando a concentração foi de 99,4%. Neste mesmo momento, a concentração de oxigênio no fundo era de apenas 1,9%, justamente no horário em que a estratificação térmica da coluna d'água foi mais intensa, com uma amplitude térmica entre os estratos de 3,3 °C. De um modo geral, a saturação de oxigênio dissolvido no fundo se manteve em um nível bastante reduzido ao longo de todo o dia, oscilando entre 1,5% às 7 horas e 15% às 15 horas. A profundidade do disco de Secchi foi de 28cm neste dia. Desta forma, a pouca intensidade de luz no fundo do reservatório também pode ter contribuído limitando a fotossíntese nessa camada o que pode ocasionar um baixo valor de O₂.

Os parâmetros de pH e condutividade elétrica se mantiveram relativamente estáveis durante o período de monitoramento. O pH apresentou uma amplitude sempre < 1 comparando com os demais resultados durante o monitoramento em superfície e fundo, mantendo-se com uma média de 6,66. Vale registrar que, o fundo do reservatório se manteve levemente mais ácido que a porção superior ao longo do dia.

Já a condutividade oscilou entre 98,6 e 115,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na superfície e 92,0 e 104,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no fundo. A maior amplitude entre as camadas ocorreu às 12 horas (21,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$), momento em que a condutividade na superfície era de 115,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e no fundo de 93,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Figura 20 – Padrões de estratificação térmica da coluna d'água no reservatório (24/01/2013).



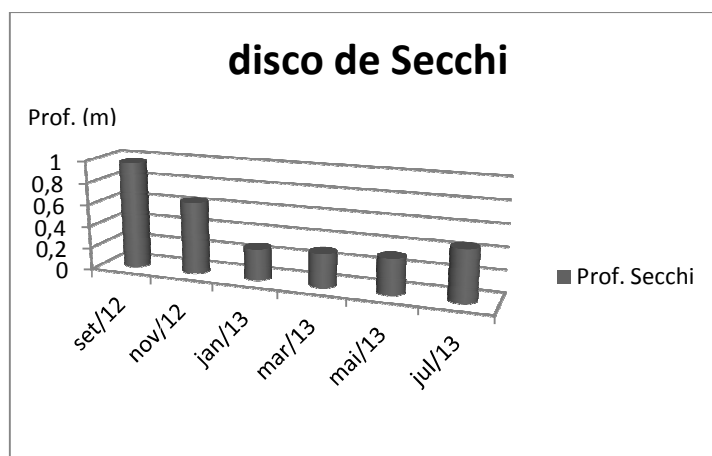


Fonte: Elaborado pelo autor.

5.5.3 Disco de Secchi

Como já esperado, as profundidades do disco de Secchi foram maiores durante a estiagem e menores durante o período de chuvas, quando a maior quantidade de material em suspensão em decorrência deste último, diminui consideravelmente a transparência da água. A profundidade de Secchi chegou próxima de 1 metro no mês de setembro, quando se detectou a maior transparência da coluna d'água, e foi diminuindo com o avanço da sazonalidade. Os menores valores foram observados durante os meses de maior precipitação pluviométrica, chegando a um valor mínimo de 28 cm no mês de janeiro. A extensão da porção iluminada da coluna d'água no reservatório, devido à profundidade reduzida do ambiente em questão (Z_{med} 86 cm), pode facilmente alcançar o sedimento. Segundo Esteves (1998), a profundidade média de cada ambiente exerce forte influência na variação anual da produtividade do fitoplâncton em lagos tropicais. Em lagos rasos, a radiação solar pode atingir o fundo do corpo d'água, o que implica em uma produtividade primária total bastante elevada em relação ao volume do lago (SPERLING, 1999). Analisando as curvas hipsográficas (Figura 18), observa-se que 50% da área da bacia estão localizados em uma profundidade de 75 cm, ou seja, ao alcance da radiação subaquática durante todo o período sazonal. Nos cálculos indiretos da extensão da zona eufótica, o menor valor ocorreu no mês de janeiro/2013, período em que a extensão da zona eufótica foi de aproximadamente 84 cm (Tabela 6). Neste mesmo mês, obteve-se o maior valor para o coeficiente de atenuação vertical da radiação ($k = 6,07$).

Figura 21 – Profundidade do disco de Secchi.



Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 6 – Valores para a profundidade do disco de Secchi, coeficiente de atenuação vertical da radiação (k) e extensão da zona eufótica.

Meses	Profundidade do disco de Secchi (m)	(k) Coeficiente de atenuação vertical	Extensão da zona eufótica (m)
Setembro/12	0,97	1,75	2,91
Novembro/12	0,65	2,61	1,95
Janeiro/13	0,28	6,07	0,84
Março/13	0,30	5,66	0,90
Maio/13	0,32	5,31	0,96
Julho/13	0,46	3,69	1,38

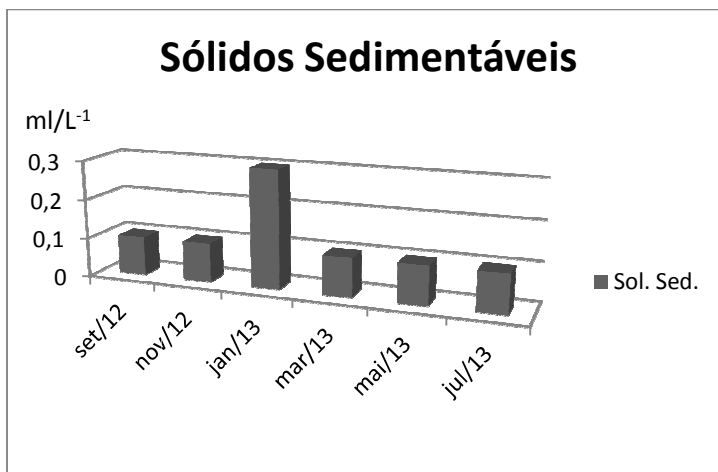
Fonte: elaborado pelo autor.

5.5.4 Sólidos Sedimentáveis e Material em Suspensão

Com exceção ao mês de janeiro/2013, os valores de Sólidos Sedimentáveis (Figura 22) e Material em Suspensão (figura 23), não oscilaram significativamente ao longo do período sazonal. Os níveis de Sólidos Sedimentáveis ficaram em $0,1 \text{ ml/L}^{-1}$ durante praticamente todo o monitoramento. No mês de janeiro, devido às chuvas e ao início de trabalhos de limpeza e remoção de macrófitas das margens do reservatório, registrou-se o nível mais elevado de Sólidos Sedimentáveis, $0,3 \text{ ml/L}^{-1}$. O Material em Suspensão apresentou valores similares,

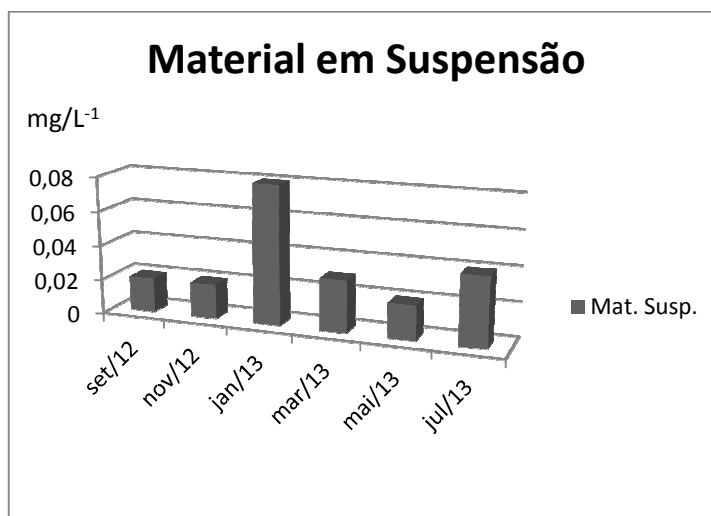
mantendo-se ao longo de praticamente todo o período sazonal, com valores em média de 0,026 mg/L⁻¹. De forma similar, o índice mais elevado ocorreu no mês de janeiro/2013, quando o Material em Suspensão foi de 0,08 mg/L⁻¹, mesmo mês em que foi detectada a menor profundidade do disco de Secchi (Figura 21).

Figura 22 - Variação sazonal dos valores de Sólidos Sedimentáveis.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 23 - Variação sazonal dos valores de Material em Suspensão.



Fonte: elaborado pelo autor.

5.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA E VARIOGRÁFICA DAS VARIÁVEIS Cl-a, N, P

Durante o período de estiagem a média da clorofila-*a* na superfície (Figura 24) foi de $2,27 \mu\text{g/L}^{-1}$ com valores mínimos de $0,75 \mu\text{g/L}^{-1}$ e um máximo de $8,4 \mu\text{g/L}^{-1}$. No período de chuvas (Figura 30), a média foi de $9,50 \mu\text{g/L}^{-1}$ ocorrendo cotas máximas de até $32,07 \mu\text{g/L}^{-1}$. No fundo do reservatório, calculou-se um valor médio de $4 \mu\text{g/L}^{-1}$ na estiagem (Figura 27), e $8,92 \mu\text{g/L}^{-1}$ no período de chuvas (Figura 33). Os níveis nesta camada ficaram entre $0,76$ e $12,98 \mu\text{g/L}^{-1}$ na estiagem e $1,33$ e $26,73 \mu\text{g/L}^{-1}$ no período de chuvas. Segundo Wetzel (1993), ambientes aquáticos com concentração acima de $10 \mu\text{g/L}$ de clorofila-*a* podem ser considerados como eutrofizados.

Com relação ao nitrogênio total, o resultado da média na superfície durante a estiagem foi de $0,24 \text{mg/L}^{-1}$ (Figura 25) com valores máximos de até $0,49 \text{mg/L}^{-1}$ e mínimos de $0,13 \text{mg/L}^{-1}$. Nesta mesma camada, porém, no período de chuvas, foram observados níveis máximos de $1,01 \text{mg/L}^{-1}$ e um mínimo de $0,15 \text{mg/L}^{-1}$, com uma média de $0,50 \text{mg/L}^{-1}$ para toda a camada (Figura 31). No fundo do reservatório, as médias para o período de estiagem (Figura 28) e chuvas (Figura 34) foram de $0,27$ e $0,50 \text{mg/L}^{-1}$ respectivamente. Com os valores oscilando entre $0,1$ e $0,53 \text{mg/L}^{-1}$ na estiagem, e $0,13$ e $1,22 \text{mg/L}^{-1}$ no período de chuvas.

O fósforo total (P), na superfície, apresentou valores médios de $48,51 \mu\text{g/L}^{-1}$ na estiagem (Figura 26), e de $94,27 \mu\text{g/L}^{-1}$ no período de chuvas (Figura 32). A cota mínima na estiagem foi de $10,18 \mu\text{g/L}^{-1}$ e a máxima de $167,3 \mu\text{g/L}^{-1}$. No período de chuvas, a cota mínima apresentou um valor mais elevado em comparação com a estação anterior ($47,74 \mu\text{g/L}^{-1}$) enquanto que a cota máxima foi de $151,9 \mu\text{g/L}^{-1}$. A concentração média de fósforo total no fundo do reservatório durante a estiagem foi de $71,21 \mu\text{g/L}^{-1}$ (Figura 29) com valores mínimos de $7,4 \mu\text{g/L}^{-1}$ e máximo de $305,7 \mu\text{g/L}^{-1}$. No período de chuvas a média de P para esta camada foi de $119,74 \mu\text{g/L}^{-1}$ (Figura 35) com mínima de $68,02 \mu\text{g/L}^{-1}$ e um máximo de $207,6 \mu\text{g/L}^{-1}$.

5.6.1 Período de estiagem

Por meio das análises das distribuições de frequência e dos variogramas das variáveis de clorofila-*a*, nitrogênio e fósforo no período estiagem (Figuras 24, 25, 26, 27, 28 e 29), verifica-se que os histogramas apresentam em sua maioria uma configuração assimétrica positiva e bem como, valores anômalos (*outliers*). Desta forma, ocorre uma distorção da

média aritmética, portanto, a mediana é mais representativa do valor de tendência central. O coeficiente de variação se manteve abaixo de 1, ou seja, menor que 100%. Este parâmetro representa a regularidade ou homogeneidade das amostras que estão sendo estudadas. Segundo Andriotti (2003), valores elevados, na prática, superiores a 1, representam amostras com grande heterogeneidade e valores abaixo de 0,4 refletem uma significativa homogeneidade da amostra.

Figura 24 – Histograma e variograma modelado da variável clorofila-a na superfície do reservatório (período de estiagem).

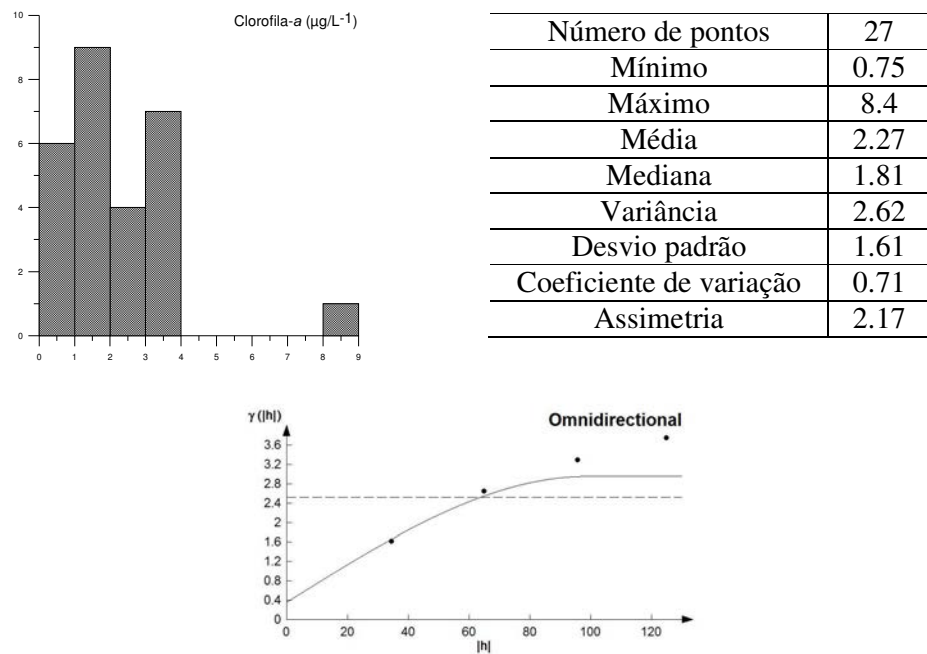
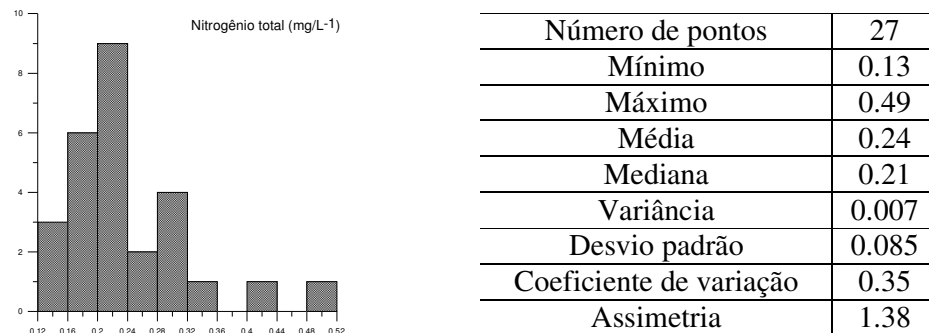
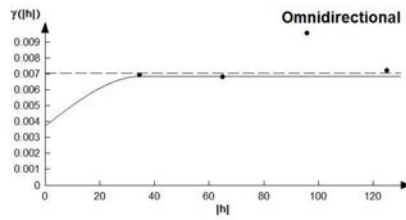


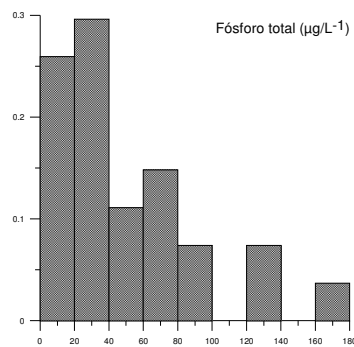
Figura 25 – Histograma e variograma modelado da variável nitrogênio total na superfície do reservatório (período de estiagem).



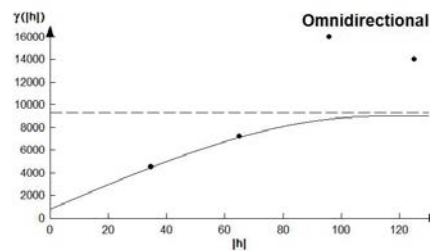


Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 26 – Histograma e variograma modelado da variável fósforo total na superfície do reservatório (período de estiagem).

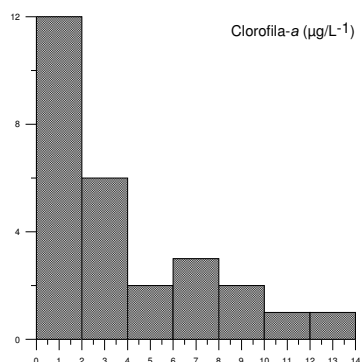


Número de pontos	27
Mínimo	10.18
Máximo	167.3
Média	48.51
Mediana	31.94
Variância	1671.6
Desvio padrão	40.88
Coefficiente de variação	0.84
Assimetria	1.50

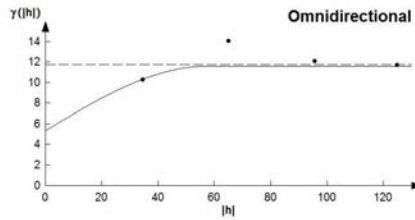


Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 27 – Histograma e variograma modelado da variável clorofila-a total no fundo do reservatório (período de estiagem).

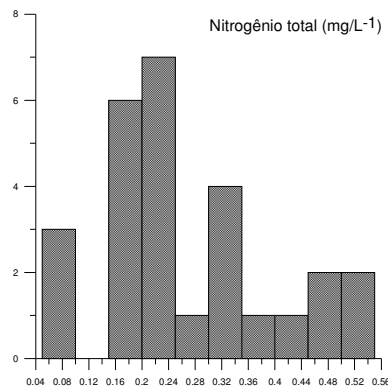


Número de pontos	27
Mínimo	0.76
Máximo	12.98
Média	4.009
Mediana	3.05
Variância	12.17
Desvio padrão	3.48
Coefficiente de variação	0.87
Assimetria	1.19

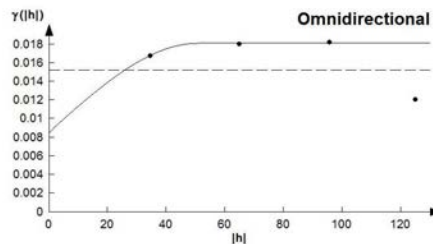


Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 28 – Histograma e variograma modelado da variável nitrogênio total no fundo do reservatório (período de estiagem).

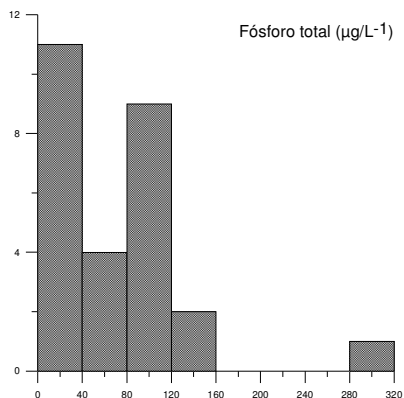


Número de pontos	27
Mínimo	0.1
Máximo	0.53
Média	0.27
Mediana	0.22
Variância	0.01
Desvio padrão	0.12
Coefficiente de variação	0.45
Assimetria	0.75

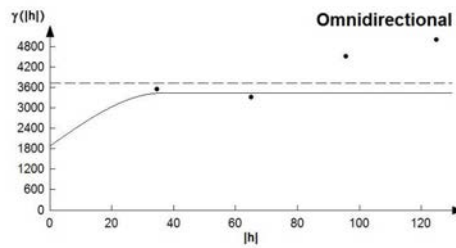


Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 29 – Histograma e variograma modelado da variável fósforo total no fundo do reservatório (período de estiagem).



Número de pontos	27
Mínimo	7.4
Máximo	305.7
Média	71.21
Mediana	50.62
Variância	3866.76
Desvio padrão	62.18
Coefficiente de variação	0.87
Assimetria	2.14

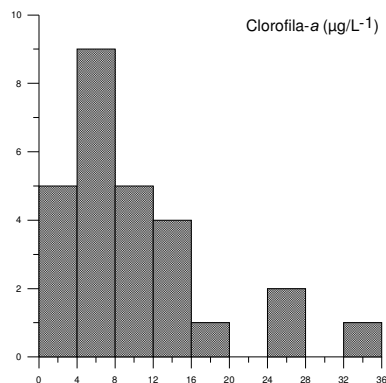


Fonte: elaborado pelo autor.

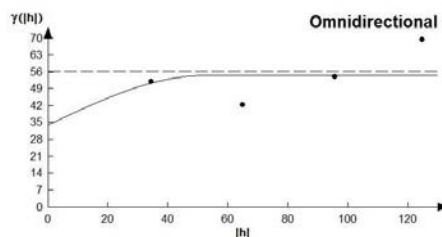
5.6.2 Período de chuvas

Os histogramas das variáveis Cl-a, N e P no período de chuvas (Figuras 30, 31, 32, 33, 34), da mesma forma que ocorreu na estiagem, também apresentaram uma configuração assimétrica positiva. Uma exceção foi o fósforo (Figura 35), que apresentou uma configuração normal. Neste caso, os valores da média e da mediana encontram-se próximos e representam a tendência central da distribuição. Vale ressaltar que, os valores da mediana das variáveis analisadas tiveram um aumento por volta de 100% neste período de maior precipitação pluviométrica, com destaque para a clorofila-a na superfície, que apresentou um aumento de 269% em comparação com o período anterior (estiagem). Alguns dos histogramas estudados também apresentam *outliers*.

Figura 30 – Histograma e variograma modelado da variável clorofila-a na superfície do reservatório (estação chuvosa).

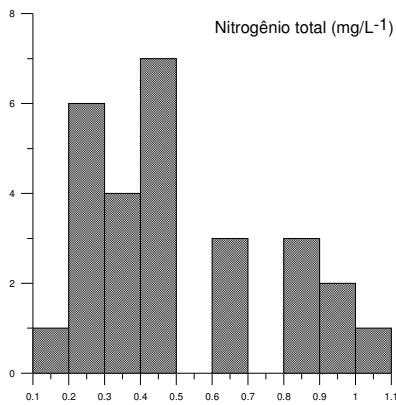


Número de pontos	27
Mínimo	1.23
Máximo	32.07
Média	9.50
Mediana	6.6825
Variância	58.47
Desvio padrão	7.64
Coefficiente de variação	0.80
Assimetria	1.55

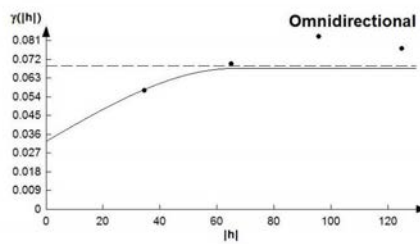


Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 31 – Histograma e variograma modelado da variável nitrogênio total na superfície do reservatório (estação chuvosa).

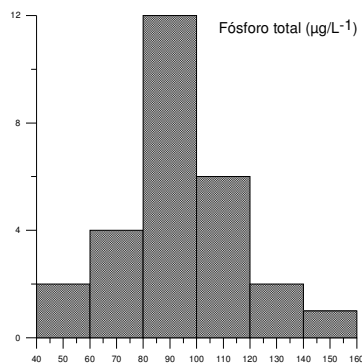


Número de pontos	27
Mínimo	0.15
Máximo	1.01
Média	0.50
Mediana	0.43
Variância	0.07
Desvio padrão	0.26
Coefficiente de variação	0.52
Assimetria	0.65

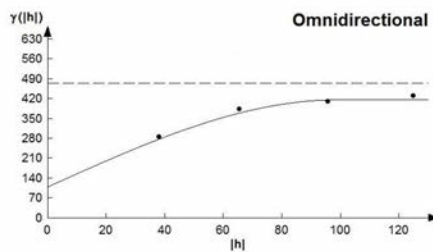


Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 32 – Histograma e variograma modelado da variável fósforo total na superfície do reservatório (estação chuvosa).

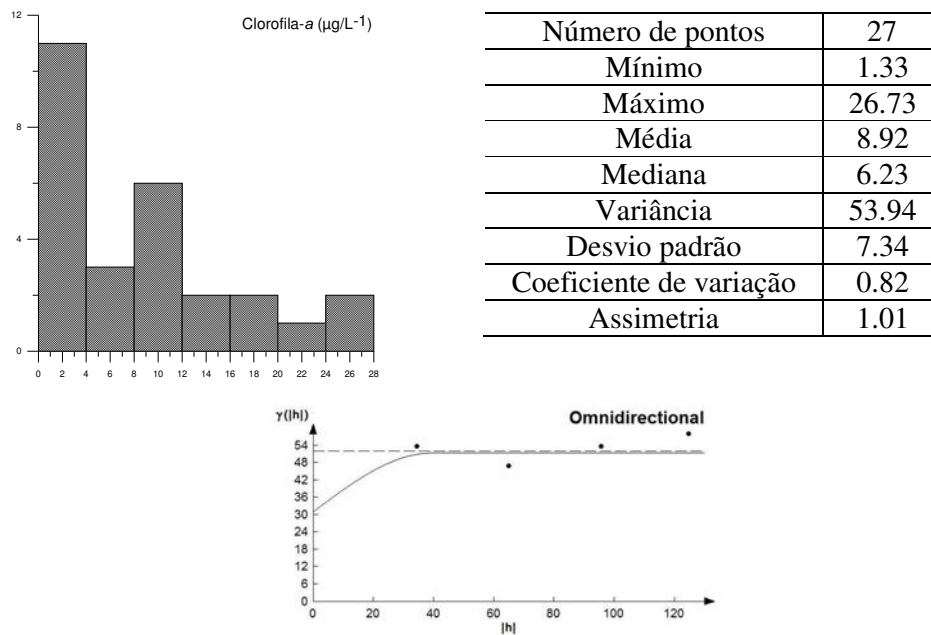


Número de pontos	27
Mínimo	47.74
Máximo	151.9
Média	94.27
Mediana	94.13
Variância	491.91
Desvio padrão	22.17
Coefficiente de variação	0.23
Assimetria	0.17



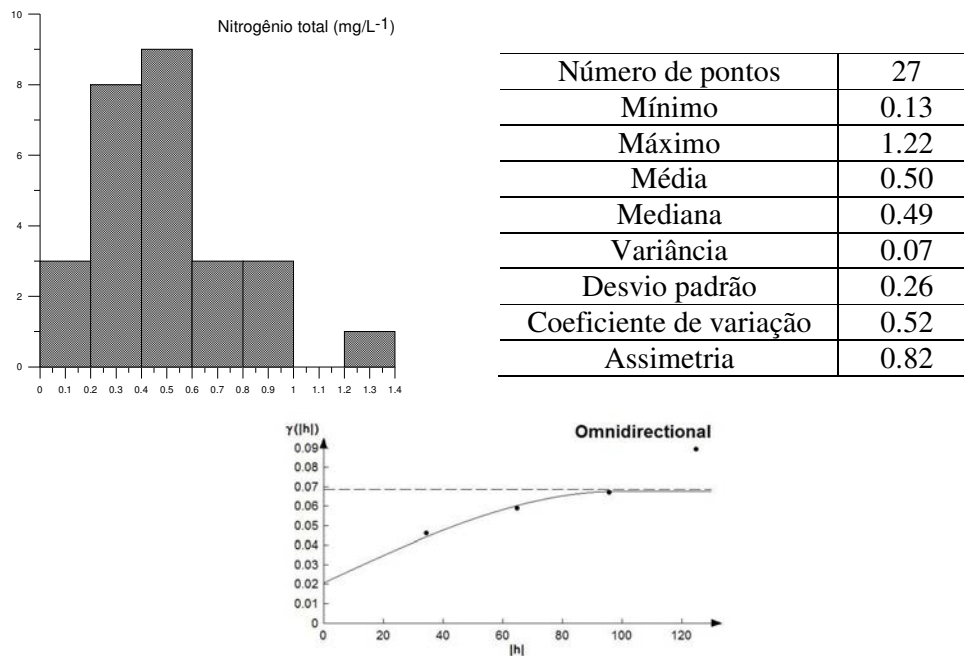
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 33 – Histograma e variograma modelado da variável clorofila-*a* no fundo do reservatório (estação chuvosa).



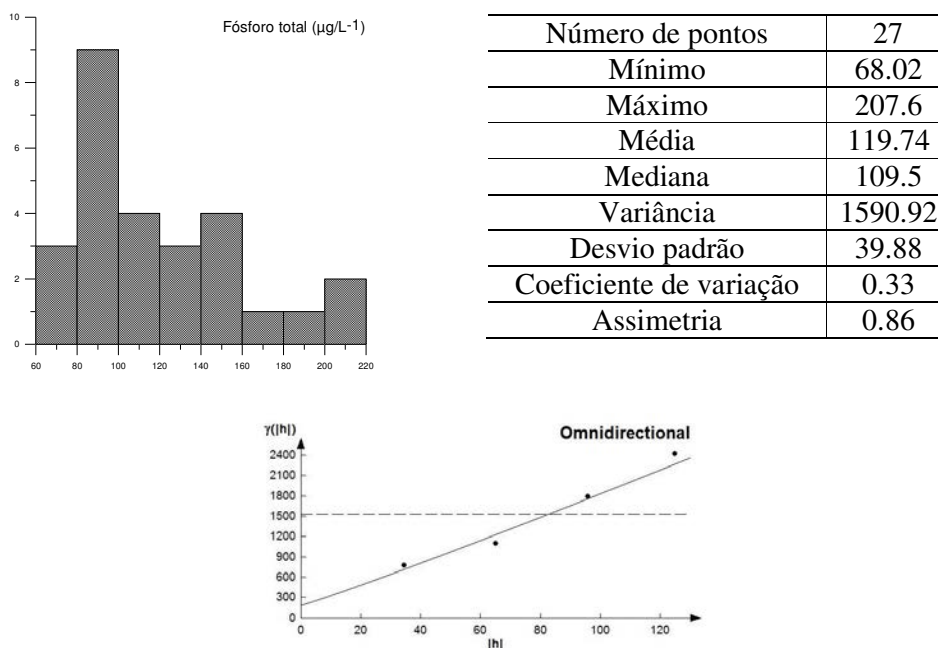
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 34 – Histograma e variograma modelado da variável nitrogênio total no fundo do reservatório (estação chuvosa).



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 35 – Histograma e variograma modelado da variável fósforo total no fundo do reservatório (estação chuvosa).



Fonte: elaborado pelo autor.

A presença de valores mais elevados no período de chuvas em comparação com o período de estiagem, em ambos os estratos, pode estar relacionada com o escoamento superficial ou subsuperficial influenciado pelas práticas de manejo impostas na bacia, visto que, nenhuma fonte pontual de lançamento de efluentes no ambiente em questão pode ser constatada.

5.6.3 Parâmetros variográficos

Foram elaborados variogramas experimentais omnidirecionais para as variáveis Cl-a N e P obtidas no período de estiagem e chuvas e em duas profundidades, superfície e fundo.

O modelo matemático do tipo esférico foi o mais utilizado visto que, apresentou os melhores ajustes aos dados limnológicos.

Para verificar a significância da variabilidade do efeito pepita calculou-se a razão entre C_0 e C_1 , que expressa o grau de aleatoriedade da variável. A razão entre os dois parâmetros C_0 e C_1 permitiu classificar a componente aleatória como expressiva para o processo subsequente de estimativa. Segundo Guerra (1988), a combinação destes dois parâmetros em um

parâmetro simples, qual seja o efeito pepita relativo, é um meio conveniente de expressar a relativa aleatoriedade da regionalização.

As distâncias (h) em que os variogramas estabilizaram-se, ou seja, o *range* (a), foram em média 65 e 72 m, que refletem a distância até onde ocorre a dependência espacial da variável. Ele expressa a distância a partir da qual um ponto da variável em estudo não tem mais influência sobre o ponto vizinho. Esta distância (a) delimita a zona de influência a partir da qual a variância dos variogramas é máxima. Os modelos esféricos referem-se a fenômenos de transição que se caracterizam por variogramas cuja ascensão da curva tende ao patamar $C_0 + C_1$.

Tabela 7 - Parâmetros variográficos referentes ao período de estiagem

Variograma/Variável	Superfície			Fundo		
	Cl- a	N	P	Cl- a	N	P
Tipo	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico
C_0	0.364	0.00376	837	5.4	0.0086	1.900
C_1	2.964	0.00688	9.021	11.64	0.0182	3.458
a (m)	98.8	35.1	111.8	57.2	50.7	36.4

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 8 - Parâmetros variográficos referentes ao período de chuvas

Variograma/Variável	Superfície			Fundo		
	Cl- a	N	P	Cl- a	N	P
Tipo	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico	Power
C_0	34.2	0.0329	110.4	31.19	0.021	192
C_1	54.72	0.0679	417.6	51.47	0.0679	1.692
a (m)	52	66.3	98.8	39	98.8	80

Fonte: elaborado pelo autor.

5.7 ESTIMATIVAS DA VARIABILIDADE HORIZONTAL DA CL-*a*, N-TOTAL E P-TOTAL, (ESTIAGEM E CHUVAS) POR MEIO DA KRIGAGEM ORDINÁRIA

O intuito destas estimativas constituiu-se na análise da continuidade espacial, por meio dos variogramas das variáveis analisadas neste trabalho. Após esta fase, foram elaborados os mapas geoestatísticos da clorofila-*a*, do fósforo total e do nitrogênio total para a superfície e fundo do reservatório, no período de estiagem e chuvas (Figuras 36, 37, 38, 39, 40, 41). Os mapas dos desvios padrão das estimativas dos mapas geoestatísticos, que constituem em última análise o erro da estimativa, encontram-se no APÊNDICE-A.

Os valores mais elevados nas concentrações das variáveis estudadas ocorreram preferencialmente na parte sul do reservatório, na zona intermediária ou de transição.

A clorofila-*a* na superfície (Figura 36) apresentou maior concentração na parte oeste do reservatório durante a estiagem, com um máximo de $6 \mu\text{g/L}^{-1}$. No fundo do reservatório, os valores mais expressivos também se concentraram na zona intermediária, porém, distribuídos de forma alongada no sentido leste-oeste onde se observa um máximo de $10,50 \mu\text{g/L}^{-1}$ na parte central do reservatório. Em ambas as profundidades, os valores mais baixos para a clorofila-*a* na estiagem foram detectados no compartimento norte próximo ao tributário. Lopes et al. (2012) pesquisaram a distribuição espacial da clorofila-*a* no reservatório de Itaparica por meio de sensoriamento remoto e identificaram uma diminuição nas concentrações de clorofila-*a* da região lacustre para a região fluvial.

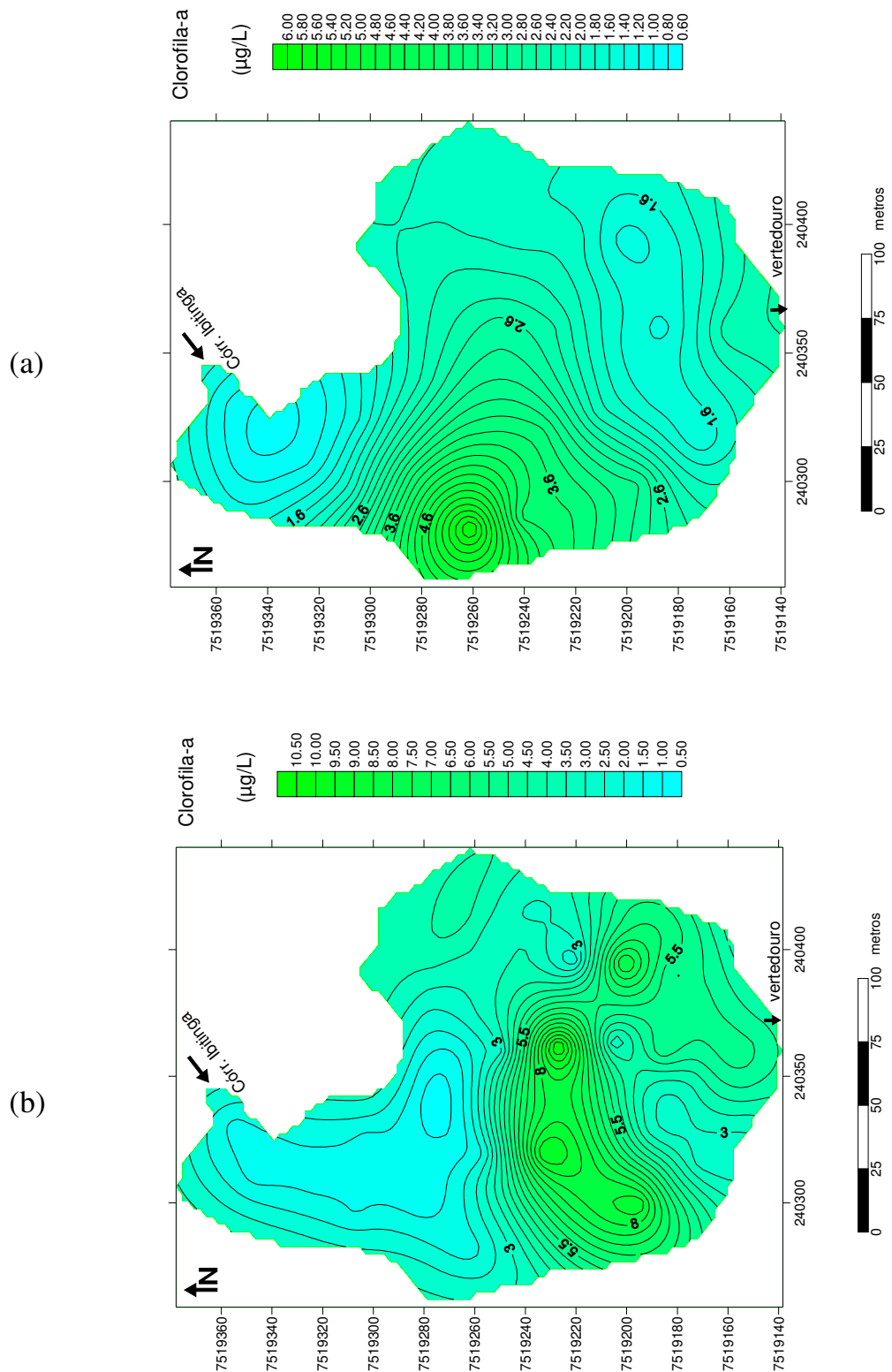
No período de chuvas (Figura 39) as concentrações de clorofila-*a* aumentaram significativamente tanto na superfície quanto no fundo, 31 e $24 \mu\text{g/L}^{-1}$ respectivamente. Estes valores foram detectados na porção proximal ao vertedouro e na região central do reservatório. Semelhantemente ao ocorrido no período de estiagem, os valores menos expressivos para a clorofila-*a* ocorreram próximo ao tributário onde as profundidades oscilam entre 30 e 60 cm. De forma geral, os níveis mais elevados de clorofila-*a* ocorreram da porção transicional do reservatório onde o fluxo de água é reduzido, a profundidade é maior e a concentração de material em suspensão é menor. Estudando os fatores que influenciam a distribuição espacial do fitoplâncton no reservatório da Pampulha, Campos (2010) verificou que, os locais com maior tempo de retenção coincidiam com os de maior biomassa fitoplanctônica e que isto pode ser explicado pela interação entre a flutuabilidade do fitoplâncton e as características de mistura do reservatório.

O nitrogênio total apresentou valores homogêneos por todo o reservatório tanto na superfície quanto no fundo no período de estiagem, com valores máximos em torno de 24 e

27 mg/L⁻¹ respectivamente (Figura 37). Observa-se no mapa que, os níveis levemente mais elevados estão localizados na região intermediária e central do reservatório. Durante as chuvas os valores máximos de nitrogênio total sofreram um aumento de 120% na superfície e 107% no fundo do reservatório comparando com o período anterior. Os níveis máximos foram de 53 (superfície) e 56 mg/L⁻¹ (fundo). Nota-se ainda que, os valores mais elevados, tanto na superfície quanto no fundo, concentraram-se na extremidade sul do reservatório, próximo ao vertedouro. Mesmo os valores mínimos registrados nos dois estratos nesta estação (Figura 40), foram significativamente superiores àqueles obtidos na estação anterior, ou seja, no inverno.

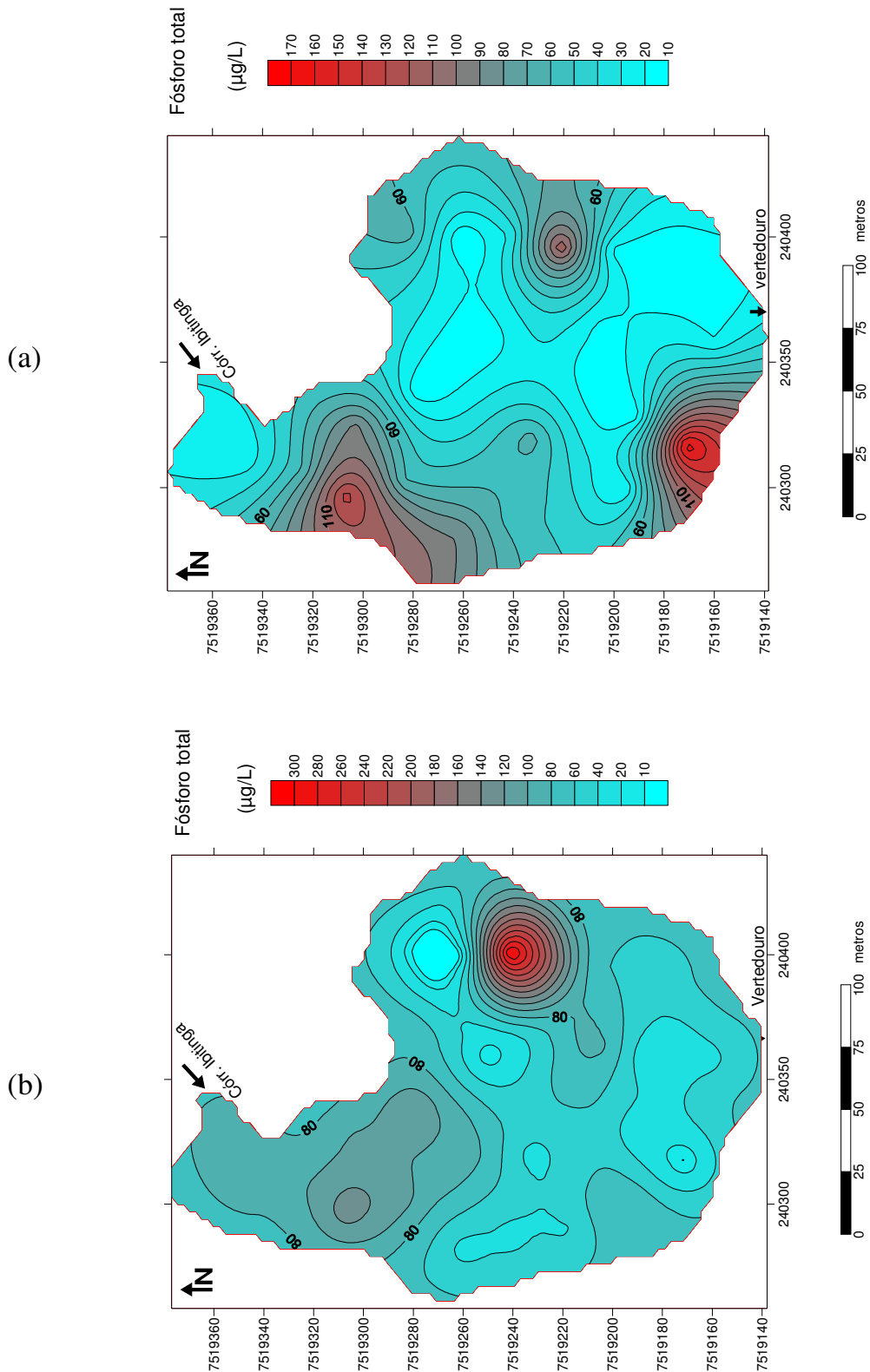
Quanto ao fósforo total, no período de estiagem, as maiores concentrações na superfície e fundo do reservatório ocorreram na região litorânea e os menores índices, na região central (Figura 38). Os valores máximos foram similares na superfície e fundo durante os dois períodos de monitoramento, porém, os níveis mínimos no período de chuvas (Figura 41) foram mais expressivos comparando com o período anterior (estiagem).

Figura 36 - Mapas de dispersão da clorofila-a, na superfície (a) e fundo (b) do reservatório no período de estiagem



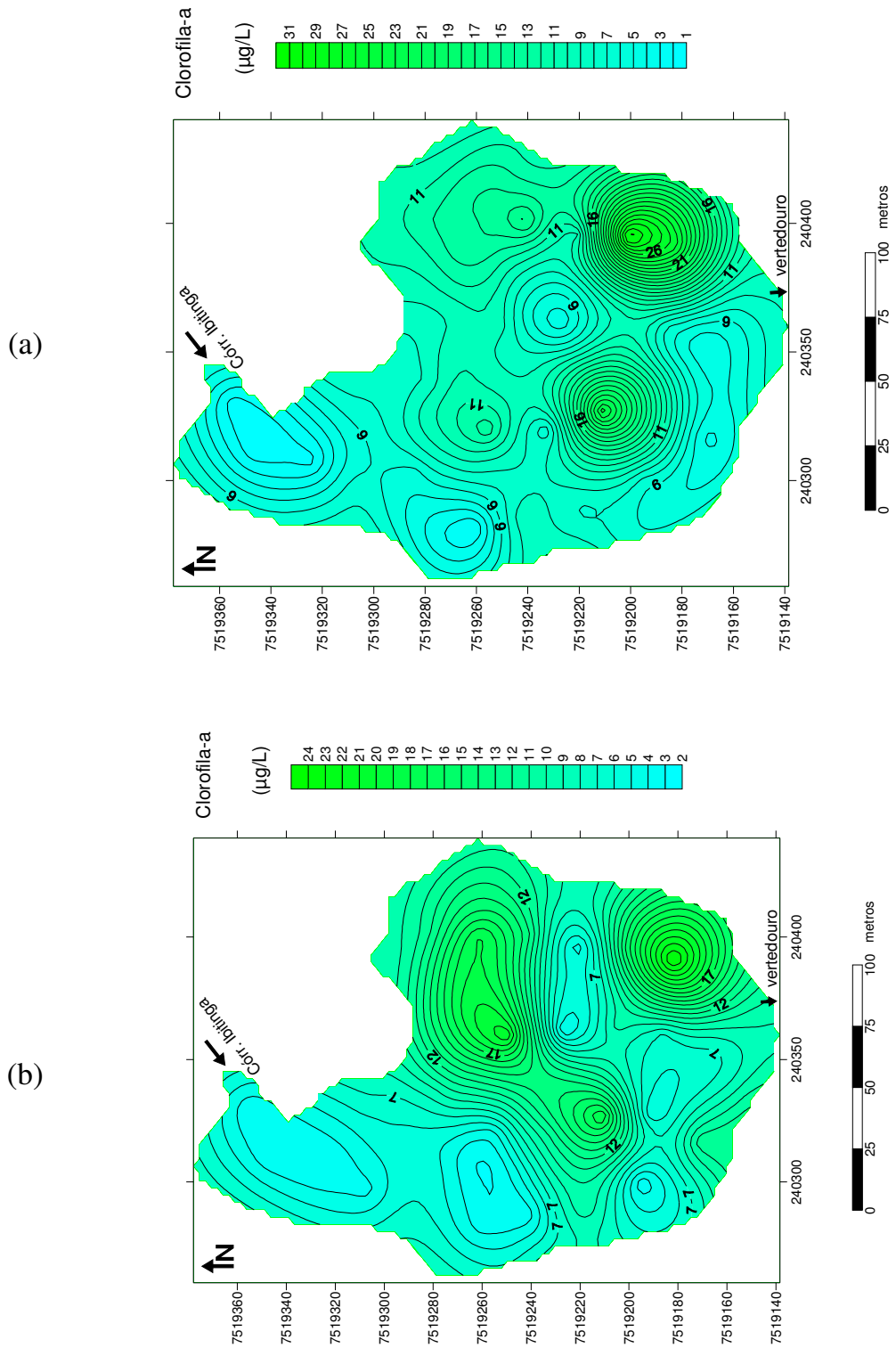
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 38 - Mapas de dispersão do fósforo total na superfície (a) e fundo (b) do reservatório no período de estiagem



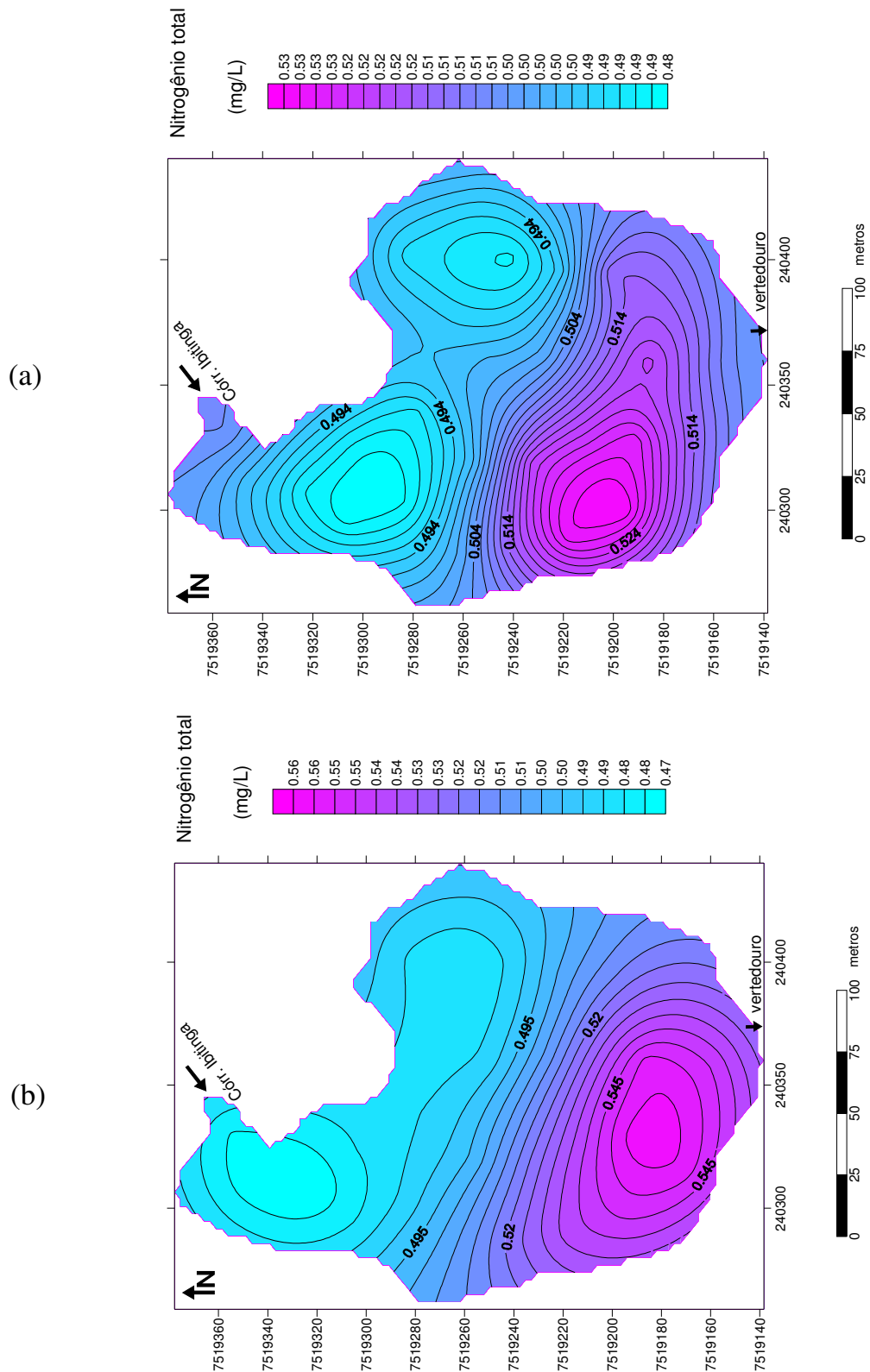
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 39 - Mapas de dispersão da clorofila-a na superfície (a) e fundo (b) do reservatório no período de chuvas



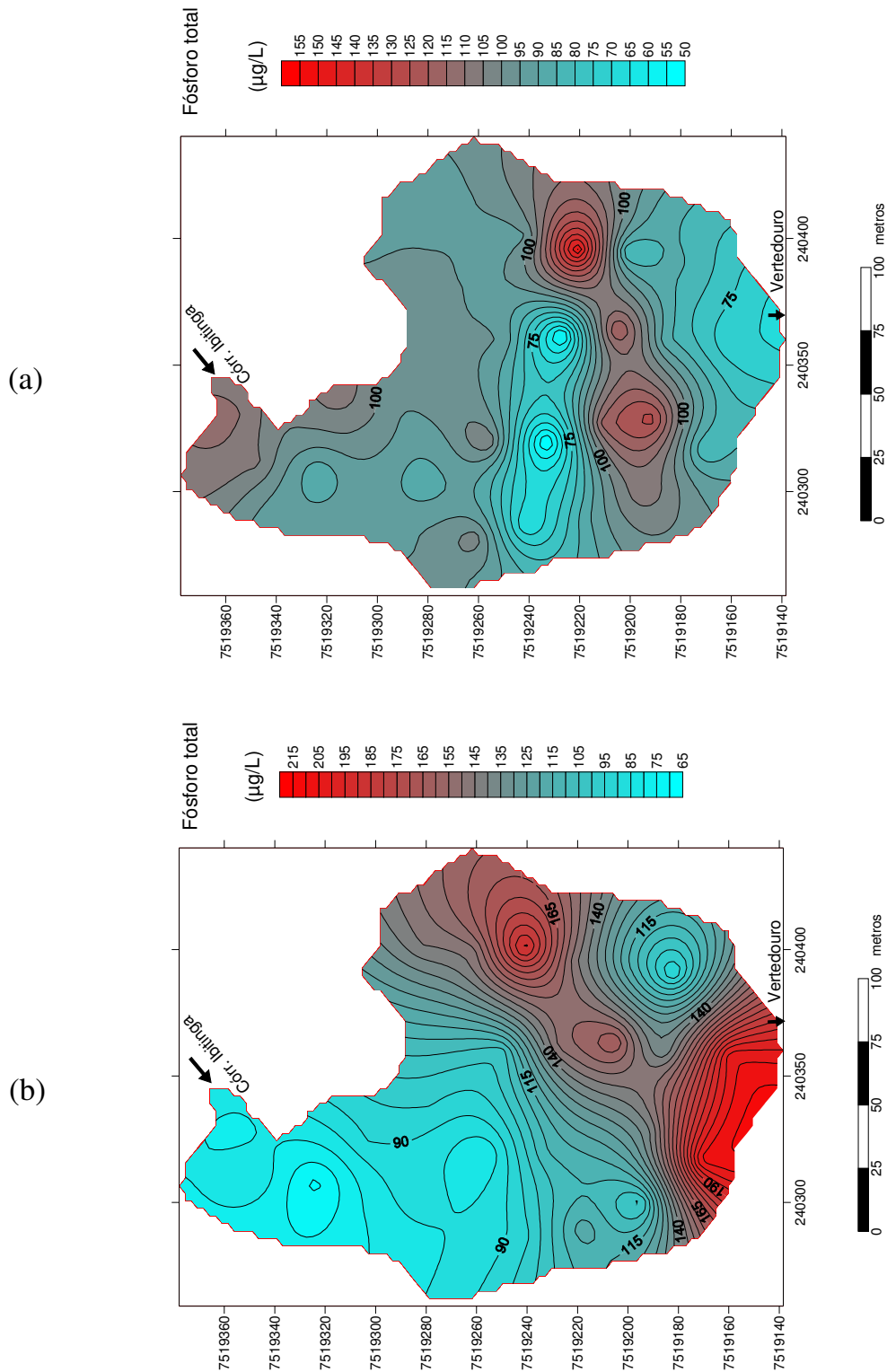
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 40 - Mapas de dispersão do nitrogênio total na superfície (a) e fundo (b) do reservatório no período de chuvas



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 41 - Mapas de dispersão do fósforo total na superfície (a) e fundo (b) do reservatório no período de chuvas



Fonte: elaborado pelo autor.

5.7.1 Correlação entre os mapas da krigagem

Analisando os mapas da krigagem das variáveis clorofila-*a*, nitrogênio total e fósforo total no período de estiagem (Figuras 36, 37 e 38), nota-se aparentemente, maior correlação entre a CL-*a* e o N em ambas as camadas, ou seja, na superfície e no fundo do reservatório. O coeficiente de correlação linear de Pearson entre os mapas da krigagem das variáveis CL-*a* e N apresentou um valor de 0,38 na superfície e -0,42 no fundo. Já o coeficiente de correlação entre a CL-*a* e o P foi menor, 0,08 e -0,26 respectivamente.

Tabela 9 - Coeficiente de correlação entre os mapas da krigagem das variáveis CL-*a*, N e P na superfície (estiagem).

	Cl-<i>a</i>	N	P
Cl- <i>a</i>	1	0,38	0,08
N	0,38	1	0,20
P	0,08	0,20	1

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 10 - Coeficiente de correlação entre os mapas da krigagem no fundo (estiagem).

	Cl-<i>a</i>	N	P
Cl- <i>a</i>	1	-0,42	-0,26
N	-0,42	1	-0,06
P	-0,26	-0,06	1

Fonte: elaborado pelo autor.

A mesma análise comparativa entre os mapas (Figuras 39, 40 e 41), porém, durante o período de maior precipitação pluviométrica, observa-se, novamente a existência de maior correlação entre a CL-*a* e o N na superfície, sendo que os níveis mais elevados concentraram-se predominantemente na parte sul do reservatório, próximo ao vertedouro. O coeficiente de correlação linear entre os mapas da krigagem das variáveis CL-*a* e N foi de 0,17 nesta camada (Tabela 11), sendo novamente superior àquela encontrada para a CL-*a* e P, que foi de 0,09. Já no fundo do reservatório (Tabela 12), observa-se maior correlação entre a CL-*a* e o P (0,22), enquanto que a correlação entre a CL-*a* e o N foi de -0,10.

Tabela 11 - Coeficiente de correlação entre os mapas da krigagem na superfície (chuvas).

	Cl-a	N	P
Cl-a	1	0,17	0,09
N	0,17	1	-0,19
P	0,09	-0,19	1

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 12 - Coeficiente de correlação entre os mapas da krigagem no fundo (chuvas).

	Cl-a	N	P
Cl-a	1	-0,10	0,22
N	-0,10	1	0,36
P	0,22	0,36	1

Fonte: elaborado pelo autor.

5.7.2 Desvio padrão da krigagem

Observa-se que, em todos os mapas, a variância do erro da estimativa tende a ser maior nas áreas próximas da margem do reservatório, onde a malha de amostragem é menor. Por outro lado, na região central onde os pontos de amostragem encontram-se em maior densidade, a dispersão do erro é maior. Via de regra, os mapas apresentam uma configuração do tipo *bull eyes* visto que, próximo às amostras, as curvas de isovalores tendem a ser concêntricas em direção ao ponto de amostragem, tendendo a zero.

Estes mapas além da incerteza associada às estimativas podem ser considerados como um mapa do índice de configuração da malha de amostragem. Estes aspectos podem auxiliar um estabelecimento de malhas mais adequadas, que podem definir segundo a teoria das variáveis regionalizadas um parâmetro da dispersão do erro associado a um valor estimado pela krigagem. Os doze mapas dos desvios padrão da krigagem dos parâmetros de clorofila-*a*, fósforo total e nitrogênio total estão representados no APÊNDICE-A.

5.7.3 Razão N:P

Utilizou-se o valor da mediana entre os 27 pontos de monitoramento para o cálculo da razão N:P na superfície e fundo do reservatório. Durante os períodos de estiagem e chuvas, os valores da razão N:P foram sempre <10 indicando que a produtividade primária no ambiente

possivelmente seja limitada por nitrogênio e não por fósforo. As razões N:P obtidas para a superfície e fundo no período de estiagem foram de 6,57 e 4,34 respectivamente. Enquanto que no período de chuvas, a razão N:P na superfície foi de 4,56 e no fundo de 4,47. Os resultados são condizentes com os mapas da krigagem dos valores de Cl-*a*, N e P, onde visualmente detecta-se maior correlação entre a clorofila-*a* e o nitrogênio, e com os cálculos dos coeficientes de correlação linear de Pearson entre os mapas da krigagem que, também indicaram maior correlação entre a clorofila-*a* e o nitrogênio, exceto no fundo na estação de estiagem.

Em corpos d'água que recebem descargas de esgotos, existem fortes evidências de que, ao contrário do que é usualmente aceito, o nitrogênio, e não o fósforo tem assumido o papel de nutriente limitante na eutrofização de ambientes aquáticos tropicais. Isto se deve ao fato de que a relação média N/P nos esgotos domésticos, que constituem a principal fonte de eutrofização, é de 8, ou seja, bastante inferior à relação encontrada na biomassa das algas. Além disso, a ocorrência de processos de desnitrificação e de fertilização interna (liberação de fósforo do sedimento) também contribuem para que o nitrogênio esteja presente em concentrações inferiores à demanda algal convertendo-se, portanto, no nutriente limitante (SPERLING, 2000).

Pesquisando a frequência na limitação do fitoplâncton por nitrogênio em lagos tropicais, Lewis (2002) sugere que este fenômeno parece ser bastante comum. Segundo o autor, as tendências latitudinais nas taxas metabólicas hipolimnéticas, a baixa capacidade do hipolimnion em reter oxigênio e o tempo de estratificação causam um gradiente no processo de desnitrificação provocando depleção do nitrogênio em alguns lagos tropicais.

Durante os períodos de estiagem e chuvas, os valores da razão N:P foram sempre menores no fundo do reservatório. Isto pode ser resultado da baixa amplitude de variação das concentrações nitrogênio entre a superfície e o fundo comparando com o fósforo, que apresentou valores bem mais expressivos no fundo do reservatório no decorrer do monitoramento sazonal, resultando numa baixa razão N:P neste estrato. As concentrações mais elevadas de P no fundo podem ser resultado da liberação deste íon do sedimento para a coluna d'água. Segundo Esteves (1998) o ciclo do fósforo no sedimento é diretamente influenciado pela concentração de oxigênio da água de contato (água sobre o sedimento).

O perfil de oxigênio no reservatório apresentou expressiva depleção no fundo (Figura 19) durante o monitoramento sazonal e nictemeral, atingindo valores mínimos de 1,2 e 1,9% respectivamente. Nesse sentido, em fundo aeróbio o fosfato é precipitado, enquanto que em fundo anaeróbio este é liberado para a coluna d'água. Resultados de pesquisa de Boers et al.

(1998), demonstram que a contribuição interna, isto é, a liberação de fósforo do sedimento para a coluna d’água pode ser de igual intensidade, ou mesmo exceder, a contribuição externa de fósforo para a permanência do nível de eutrofização. A ressuspensão do sedimento por organismos bentônicos (bioturbação) ou a hidrodinâmica das águas de fundo também podem contribuir para a liberação do fosfato do sedimento.

O fenômeno de adsorção de fosfato às argilas possui grande importância em águas continentais tropicais visto que, a maioria destes corpos aquáticos recebe consideráveis aportes de argilas de suas bacias de drenagem Esteves, (1998); Ferreira et al., (2005). As argilas presentes no sistema aquático, dependendo das condições físico-químicas do meio e de sua concentração em ferro e alumínio, podem precipitar grandes quantidades de fósforo. Muitas argilas apresentam grande capacidade de adsorção de fosfato, principalmente aquelas que têm na sua constituição, ferro e alumínio, como a hematita e a gipsita Esteves, (1998).

O reservatório da FEENA é densamente ocupado por macrófitas aquáticas durante todo o período sazonal. A degradação de todo deste material que, após a morte, se deposita no fundo da bacia lacustre, pode ocasionar à liberação de fosfato para a coluna d’água. Segundo Esteves (1998) a maior parte do fosfato contido na biomassa do fitoplâncton, macrófitas aquáticas, zooplâncton, nécton e bentos é liberada após a morte desses organismos para a coluna d’água aumentando significativamente a concentração deste macronutriente. Desta forma o nitrogênio pode se tornar o fator limitante por estar em menor quantidade.

Tabela 13 - Razões N:P na superfície e fundo para os períodos de estiagem e chuvas.

N:P = 6,57	Superfície	Período de estiagem
N:P = 4,34	Fundo	
N:P = 4,56	Superfície	Período de chuvas
N:P = 4,47	Fundo	

Fonte: elaborado pelo autor.

5.8 ÍNDICE DO ESTADO TRÓFICO (IET)

O cálculo do IET foi realizado utilizando-se a o valor da mediana dos teores de fósforo e clorofila-*a* nos vinte e sete pontos amostrados na superfície correspondentes ao período de estiagem e chuvas. No período de estiagem, o reservatório foi classificado como mesotrófico

(Tabela 14). O IET (P) calculado classificou o ambiente na mesma classe trófica (mesotrófico), enquanto que o IET (CL) classificou o ambiente em uma classe superior, ou seja, eutrófico. Desta forma, o grau de limitação é considerado “baixo”, isso indica que, possivelmente, existam condições favoráveis para a produtividade primária, considerando os nutrientes disponíveis (LAMPARELLI, 2004).

Tabela 14 – Índice do estado trófico calculado no período de estiagem.

IET (P)	46,70	IET= 46,12 (mesotrófico)
IET (CL)	45,55	

Fonte: elaborado pelo autor.

No período de chuvas, provavelmente em decorrência da lixiviação de nutrientes na bacia de drenagem, as concentrações de N e P foram mais elevadas tanto na superfície quanto no fundo. Com o aumento do aporte de nutrientes, o reservatório foi classificado como eutrófico (Tabela 15). Neste caso, o IET (P) e o IET (CL) indicaram a mesma classificação trófica, ou seja, eutrófico. Sendo assim, segundo Lamparelli (2004) o grau de limitação é considerado “normal”.

Tabela 15 – Índice do estado trófico calculado no período de chuvas.

IET (P)	62,29	IET= 60,46 (eutrófico)
IET (CL)	58,64	

Fonte: elaborado pelo autor.

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 Conclusões

A partir dos estudos realizados neste trabalho, foi possível concluir que:

- O reservatório encontra-se bastante raso, principalmente no setor norte, próximo ao tributário (Córrego Ibitinga).
- A profundidade reduzida do reservatório (Z_{med} 0,86 m), a profundidade relativa de 1,19% e o formato côncavo da bacia de acumulação ($Dv = 1.19$) contribuem significativamente para os padrões de estratificação e desestratificação térmica que ocorrem na coluna d'água durante o período sazonal e nictemeral.
- O reservatório é polimítico, ou seja, apresenta frequentes períodos de circulação e estratificação da massa d'água.
- Embora a profundidade do reservatório seja reduzida, detectou-se variação no perfil de pH, condutividade elétrica e principalmente de oxigênio dissolvido que apresentou baixas concentrações no fundo do reservatório nos períodos de estratificação térmica da coluna d'água (sazonal e nictemeral).
- A análise das curvas hipsográficas e os cálculos indiretos da extensão da zona eufótica indicam que aproximadamente 50% da área da bacia de acumulação ficam expostos à radiação solar durante todo o período sazonal. Isso pode estar contribuindo com os elevados valores de clorofila-*a* em relação ao volume do reservatório.
- O estudo da variabilidade espacial da clorofila-*a*, do nitrogênio total e fósforo total, conduzido pela krigagem ordinária, possibilitou efetuar estimativas mais robustas da dispersão horizontal das variáveis limnológicas no reservatório, além da obtenção da variância do erro da estimativa, que fornece um grau de incerteza do valor estimado.

- Os valores de clorofila-*a*, do nitrogênio total e do fósforo total reduziram da região lacustre para a região fluvial.
- Os teores de clorofila-*a*, nitrogênio total e fósforo total foram mais elevados no período chuvoso. Essas variáveis apresentaram concentrações mais elevadas na camada mais profunda do reservatório, tanto no inverno quanto no verão.
- Há correlação entre a clorofila-*a* e o nitrogênio total no ambiente estudado.
- A baixa relação N:P indica que, provavelmente, a limitação da produtividade primária no reservatório pode estar ocorrendo por nitrogênio.
- Por meio do índice do Estado Trófico (IET), foi possível classificar o reservatório como mesotrófico no período de estiagem e como eutrófico no período chuvoso.

6.2 Recomendações

O “lago do Horto”, nome pelo qual o reservatório estudado é popularmente chamado, não somente é um belo elemento da paisagem local, mas também é um ambiente que carrega tradições históricas importantes e de muito apreço pelos habitantes da cidade de Rio Claro e região. Assim:

- Recomenda-se o controle de afluência de sedimentos no reservatório. Trata-se de uma medida que procura captar o sedimento que está no curso d’água a montante por meio de uma barragem. A retenção de sedimentos por barreira ou rede de vegetação no entorno do corpo d’água, para impedir ou reduzir a erosão do solo, também pode ser muito eficiente.
- Estudos podem ser desenvolvidos no sentido de pesquisar a ocorrência do fenômeno de fertilização interna no reservatório, ou seja, a liberação de fosfato do sedimento para a coluna d’água.

- Sugere-se o manejo adequado das áreas no alto curso do Córrego Ibitinga e por conseguinte, a redução no aporte de nutrientes e sedimentos provenientes da bacia de drenagem a fim de resgatar e preservar a qualidade ecológica do reservatório perdida em decorrência da eutrofização desse ecossistema aquático.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, K. Y. M. de, *Uso do Po-210 na avaliação da taxa de sedimentação na floresta estadual "Navarro de Andrade", município de Rio Claro, São Paulo, SP.* (Trabalho de Conclusão de Curso) apresentado ao Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho". Rio Claro-SP. 2003, 53p.
- ANDRIOTTI, J. L. S. *Fundamentos de Estatística e Geoestatística.* Editora da Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo-RS. 2003. 165 p.
- BEZERRA-NETO, J. F.; R. M. PINTO-COELHO. A estrutura térmica, o trabalho do vento e a estabilidade de um reservatório tropical raso: Lagoa do Nado, BH – MG. *Bios, Cadernos do Departamento de Ciências Biológicas da PUC – Minas*, V.10, N.10, 2002. p. 19-33.
- BOERS, C.M.P.; VAN RAASPHORTS, W.; VAN DER MOLEN, D. T. Phosphorus Retention in Sediments. *Water Science and Technology*. Vol. 37, nº 3, 1998. p. 31-39.
- CAMARGO, A. F. M.; BIUDES, J. F. V. Estudos dos fatores limitantes à produção primária por macrófitas no Brasil, *Oecol. Bras.*, 12 (1): 2008, p. 7-19.
- CAMPOS, M. O. *Fatores que influenciam a distribuição espacial do fitoplâncton na Lagoa da Pampulha - BH, MG.* (Dissertação de Mestrado) Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte - MG. 2010.
- CARLSON, R. E. *A trophic state index for lakes.* *Limnology and Oceanography*, v. 22, 1977. p. 361-369.
- COLE, G. A. *Textbook of Limnology.* Sant Louis, The C. V. Mosby Company: 1975. 283 p.
- COTTAS, L. R. *Estudos geológico-tectônicos aplicados ao planejamento urbano de Rio Claro-SP.* São Paulo, 1983. 171 p. 2v. (Tese de Doutorado) - Instituto de Geociências/USP, Universidade de São Paulo. 1983. 171 p.
- CUNHA, C. M. L. *Quantificação e mapeamento das perdas de solo por erosão com base na malha fundiária.* 1997. (Dissertação de Mestrado) – Pós-Graduação em Geografia da Unesp. Rio Claro-SP. 1997. 152 p.
- DECRETO ESTADUAL nº 46.819, de 11 de junho de 2002, Classifica o antigo Horto Florestal de Rio Claro na categoria de Floresta Estadual, que visa: o manejo sustentável dos recursos, a pesquisa e a visitação pública. *Diário Oficial*, 12/06/2002.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, *Stream flow.* In: Environmental Protection Agency. Volunteer stream monitoring: a methods manual. Washignton: EPA. Cap. 5.1, 1997.
- ESTEVES, F.A. *Fundamentos de Limnologia.* 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 1998. 602 p.
- ESTEVES, F.A. *Fundamentos de Limnologia.* 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2011. 826 p.

FERREIRA, R. M.; BARROS, N. O.; DUQUE-ESTRADA, C. H.; ROLAND, F. Caminhos do fósforo em ecossistemas aquáticos continentais. *Lições de limnologia*. Cap. 13. Rima Editora, 2005.

GALVÃO, M. Y. H.; RADUAN, R. N. *Fatores bióticos e abióticos e seus efeitos sobre alguns parâmetros de qualidade da água no lago "Navarro de Andrade" (Horto Florestal) – Rio Claro/SP*. 1982, 59 p. (Trabalho de Conclusão de Curso) – Departamento de Biologia, Instituto de Biociência. Universidade Estadual Paulista. 1982. 59p.

GOLTERMAN, H. L.; CLYMO, R. S.; OHNSTAD, M. A. M. *Methods for physical and chemical analysis of freshwaters*: Oxford. Blackwell Scientific Publications, v.I.B.P. Handbook. 8. 1978. 213 p.

GOOVAERTS, P. *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Department of Civil and Environmental Engineering. The University of Michigan, Ann Arbor. Oxford University Press, 1997. p. 125-127.

GUERRA, P. A. G., *Geoestatística Operacional*. Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral. Brasília-DF. 1988. 145 p.

HARDT, R. A. *Identificação e diagnóstico dos impactos ambientais ocorridos nos cursos d'água localizados na faixa oeste da Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade*. 2009. 84 p. (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro-SP. 2009. 84 p.

HUIJBREGTS, C.J. *Regionalized variables and quantitative analysis of spatial data*. In: DAVIS, J.C.; McCULLAGH, M.J. (Ed.). *Display and analysis of spatial data*. New York: John Wiley, 1975. p. 38-53.

HUTCHINSON, G. E. *A Treatise on Limnology*, vol. I, Geography and Physics of Lakes. 1975. 540 p.

LAMPARELLI, M. C. *Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento*. São Paulo: USP/ Departamento de Ecologia., 2004. 235 p. (Tese de Doutorado), Universidade de São Paulo, 2004. 235 p.

LAMPERT, W.; SOMMER, U. *Limnoecology: the ecology of lakes and streams*, Oxford University Press, New York, 1997. 382p.

LANDIM, P. M. B. O Grupo Passa Dois na Bacia do Rio Corumbataí (SP). *Boletim Divisão Geologia e Mineralogia/DNPM*. 252, 1970. 103 p.

LANDIM, P.M.B., STURARO, J.R. & MONTEIRO, R. C. Krigagem ordinária para situações com tendência regionalizada. DGA,IGCE,UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto Didático 06, 12 pp. 2002. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: 21/11/2013.

LEWIS, W. M. Jr., Causes of the high frequency of nitrogen limitation in tropical lakes. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 28, Stuttgart, February 2002, p. 210-213.

LOPES, H., SOBRAL, M. GUNKEL, G., MELO, G. & CANDEIAS, A. *Comportamento espacial da clorofila-a no reservatório de Itaparica, Rio São Francisco*. XI Simpósio de Recursos Hídricos do Noroeste, João Pessoa, 2012.

LORENZEN, C. J. *Determination of chlorophyll and pheo-pigments: Spectrophotometric equations*. *Limnol. Oceanogr.* v 12, 1967. p. 343-346.

MACKERETH, F. J. H.; HERON, J.; TALLING, J. F. *Water analysis: some revised methods for limnologists*. *Freshwater Biology* v. 36, 1978. 121 p.

MARGALEF, R. *Limnología*. Ediciones Omega, S. A., Barcelona, 1983. p.842.

MARTINI, A. J. *O Plantador de Eucaliptos: A Questão da Preservação Florestal no Brasil e o Resgate Documental do Legado de Edmundo Navarro de Andrade*. 320 p. (Dissertação de Mestrado), Programa de Pós-Graduação em História Social, do Departamento de História da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. 2004.

MATHERON, G. *Principles of Geostatistics*. *Economic Geology*, 58: 1963. p. 1246-1266.

MONTEIRO, C. A. F. *A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo*. Instituto de Geografia - USP, São Paulo. 1973. 130 p.

PANNATIER, Y. *Variowin: Software for Spatial Data Analysis in 2D*. Springer-Verlag, 1996. 91 p.

PANOSSO, R. F.; MUEHE, D.; ESTEVES, F. A., *Morphological characteristics of an Amazon floodplain lake (Lake Batata, Pará State, Brazil)*. *Amazoniana*, Manaus, v.8, n. 3-4, 1995. p. 245-258.

PINHEIRO, L. S. & CUNHA, C. M. L. *Geração do Fator Topográfico (LS) da EUPS Para Modelagem Erosiva de Bacia Hidrográfica*. II Seminário Ibero-Americano de Geografia Física. Universidade de Coimbra, 2010.

PLANO DE MANEJO DA FLORESTA ESTADUAL EDMUNDO NAVARRO DE ANDRADE, coordenação: *Claudia Macedo Reis, Denise Zanchetta, Honório Carlos Fachin*; organizadores: *Claudia Macedo Reis, Denise Zanchetta, Suely Ferreira Lino Pontalti*; editoração: *Fábio Vicentin Diniz, Leandro de Souza Pinheiro, Suely Ferreira Lino Pontalti*; autores: *Andrea Carneiro Pirani (et al.)*. CD-ROM, Rio Claro, 2005.

RUTTNER, F. *Fundamentals of Limnology*, third edition, University of Toronto Press, 1963. 307 p.

SPERLING, E. *Morfologia de lagos e represas / Eduardo von Sperling - Belo Horizonte: DESA/UFMG, c. 1999. 138 p.*

SPERLING, E. *Uso de relações limnológicas para avaliação da qualidade da água em mananciais de abastecimento*. In: *21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Anais. 1 CD-ROM. 2000.

SPERLING, M. *Introducao à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos* / Marcos von Sperling. – 3. Ed. – Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2005. 452p.

STANDARD METHODS, *for the Examination of Water and Wastewater*. 20th edition, Part 2540 D e 2540 F. 1998. p. 2-57 e p. 2-58.

STRADIOTO, E. de F. *Levantamento das aves aquáticas e de brejo do lago da floresta estadual Edmundo Navarro de Andrade*. 2003. 36f. (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro-SP. 2003.

SURFER. *Version 8 User's Guide* – Golden Software, Inc. 2002.

THOMANN R. V. & J. A. MUELLER. *Principles of Surface Water Quality Modeling and Control*, Harper & Row, New York, NY. 1987. 644 p.

TOLEDO Jr., A. P.; TALARICO, M.; CHINEZ, S. J; AGUDO, E. G. *A aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais*. In: Anais do XII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária. Camboriú, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária. Camboriú (SC). 1983. 34 p.

TOLEDO, Jr., A. P. *Informe preliminar sobre os estudos para obtenção de um índice para a avaliação do estado trófico de reservatórios de regiões quentes tropicais*. São Paulo, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. (Relatório CETESB), 1990. 12 p. + 32 figuras.

TROPPEMAIR, H. *Aspectos geográficos*. In Rio Claro Sesquicentenária. Rio Claro. Museu Histórico e Pedagógico “Amador Bueno Veiga”, 1978. p. 75-87.

TROPPEMAIR, H. *Sistemas / Geossistemas / Geossistemas Paulistas / Ecologia da Paisagem*. Rio Claro, 2004. 130p.

TROPPEMAIR, H. *Biogeografia e meio ambiente*. 9. Ed. – Rio de Janeiro: Technical Books, 2012. p. 47.

TUNDISI, J. G. & TAKAKO MATSUMURA TUNDISI. *Limnologia*, São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 631 p.

WELCH, P. S. *Limnology*. second edition, Nova York: McGraw-Hill, 1952. 538 p.

WETZEL, R.G. *Limnologia*. Lisboa; Fundação Calouste Gulbenkian, 1993. 919 p.

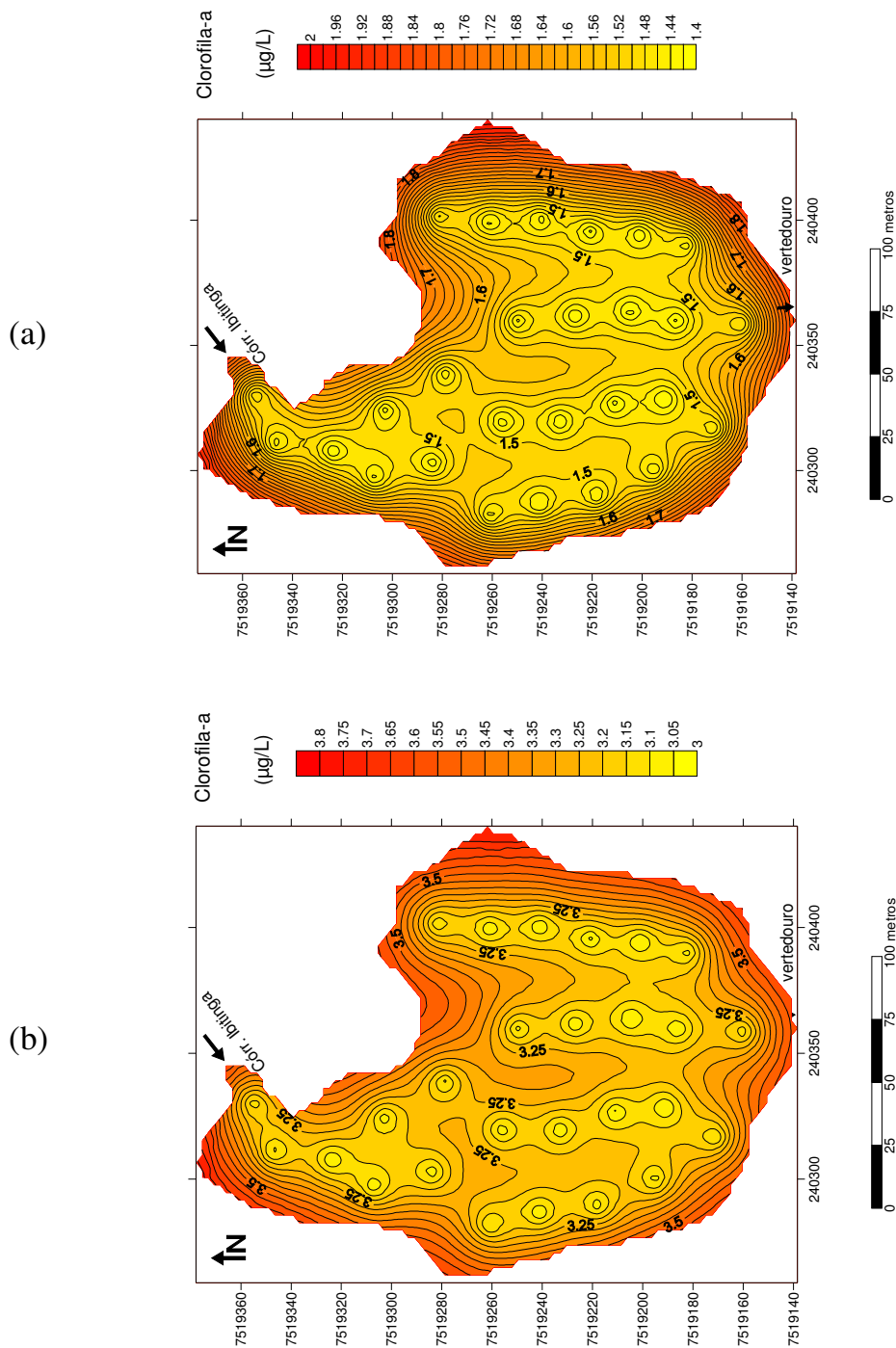
WETZEL, R.G. *Limnology*. Lake and River Ecosystems, third edition, Academic Press. 2001. 1006 p.

ZAINE, J. E. *Geologia da Formação Rio Claro (SP)*. 90 p. (Dissertação de Mestrado). Geologia Regional. IGCE.Unesp, Rio Claro. 1994. 90 p.

ZEVALOS, A. M. *Produção primária de fitoplâncton no lago central do "Horto Florestal Navarro de Andrade" Rio Claro-SP*. 1986. 28 p. (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro-SP. 1986. 28 p.

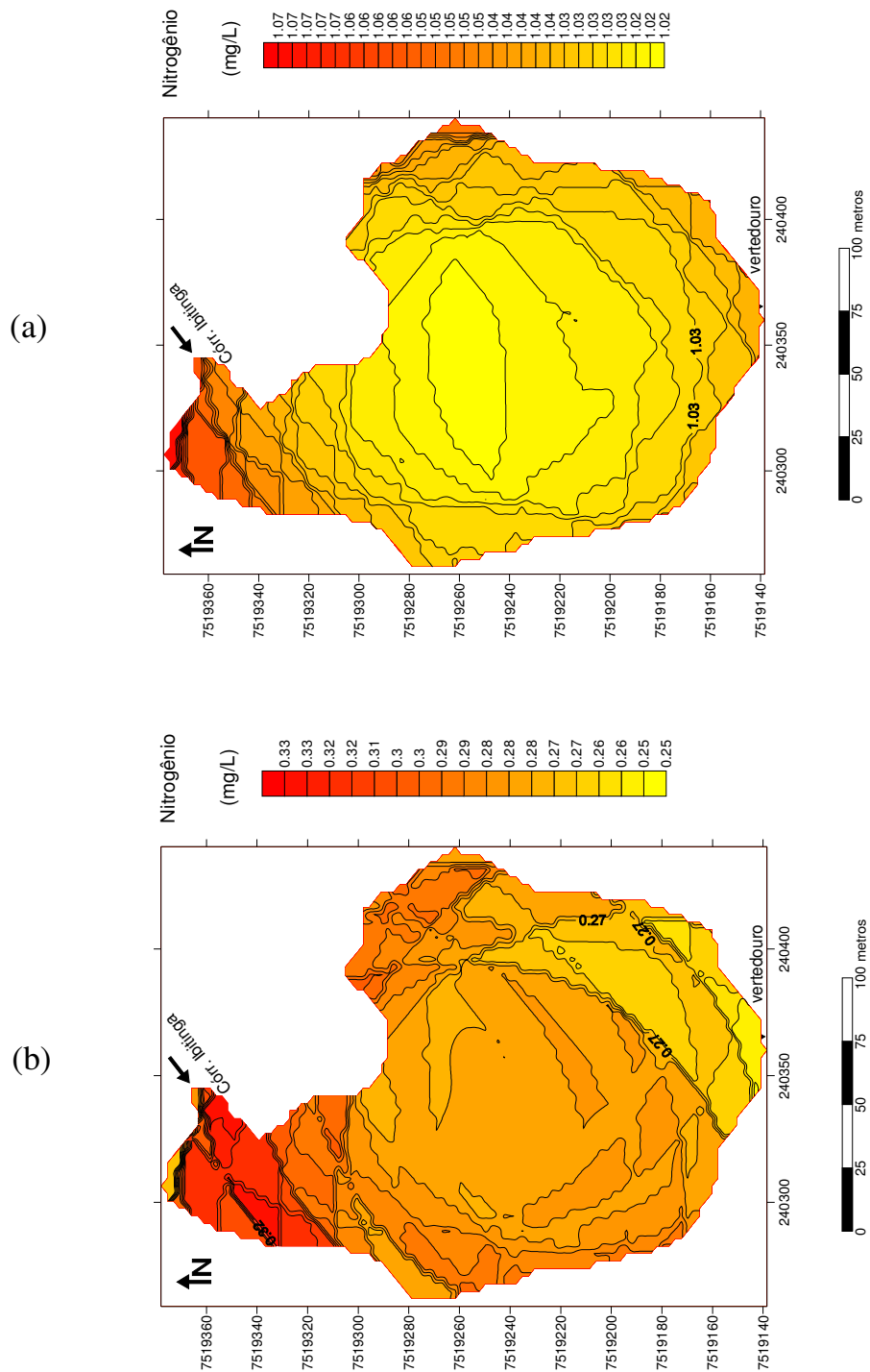
APÊNDICE A – MAPAS DOS DESVIOS PADRÃO DA KRIGAGEM

Desvio padrão da clorofila-*a* na superfície (a) e fundo (b) do reservatório no período de estiagem.



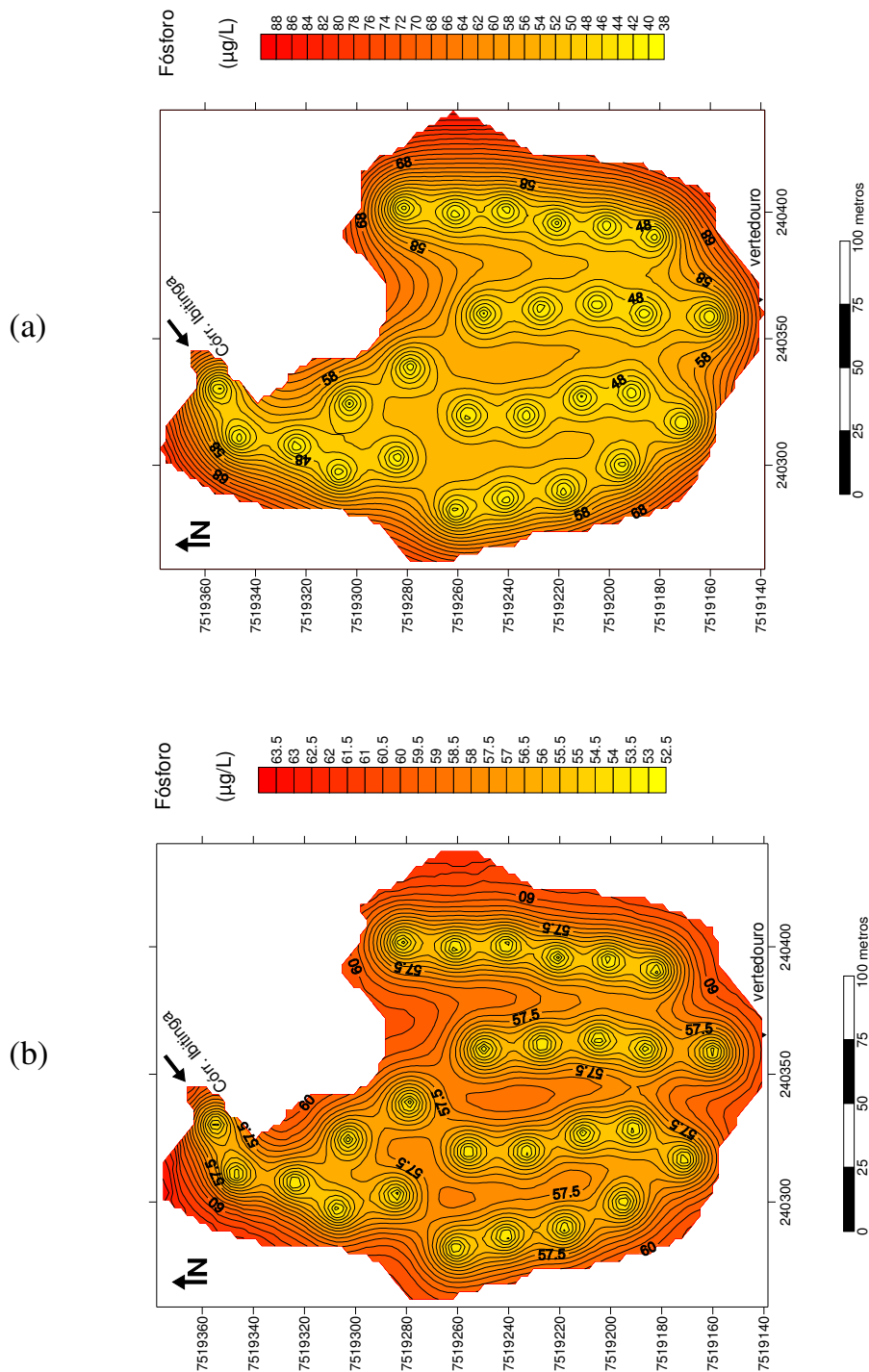
Fonte: elaborado pelo autor.

Desvio padrão do nitrogênio total na superfície (a) e fundo (b) do reservatório no período de estiagem.



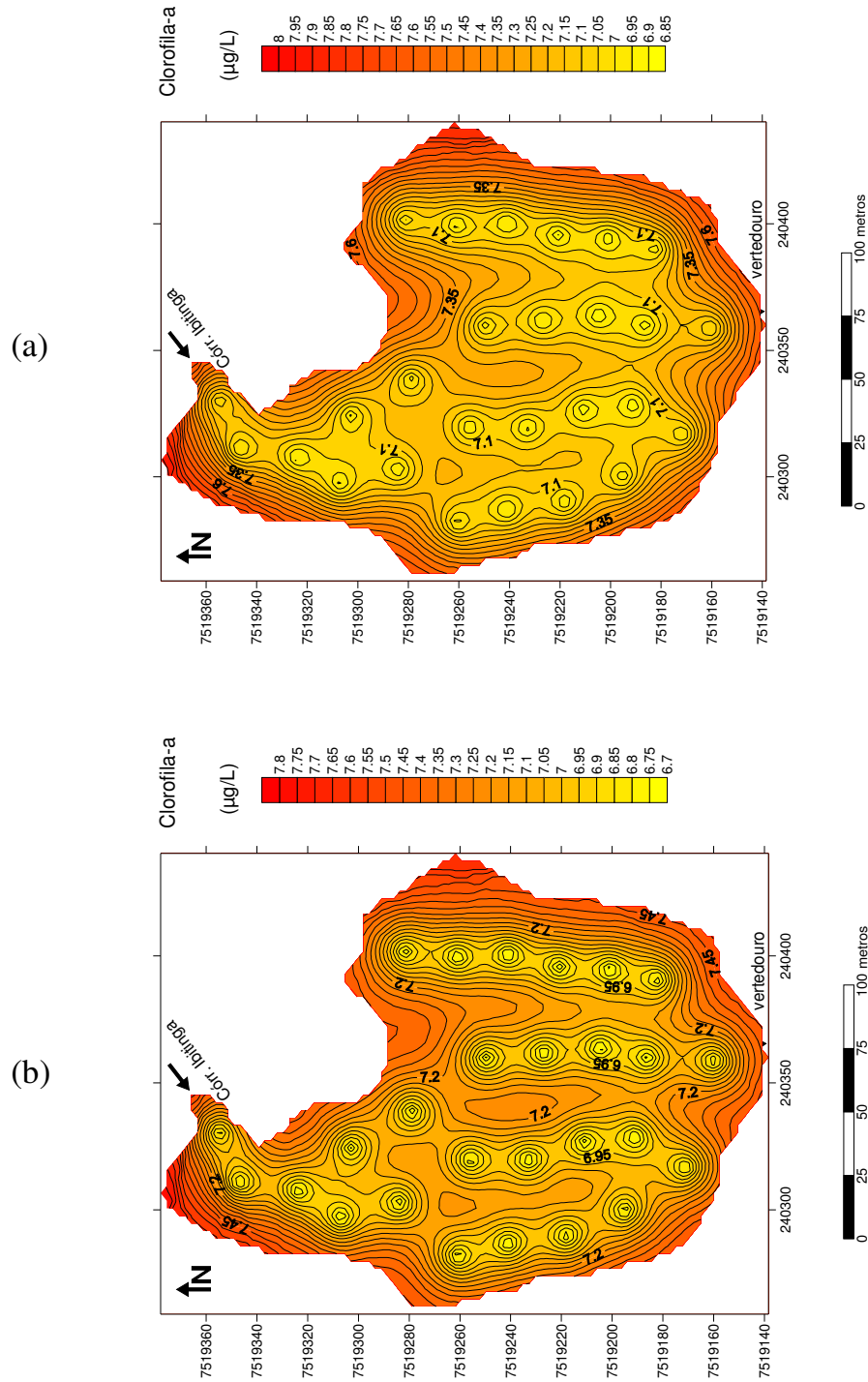
Fonte: elaborado pelo autor.

Desvio padrão do fósforo total na superfície (a) e fundo (b) do reservatório no período de estiagem.



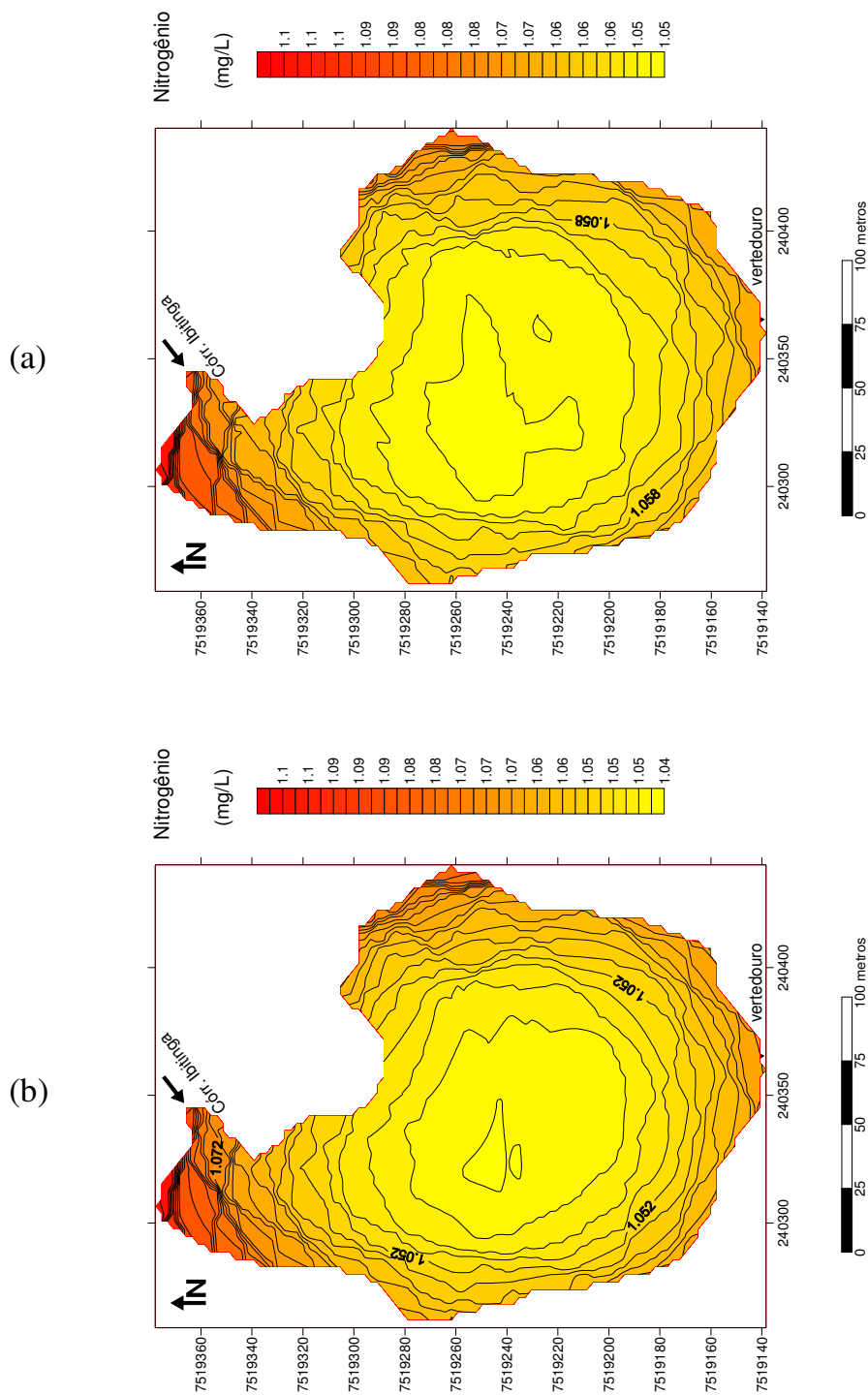
Fonte: elaborado pelo autor.

Desvio padrão da clorofila-a na superfície (a) e fundo (b) do reservatório no período de chuvas.



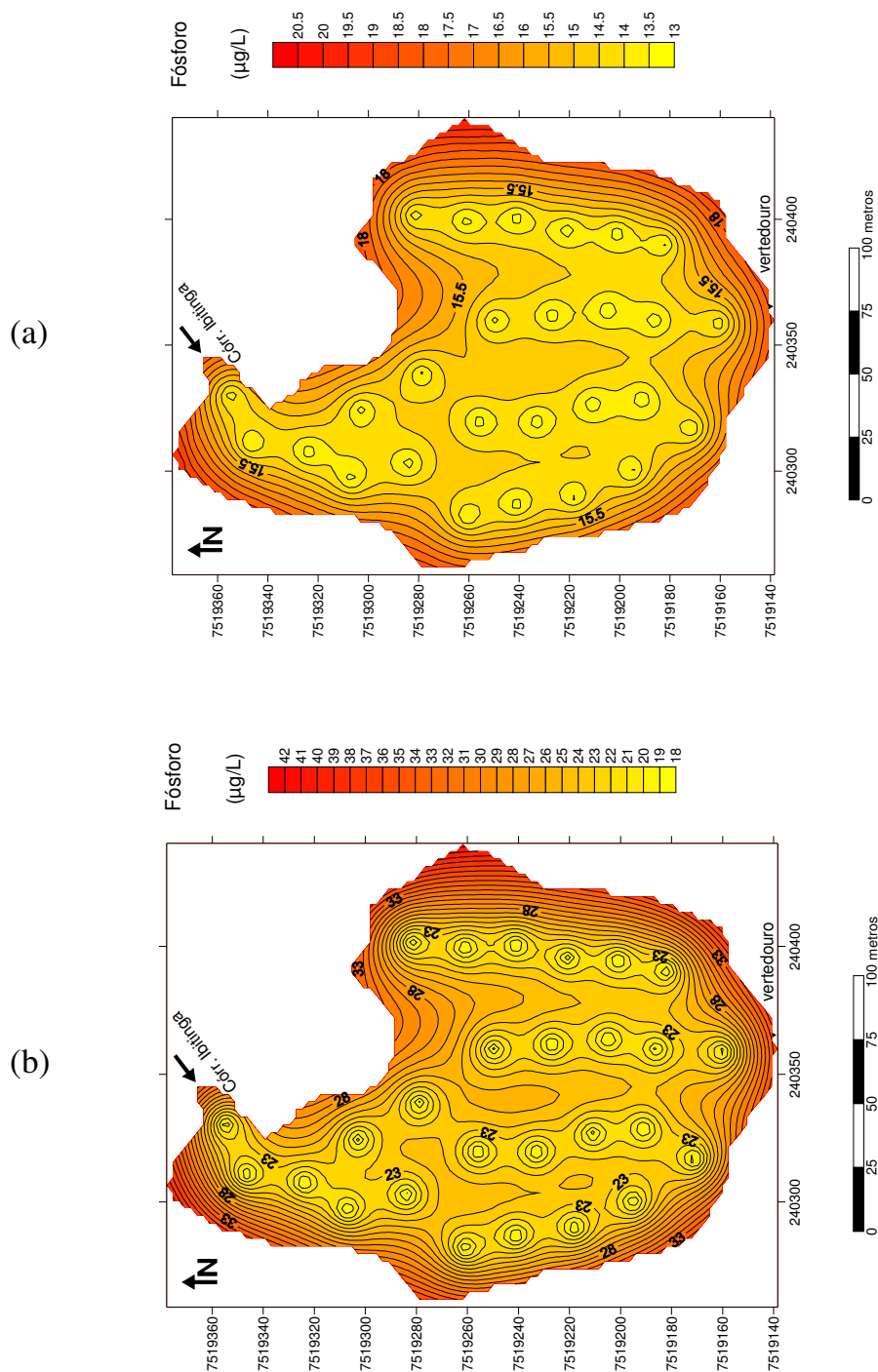
Fonte: elaborado pelo autor.

Desvio padrão do nitrogênio total na superfície (a) e fundo (b) do reservatório no período de chuvas.



Fonte: elaborado pelo autor.

Desvio padrão do fósforo total na superfície (a) e fundo (b) do reservatório no período de chuvas.



Fonte: elaborado pelo autor.

APÊNDICE B - DADOS BATIMÉTRICOS DO RESERVATÓRIO DA FEENA

(Sistema de projeção UTM (*Universal Transverse Mercator*), datum SIRGAS/2000).

x	y	Prof. (m)						
240285,7	7519170	0	240428,7	7519238	0	240325,7	7519339	0
240293,7	7519165	0	240431,7	7519242	0	240329,7	7519343	0
240297,7	7519162	0	240435,7	7519247	0	240335,7	7519348	0
240300,7	7519160	0	240437,7	7519251	0	240342,7	7519352	0
240302,7	7519158	0	240439,7	7519257	0	240345,7	7519357	0
240306,7	7519158	0	240442,7	7519262	0	240347,7	7519363	0
240313,7	7519156	0	240437,7	7519265	0	240340,7	7519368	0
240322,7	7519158	0	240437,7	7519270	0	240335,7	7519363	0
240322,7	7519156	0	240433,7	7519274	0	240326,7	7519368	0
240329,7	7519151	0	240427,7	7519282	0	240322,7	7519372	0
240336,7	7519148	0	240423,7	7519282	0	240315,7	7519378	0
240335,7	7519146	0	240423,7	7519285	0	240301,7	7519378	0
240338,7	7519144	0	240421,7	7519291	0	240297,7	7519373	0
240345,7	7519139	0	240419,7	7519296	0	240294,7	7519367	0
240349,7	7519140	0	240415,7	7519299	0	240289,7	7519359	0
240353,7	7519141	0	240411,7	7519297	0	240285,7	7519350	0
240360,7	7519139	0	240405,7	7519298	0	240284,7	7519343	0
240365,7	7519138	0	240403,7	7519304	0	240281,7	7519333	0
240371,7	7519141	0	240398,7	7519301	0	240280,7	7519322	0
240374,7	7519138	0	240394,7	7519305	0	240280,7	7519313	0
240380,7	7519148	0	240391,7	7519306	0	240275,7	7519287	0
240387,7	7519154	0	240386,7	7519304	0	240271,7	7519287	0
240395,7	7519157	0	240381,7	7519299	0	240265,7	7519284	0
240399,7	7519158	0	240383,7	7519297	0	240261,7	7519280	0
240405,7	7519157	0	240376,7	7519293	0	240259,7	7519269	0
240408,7	7519163	0	240370,7	7519291	0	240260,7	7519274	0
240413,7	7519171	0	240381,7	7519283	-1,04	240258,7	7519263	0
240414,7	7519176	0	240363,7	7519284	-0,54	240261,7	7519261	0
240418,7	7519182	0	240363,7	7519290	0	240264,7	7519256	0
240411,7	7519167	0	240356,7	7519291	0	240264,7	7519250	0
240419,7	7519189	0	240351,7	7519293	0	240264,7	7519246	0
240420,7	7519194	0	240346,7	7519297	0	240265,7	7519240	0
240421,7	7519198	0	240351,7	7519285	-0,47	240267,7	7519234	0
240420,7	7519203	0	240320,7	7519315	-0,46	240271,7	7519229	0
240422,7	7519205	0	240343,7	7519306	0	240271,7	7519223	0
240423,7	7519211	0	240344,7	7519301	0	240272,7	7519217	0
240424,7	7519218	0	240344,7	7519313	0	240271,7	7519213	0
240423,7	7519219	0	240341,7	7519320	0	240274,7	7519208	0
240423,7	7519226	0	240337,7	7519328	0	240275,7	7519201	0
240425,7	7519232	0	240329,7	7519333	0	240355,7	7519235	-1,09

240277,7	7519190	0	240329,7	7519200	-1,59	240276,7	7519195	0
240278,7	7519186	0	240336,7	7519199	-1,75	240367,7	7519233	-1,22
240280,7	7519181	0	240341,7	7519196	-1,57	240374,7	7519231	-1,52
240283,7	7519174	0	240347,7	7519198	-1,71	240383,7	7519230	-1,34
240288,7	7519166	0	240354,7	7519193	-1,72	240390,7	7519229	-1,23
240290,7	7519178	-0,41	240361,7	7519191	-1,58	240398,7	7519227	-0,67
240296,7	7519169	-0,43	240366,7	7519188	-1,61	240373,7	7519283	-0,58
240304,7	7519171	-0,52	240374,7	7519189	-1,69	240279,7	7519282	-0,74
240312,7	7519171	-0,72	240382,7	7519190	-1,25	240285,7	7519282	-0,77
240314,7	7519169	-0,65	240387,7	7519184	-1,31	240292,7	7519281	-0,76
240322,7	7519168	-2,03	240397,7	7519183	-1,18	240298,7	7519279	-0,98
240328,7	7519167	-2,11	240407,7	7519180	-0,88	240306,7	7519276	-0,81
240332,7	7519165	-1,92	240274,7	7519233	-0,39	240312,7	7519274	-1,13
240339,7	7519163	-1,85	240280,7	7519231	-0,42	240318,7	7519272	-1,35
240347,7	7519162	-1,75	240285,7	7519231	-0,95	240326,7	7519272	-1,27
240352,7	7519160	-1,78	240290,7	7519228	-1,34	240334,7	7519268	-1,51
240357,7	7519157	-1,71	240297,7	7519228	-1,42	240344,7	7519268	-0,92
240363,7	7519156	-1,37	240303,7	7519225	-2,08	240351,7	7519266	-0,95
240367,7	7519154	-0,75	240309,7	7519223	-1,88	240373,7	7519259	-1,25
240375,7	7519150	-0,45	240316,7	7519224	-1,38	240380,7	7519258	-1,36
240382,7	7519149	-0,43	240327,7	7519220	-1,42	240387,7	7519257	-1,48
240292,7	7519189	-0,35	240335,7	7519217	-1,37	240395,7	7519255	-1,38
240285,7	7519190	-0,38	240342,7	7519218	-1,32	240401,7	7519254	-1,26
240300,7	7519190	-0,46	240349,7	7519215	-1,34	240408,7	7519254	-0,84
240305,7	7519186	-0,64	240357,7	7519216	-1,56	240415,7	7519252	-0,55
240313,7	7519185	-1,26	240365,7	7519212	-1,52	240428,7	7519271	-0,52
240320,7	7519182	-2,05	240372,7	7519210	-1,38	240418,7	7519274	-0,64
240324,7	7519181	-2,01	240378,7	7519211	-1,38	240410,7	7519277	-0,77
240333,7	7519181	-1,61	240387,7	7519209	-1,34	240403,7	7519280	-0,84
240338,7	7519176	-1,62	240394,7	7519208	-1,03	240398,7	7519282	-0,94
240347,7	7519175	-1,68	240400,7	7519209	-0,69	240390,7	7519283	-1,21
240353,7	7519173	-1,75	240408,7	7519206	-0,54	240328,7	7519294	-0,33
240363,7	7519171	-1,82	240271,7	7519255	-0,35	240321,7	7519295	-0,75
240365,7	7519172	-1,61	240279,7	7519253	-0,39	240312,7	7519297	-0,65
240372,7	7519169	-1,64	240285,7	7519249	-0,63	240304,7	7519300	-0,92
240378,7	7519170	-1,22	240292,7	7519248	-0,79	240295,7	7519303	-1,22
240386,7	7519168	-0,95	240297,7	7519248	-1,13	240281,7	7519303	-0,75
240393,7	7519162	-0,66	240304,7	7519245	-1,84	240287,7	7519330	-0,49
240278,7	7519214	-0,35	240308,7	7519243	-2,01	240295,7	7519327	-0,53
240283,7	7519209	-0,83	240314,7	7519241	-1,91	240304,7	7519323	-0,85
240292,7	7519207	-1,05	240322,7	7519242	-1,89	240312,7	7519320	-0,66
240298,7	7519204	-1,04	240328,7	7519240	-1,55	240317,7	7519337	-0,65
240305,7	7519204	-1,41	240333,7	7519237	-1,32	240310,7	7519341	-0,98
240311,7	7519204	-2,16	240344,7	7519236	-1,63	240302,7	7519347	-0,41
240317,7	7519203	-2,02	240350,7	7519236	-1,27	240321,7	7519360	-0,53

240325,7	7519356	-0,72
240324,7	7519202	-1,61
240341,7	7519359	-0,32
240342,7	7519363	-0,35
240336,7	7519356	-0,42
240330,7	7519312	-0,35
240361,7	7519262	-0,97
240425,7	7519249	-0,33
240407,7	7519225	-0,35
240417,7	7519223	-0,31
240274,7	7519295	0
240313,7	7519364	-0,41
240307,7	7519369	-0,32
240294,7	7519352	-0,31
240338,7	7519289	-0,39

APÊNDICE C - TEORES DE CL-a, N-TOTAL E P-TOTAL NA SUPERFÍCIE E FUNDO
DO RESERVATÓRIO (ESTIAGEM E CHUVAS)

(Sistema de projeção UTM (*Universal Transverse Mercator*), datum SIRGAS/2000).

		Superfície (estiagem)			Fundo (estiagem)		
x	y	Cl-a ($\mu\text{g/L}^{-1}$)	N (mg/L^{-1})	P ($\mu\text{g/L}^{-1}$)	Cl-a ($\mu\text{g/L}^{-1}$)	N (mg/L^{-1})	P (mg/L^{-1})
240316,7	7519171	0,76	0,13	167,3	2,29	0,31	7,4
240358,7	7519160	3,05	0,17	20,42	5,35	0,17	32,47
240299,7	7519195	3,82	0,18	22,69	9,93	0,1	80,06
240328,7	7519191	1,53	0,18	15,31	3,05	0,1	26,73
240359,7	7519186	0,76	0,14	26,75	6,11	0,2	19,46
240390,7	7519182	1,53	0,22	15,02	4,58	0,32	44,03
240289,7	7519218	3,82	0,21	45,64	6,87	0,18	38,42
240326,7	7519211	1,62	0,2	22,95	6,87	0,28	48,65
240363,7	7519205	1,71	0,28	16,2	1,53	0,5	85,14
240394,7	7519201	0,76	0,2	18,2	9,93	0,21	59,85
240286,7	7519241	2,29	0,21	55,5	3,82	0,22	33,71
240319,7	7519233	3,82	0,49	64,7	10,69	0,32	32,96
240361,7	7519227	2,67	0,21	33,82	12,98	0,1	50,62
240395,7	7519221	2,29	0,21	120,5	0,76	0,2	148,8
240281,7	7519261	8,4	0,29	88,24	1,53	0,52	34,26
240319,7	7519256	3,43	0,43	42,66	1,53	0,48	87,11
240359,7	7519250	3,05	0,22	14,52	1,84	0,53	10,5
240400,7	7519241	1,53	0,22	31,94	3,82	0,24	305,7
240302,7	7519284	3,82	0,31	61,18	1,14	0,42	109,88
240338,7	7519279	2,09	0,25	13,83	0,76	0,22	116,6
240399,7	7519261	1,81	0,22	10,18	3,56	0,35	7,86
240401,7	7519282	1,95	0,31	65,6	3,69	0,2	12,94
240296,7	7519307	1,53	0,32	134,7	1,21	0,36	132,66
240324,7	7519303	1,14	0,35	92,6	1,02	0,21	107,5
240307,7	7519324	0,76	0,21	60,84	1,29	0,23	98,4
240310,7	7519347	0,75	0,17	23,73	1,07	0,22	96,7
240330,7	7519355	0,76	0,14	24,91	1,03	0,2	94,3

		Superfície (chuvas)			Fundo (chuvas)		
x	y	Cl-a ($\mu\text{g/L}^{-1}$)	N (mg/L^{-1})	P ($\mu\text{g/L}^{-1}$)	Cl-a ($\mu\text{g/L}^{-1}$)	N (mg/L^{-1})	P ($\mu\text{g/L}^{-1}$)
240316,7	7519171	3,56	0,46	79,92	13,36	0,87	207,6
240358,7	7519160	5,34	0,43	70,59	8,01	0,71	203,2
240299,7	7519195	6,23	0,98	108,6	1,33	0,7	96,57
240328,7	7519191	13,36	0,88	127,5	2,67	0,98	139,8
240359,7	7519186	6,68	0,9	86,16	5,34	1,22	134,4
240390,7	7519182	25,39	0,49	86,38	26,73	0,52	88,14
240289,7	7519218	6,68	0,88	88,14	10,69	0,84	119
240326,7	7519211	24,94	0,46	117,3	21,38	0,45	122,2
240363,7	7519205	9,35	0,48	122,2	10,69	0,52	166,2
240394,7	7519201	32,07	1,01	78,99	16,03	0,43	116,6
240286,7	7519241	9,35	0,66	63,95	2,67	0,78	92,98
240319,7	7519233	5,34	0,92	47,74	10,69	0,57	109,5
240361,7	7519227	4,00	0,32	51,69	1,33	0,38	151,9
240395,7	7519221	8,91	0,15	151,9	2,67	0,6	146,1
240281,7	7519261	1,33	0,38	103	3,11	0,49	86,58
240319,7	7519256	13,36	0,25	105,3	3,56	0,2	80,18
240359,7	7519250	9,35	0,62	94,31	24,05	0,27	101,2
240400,7	7519241	16,03	0,22	94,51	14,25	0,32	194,5
240302,7	7519284	5,34	0,32	86,27	6,23	0,36	87,88
240338,7	7519279	8,01	0,21	99,51	8,91	0,53	95,59
240399,7	7519261	12,67	0,42	94,13	19,15	0,29	147,85
240401,7	7519282	12,02	0,21	93,8	11,58	0,28	145,07
240296,7	7519307	6,68	0,24	92,73	2,89	0,35	79,27
240324,7	7519303	6,68	0,41	98,64	5,79	0,57	90,52
240307,7	7519324	1,33	0,28	85,64	2,67	0,14	68,02
240310,7	7519347	1,33	0,36	105,8	2,67	0,24	84,41
240330,7	7519355	1,23	0,69	110,6	2,49	0,13	77,8

APÊNDICE D – VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS (MONITORAMENTO SAZONAL E NICTEMERAL)

Monitoramento sazonal.

Prof. (m)	Temperatura °C	OD mg/L	%	pH	Condutividade µS/cm
0	23,8	6,56	89,1	7,28	97,1
0,30	-----	-----	-----	-----	-----
0,60	23,2	5,18	70,7	7,26	107,1
0,90	22,6	6,37	82,2	7,51	104,9
1,20	22,4	4,82	64,2	7,32	105,7
1,50	22,1	5,55	70,9	7,47	104,6
1,80	21,4	3,77	48,7	7,24	102,1
2,16	20,9	1,79	22,4	7,19	100,2

Profundidade de leitura do disco de Secchi: 0,97 (cm) hora: 11 : 16 data: 14/09/2012

Material em Suspensão 0,02 ml/L⁻¹ Sólidos Sedimentáveis 0,1 mg/L⁻¹

Prof. (m)	Temperatura °C	OD mg/L	%	pH	Condutividade µS/cm
0	27,6	4,62	67	6,72	151,2
0,30	27,0	2,93	41,4	6,66	119,3
0,60	23,8	0,61	6,6	6,69	121,7
0,90	24,6	1,19	16,3	6,80	123,5
1,20	24,7	1,63	21,9	6,94	130,6
1,50	23,8	0,80	9,9	6,83	158,3
1,80	23,7	0,93	11,9	6,79	159,1
2,16	22,9	0,07	1,2	6,82	140,3

Profundidade de leitura do disco de Secchi: 0,65 (m) hora: 10 : 10 data: 29/11/2012

Material em Suspensão 0,02 ml/L⁻¹ Sólidos Sedimentáveis 0,1 mg/L⁻¹

Prof. (m)	Temperatura °C	OD mg/L	%	pH	Condutividade µS/cm
0	24,9	5,58	77,4	7,19	98,6
0,30	23,8	5,03	69,6	7,23	99,5
0,60	23,0	1,47	20,0	6,84	98,1
0,90	23,2	0,75	9,6	6,54	95,5
1,20	23,4	0,34	4,5	6,65	96,6
1,50	24,6	0,45	5,5	6,52	97,8
2,16	24,7	0,93	12,8	6,63	92,2

Profundidade de leitura do disco de Secchi: 0,28 (m) hora: 10 : 00 data: 24/01/2013

Material em Suspensão $0,08 \text{ ml/L}^{-1}$ Sólidos Sedimentáveis $0,3 \text{ mg/L}^{-1}$

Prof. (m)	Temperatura °C	OD mg/L	%	pH	Condutividade µS/cm
0	31,5	6,08	95,6	7,67	108,2
0,30	26,9	6,15	89,7	7,09	95,1
0,60	26,2	5,59	80,9	6,90	91,5
0,90	27,7	5,49	80,1	6,92	93,1
1,20	26,2	5,39	76,9	6,83	92,0
1,50	25,4	4,53	64,0	6,78	90,6
2,00	24,7	3,34	46,6	6,51	91,5
2,16	24,2	2,68	37,1	6,50	97,8

Profundidade de leitura do disco de Secchi: 0,30 (m) Hora: 10 : 00 data: 15/03/2013

Material em Suspensão 0,03 ml/L⁻¹ Sólidos Sedimentáveis 0,1 mg/L⁻¹

Prof. (m)	Temperatura °C	OD mg/L	%	pH	Condutividade µS/cm
0	22,7	7,36	97,4	6,96	88,3
0,30	21,0	6,42	83,7	6,32	74,7
0,60	20,9	6,35	82,3	6,49	74,8
0,90	19,9	4,53	58,2	6,25	72,4
1,20	18,6	1,97	24,5	6,01	73,9
1,50	18,7	2,30	28,6	5,98	90,5
2,00	18,4	1,65	20,4	6,06	100,3
2,16	18,2	1,44	17,7	6,04	97,8

Profundidade de leitura do disco de Secchi: 0,46 (m) hora: 10 : 00 data: 17/05/2013

Material em Suspensão 0,02 mL⁻¹ Sólidos Sedimentáveis 0,1 mg/L⁻¹

Prof. (m)	Temperatura °C	OD mg/L	%	pH	Condutividade µS/cm
0	19,5	5,02	65,3	6,23	92,5
0,30	18,4	4,97	62,5	6,44	76,8
0,60	18,1	5,37	66,7	6,30	75,5
0,90	18,8	5,12	64,1	6,27	76,9
1,20	18,2	5,86	73,6	6,29	76,6
1,50	17,6	6,52	80,4	6,27	75,7
2,00	17,5	6,32	77,7	6,35	76,5
2,16	17,4	6,28	77,6	6,34	75,7

Profundidade de leitura do disco de Secchi: 0,32 (m) hora: 10 : 30 data: 02/07/2013
Material em Suspensão 0,04 ml/L⁻¹ Sólidos Sedimentáveis 0,1 mg/L⁻¹

Monitoramento nictemeral.

7 horas

Prof. (m)	Temperatura °C	OD mg/L	%	pH	Condutividade µS/cm
0	22,6	3,86	52	7,09	112,2
0,30	22,2	3,78	51,2	6,94	98,3
0,60	22,4	3,7	49	6,85	96,7
0,90	23,3	2,45	33,2	6,7	94,3
1,20	23,5	1,14	16,3	6,7	97,2
1,50	23,2	0,38	4,5	6,73	98,5
2,16	23,8	0,09	1,5	6,7	104,5

10 horas

Prof. (m)	Temperatura °C	OD mg/L	%	pH	Condutividade µS/cm
0	24,9	5,58	77,4	7,19	98,6
0,30	23,8	5,03	69,6	7,23	99,5
0,60	23	1,47	20	6,84	99,1
0,90	23,2	0,75	9,6	6,54	95,5
1,20	23,4	0,34	4,5	6,65	96,6
1,50	24,6	0,45	5,5	6,52	97,8
2,16	24,7	0,93	12,8	6,63	92,2

12 horas

Prof. (m)	Temperatura °C	OD mg/L	%	pH	Condutividade µS/cm
0	26,7	5,47	78,9	7,13	115,1
0,30	25,6	5,44	77,5	7,3	101,7
0,60	24,3	3,35	46	6,9	98
0,90	24,5	2,5	33,9	6,8	97,1
1,20	25,1	2,68	36,9	6,61	96,8
1,50	24,2	2,66	36,5	6,5	95
2,16	23,8	0,81	11,1	3,37	93,6

15 horas

Prof. (m)	Temperatura °C	OD mg/L	%	pH	Condutividade µS/cm
0	26,4	6,71	96,3	7,02	106,6
0,30	24,4	6,23	87	7,11	103,6
0,60	25,3	4,91	68,6	6,88	100,9
0,90	23,4	2,1	28,5	6,63	98,5
1,20	23,6	2,58	35,6	6,71	98,2
1,50	24,5	0,71	9,4	6,6	96,3
2,16	25,1	1,05	15	6,51	93,1

17 horas

Prof. (m)	Temperatura °C	OD mg/L	%	pH	Condutividade µS/cm
0	28,2	6,67	99,4	7,46	104,7
0,30	24,6	4,96	70,1	7,06	99,8
0,60	24,9	3,68	52,2	6,89	109,8
0,90	25,4	3,13	44,1	6,73	97,6
1,20	24,4	1,69	23,5	6,73	100,8
1,50	25	1,56	21,5	6,6	94,7
2,16	24,9	0,14	1,09	6,59	97,4

19 horas

Prof. (m)	Temperatura °C	OD mg/L	%	pH	Condutividade µS/cm
0	27,7	6,71	98,1	7,32	102,1
0,30	25,5	5,22	74,3	7,15	100,1
0,60	25,6	4,37	61,9	6,98	98,7
0,90	23,5	1,54	20,9	6,77	96,9
1,20	23,8	1,21	16,5	6,64	96,1
1,50	25,1	1,20	16,5	6,58	92,3
2,16	25,3	0,47	6,7	6,58	92