

FERNANDA DE MENDONÇA

**AVALIAÇÃO DO USO DA RAZÃO CARBONO/NITROGÊNIO E A
CARACTERIZAÇÃO ESPAÇO- TEMPORAL DA QUALIDADE DA ÁGUA
DO RESERVATÓRIO BILLINGS (ALTO TIETÊ- SP)**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação da Universidade Federal do ABC, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental.

ORIENTADORA: Profa. Dra. LUCIA HELENA GOMES COELHO

CO-ORIENTADORA: Profa. Dra. ROSELI FREDERIGI BENASSI

SANTO ANDRÉ - SP

2016

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do ABC
Elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da UFABC
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Mendonça, Fernanda de

Avaliação do uso da razão carbono/nitrogênio e a caracterização espaço-temporal da qualidade da água do reservatório Billings (Alto Tietê- SP) / Fernanda de Mendonça. — 2016.

105 fls. : il.

Orientadora: Lúcia Helena Gomes Coelho
Coorientadora: Roseli Frederigi Benassi

Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do ABC, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Santo André, 2016.

1. Nitrogênio. 2. Carbono Orgânico Total. 3. Billings. 4. Impactos Ambientais. I. Gomes Coelho, Lúcia Helena. II. Benassi, Roseli Frederigi. III. Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, 2016. IV. Título.

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, de acordo com as observações levantadas pela banca no dia da defesa, sob responsabilidade única do autor e com a anuência do seu orientador.

Santo André, ____ de _____ de 2016.

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Aos meus pais e irmãs por trazerem luz e esperança à minha vida. Pela força para que este trabalho fosse realizado, por suportarem as minhas ausências e por estarem sempre ao meu lado. Amo vocês eternamente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me permitir esta conquista.

À minha família, pelo apoio durante todos estes anos, especialmente à minha mãe e meu pai, pelo exemplo de força, luta e persistência nos objetivos almejados.

À Profa. Dra. Lúcia Helena, pela orientação, dedicação e por me fazer sempre acreditar neste projeto nos momentos mais difíceis e de desespero. Obrigada por me ouvir e por sempre achar uma solução para todas as minhas dúvidas e angústias.

À Prof. Dra. Roseli Frederigi Benassi pela co-orientação e incentivos.

Ao Dr. Rogério Herlon Furtado Freire e Profa. Dra. Tatiane Araújo de Jesus, pela revisão crítica na qualificação, motivação e suporte durante a elaboração do projeto.

Ao Ms. Francisco Jorge Ferreira, pela oportunidade, apoio e por sempre confiar no meu trabalho.

À Dra. Marta Lamparelli, pelo apoio e orientação para que este projeto fosse concluído.

Aos meus amigos do ELAI Anselmo, Cláudia, Claudio, Eleine, Eliana, Ewerton, Felipe, Gustavo, Juliana, Léo, Mariana e Uyara, pelo apoio diário e por sempre estarem presentes em todos estes momentos. Um obrigada especial à Paula, pela companhia, palavras de apoio e carinho na escala de trabalho.

Ao Ms. Robson, por sempre mostrar-se solícito e disponível às minhas solicitações, mesmo nos períodos de trabalho em seu projeto.

À CETESB e aos demais colegas desta companhia, que contribuíram para realização deste trabalho.

À Tatiane do Nascimento Lopes, pela companhia nos finais de semana e apoio.

Aos meus eternos amigos da UFABC Erik, Marina, Patrícia e Thiego: sem vocês a UFABC e os meus fins de semana não seriam a mesma coisa. Obrigada por fazerem parte da minha vida.

As amigas da 1ª turma do Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental (CTA), Viviane e Bárbara, pela convivência e amizade.

E as demais pessoas que de qualquer forma contribuíram para a realização deste estudo.

A mente que se abre a uma
ideia jamais voltará ao tamanho
original.

Albert Einstein

RESUMO

A poluição dos recursos hídricos é um problema gerado pelo descarte – muitas vezes irregular e inadequado– dos dejetos, efluentes industriais e esgotos domésticos. A matéria orgânica presente neste ambiente pode ser considerada um indicador de poluição ambiental. Para sua determinação e quantificação, utilizam-se indicadores diretos e indiretos, sendo um deles o valor de concentração do carbono orgânico total (C_{org}) presente em uma amostra de água. O nitrogênio, em suas variadas espécies químicas, também é um indicador que determina a característica de águas residuárias e de corpos hídricos. Em um curso d'água, a determinação química da forma predominante do nitrogênio pode fornecer indicações sobre o estágio da poluição eventualmente ocasionada pelo lançamento de esgotos a montante. O nitrogênio Kjeldahl (N_{NKT}) é o indicador nitrogenado característico de uma poluição recente, além de ser a forma dominante no esgoto doméstico bruto. A Região Metropolitana de São Paulo é uma das áreas de maior adensamento urbano do mundo, com conseqüente comprometimento da qualidade de seus recursos hídricos, sendo localizada na área da Bacia do Alto Tietê. A Represa Billings é uma das responsáveis pelo abastecimento público de água nessa região. Em vista disso, o objetivo desta pesquisa foi o de avaliar a viabilidade do uso da razão molar C_{org}/N_{NKT} como indicadora da qualidade da água na represa Billings, além da sua correlação com o uso do solo. Para tanto, foi feito o levantamento de dados secundários destes parâmetros em cinco pontos amostrais da represa, sendo possível identificar qualitativamente os locais que possuem os maiores impactos antropogênicos ocasionados por despejo de esgoto. Assim como para o sedimento, foi calculada a razão molar C_{org}/N_{NKT} , e obtiveram-se menores valores desta razão para locais com elevados aportes de matéria orgânica de origem antrópica. Apesar da análise estatística da razão C_{org}/N_{NKT} não ter apresentado boa correlação com outras variáveis indicadoras de qualidade da água, esta pode ser um indicador qualitativo de interferência antrópica, uma vez que as estações de monitoramento mais impactadas por aglomerados de moradias no entorno e que não possuem uma infraestrutura adequada, contribuindo assim para a poluição local do meio, são as que apresentaram os menores valores de razão C_{org}/N_{NKT} , tendo as áreas mais preservadas um valor mais alto dessa relação.

PALAVRAS-CHAVE: Carbono orgânico total, nitrogênio, impactos antropogênicos, razão C_{org}/N_{NKT} , Billings.

ABSTRACT

The pollution of water resources is a problem generated by the disposal of waste, industrial effluents and domestic sewage, which are frequently irregular and inappropriate. The organic matter present in the environment is considered an indicator of environmental pollution. For its determination and quantification, direct and indirect indicators are used, being one of them the value of the concentration of total organic carbon (C_{org}) present in a water sample. Nitrogen, in its diverse chemical species, is also an indicator that determines the characteristics of wastewater and water bodies. In a watercourse, the chemical determination of the predominant form of nitrogen can indicate the stage of pollution eventually caused by the dumping of sewage upstream. The Kjeldahl nitrogen (N_{NKT}) is the typical nitrogenous indicator for recent pollution and it is the dominant form in gross domestic sewages. The Metropolitan Area of São Paulo is located in the area of the Alto Tiete basin and can be considered one of the greatest urban density in the world, with consequent impairment of the water resources quality. The Billings Dam is one of the basins responsible for the public water supply in this area. For this reason, the main objective of this research was to evaluate the feasibility of using the molar ratio C_{org}/N_{NKT} as an indicator of water quality in the Billings Dam, in addition to its correlation with the land use. The gathering of secondary data of these parameters was made in five sampling points of the dam, where it was possible to qualitatively identify the sites with the largest anthropogenic impacts caused by the sewage disposal. As well as for the sediment, the molar ratio C_{org}/N_{NKT} was used and the lower values of this ratio were obtained in sites with high inputs of organic matter from anthropogenic source. Despite the fact that the statistical analysis of C_{org}/N_{NKT} ratios have not shown good correlation with other water quality variables, this value can be used as a qualitative indicator of anthropogenic interference, since the monitoring stations - which are the most affected by surrounding housing clusters and do not have an adequate infrastructure, contributing to local pollution of the environment - were the ones with the lowest C_{org}/N_{NKT} values, as well as the most preserved areas showed a higher value in this relation.

KEYWORDS: Total organic carbon, nitrogen, anthropogenic impacts, ratio C_{org}/N_{NKT} , Billings.

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	17
2. OBJETIVOS.....	21
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
3.1. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA REGIÃO DO ALTO TIETÊ.....	23
3.2. ECOLOGIA, COMPARTIMENTOS E USO DO RESERVATÓRIO.....	26
3.3. NITROGÊNIO EM RESERVATÓRIOS.....	30
3.4. CARBONO ORGÂNICO EM RESERVATÓRIOS.....	33
3.5. RELAÇÃO MOLAR CARBONO/NITROGÊNIO (C/N).....	35
3.6. SESTON.....	36
4. METODOLOGIA.....	39
4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	39
4.2. RECONHECIMENTO DA ÁREA DE ESTUDO.....	43
4.2.1. PONTOS DE COLETA.....	44
4.3. LEVANTAMENTO DE DADOS.....	46
4.3.1. PERIODICIDADE DE COLETA DOS DADOS.....	46
4.4. FORMA DE ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	48
5. RESULTADOS.....	51
5.1. ÁREA DE ENTORNO.....	51
5.1.1. SANEAMENTO E ASPECTOS DEMOGRÁFICOS.....	59
5.2. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA REGIÃO DE ESTUDO.....	63
5.2.1. DADOS PLUVIOMÉTRICOS.....	63
5.2.2. DADOS PLUVIOMÉTRICOS POR ANO PARA O PERÍODO DE ESTUDO.....	64
5.3. PARÂMETROS QUÍMICOS.....	66
5.3.1. CARBONO ORGÂNICO TOTAL.....	66
5.3.2. NITROGÊNIO KJELDAHL.....	69
5.3.3. SAZONALIDADE DOS PARÂMETROS QUÍMICOS.....	72
5.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	73
5.4.1. RELAÇÃO MOLAR CARBONO/ NITROGÊNIO (C/N) NO SEDIMENTO.....	80
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	83
7. PERSPECTIVAS.....	85
8 . REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87
ANEXO.....	101

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Expansão da malha urbana na Região Metropolitana de São Paulo entre os anos de 1881 a 2002.....	24
Figura 2 - Expansão da área urbanizada na Bacia Billings.....	25
Figura 3 - Compartimentos do reservatório.....	26
Figura 4 - Componentes bióticos e condições físicas e químicas da represa.....	28
Figura 5 - Ciclo do Nitrogênio em ecossistemas aquáticos.....	30
Figura 6 - Distribuição das formas de nitrogênio no esgoto doméstico bruto.....	32
Figura 7 - Localização da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê.....	39
Figura 8 - Municípios que integram a represa Billings.....	41
Figura 9 – Compartimentos ambientais da Bacia Billings.....	42
Figura 10 - Pontos de monitoramento na Represa Billings, sua localização, codificação e coordenada geográfica.....	45
Figura 11 - Principais bairros do entorno destas estações de monitoramento de qualidades de água da CETESB.....	53
Figura 12 - Estação de monitoramento na represa Billings e principais características observadas em campo.....	54
Figura 13 - Precipitação pluviométrica – média histórica (1879-2014/ 2011-2014).....	64
Figura 14 - Média mensal da precipitação pluviométrica do Alto Tietê.....	65
Figura 15 - Histograma da frequência de ocorrência da precipitação pluviométrica no Alto Tietê (2011-2014).....	66
Figura 16 - Concentração de COT nas estações de monitoramento da Represa Billings..	689
Figura 17 - Concentração de NKT nas estações de monitoramento da Represa Billings.	71
Figura 18 - Correlação entre as concentrações de carbono orgânico (OC) e nitrogênio total (NT) no sedimento costeiro do ártico.....	74
Figura 19 - Correlação entre as concentrações de carbono orgânico total (COT) e	

nitrogênio Kjeldahl (NKT).....	75
Figura 20 - Diagramas de dispersão da razão molar de carbono orgânico total e nitrogênio Kjeldahl da água e do sedimento com a clorofila a (a e b).....	78
Figura 21 - Diagramas de dispersão da razão molar de carbono orgânico total e nitrogênio Kjeldahl da água e do sedimento com fósforo total.....	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Ambientes de um reservatório.....	27
Tabela 2- Distribuição relativa das formas de nitrogênio em diferentes condições ambientais.....	32
Tabela 3- Classificação de carbono orgânico conforme características físico- químicas.	34
Tabela 4- Condições do sedimento no ambiente em relação a razão molar C/N.....	36
Tabela 5- Dados da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 06 (UGRHI 6)...	40
Tabela 6- Compartimentos ambientais da Bacia Hidrográfica da Billings.....	43
Tabela 7- Período de amostragem considerado no presente estudo.....	47
Tabela 8- Métodos de determinação utilizados pela CETESB para as variáveis limnológicas.....	47
Tabela 9: Número de ocorrências no entorno da Billings em 2013.....	51
Tabela 10- Principais bairros no entorno dos pontos de monitoramento.....	52
Tabela 11- Disponibilidade hídrica e usos da água no Alto Tietê.....	60
Tabela 12- População por município no reservatório Billings.....	60
Tabela 13- Área por município na Bacia Billings.....	61

Tabela 14- Percentual de coleta e tratamento de esgoto no Alto Tietê.....	61
Tabela 15- Dados dos municípios que compõem a Bacia Billings.....	62
Tabela 16- Dados de abastecimento de água, coleta de lixo e esgoto sanitário dos municípios que compõem a Bacia Billings.....	62
Tabela 17- Concentrações de COT e NKT nos períodos seco e chuvoso na estação BILL02030.....	72
Tabela 18- Concentrações de COT e NKT nos períodos seco e chuvoso na estação BILL02100.....	72
Tabela 19- Concentrações de COT e NKT nos períodos seco e chuvoso na estação BILL02500.....	72
Tabela 20- Concentrações de COT e NKT nos períodos seco e chuvoso na estação BILL02900.....	72
Tabela 21- Concentrações de COT e NKT nos períodos seco e chuvoso na estação BITQ00100.....	73
Tabela 22- Correlações de Pearson entre as variáveis limnológicas.....	76
Tabela 23- Coeficiente de determinação de C/N com clorofila a e e PT na matriz sedimento e água.....	77
Tabela 24- Relação molar C/N para os pontos em água na represa Billings.....	80
Tabela 25- Relação C/N do sedimento, segundo dados da CETESB.....	81
Tabela 26- Dados de variáveis COT, NKT, NH ₃ , C _{org} / N _{NKT} , Clor a, PT, Cianob e DBO das estações de monitoramento em estudo.....	101

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

C: Carbono
C/N: Razão molar carbono/ nitrogênio
CE: Condutividade Elétrica
CIANO: Número de Cianobactéria
Clor *a*: Clorofila *a*
CO₂: Dióxido de Carbono
COAR: Carbono Orgânico Ácido- Reagente
COB: Carbono Orgânico Biológico
COD: Carbono Orgânico Dissolvido
CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONP: Carbono Orgânico Não-Purgável
COPT: Carbono Orgânico Particulado
COPu: Carbono Orgânico Purgável
C_{org}/ N_{NKT}: Razão molar carbono e nitrogênio em água
COT : Carbono Orgânico Total
COV: Carbono Orgânico Volátil
DAEE: Departamento de Águas e Energia Elétrica
DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO: Demanda Química de Oxigênio
EMAE: Empresa Metropolitana de Águas e Energia
IAP: Instituto Ambiental do Paraná
IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IET: Índice de Estado Trófico
IQA: Índice de Qualidade das Águas
IQAR: Indicador de Qualidade de Água em Reservatórios
ISO: International Organization for Standardization
N: Nitrogênio
N:P: Razão Nitrogênio e Fósforo
N₂: Nitrogênio Molecular
N₂O: óxido nitroso
NH₃: Amônia
NH₄⁺: íon amônio
NKT: Nitrogênio Kjeldahl
NO₂⁻: nitrito
NO₃⁻: nitrato
N_{Org}: Nitrogênio Orgânico
NT: Nitrogênio Total
P: Fósforo
PLUV: Densidade Pluviométrica
PT: Fósforo Total
RMSP: Região Metropolitana do Estado de São Paulo
SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

TEMP: Temperatura

TURB: Turbidez

UGRHI: Unidade de Gerenciamento de recursos hídricos

1.INTRODUÇÃO

A água é um bem natural e essencial ao homem. Apesar de sua abundância, com cerca de 70% de cobertura na superfície terrestre, menos de 3% é de água doce, estando a maior parte disponível na forma de geleiras.

O Brasil é um país com grande disponibilidade hídrica, detendo mais de 50% do manancial de água doce da América do Sul. Sua distribuição, no entanto, é irregular, com cerca de 78% dos mananciais presentes na região amazônica, 1,7% na Bacia do Rio São Francisco e 6% na Bacia do Rio Paraná. Além disso, 95 % população do país está concentrada fora das regiões com grande disponibilidade hídrica, sendo abastecida por menos de 20% da descarga hídrica nacional (GOMES & BARBIERI, 2004).

A utilização da água pode ocorrer para diversas finalidades e sua escassez é fator limitante ao desenvolvimento econômico e social de uma região.

De acordo com FRACALANZA & CAMPOS (2006), o modo de apropriação e a degradação decorrente de poluição direta e indireta estão relacionados à escassez dos recursos hídricos. As atividades antrópicas, por exemplo, causaram nas últimas décadas grandes impactos ambientais nos ecossistemas aquáticos. Esta situação é particularmente notada em regiões com elevada densidade populacional, especialmente áreas metropolitanas (MORENO & CALLISTO, 2004), como a cidade de São Paulo.

Nesta problemática, apresentando um quadro crítico de poluição em suas águas, está inserida a Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, constituída pelos rios Tietê, Claro, Paraitinga, Biritiba-mirim, Jundiá e Taiapuê-mirim. Essa área possui ainda 6 reservatórios que formam o Sistema Produtor Alto Tietê (SOLIA et al., 2007).

Os reservatórios são considerados sistemas dinâmicos devido a diferenças na circulação vertical e horizontal ao longo de um gradiente espacial, que ocorre pela interferência das variáveis climatológicas, dos mecanismos operacionais de barragem e da própria morfometria do corpo d'água (JÚNIOR, 2006). Com isso, é importante que sejam considerados uma série de indicadores (físicos, químicos e biológicos) para uma melhor compreensão e entendimento de sua dinâmica, a fim de garantir a qualidade das águas ali presentes.

A represa Billings é um reservatório localizado no Alto Tietê e contribui para o abastecimento de águas do Estado. Desde a década de 50 acentuou-se o processo de concentração

industrial nesta região, bem como a urbanização e aumento da população residente em áreas circunvizinhas à represa (FRACALANZA & CAMPOS, 2006). Nos dias de hoje, o aumento da demanda de água, somada à degradação da qualidade deste bem, delineia um quadro preocupante e que demanda um correto e eficiente gerenciamento dos recursos hídricos.

É notória a delicada situação da região metropolitana de São Paulo em relação a água. Em virtude da escassez hídrica nos anos de 2013-2014, decorrente da falta de chuvas registrada neste período, foi necessário lançar mão no ano de 2015 da reserva técnica do Sistema Cantareira para o abastecimento público.

Nesta mesma época, o sistema Alto Tietê também se mostrava fragilizado. Em dezembro de 2014, o nível do sistema Alto Tietê chegou a 4% e no mês de agosto do ano seguinte foi declarada situação de criticidade hídrica pelo governador do Estado de São Paulo também deste sistema (JORNAL O ESTADO DE SÃO PAULO, 2015).

Apesar do período de estiagem sofrido, com pluviosidade abaixo da média, outras questões atreladas à crise hídrica podem ter contribuído para o risco do desabastecimento da região metropolitana, como a baixa qualidade das águas dos rios em razão da ausência de tratamento adequado de esgoto doméstico, falta de investimentos e coordenação institucional, além do desmatamento e ocupação desordenada em áreas de mananciais (JACOBI et al., 2014). Em relação à qualidade da água, a poluição dos corpos hídricos é causada pela introdução de matéria e/ou energia, alterando assim, as características da água e podendo afetar a biota. A consequência destes impactos nos corpos hídricos varia em função de suas características físicas, químicas e biológicas e da natureza das substâncias lançadas (NAGALLI et al., 2009).

Nas águas interiores, as principais cargas de poluição afluentes podem ser pontuais ou difusas, sendo que as cargas pontuais provêm de efluentes industriais ou de esgoto cloacal e pluvial. As cargas difusas, orgânicas ou inorgânicas, ocorrem pelo escoamento rural e urbano, distribuído ao longo das bacias hidrográficas. As cargas orgânicas originam-se de restos e dejetos humanos, de animais e da matéria orgânica vegetal. As cargas inorgânicas derivam das atividades humanas, de efluentes industriais e da lavagem pelo escoamento de superfícies contaminadas, como áreas urbanas (TUCCI, 2011).

O nitrogênio pode ser lançado nos corpos hídricos através de esgotos sanitários, principalmente na forma de nitrogênio orgânico, devido à presença de proteínas neste dejetos. Alguns efluentes industriais também contribuem para as descargas de nitrogênio orgânico e

amoniaco nas águas, como algumas indústrias químicas, petroquímicas, siderúrgicas, farmacêuticas, alimentícias, matadouros, frigoríficos e curtumes (CETESB, 2009). O uso de fertilizantes em áreas agrícolas também coopera para a presença de diversas formas de nitrogênio, através do escoamento das águas pluviais nos solos. Com relação às áreas urbanas, a fonte de nitrogênio resulta também da drenagem das águas pluviais, somada às deficiências do sistema de limpeza pública (CETESB, 2009).

Quando descarregados nas águas naturais, conjuntamente com o fósforo, os compostos nitrogenados provocam o enriquecimento do meio através de matéria orgânica, acelerando o processo conhecido como eutrofização. A eutrofização acarreta no crescimento excessivo de plantas aquáticas e consequente desequilíbrio do ecossistema aquático (FIGUEIREDO, et al., 2007), além de trazer prejuízos aos usos da água, seja no abastecimento público, seja causando morte de organismos aquáticos (CETESB, 2015).

O uso ao qual a água foi submetida relaciona-se com a característica dos esgotos. Esta utilização e a forma como são exercidos variam com o clima, a situação social e econômica, e os hábitos da população (VON SPERLING, 2005). Alguns parâmetros químicos, físicos e biológicos exprimem o potencial poluidor dos despejos e definem, assim, a qualidade do efluente. A quantidade de matéria orgânica (MO) e de nitrogênio são dois parâmetros químicos que determinam a característica das águas residuárias. Esses componentes, uma vez nos corpos d'água, influenciam no processo de autodepuração, interferindo no restabelecimento do equilíbrio no meio aquático.

Segundo MEYERS (1993), a razão molar carbono e nitrogênio (C/N) nos sedimentos é um método utilizado para caracterizar o aporte de matéria orgânica no sistema aquático, e esta relação pode então evidenciar o aumento de biomassa local e a presença de efluentes e matéria orgânica nitrogenada (CETESB, 2013). No caso da razão C/N, verifica-se que normalmente a quantidade de carbono é maior que a de nitrogênio presente no meio. Valores acima de 20 são indicativos de matéria orgânica de origem terrestre nos sedimentos (por exemplo, presença de folhas, galhos e assoreamento), enquanto que valores entre 4 e 10, são indicativos de aumento de biomassa local ou presença de esgotos (KAUSHAL & BINFORD, 1999).. Valores próximos a 5 são característicos de cargas protéicas e efluentes. À medida que esta razão diminui, evidencia-se, portanto, um aumento na concentração de nitrogênio, que pode estar sendo fornecido por

produtos onde este elemento é abundante, como esgotos domésticos, ou alguns tipos efluentes (provenientes da indústria química e uso de fertilizantes, por exemplo).

Em vista disso, a hipótese levantada deste trabalho é a de verificar se a razão molar entre carbono orgânico (C_{org}) e nitrogênio Kjeldahl, (N_{NKT}) C_{org}/N_{NKT} , já utilizada na caracterização da qualidade do sedimento quanto ao aporte de matéria orgânica, se aplica também à coluna d'água, mais especificamente às águas do reservatório Billings.

2. OBJETIVOS

O objetivo principal desta pesquisa foi o de avaliar a viabilidade técnica do uso da razão da concentração molar carbono orgânico / nitrogênio Kjeldahl (C_{org}/N_{NKT}) na coluna d'água como indicadora da qualidade da água da represa Billings e sua correlação com o uso da terra na área de estudo.

Para tanto, os objetivos específicos são:

- Caracterizar o uso e ocupação do solo da área de entorno do reservatório, identificando sua influência na qualidade da água através de estudos de campo e de dados demográficos da região;
- Avaliar a correlação existente entre a relação das concentrações molar de carbono orgânico total (COT) e de nitrogênio Kjeldahl (NKT) como indicadores de aportes de matéria orgânica e, conseqüentemente, do despejo de esgoto doméstico na represa Billings, localizada na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê – SP;
- Analisar a heterogeneidade espacial e a variabilidade temporal deste ambiente, de forma a contribuir para o monitoramento da qualidade das águas do estado de São Paulo na UGRHI 6 (Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 6) - Alto Tietê;
- Avaliar a dinâmica espacial das variáveis limnológicas COT e NKT, observando a influência da variação sazonal, além da correlação com as variáveis clorofila *a*, fósforo total, condutividade elétrica, turbidez, pH, cianobactérias, índice de estado trófico, densidade pluviométrica e temperatura;
- Comparar a razão da concentração molar carbono orgânico / nitrogênio Kjeldahl (C_{org}/N_{NKT}) entre as matrizes água e sedimento.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

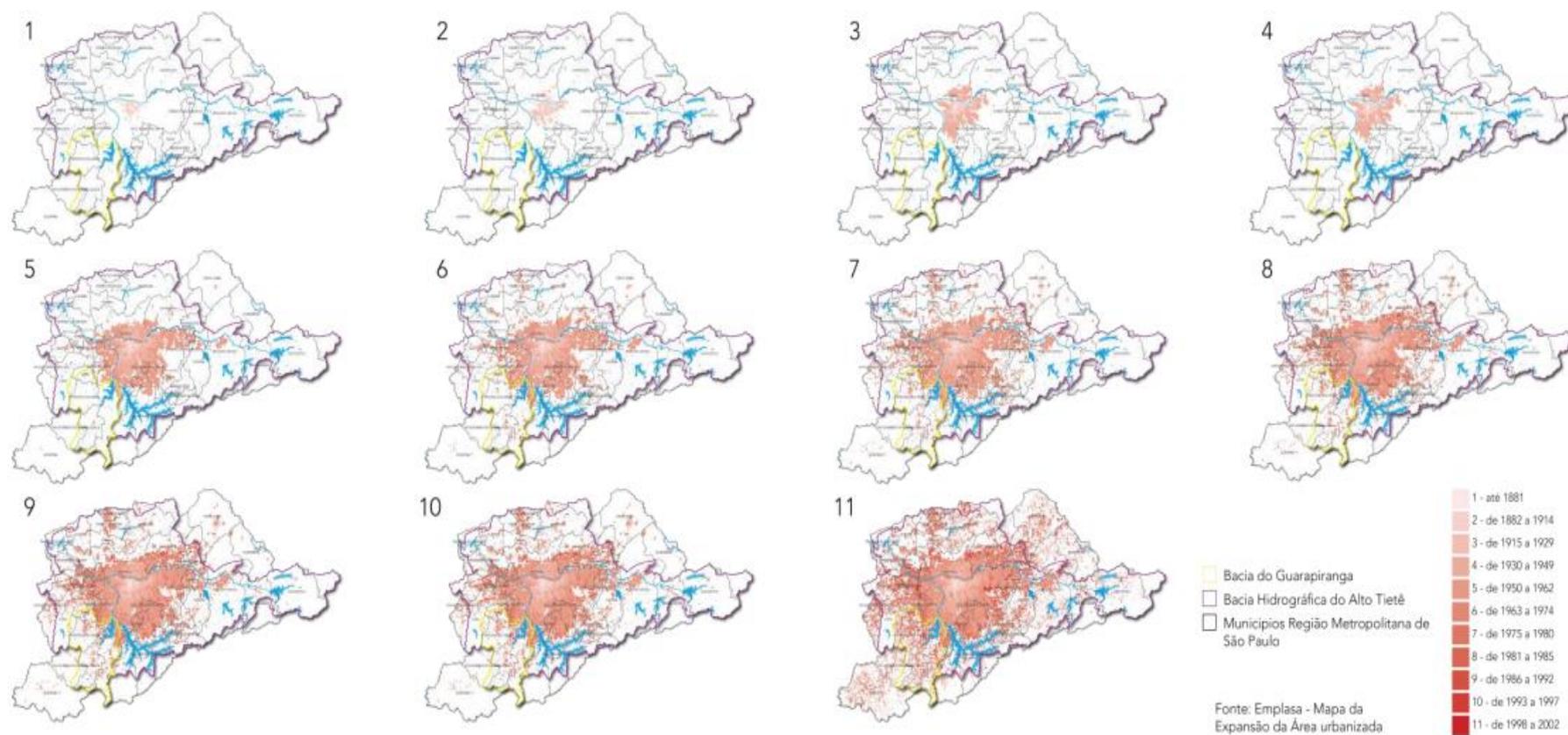
3.1. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA REGIÃO DO ALTO TIETÊ

A possibilidade de maiores índices de poluição e contaminação de mananciais eleva-se em razão do grande adensamento urbano da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, principalmente devido à ocupação de áreas de várzeas e das cabeceiras dos cursos d'água.

Segundo ROCHA (2003), com o processo acelerado de industrialização, a ocupação para as periferias foi necessária e é justamente nessas áreas que se encontram alguns mananciais, como a represa Billings.

A Figura 1 apresenta a expansão urbana na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) entre os anos de 1881 a 2002. É nítido o aumento da concentração populacional nesta área ao longo dos anos, inclusive no entorno onde se encontra a represa Billings.

Figura 1: Expansão da malha urbana na Região Metropolitana de São Paulo entre os anos de 1881 a 2002.



Fonte: Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tiete (2014)

3.2. ECOLOGIA, COMPARTIMENTOS E USO DO RESERVATÓRIO

A construção de reservatórios ou de lagos artificiais apresenta-se como uma das maiores ações antropogênicas de modificação de um ecossistema natural. Esses compartimentos diferenciam-se dos lagos naturais por alguns fatores como: hidrografia da bacia, morfometria, fluxo e profundidade de saída da água (STRAŠKRABA, 1998), apresentando-se como sistemas cujas características hidrológicas e morfométricas podem ser consideradas intermediárias entre rios e lagos. Possuem uma dinâmica própria que reflete a ação de fatores internos e externos, sendo o seu desenvolvimento dependente destes em diferentes escalas espaciais e temporais (RIBEIRO FILHO et al., 2001). Podem funcionar como um localizador de impactos causados pela ação humana, pois estão inseridos nas respostas com relação ao uso e ocupação do solo no entorno da bacia de drenagem (TUNDISI, 1996). Estes ecossistemas artificiais recebem e acumulam matéria orgânica e inorgânica de sistemas adjacentes (ESPÍNDOLA et al., 2005).

Dentro de uma represa existem gradientes horizontais e verticais em um contínuo fluxo de água. Estes gradientes são resultados de compartimentalização horizontal e vertical devido aos diferentes tempos de permanência das massas de água (RODRIGUES et al., 2012).

A estrutura e o condicionamento dos reservatórios dependem dos níveis de entrada e saída das águas dos rios e da altura da saída das águas na barragem (SILVA, 1994). Sendo assim, um reservatório pode ser dividido em 3 zonas ou compartimentos, definidos por THORNTON (1990) e apresentados na Figura 3: zona fluvial ou lótica, intermediária ou de transição e lacustre ou lântica. As características destas zonas estão descritas na Tabela 1.

Figura 3: Compartimentos do reservatório.



Fonte: SILVA (1994).

Tabela 1: Ambientes de um reservatório segundo Thornton (1990).

Ambiente	Características
Lótico ou fluvial	Localizado na parte alta do reservatório; maior velocidade no fluxo de água; menor tempo de retenção; alta concentração de nutrientes; presença de sólidos totais; menor penetração de luz
Intermediário ou transição	Região entre o lântico e lótico; redução na velocidade do fluxo e turbidez; diminuição do fluxo de água; aumento do tempo de retenção; Aumento da penetração de luz; em geral, área mais fértil do reservatório.
Lântico ou lacustre	Características semelhantes a de lagos; maior transparência; menor concentração de nutrientes; próximo à barragem; estratificação térmica

As mudanças físicas, químicas e biológicas ao longo do eixo principal do reservatório podem resultar em alterações espaciais.

Em seu trabalho, LAMPARELLI (2004) identifica que o represamento da água diminui sua velocidade, aumenta a taxa de sedimentação do material em suspensão, além de reduzir a turbulência, aumentar a transparência do meio e, conseqüentemente, aumentar a produtividade, ou seja, a produção de biomassa. Em contrapartida, há um maior desenvolvimento da comunidade zooplanctônica e menor concentração de nutrientes na coluna d'água.

De acordo com TUNDISI (2008), o ciclo de nutrientes em reservatórios apresenta especificidades em suas características, que dependem de alguns fatores principais, como: aporte a partir de rios alimentadores de escoamento superficial, contribuição por processos advectivos, tempo de residência, altura das saídas de água da represa, processos de estratificação ou de turbulência, controle de vazão, alteração de nível e interações das comunidades biológicas.

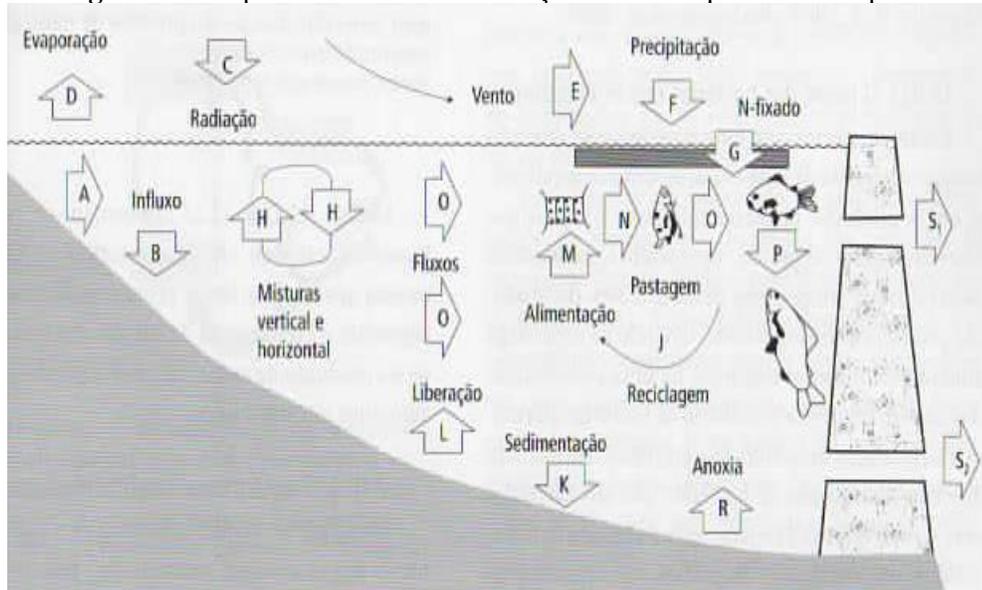
A fertilidade relativa dos reservatórios diminui no sentido do rio para o lago uma vez que o fornecimento advectivo dos nutrientes torna-se menor com o aumento da distância do contribuinte. É possível dizer então que o reservatório parte de uma condição mais eutrofizada para uma condição oligotrófica na região de lago (SILVA, 1994).

A composição e biomassa fitoplanctônica são influenciadas por fatores físicos, químicos e biológicos, que por sua vez dependem das características do reservatório como precipitação, velocidade do vento, influxo do rio, aporte de nutrientes e saída de água para uso; estes dois últimos, sendo considerados interferentes antrópicos (TUNDISI, 2008; POMPEO et. al, 2015).

A Figura 4 identifica as principais inter-relações entre os componentes bióticos e as condições físicas e químicas da represa.

Os processos A, B, D, E, H e S são constituintes do subsistema físico como influxo, evaporação, vento e misturas verticais e horizontais; os processos F, G, K, L, C e R ao subsistema químico como precipitação, fixação, sedimentação, liberação, radiação, e anoxia e J, M, N, O e P ao subsistema biológico como reciclagem, alimentação e pastagem.

Figura 4: Componentes bióticos e condições físicas e químicas da represa.



Fonte: TUNDISI (1996).

O processo de eutrofização pode ocorrer pelo aporte de nutrientes provenientes do esgoto, do próprio sedimento ou pela decomposição de plantas e animais existentes no próprio meio. As águas dos reservatórios, bem como seus sedimentos, tem a capacidade de reter por tempos maiores os poluentes quando comparados aos presentes nas águas correntes de rios e córregos (MARTINS, 2008).

A presença destes reservatórios, com suas particularidades, altera a natureza das bacias hidrográficas que, por sua vez, acarretam em mudanças econômicas e sociais. Compreender a limnologia desses ecossistemas auxilia no contínuo diagnóstico das condições do ambiente e na avaliação das estratégias utilizadas para o gerenciamento das represas (TUNDISI, 2008).

O desordenado crescimento populacional em uma bacia hidrográfica utilizada para abastecimento público, como é o caso da Billings, também influencia diretamente na qualidade do ambiente. À medida que aumenta o número de habitantes, as probabilidades de impactos

ambientais como a impermeabilização do solo e a remoção da cobertura vegetal para a construção de moradias, além de contaminação da água através do lançamento de esgoto e da disposição inadequada de lixo também aumentam (CAPOBIANCO & WHATELY, 2002).

Uma das ferramentas para avaliação da qualidade da água desenvolvida pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) foi o Índice de Qualidade das Águas (IQA), que agrega nove variáveis consideradas importantes para a avaliação da qualidade da água. São elas: coliformes fecais, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio total, fósforo total, temperatura, turbidez, resíduo total e oxigênio dissolvido. Para esta avaliação, estabelecem-se curvas de variação da qualidade da água conforme o estado de cada parâmetro, bem como um peso para cada um deles. O IQA é resultado do produto ponderado das variáveis que integram o índice e varia em escala de 0 a 100, sendo estabelecidas cinco classes de qualidade. Um IQA de 80 a 100, por exemplo, considera a água de qualidade ótima e, igual ou menor a 19, água de qualidade péssima (CETESB, 2014).

O Instituto Ambiental do Paraná (IAP) também desenvolveu um indicador de qualidade de água em reservatórios, o IQAR. O índice é composto igualmente por nove variáveis: déficit de oxigênio dissolvido, clorofila *a*, fósforo total, profundidade, demanda química de oxigênio, tempo de residência, nitrogênio inorgânico total, cianobactérias e profundidade média, as quais são submetidas a pesos em função do grau de importância para a avaliação da qualidade da água do reservatório. A matriz apresenta seis classes de qualidade da água, estabelecidas pelos cálculos dos percentis de 10%, 25%, 50%, 75% e 90% de cada uma das variáveis (ANA, 2015).

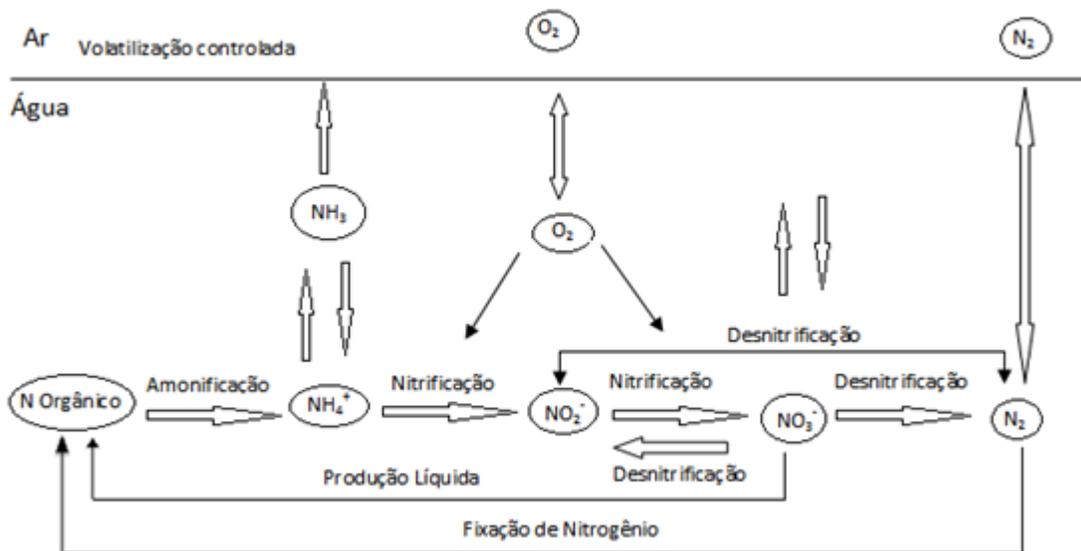
A Resolução CONAMA n° 302, de 20 de março de 2002, dispunha sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno, definindo reservatório artificial como a acumulação não natural de água destinada a quaisquer de seus múltiplos usos. Parâmetros frequentemente utilizados na caracterização de um reservatório envolvem aspectos físicos, químicos, bióticos, hidrológicos e geomorfológicos como: luz solar, temperatura, turbidez, cor, oxigênio dissolvido, salinidade, pH, alcalinidade, fosfatos, nitratos, área da superfície, descarga ou vazão, tempo de residência, profundidade, continuidade, cobertura vegetal da bacia, aglomerados urbanos, mata ciliar e ripária e evolução da paisagem. Em 25 de maio de 2012 entrou em vigor o novo Código Florestal Lei 12.651 que tornou as normas menos restritivas para Áreas de Preservação Permanente no que diz respeito a reservatórios d' água artificiais.

3.3. NITROGÊNIO EM RESERVATÓRIOS

O nitrogênio (N) é um dos principais elementos químicos da natureza. Por estar presente em biomoléculas chave como proteínas, peptídeos e aminoácidos, torna-se essencial para o metabolismo e constituição celular (ESTEVEES, 2011).

O movimento ou ciclo do nitrogênio em ecossistemas aquáticos é apresentado na Figura 5.

Figura 5: Ciclo do Nitrogênio em ecossistemas aquáticos.



Fonte: Adaptado de AVILA (2005).

Dentro dos ecossistemas aquáticos, pode-se identificar as seguintes formas químicas de nitrogênio: nitrogênio molecular (N_2), nitrogênio orgânico (N_{Org}), amônia (NH_3), íon amônio (NH_4^+), nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-) e óxido nitroso (N_2O). As quatro primeiras espécies são formas reduzidas e as demais, oxidadas. O Nitrogênio Kjeldahl (N_{NKT}) é resultado das formas amoniacal e orgânica e o Nitrogênio Total (NT) a junção das espécies que compõe o nitrogênio Kjeldahl, nitrato e nitrito, conforme representado nas Equações 1 e 2 abaixo.

$$NKT = NH_3 + N_{Org} \quad (\text{Nitrogênio Kjeldahl}) \quad \text{Equação 1}$$

$$NT = NKT + NO_2^- + NO_3^- \quad (\text{Nitrogênio Total}) \quad \text{Equação 2}$$

Em ecossistemas aquáticos, o perfil térmico e a dinâmica dos gases dissolvidos na coluna d'água, sobretudo do oxigênio, influenciam na distribuição vertical dessas espécies químicas nos compartimentos. Um exemplo é evidenciado pelas baixas concentrações de nitrogênio amoniacal em ambientes naturais cuja coluna d'água não apresenta estratificação térmica, tampouco de oxigênio dissolvido. Ao ser liberado no sistema pela decomposição da matéria orgânica, esse composto é rapidamente transformado em nitrito e nitrato pelo processo de nitrificação. Em ecossistemas que apresentam perfil de estratificação de temperatura e, principalmente, de oxigênio dissolvido, os padrões de distribuição das formas de nitrogênio são distintos (ESTEVES, 2011).

A fixação biológica de nitrogênio é a principal fonte natural de nitrogênio para os ecossistemas aquáticos continentais. Outros fenômenos também contribuem para a disponibilidade deste elemento, dentre eles as tempestades atmosféricas de raios, que fornecem energia suficiente para combinar nitrogênio e oxigênio molecular e formar nitrato quando ocorre a precipitação úmida, além do aporte orgânico e inorgânico do elemento a partir de efluentes domésticos e industriais não tratados ou parcialmente tratados nos corpos d'água (ESTEVES, 2011).

No caso de poluição causada pelo lançamento de esgotos a montante em um curso d'água, a forma predominante de nitrogênio pode fornecer indícios sobre seu estágio de autodepuração. Se a poluição é recente, o nitrogênio estará basicamente na forma de nitrogênio orgânico ou amoniacal. Em caso de poluição antiga e, considerando-se a instabilidade do nitrito e sua forte tendência a oxidar-se, o nitrogênio encontra-se essencialmente na forma de nitrato (VON SPERLING, 2005).

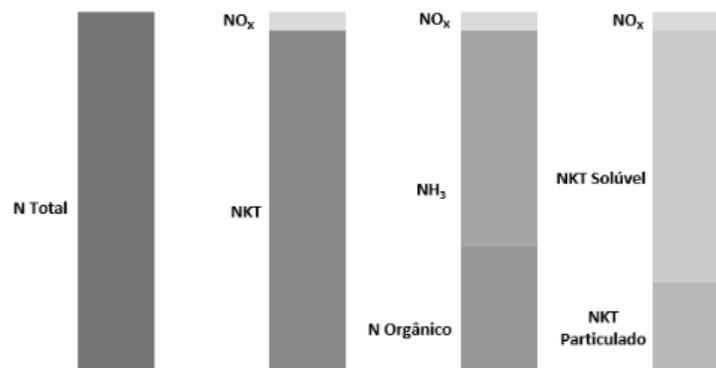
A Tabela 2 apresenta a distribuição relativa das formas de nitrogênio segundo diferentes condições ambientais.

Tabela 2: Distribuição relativa das formas de nitrogênio em diferentes condições ambientais.

Condição	Forma predominante do nitrogênio
Esgoto	Nitrogênio orgânico Amônia
Poluição recente em um curso d'água	Nitrogênio orgânico Amônia
Estágio intermediário de poluição em um curso d'água	Nitrogênio orgânico Amônia Nitrito (em menores concentrações)
Poluição remota em um curso d'água	Nitrato Nitrato
Efluente de tratamento sem nitrificação	Nitrogênio orgânico (em menores concentrações) Amônia
Efluente de tratamento com nitrificação	Nitrato
Efluente de tratamento com nitrificação/ desnitrificação	Concentrações mais reduzidas de todas as formas de nitrogênio

Fonte: Adaptado de VON SPERLING (2005).

Nos esgotos domésticos brutos, as formas predominantes de nitrogênio são: o nitrogênio orgânico, que corresponde a compostos orgânicos contendo grupamentos amina, e amônia, originada da hidrólise da uréia. A representação esquemática da distribuição do nitrogênio no esgoto bruto está representada na Figura 6.

Figura 6. Distribuição das formas de nitrogênio no esgoto doméstico bruto.

Fonte: Adaptado de VON SPERLING (2005).

O controle das concentrações de nitrogênio nos corpos hídricos é feito pela quantificação das suas diversas formas (nitrogênio amoniacal, nitrogênio orgânico, nitrogênio Kjeldahl, nitrato

e nitrito), sendo o nitrogênio total um parâmetro constituinte do Índice de Qualidade das Águas - IQA (CETESB, 2014).

3.4. CARBONO ORGÂNICO EM RESERVATÓRIOS

Uma das principais consequências da poluição nos corpos d'água é o consumo de oxigênio dissolvido pelos microrganismos nos seus processos metabólicos de assimilação e estabilização da matéria orgânica. Em vista disso, a quantidade de matéria orgânica presente, principalmente nos efluentes, torna-se um parâmetro de extrema importância na preservação do meio ambiente (VON SPERLING, 2005).

A carga orgânica presente nos efluentes domésticos é constituída principalmente por: compostos de proteínas (25% a 50%), carboidratos (25% a 50%), gordura e óleos (8% a 12%), uréia, surfactantes, fenóis, pesticidas e outros compostos em menor quantidade (traços) (METCALF & EDDY, 2003).

Essa multiplicidade de formas e compostos que constituem a matéria orgânica dificulta a determinação laboratorial destes diversos componentes nas águas residuárias. Assim, são adotados métodos analíticos diretos ou indiretos para a sua quantificação.

A determinação da matéria orgânica por métodos indiretos é realizada através da medição do consumo de oxigênio, como a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e a demanda química de oxigênio (DQO), cujas técnicas são ainda muito utilizadas até hoje. Com relação a métodos diretos, utiliza-se o valor de concentração do carbono orgânico através da determinação do carbono orgânico total (COT).

A matéria orgânica carbonácea, que é aquela baseada na concentração de carbono orgânico presente, pode ser classificada quanto à forma e ao tamanho, ou seja, se está em suspensão ou dissolvida, e quanto à biodegradabilidade, sendo inerte ou biodegradável (VON SPERLING, 2005). As substâncias orgânicas podem ser classificadas com base nas características físico-químicas, conforme descrito na Tabela 3 (BISUTTI et al., 2004).

Tabela 3: Classificação de carbono orgânico conforme características físico-químicas.

	Símbolo	Descrição
Total	COT	Toda forma de carbono orgânico ligado covalentemente. COT= COD + COPt
Dissolvido	COD	Toda espécie de carbono solúvel, não filtrável por membrana de 0,45 µm.
Particulado	COPt	Possui partículas suspensas retidas por membranas da ordem de 0,2-10 µm.
Volátil	COV	Compostos de baixo peso molecular e pontos de fusão abaixo de 100 °C.
Purgável	COPu	Matéria orgânica decomposta por pulverização.
Não purgável	CONP	Matéria orgânica não decomposta por pulverização.
Ácido-reagente	COAR	Matéria orgânica decomposta por tratamento com ácido
Biológico	COB	Composto de origem biológica.

Fonte: Adaptado de BISUTTI et al. (2004).

A análise de carbono orgânico total (COT) é uma metodologia frequentemente utilizada para quantificar matéria orgânica, além de ser empregada para avaliar a eficiência de tratamento de efluentes industriais (FONSECA et al. *apud* SILVA et al., 2004). O carbono orgânico total é a concentração de matéria orgânica carbonácea oxidada a CO₂, em um forno a alta temperatura, e quantificada por meio de analisador por infravermelho. Existem dois tipos de carbono orgânico no ecossistema aquático: carbono orgânico particulado - COPt e carbono orgânico dissolvido – COD. A análise de COT considera as parcelas biodegradáveis e não biodegradáveis da matéria orgânica, não sofrendo interferência de outros átomos que estejam ligados à estrutura orgânica, quantificando apenas o carbono presente na amostra.

O carbono orgânico em água doce origina-se da matéria viva presente e também como componente de vários efluentes e resíduos. Sua importância ambiental deve-se ao fato de servir como fonte de energia para bactérias e algas. Locais com excesso de entrada de matéria orgânica favorecem altas densidades de cianobactérias (algas cianofíceas), podendo causar problemas estéticos e interferir na penetração da radiação solar nos corpos d'água e, conseqüentemente, no processo de fotossíntese. Diversas espécies de cianobactérias presentes nessas florações também podem produzir cianotoxinas que podem prejudicar o uso das águas para contato primário, dessedentação e abastecimento público (MOSCHINI-CARLOS et al., 2001). Logo, o carbono orgânico total na água também é um indicador útil do grau de poluição do corpo hídrico (CETESB, 2009).

Os ácidos fúlvicos e a biomassa de algas verdes e azuis presentes na água bruta são precursores na formação dos trihalometanos ao reagirem com o cloro livre presente na água

(PEIXOTO, 2002). Segundo SANTOS et al. (2013), VON SPERLING (2000) e TOMINAGA E MIDIO (1999), existe uma possível correlação entre o emprego de compostos clorados e as propriedades carcinogênicas dos subprodutos da desinfecção. Portanto, na etapa de desinfecção de águas, a utilização de agentes desinfetantes cuja composição contém cloro fez com que a determinação de COT também tivesse grande importância na avaliação da qualidade das águas.

3.5. RELAÇÃO MOLAR CARBONO/NITROGÊNIO (C/N)

Os aportes de nutrientes e de carbono para os ecossistemas aquáticos são fortemente influenciados por práticas de uso da terra (ALLAN, 2004). Por exemplo, práticas agrícolas geralmente acarretam elevadas taxas de entrada de nutrientes em um corpo hídrico, resultando em eutrofização e degradação da qualidade da água. Entretanto, a razão N/P é muito variável com o tipo como tipo de cultura, sendo encontrados valores maiores para plantações de grande porte e menores para áreas de pasto ou que tenha criação animal concomitante (ARBUCLE & DOWNING, 2001; ALEXANDRE et al., 2009).

Algumas informações são conhecidas acerca dos fatores relacionados à razão C/N ou C/P em ecossistemas aquáticos. Sabe-se que dentro desses ecossistemas, nutrientes podem ser transformados, mantidos, perdidos para a atmosfera ou exportados para jusante. A estequiometria de carbono e nutrientes pode influenciar os usos dos ecossistemas, tais como a qualidade da água, a limitação de nutrientes, a biodiversidade, a eutrofização e o sequestro de nutrientes e carbono para sedimentos (VANNI et al., 2011).

Segundo MARTINELLI et al. (2009), o carbono constitui cerca de 40 a 50% da matéria orgânica viva, influenciando fortemente o ciclo biogeoquímico de outros elementos importantes, como o nitrogênio e oxigênio.

A utilização da razão molar C/N tem sido amplamente empregada em amostras ambientais na caracterização do aporte de matéria orgânica para o ambiente aquático através da determinação da razão C/N em amostras de sedimento. DIGNAC et al. (2002) identifica a razão C/N como um parâmetro que pode ser útil na estimativa de matéria orgânica no solo tratando-se de decomposição e nitrificação. Ainda, segundo estes autores, esta razão é variável no espaço de acordo com a história do local. MEYERS E ISHIWATAR (1993) reforçam que a interpretação

critériora desta relação pode fornecer informações sobre fontes pregressas de matéria orgânica. A presença ou ausência de celulose oriunda das plantas, por exemplo, podem ser fonte de matéria orgânica para lagos e influenciar a razão C/N nos sedimentos.

Segundo o relatório de qualidades das águas no Estado de São Paulo elaborado CETESB (2013), esta razão pode evidenciar a presença de efluentes, aumento de biomassa local e matéria orgânica nitrogenada – de origem antrópica – nos sedimentos. Valores da relação molar C/N indicam a condição para o sedimento, conforme descrito na Tabela 4.

Tabela 4: Condições do sedimento no ambiente em relação a razão molar C/N.

Condição do Sedimento	Valores
Cargas protéicas e efluente	$C/N \cong 5,0$
Aumento da biomassa local ou presença de esgotos	$C/N < 8,0$
Condição normal	$8,0 \leq C/N \leq 12,0$
Matéria orgânica de origem terrestre nos sedimentos (folhas, galhos, vegetação ribeirinha, assoreamento, etc).	$C/N \geq 13,0$

Fonte: Adaptado CETESB (2013).

Em particular, os sedimentos do reservatório podem ser considerados acumuladores importantes para C e N em escalas regionais e globais (DOWNING et al., 2008; HARRISON et al., 2009). Os lagos e reservatórios podem modular o transporte a jusante de C, N e P por conta das taxas de sedimentação relativamente elevadas (DOWNING et al., 2008) e desnitrificação (HARRISON et ali, 2009). Logo, justifica-se a proposta deste trabalho de verificar a viabilidade da utilização da razão C/N na coluna d'água como indicativo de qualidade da água e correlacionar com o uso da terra na área de estudo na represa Billings.

3.6. SESTON

O estudo do balanço entre o carbono (C), nitrogênio (N) e o fósforo (P) nos processos ecológicos e suas interações é tratado pela estequiometria ecológica. A importância destes elementos se dá por serem constituintes de moléculas biológicas e por seus ciclos biogeoquímicos serem intensamente prejudicados pela atividade antrópica (DOMINGUES, 2013).

Seston é a matéria particulada suspensa na coluna d'água, constituída por estes elementos. Consiste em matéria viva, composta de fitoplâncton, zooplâncton, bactérias, fungos e

protozoários, e de material inanimado como detritos orgânicos e partículas inorgânicas (MORENO & RAMIREZ, 2010).

A origem desse material pode ser de fontes autóctones ou alóctones, sendo estas as entradas variáveis de detritos para os sistemas aquáticos (SCHUTZ, 2003).

As microalgas são muitas vezes componentes do seston. A razão C:N:P algal reflete, portanto, a condição de múltiplos fatores como luz, temperatura, fornecimento de nutrientes e taxa de crescimento. Logo, o seston torna-se útil no diagnóstico e compreensão destes elementos e sua interação com o ambiente (STERNER, 2011).

Segundo VANNI et al. (2011), a concentração de nutrientes dos lagos, a composição e biomassa do fitoplâncton e as taxas de acúmulo de sedimentos podem refletir o uso da terra.

Valores contrastantes de razão C/N para água doce e marinha são frequentemente encontrados e isso é justificado pelo padrão de limitação de nutrientes de cada um destes habitats, bem como o tempo de residência de cada um (STERNER, 2008).

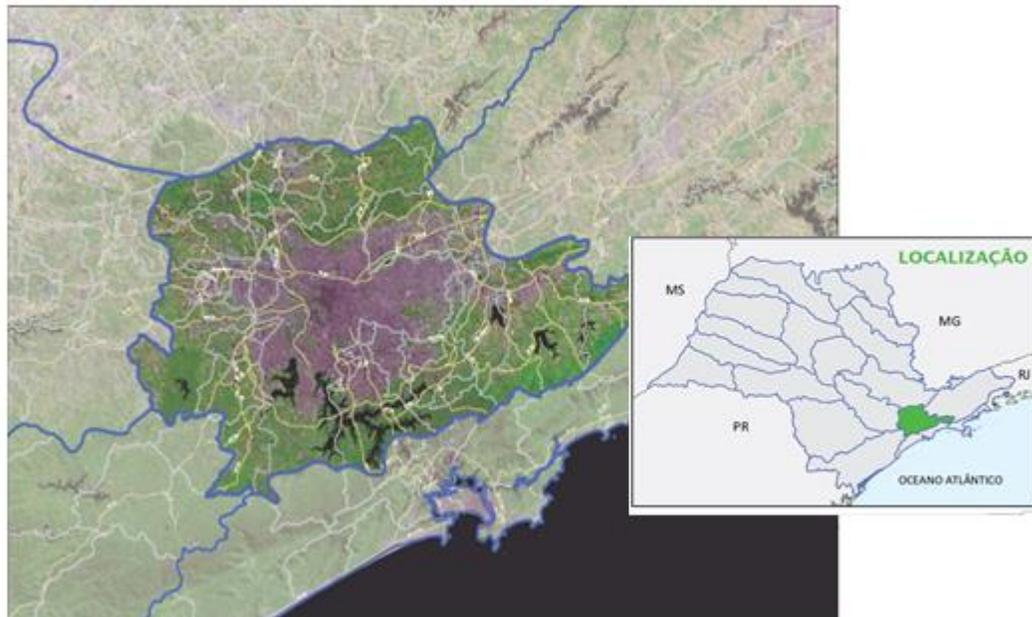
A maior parte da entrada de material em suspensão em reservatórios pode ser conseqüência de chuvas intensas. A concentração de seston tende a reduzir à medida que se aproxima da barragem, devido à redução na velocidade da água e conseqüente rápida sedimentação do material carregado pelos rios, o que ocorre nos pontos iniciais dos reservatórios. Desta maneira forma-se um gradiente longitudinal muito comum em reservatórios no período de chuvas (MENDONÇA, 2007).

4. METODOLOGIA

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Conforme apresentado na Figura 7, a bacia hidrográfica do Alto Tietê está localizada na região Sudeste do Estado de São Paulo e é definida pela área de drenagem do rio Tietê e de seus afluentes, desde sua nascente até a Barragem de Pirapora, no município de Pirapora do Bom Jesus.

Figura 7: Localização da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê.



Fonte: SMA/CPLA (2013).

A área é composta por 34 municípios, conforme apresentado na Tabela 5, e possui, principalmente, vocação industrial.

Tabela 5: Dados da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 06 (UGRHI 6).

Número de municípios	34
Municípios com sede na UGRHI	Arujá, Barueri, Biritiba-Mirim, Caieiras, Cajamar, Carapicuíba, Cotia, Diadema, Embu das Artes, Embu-Guaçu, Ferraz de Vasconcelos, Francisco Morato, Franco da Rocha, Guarulhos, Itapeverica da Serra, Itapevi, Itaquaquecetuba, Jandira, Mairiporã, Mauá, Mogi das Cruzes, Osasco, Pirapora do Bom Jesus, Poá, Ribeirão
Área	5868 km ²
Vocação	Industrial

Fonte: SMA/RQA (2015).

A interferência antrópica, causada pelo processo de urbanização, somada à estrutura geomorfológica da área, contribuíram para a poluição das águas desta região. Este conjunto de fatores faz com que a disponibilidade hídrica seja de apenas 200 m³ hab⁻¹ ano⁻¹ (FRACALANZA & CAMPOS, 2006), valor bem abaixo do recomendado pela ONU, que estabelece 2.500 m³ hab⁻¹ ano⁻¹, admitindo, em condições críticas, até 1.500 m³ hab⁻¹ ano⁻¹ (CMSP, 2001).

Inserida na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, a represa Billings, delimitada pela linha vermelha, conforme Figura 8, detém uma área de 582 km², abrangendo todo o município de Rio Grande da Serra e parte dos municípios de Santo André, São Bernardo do Campo, Diadema, Ribeirão Pires e São Paulo, delimitados pela linha amarela da mesma figura.

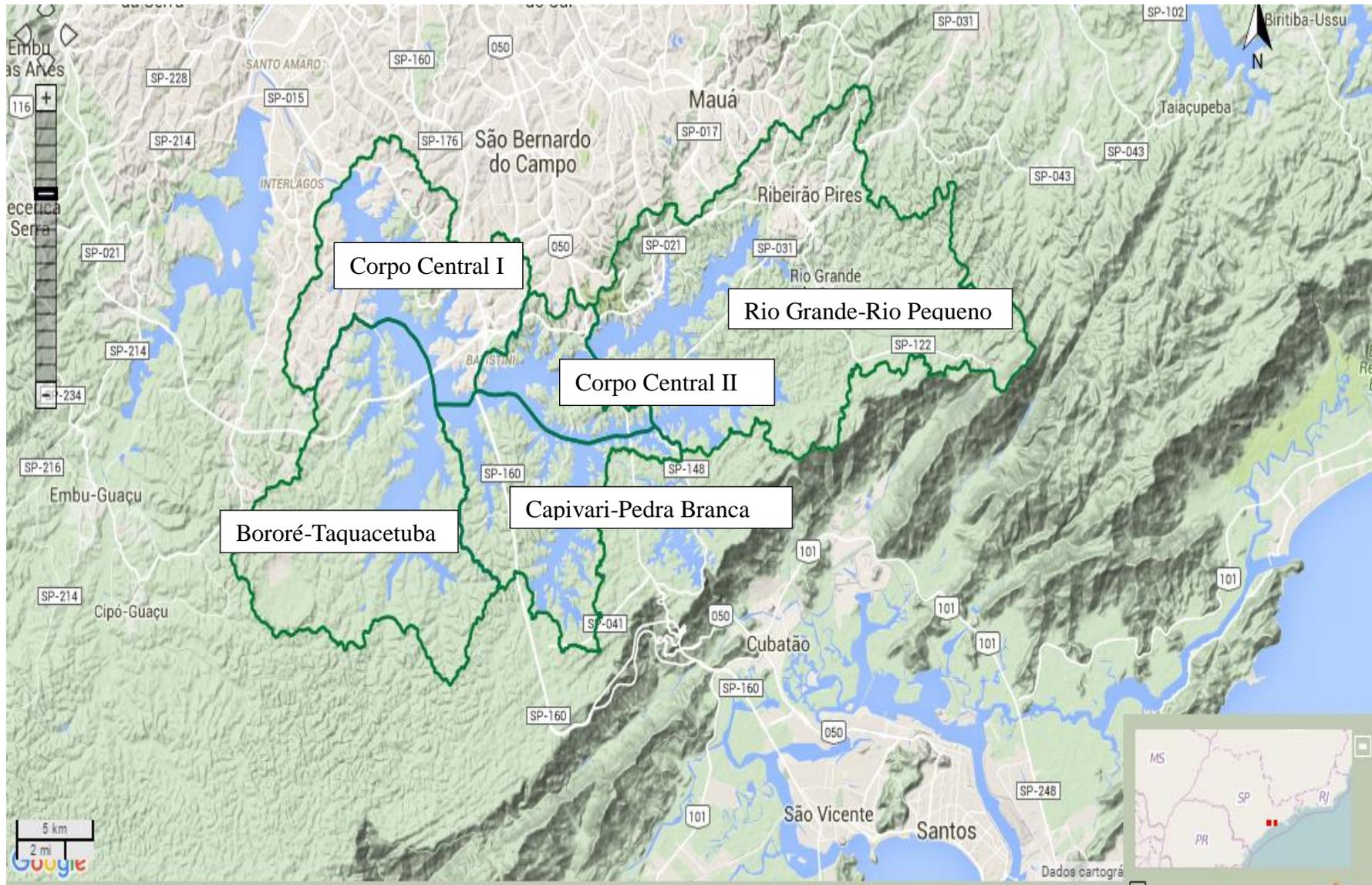
Figura 8: Municípios que integram a represa Billings.



Fonte: The center for human settlements (2016).

A Figura 9 ilustra os compartimentos ambientais da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, que são divididos em cinco unidades de planejamento, delimitados pelas linhas verdes, cujas características ambientais são dos próprios braços que dão origem ao reservatório Billings, conforme descrito na Tabela 6. Estes braços foram agrupados segundo critérios urbanísticos e ambientais para auxiliar o estabelecimento de parâmetros para a potabilidade da água (SMA/CEA, 2010).

Figura 9: Compartimentos ambientais da Bacia Billings.



Fonte: Adaptado de DATAGEO (2015).

Tabela 6: Compartimentos ambientais da Bacia Hidrográfica da Billings.

COMPARTIMENTOS AMBIENTAIS	DESCRIÇÃO
Corpo Central I	*Composição: Braço do Alvarenga, Grota Funda e Cocaia; *Aglomerações precárias; *Alta densidade populacional; *Áreas urbanizadas consolidadas; *Regiões com cobertura vegetal.
Corpo Central II	*Composição: Braço do Rio Grande; *Aglomerações precárias; *Áreas de expansão urbana.
Bororé-Taquacetuba	*Composição: Braço do Bororé e Taquacetuba; *Loteamentos Irregulares; *Aglomerações precárias *Regiões com cobertura vegetal.
Capivari-Pedra Branca	*Composição: Braço do Capivari e Pedra Branca; *Regiões com cobertura vegetal. *Atividades agrícolas; *Região cortada pela Rodovia dos Imigrantes
Rio Grande-Rio Pequeno	*Composição: Braço do Rio Grande e Rio Pequeno; *Regiões com cobertura vegetal (Rio Pequeno). *Atividades agrícolas (Rio Pequeno); *Áreas urbanizadas consolidadas (Rio Grande).

Fonte: Adaptado de SMA/ CEA (2010)

Observa-se através da Tabela 6 que em toda área da represa Billings existem diferentes tipos de ocupações com densidades demográficas e necessidades de infraestrutura diferentes. A análise dessa distribuição demonstra a dinâmica de ocupação intensa e caracterizada por atividades irregulares, como invasões, favelas e loteamentos clandestinos.

4.2. RECONHECIMENTO DA ÁREA DE ESTUDO

Durante o desenvolvimento do projeto foram realizadas atividades de campo para reconhecimento da área de estudo. Além de identificar de forma visual quais as áreas mais urbanizadas entre as estações de monitoramento, foi possível relacionar qualitativamente o efeito da urbanização na Bacia junto aos indicadores NKT e COT.

Uma primeira visita de reconhecimento à represa Billings foi feita no dia 03 de dezembro de 2015 junto da equipe técnica da Divisão de Amostragens da CETESB, porém, devido às condições climáticas ruins do dia, não foi possível inferir informações sobre a área: a neblina impossibilitava a localização visual de moradias e reconhecimento da infraestrutura local.

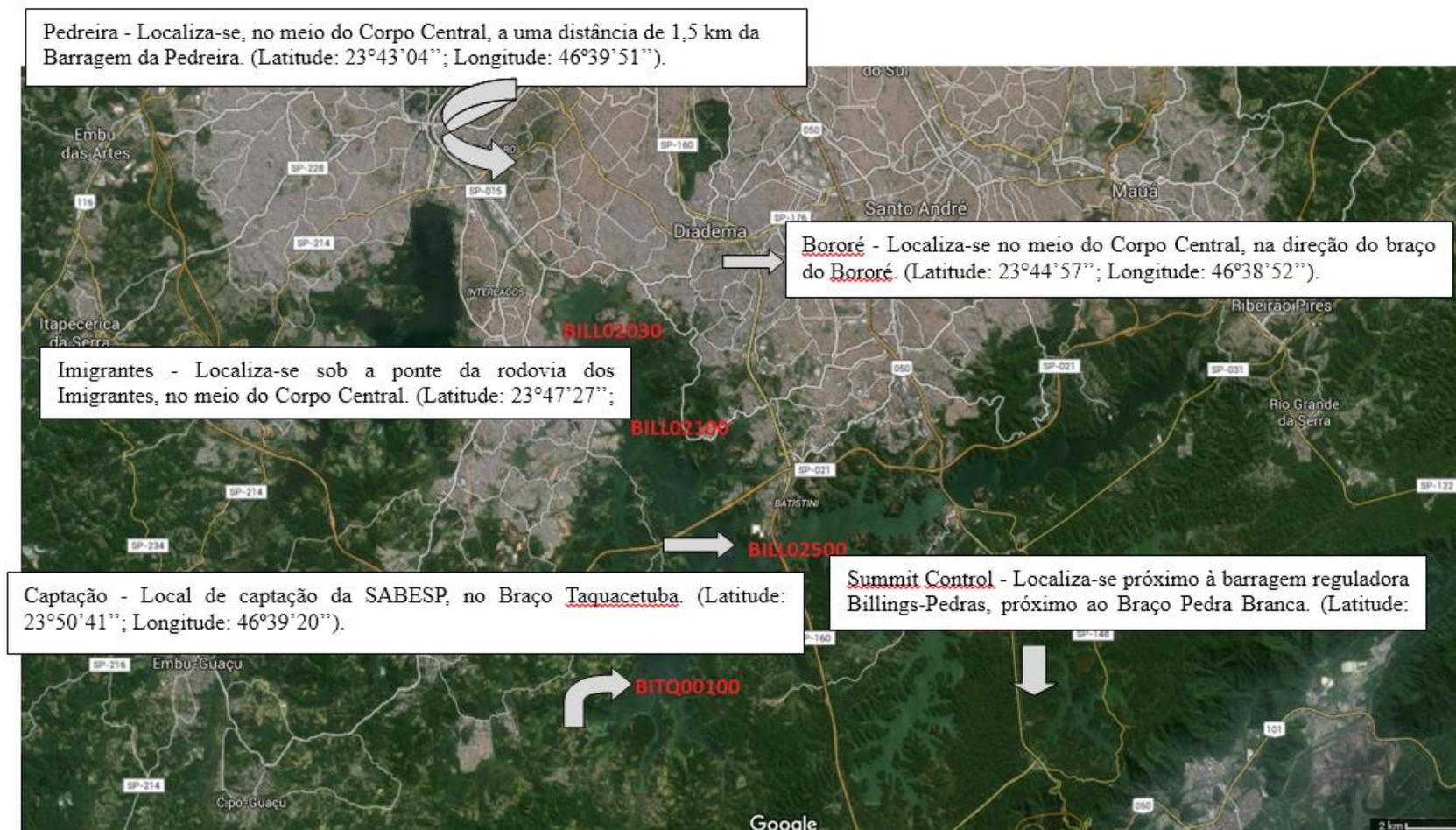
Uma nova visita foi realizada no dia 09 de dezembro de 2015 e compreendeu as 5 estações de monitoramento em estudo. O acesso foi feito através de lancha, a qual possuía um GPS para georeferenciamento. O objetivo desta saída de campo foi reconhecer e diferenciar os pontos quanto à ocupação na área de entorno da represa, presença de moradias irregulares, despejo de resíduos sólidos na margem, aspectos visuais da superfície da coluna d'água e presença de macrófitas aquáticas que podem sugerir o aporte de nutrientes e de matéria orgânica. Entretanto, reconhece-se que a visita por embarcação não é específica para avaliar o uso e ocupação do solo.

Em campo, foram feitas medidas de parâmetros físico-químicos como pH, temperatura, profundidade e cor utilizando sonda multiparamétrica previamente calibrada. As determinações de COT e NKT foram realizadas já em laboratório, uma vez que necessitam de preparo da amostra e instrumentos que não podem ser levados em campo.

4.2.1. PONTOS DE COLETA

Foram avaliadas 5 estações de monitoramento, que já são monitoradas pela CETESB no reservatório Billings, como pode ser observado na Figura 10.

Figura 10: Pontos de monitoramento na Represa Billings, sua localização, codificação e coordenada geográfica.



Fonte: Adaptado Google Maps (2016).

4.3. LEVANTAMENTO DE DADOS

A metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho consistiu na revisão bibliográfica detalhada para levantamento de dados secundários de qualidade de água gerados pela CETESB através da Rede de Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais do Estado de São Paulo, especificamente de registros históricos da Rede Básica, disponibilizados na forma eletrônica, nos Relatórios de Qualidade das Águas Superficiais (CETESB, 2016).

Os dados de COT, NKT, clorofila *a*, fósforo total, condutividade elétrica, turbidez, pH, cianobactérias, índice de estado trófico e temperatura para o período de 2011 a 2014 foram obtidos do banco de dados Infoáguas, um sistema público, desenvolvido pela equipe técnica especializada em monitorar a qualidade das águas na CETESB e disponível no site desta companhia. Neste sistema, é possível ter acesso aos resultados de análises das variáveis físicas e químicas de qualidade da água de cada ponto de amostragem utilizado no trabalho.

A avaliação foi realizada por meio de análises espaciais e temporais de NKT e COT na represa Billings a fim de verificar a evolução da qualidade da água nos compartimentos com relação a esses nutrientes frente a matéria orgânica advinda de descargas de efluentes.

Foram utilizados também dados de COT e NKT do sedimento fornecidos pela CETESB nas estações de monitoramento BILL02100, GUAR00900 E RGDE02900, localizados nos reservatórios Billings, Guarapiranga e Rio Grande, respectivamente.

Os dados pluviométricos utilizados no estudo foram obtidos através de dados primários disponibilizados pela Sabesp, DAEE, EMAE e Prefeitura de São Paulo.

4.3.1. PERIODICIDADE DE COLETA DOS DADOS

O período de coleta dos dados foi bimestral, compreendendo os anos de 2011 a 2014, sendo os respectivos meses de coleta apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Período de amostragem considerado no presente estudo.

Ano	Meses
2011-2014	Janeiro
	Março
	Maio
	Julho
	Setembro
	Novembro

Fonte: Autor (2015)

Todas as análises foram realizadas nos laboratórios da CETESB e estão descritas na Tabela 8.

Tabela 8: Métodos de determinação utilizados pela CETESB para as variáveis limnológicas.

Variáveis	Unidade	Método	Referência Bibliográfica
Carbono Orgânico Total (COT)	mg L ⁻¹	SMWW – 5310 B	APHA (2012)
Nitrogênio Kjeldahl (NKT)	mg L ⁻¹	SMWW – 4500	APHA (2012)
			ISO 14911:1998
Clorofila <i>a</i>	mg L ⁻¹	SMWW – 1060 B e C	APHA (2012)
Fósforo total (PT)	mg L ⁻¹	SMWW – 10200 H	APHA (2007)
Condutividade elétrica	μS cm ⁻¹	SMWW – 3120-B	APHA (2012)
Turbidez	UNT	SMWW – 2510-B	APHA (2012)
pH	-	SMWW – 2130-B	APHA (2004)
Número de cianobactérias	-	SMWW – 4500-H ⁺ B	- Lamparelli (2004)
Índice de estado trófico (IET)	mg L ⁻¹	Norma Técnica	-
Densidade pluviométrica	mm	CETESB L5.303	-
Temperatura*	°C	Termopar	-

*: medidas in situ

4.4. FORMA DE ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise espaço-temporal dos parâmetros COT e NKT foi feita no programa computacional Microcal Origin 8.0, através dos dados destes constituintes ao longo do período estudado.

A compilação dos dados primários referentes a densidade pluviométrica foi feita no programa Microsoft Excel para posterior delineamento gráfico.

Os resultados de COT e NKT são apresentados na forma de tabelas elaboradas baseando-se na sazonalidade, através dos períodos seco e chuvoso dos dados. Para o período seco, considerou-se os meses de abril a setembro e para o período chuvoso, de outubro a março. Obtiveram-se, então, as concentrações máxima e mínima para cada período do ano e em seguida, a média com o respectivo desvio padrão.

Com base nos dados de COT e NKT fez-se a relação molar C_{org}/N_{NKT} das médias anuais, a fim de identificar padrões acerca da condição das estações de trabalho.

Nos dados bimestrais utilizados para compor a média anual de COT e NKT do período, considerou-se somente as concentrações acima do limite de quantificação ($0,500 \text{ mg L}^{-1}$). Valores abaixo disso, foram excluídos da análise.

Os valores da razão molar para C_{org} e N_{NKT} foram realizados em três etapas:

- (1) Cálculo da concentração de C_{org} , obtido pela razão da concentração de COT (mg.L^{-1}) pela massa molar do C; (12 g.mol^{-1}),
- (2) Cálculo da concentração de N_{NKT} , obtido pela razão da concentração de NKT (mg.L^{-1}) pela massa molar do N (14 g.mol^{-1});
- (3) Razão entre o resultado obtido em (1) e (2).

As análises estatísticas dos dados foram feitas através da análise de Correlação de Pearson, apresentada na Tabela 22, e de análise de regressão linear.

Utilizou-se dados de sedimento para composição das Tabelas 23 e 25.

Das 5 estações de monitoramento em estudo, apenas a de Bororé (BILL02100) possui um ponto para coleta de sedimento.

A Tabela 23 foi elaborada através da média das concentrações de uma única coleta anual entre 2011 e 2014 nesta estação. Os parâmetros avaliados foram COT, NKT, clorofila *a* e fósforo total. Obtiveram-se na mesma estação, as concentrações das mesmas variáveis para a matriz água.

Diferente do sedimento, a média dos parâmetros foi resultado da concentração de seis coletas para cada ano do período estudado. Os resultados das médias, tanto para água quanto para sedimento, foram apresentados em tabelas.

5. RESULTADOS

5.1. ÁREA DE ENTORNO

A partir do levantamento bibliográfico e visita da área de entorno da Bacia Hidrográfica do Reservatório Billings, foi possível identificar características relevantes com relação à ocupação do local e correlacionar com a qualidade da água.

Esta região vem sofrendo um processo de expansão urbana e ocupação, mesmo sendo uma área protegida desde a década de 70 pelas Leis de Proteção aos Mananciais – (Leis Estaduais nº 898/75 e nº 1.172/76).

Os loteamentos residenciais são bastante frequentes na região. Na maioria dos casos, este tipo de ocupação sofre alterações drásticas ao longo dos anos. O adensamento excessivo, decorrente do aumento do número de casas e áreas construídas, promovido de forma irregular, leva à perda das características originais da bacia, além do comprometimento da infraestrutura de saneamento, quando existente.

Ainda no ano de 2013, conforme Tabela 9, foram detectadas inúmeras construções irregulares, lançamentos de esgoto, descarte de resíduos, queimadas a céu aberto, entre outras ocorrências no entorno do reservatório.

Tabela 9: Número de ocorrências no entorno da Billings em 2013.

Construções irregulares	86
Supressão de vegetação	16
Lançamento de esgoto a céu aberto	10
Movimentação irregular de terra	5
Lançamento de resíduos	3
Invasão de áreas públicas	2

Fonte: SMA (2015).

A interação entre fatores ambientais (como a ressuspensão de sedimentos provenientes da ação da chuva e dos ventos) e daqueles decorrentes da interferência antrópica, como os apresentados na Tabela 8 podem gerar cargas internas de poluição permanente, comprometendo as propriedades das águas na represa.

Das cinco estações monitoradas e avaliadas, quatro estão situadas no Corpo Central e uma no braço do Taquacetuba. Os principais bairros do entorno destas estações são mostrados na Tabela 10 e Figura 11 (a-e):

Tabela 10: Principais bairros no entorno dos pontos de monitoramento.

BILL02030	Jardim Apurá, Jardim Rio Bonito, Jardim Maria Rita, Balneário Mar Paulista, Balneário São Francisco
BILL02100	Bororé, Eldorado, Jardim Novo Horizonte II
BILL02500	Batistini
BILL02900	Finco
BITQ00100	Colônia

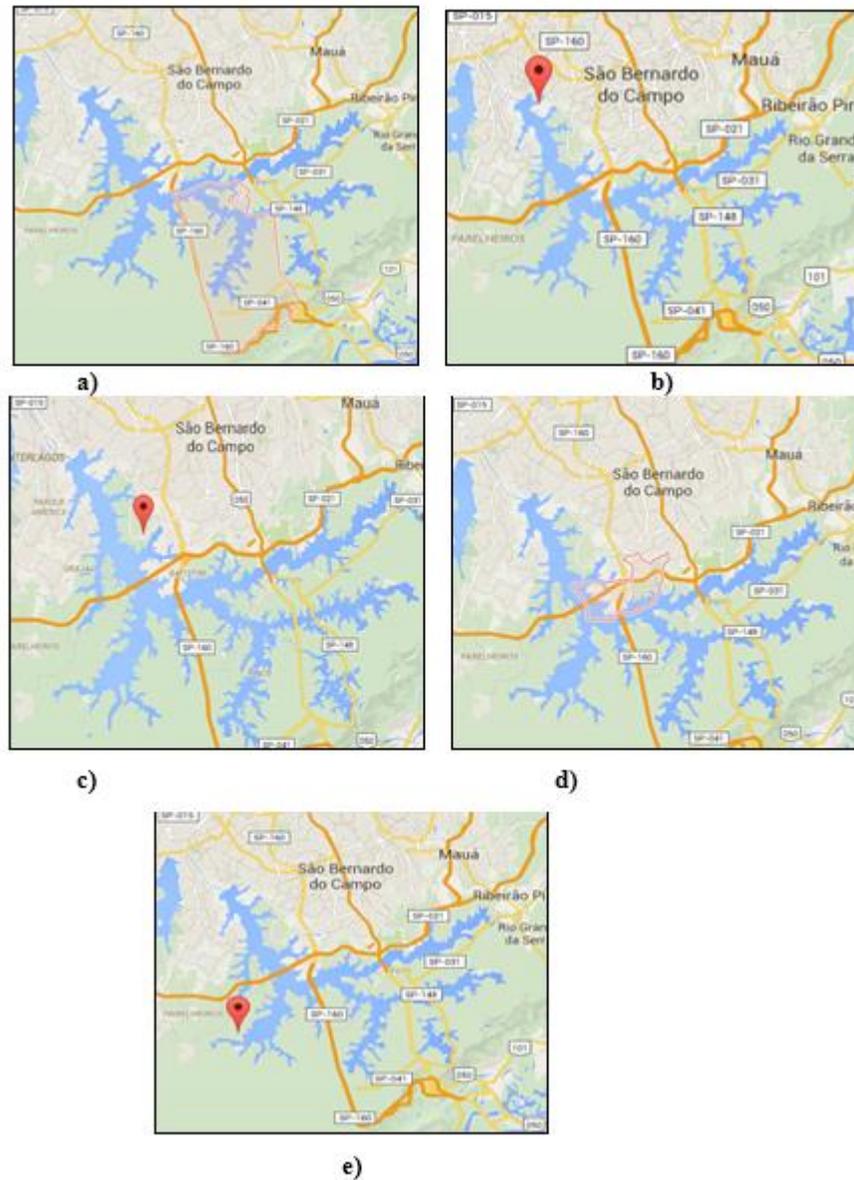
Até a década de 60, o bairro Balneário Mar Paulista localizado no entorno da estação BILL02030 era conhecido por uma região de pesca e lazer. Porém, atualmente a área encontra-se impactada pela poluição que chegou a desencadear problemas de saúde à população devido a liberação de gás sulfídrico (PROAM, 2009).

Em situação semelhante, o bairro de Eldorado, localizado no município de Diadema hoje possui áreas de risco e enchentes com população irregular. Por outro lado, esta área ainda conta com condomínios fechados que mantêm o ponto turístico do bairro (DIÁRIO DO GRANDE ABC, 2011).

O bairro de Batistini, em São Bernardo do Campo, está totalmente inserido em área de proteção aos mananciais e apresenta uma população de mais de 28.000 habitantes (LIMA, 2014). O período de estiagem sofrido no ano de 2014 intensificou o problema de mau cheiro nesta região, uma vez que deixou exposto o esgoto que vem se acumulando no fundo do manancial há décadas (ABCD MAIOR, 2015).

A falta de saneamento também já foi retratada entre os bairros da zona sul, próximos à represa, como Parque Primavera, Balneário São Francisco e Santa Terezinha por despejarem seus esgotos diretamente nas águas da represa Billings (FOLHA DE SÃO PAULO, 2010).

Figura 11: Principais bairros do entorno destas estações de monitoramento de qualidades de água da CETESB: **a)** Balneário São Francisco; **b)** Bairro Jd. Novo Horizonte II; **c)** Bairro Batistini; **d)** Bairro Finco; **e)** Bairro Colônia.



Fonte: Google Maps (2016).

Torna-se evidente, portanto, o impacto ambiental sofrido nestas regiões da Bacia Billings. Com base na visita de campo, ainda foi possível obter algumas informações sobre o entorno das estações de monitoramento. Os resultados são apresentados na Figura 12:

Figura 12: Estações de monitoramento na Represa Billings e principais características observadas em campo.

ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO	CARACTERÍSTICAS	LOCAL
<p>Estação Pedreira</p> <p>BILL02030</p> <p>Latitude: 23° 43' 04"</p> <p>Longitude: 46° 39' 51"</p>	<ul style="list-style-type: none"> -monitoramento da qualidade das águas na entrada do reservatório; - receptor de grande quantidade de carga orgânica (eventual despejo das águas do rio Pinheiros). - local suscetível a descarga de esgoto e/ou efluentes devido a moradias e ocupações; - possui inúmeras habitações no entorno, muitas delas irregulares; -área eutrofizada, com presença de algas em suas águas, cuja coloração é esverdeada. -Média de IET (2011-2014): 54 mg L⁻¹ 	
		

**ESTAÇÕES DE
MONITORAMENTO****CARACTERÍSTICAS****LOCAL**

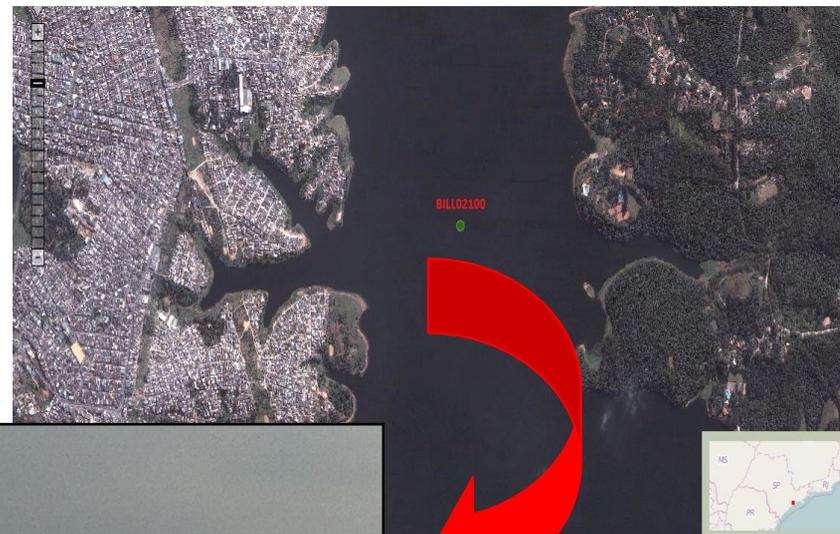
Estação Bororé

BILL02100

Latitude: 23° 44' 57"

Longitude: 46° 38' 52"

- a 7 km da barragem de Pedreira;
- à margem esquerda, inúmeras habitações sem infraestrutura adequada;
- ponto de recebimento de esgotos e/ ou efluentes;
- eutrofização das águas, presença de algas;
- a margem direita apresenta locais de áreas verdes e preservadas;
- Média de IET (2011-2014): 53 mg L⁻¹



**ESTAÇÕES DE
MONITORAMENTO****CARACTERÍSTICAS****LOCAL**

Estação Imigrantes

BILL02500

Latitude: 23° 47' 27"
Longitude: 46° 35' 54"

- trecho intermediário do reservatório;
- maior parte do entorno de área verde;
- existe pouca área urbanizada, com indústria local, além da rodovia e do Rodoanel Mário Covas;
- mostra-se melhor preservada, sem ocupação urbana local.
- Média de IET (2011-2014): 48 mg L⁻¹



**ESTAÇÕES DE
MONITORAMENTO****CARACTERÍSTICAS****LOCAL**

Estação Summit
Control

BILL02900

Latitude: 23° 49' 06"
Longitude: 46° 31' 25"

- área preservada;
- maior parte do entorno de área verde;
- sem grandes impactos de origem antrópica;
- aparente ausência de algas nas águas do entorno.
- Média de IET (2011-2014): 45 mg L⁻¹



ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO	CARACTERÍSTICAS	LOCAL
<p data-bbox="262 446 504 487">Estação Captação</p> <p data-bbox="304 519 462 560">BITQ00100</p> <p data-bbox="241 592 525 633">Latitude: 23° 49' 06"</p> <p data-bbox="231 633 535 673">Longitude: 46° 31' 25"</p>	<ul data-bbox="567 373 1081 633" style="list-style-type: none">- área bastante eutrofizada, com nata de cianobactérias;- o local não possui moradias próximas;- altas concentrações de cobre (sulfato de cobre utilizado para eliminar o fitoplancton).- Média de IET (2011-2014): 47 mg L⁻¹	 

Fonte: Autor (2016).

De modo geral, das cinco estações de monitoramento visitadas e estudadas, duas delas apresentam maior impacto ambiental, além de sofrer maior pressão urbana com relação ao uso e ocupação do solo. São elas: BILL02030 e BILL02100.

O bombeamento do Rio Pinheiros para o Reservatório Billings iniciado na década de 40, contribuiu para o aumento da carga lançada no reservatório. Em outubro de 1992, o bombeamento contínuo foi limitado, passando a ser feito somente para o controle de cheias.

Entretanto, a maior carga de nutrientes para a Billings ainda vem do bombeamento do Rio Pinheiros – (ponto BILL 02030). Em seu trabalho, CARVALHO et al. (1997) já identificava que o bombeamento forçado de esgoto associado ao nível da água estava relacionado com as variações de comunidades planctônicas e clorofila *a*.

Segundo FUNGARO et al. (2010), mesmo no controle das cheias, observou-se um grande impacto de carga poluidora (massa por segundo) transferida ao reservatório Billings originária do rio Tietê/ Pinheiros.

As estações BILL02500, BILL02900 e BITQ00100 possuem, em diferentes graus, menor impacto no que diz respeito a presença de ocupações irregulares em suas proximidades, sendo que a última, apesar de ser um local de captação e transposição de água para a represa Guarapiranga, utilizada para o consumo humano, sofre as consequências do impacto ambiental gerado dentro do reservatório, através do processo de eutrofização em suas águas, perfil este observado na visita de campo.

Pode-se dizer, portanto, que estas estações de monitoramento mostram claramente as diferenças espaciais dentro de um único reservatório em termos de uso, ocupação local e qualidade da água, indicando o quanto esta última é influenciada pela interferência antrópica, mesmo não tendo ocupação próxima.

5.1.1. SANEAMENTO E ASPECTOS DEMOGRÁFICOS

Dos 42,69 milhões de habitantes no Estado de São Paulo, a UGRHI 06 (Alto Tietê) possui 20,11 milhões de habitantes, ou seja, 47 % da população do Estado (COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO TIETÊ, 2014).

De acordo com a Tabela 11, a reserva explorável de água no Alto Tietê é de 11 m³/s, apenas 3% do valor total da Reserva no Estado de São Paulo. Com este dado, é importante destacar que quase metade da população do Estado depende deste volume.

Com relação ao uso que se faz da água nesta Unidade de Gerenciamento, é possível verificar que a maior demanda está no uso urbano:

Tabela 11: Disponibilidade hídrica e usos da água no Alto Tietê.

UGRHI	Reserva Explorável (m ³ /s)	Tipos de Uso			
		Urbano (%)	Industrial (%)	Rural (%)	Outros (%)
6 - Alto Tietê	11	31,6	8,14	0,94	11,29

Fonte: SMA/ RQA (2011).

Segundo dados do SMA/CPLA (2010), os usos urbanos na bacia Billings correspondem a cerca de 15% da área na bacia, sendo os usos antrópicos ocupados por 22,37% da área da bacia.

Em termos populacionais, é possível verificar que a maior concentração na bacia Billings se dá no município de São Paulo, seguida pelos municípios de São Bernardo do Campo, Ribeirão Pires, Diadema, Rio Grande da Serra e Santo André, respectivamente, conforme apresenta a Tabela 12.

Tabela 12: População por município no reservatório Billings.

Município	População na Bacia Billings (hab.)	%
Diadema	64.592	4,10
Ribeirão Pires	88.527	5,62
Rio Grande da Serra	39.270	2,49
Santo André	26.048	1,65
São Bernardo do Campo	209.412	13,29
São Paulo	1.147.635	72,84

Fonte: SMA/PDPA (2010).

Comparando estes dados em termos de áreas, observa-se que o município de São Bernardo do Campo é o que apresenta maior área dentro da bacia da Billings, sendo a menor para o município de Diadema, conforme pode ser verificado na Tabela 13.

Tabela 13: Área por município na Bacia Billings.

Município	Área total (km²)	Área da bacia (km²)	% em relação à área total da bacia
Diadema	30,70	7,24	1,24
Ribeirão Pires	107,00	67,41	11,57
Rio Grande da Serra	31,00	31,00	5,32
Santo André	179,00	94,87	16,28
São Bernardo do Campo	411,00	216,19	37,1
São Paulo	1509,00	179,57	30,81

Fonte: SMA/PDPA (2010).

A Lei Federal nº 11.445/2007 dispõe sobre as diretrizes nacionais e a política federal de saneamento e estabelece que é o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana, manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. Segundo dados do IBGE (2010), todos os municípios paulistas possuem rede de distribuição de água. Porém, este serviço não é fornecido para todos os domicílios. Na região do Alto Tietê, 98,2% da população de cada município é efetivamente atingida pelo abastecimento público de água (SMA/ RQA, 2015).

Já esgotamento sanitário, segundo a Lei Federal nº11.445/2007, abrange a coleta do esgoto e o transporte para as estações de tratamento. A Tabela 14 apresenta os dados de coleta e tratamento de esgotos entre os anos de 2011 a 2014 na Bacia do Alto Tietê.

Tabela 14: Percentual de coleta e tratamento de esgoto no Alto Tietê.

	2011	2012	2013	2014
Coleta de esgotos (%)	86	88	88	90
Tratamento de esgotos (%)	49	54	54	61

Fonte: SMA/ RQA (2011-2015).

É possível observar que houve uma evolução durante os anos tanto na coleta, quanto no tratamento de esgotos. Conforme demonstrado na Tabela 15, tomando como base os municípios do Alto Tietê que possuem como corpo receptor o reservatório Billings, é possível observar que até o ano de 2014, com exceção do município de Rio Grande da Serra e Ribeirão Pires, todos possuem coleta acima de 80%, assim como sua Bacia. Já no que diz respeito ao tratamento, as cidades de São Paulo, Ribeirão Pires e Rio Grande da Serra possuem tratamento superior a 50%,

ficando as cidades de Diadema, Santo André e São Bernardo com porcentagens inferiores a este valor (entre 20 e 40%).

Tabela 15: Dados dos municípios que compõem a Bacia Billings.

Município	População até 2014	Concessão	Corpo receptor	2011		2012		2013		2014	
				Coleta	Tratamento	Coleta	Tratamento	Coleta	Tratamento	Coleta	Tratamento
				esgoto(%)	esgoto(%)	esgoto(%)	esgoto(%)	esgoto(%)	esgoto(%)	esgoto(%)	esgoto(%)
Diadema	394.131	Saned	Billings	96	13	96	13	96	13	90	20
Santo André	683.709	Semasa	Billings	96	40	96	40	96	40	94	40
São Bernardo	786.078	Sabesp	Billings	89	26	89	26	89	26	89	26
São Paulo	11.513.836	Sabesp	Billings	97	75	97	75	97	75	95	75
Ribeirão Pires	115.677	Sabesp	Billings	65	70	73	70	75	70	78	70
Rio G. Serra	46.326	Sabesp	Billings	25	85	49	85	50	85	60	85

Fonte: SEADE e CETESB adaptado (2015).

O saneamento ambiental inclui serviços como a gestão de resíduos provenientes da área da saúde, obras de construção e identificação e a recuperação de áreas contaminadas (SMA/RQA, 2015). A Tabela 16 apresenta dados de abastecimento de água, coleta de lixo e esgoto sanitário. Com relação ao abastecimento de água, o município de Diadema é o que possui a maior porcentagem de atendimento, seguido por São Paulo, São Bernardo do Campo, Santo André, Rio Grande da Serra e Ribeirão Pires, respectivamente.

Tratando-se de coleta de lixo, os maiores níveis de atendimento são respectivamente do município de Santo André, São Bernardo do Campo, São Paulo, Diadema, Ribeirão Pires e Rio Grande da Serra. Assim como no abastecimento de água, o município de Diadema lidera a porcentagem de atendimento com relação ao esgotamento sanitário, ficando a menor porcentagem para o município de Rio Grande da Serra.

Tabela 16: Dados de abastecimento de água, coleta de lixo e esgoto sanitário dos municípios que compõem a Bacia Billings.

Localidades	Abastecimento de Água	Coleta de Lixo	Esgoto Sanitário
	Nível de Atendimento (%)	Nível de Atendimento (%)	Nível de Atendimento (%)
Diadema	99,43	99,61	96,55
Ribeirão Pires	95,17	99,52	80,70
Rio Grande da Serra	95,25	98,69	61,16
Santo André	97,61	99,91	94,48
São Bernardo do Campo	99,05	99,87	90,26
São Paulo	99,32	99,81	92,26

Fonte: SEADE (2015) e IBGE (2010).

Segundo a Sabesp (2015), ainda estão sendo realizadas obras para coleta e tratamento de esgotos nos municípios de Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra e São Bernardo do Campo. Estas obras compreendem a construção de redes coletoras e estações elevatórias para transportar os esgotos até as estações de tratamento, o que deve reduzir substancialmente os despejos irregulares de águas residuárias no reservatório.

5.2. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA REGIÃO DE ESTUDO

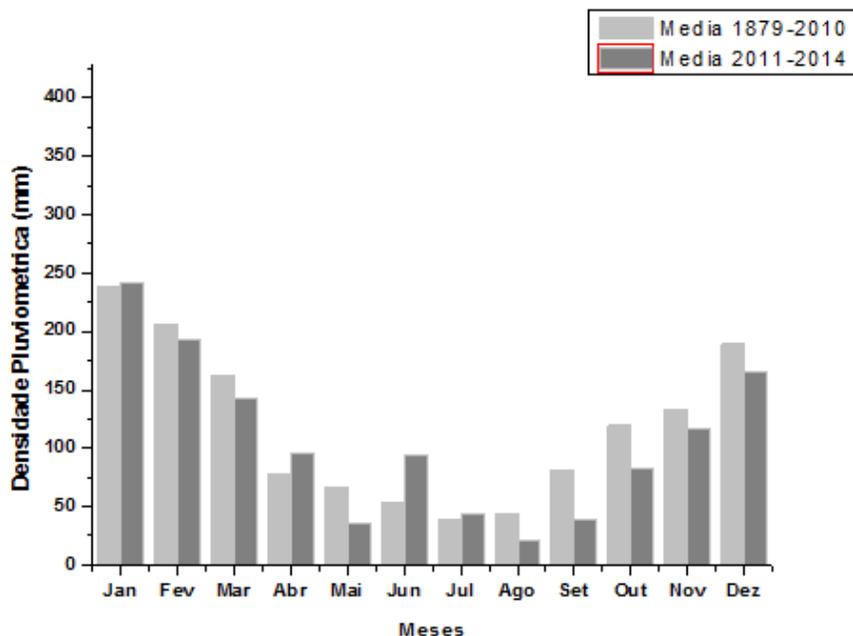
5.2.1. DADOS PLUVIOMÉTRICOS

A Figura 13 apresenta a média histórica mensal de precipitação pluviométrica acumulada no período de 1879-2010 e 2011-2014 do Alto Tietê, onde está localizada a represa Billings. É possível observar os períodos seco e chuvoso ao longo dos meses, sendo de abril a setembro o período seco, com média pluviométrica de 55 mm, e o período chuvoso, de outubro a março, com média de 157 mm entre os anos 2011-2014.

Os meses de abril e junho mostraram-se atípicos para o período de seca, pois tiveram precipitação média de 96 mm e 94 mm, respectivamente. Desconsiderando esses meses, a média nesta época cairia para 35 mm de chuva. Já os meses de janeiro e fevereiro mostram-se os mais chuvosos dentro da média histórica, sendo o mês de agosto o mais seco.

Comparando-se as médias históricas, constata-se que as densidades pluviométricas de 2011-2014, exceto para os meses de janeiro, abril, junho e julho, estão bem abaixo da média 1879-2010. Portanto, pode-se considerar o período estudado como incomum para a região, sendo mais seco que o histórico registrado.

Figura 13: Precipitação pluviométrica – média histórica (1879-2010/ 2011-2014).



Fonte: Adaptado de Sabesp, DAEE e EMAE.

5.2.2. DADOS PLUVIOMÉTRICOS POR ANO PARA O PERÍODO DE ESTUDO

A precipitação pluviométrica anual para o período de estudo da UGRHI 6 – Alto Tietê é apresentada na Figura 14.

Em 2011, destaca-se o mês de janeiro, com precipitação acima de 350 mm, tendo, portanto, a maior precipitação do período estudado. O mês de março, apesar de fazer parte do período chuvoso, apresentou precipitações abaixo de 100 mm.

No ano de 2012, destaca-se o período de estiagem, cujas precipitações mensais geralmente foram inferiores a 100 mm. No mês de junho, observa-se um comportamento anômalo, visto que houve precipitação superior a 100 mm e no mês de agosto esta foi menor que 10 mm.

O ano de 2013 apresentou no período seco comportamento similar ao ano anterior (2012), principalmente para os meses de junho e agosto. No período mais úmido, iniciado em outubro e terminado em março, observou-se redução nas precipitações nos meses de janeiro, comparado ao

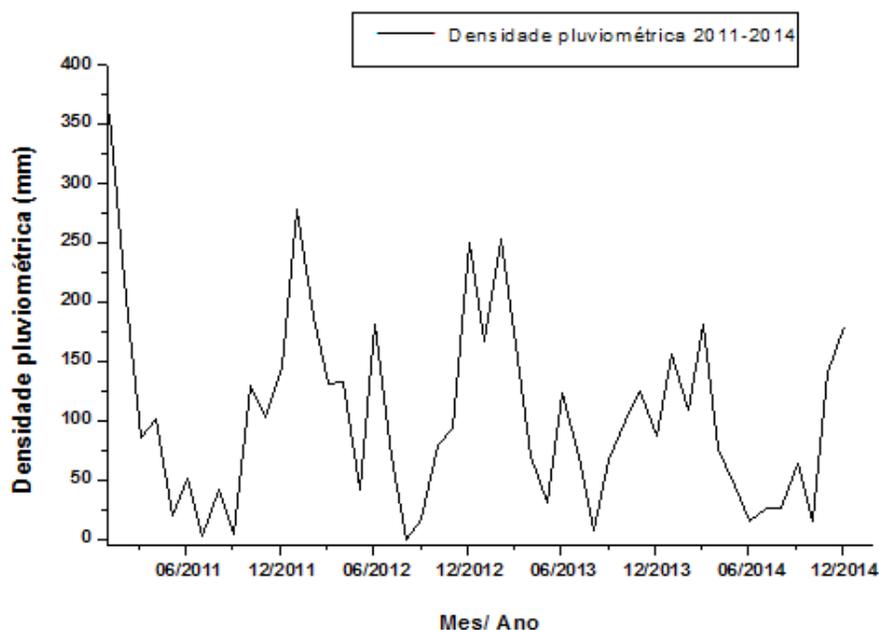
mês de dezembro/2012 e no final do ano, com destaque para o mês de dezembro/2013, que se mostrou o de menor precipitação quando comparado ao mesmo mês ao longo dos outros anos avaliados.

O ano de 2014 pode ser considerado de pouca chuva, uma vez que a precipitação pluviométrica máxima ficou em torno de 183 mm, ocorrida registrada no mês de março. Em seguida, os índices mais altos são de 181 mm e 158 mm nos meses de dezembro e janeiro, respectivamente. Considerando os 4 anos de estudo, janeiro/2014 foi o período de menor densidade pluviométrica quando comparado à mesma data ao mesmo mês dos outros anos. O mês de outubro/2014, apesar de estar enquadrado no período chuvoso, destacou-se por apresentar precipitação inferior a 50 mm.

É importante destacar que a precipitação pluviométrica influencia na gestão do Complexo Billings, já que o bombeamento de carga orgânica do Rio Pinheiros é realizado atualmente para o controle de inundação, sendo abertas as comportas da usina de Pedreira neste caso e para fins de geração de energia elétrica adicional na Usina Henry Borden.

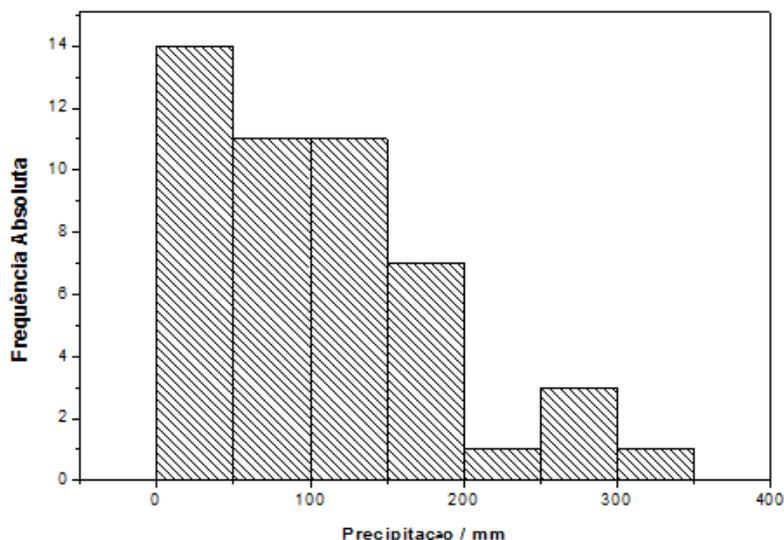
De acordo com o histograma da Figura 15, as maiores freqüências de precipitação estão até 200 mm, reforçando o período de poucas chuvas ocorrido durante estes anos.

Figura 14: Média mensal da precipitação pluviométrica do Alto Tietê (2011-2014).



Fonte: Adaptado de Sabesp, DAEE e EMAE.

Figura 15: Histograma da frequência de ocorrência da precipitação pluviométrica no Alto Tietê (2011-2014).



5.3. PARÂMETROS QUÍMICOS

5.3.1. CARBONO ORGÂNICO TOTAL

Nos ecossistemas aquáticos, as concentrações de carbono inorgânico (CI) na água resultam das trocas com a atmosfera, sendo as concentrações de carbono orgânico (CO) originadas a partir dos processos de fotossíntese e quimiossíntese. No entanto, o aporte de CO pode ser reforçado pela lixiviação do solo e pelo lançamento de efluentes (CUNHA, 2012).

Segundo VON SPERLING et al. (2000), em águas superficiais o teor de COT varia de 1 a 20 mg/L, elevando-se para até 1000 mg/L nas águas residuárias. Constitui-se de um indicativo de novas fontes poluidoras e sinaliza a outras análises a serem realizadas, como clorofila *a* e fósforo total. É uma variável que influencia diretamente no desenvolvimento da comunidade algal no ecossistema aquático, além de inserir-se na cadeia trófica de algas e bactérias.

A Figura 16 apresenta as concentrações de Carbono Orgânico Total das amostras coletadas bimestralmente no período de 2011 a 2014. As concentrações para todos os pontos amostrados, exceto por alguns dados do ano de 2013 e 2014, estão dentro da faixa de 5 mg L⁻¹ a 15 mg L⁻¹, apesar dos pontos amostrais representarem a qualidade das águas em locais

extremamente diferentes como o BILL02030 (próximo à barragem de Pedreira, local que recebe carga orgânica do Rio Pinheiros) e o BITQ0100 (ponto para captação da Sabesp).

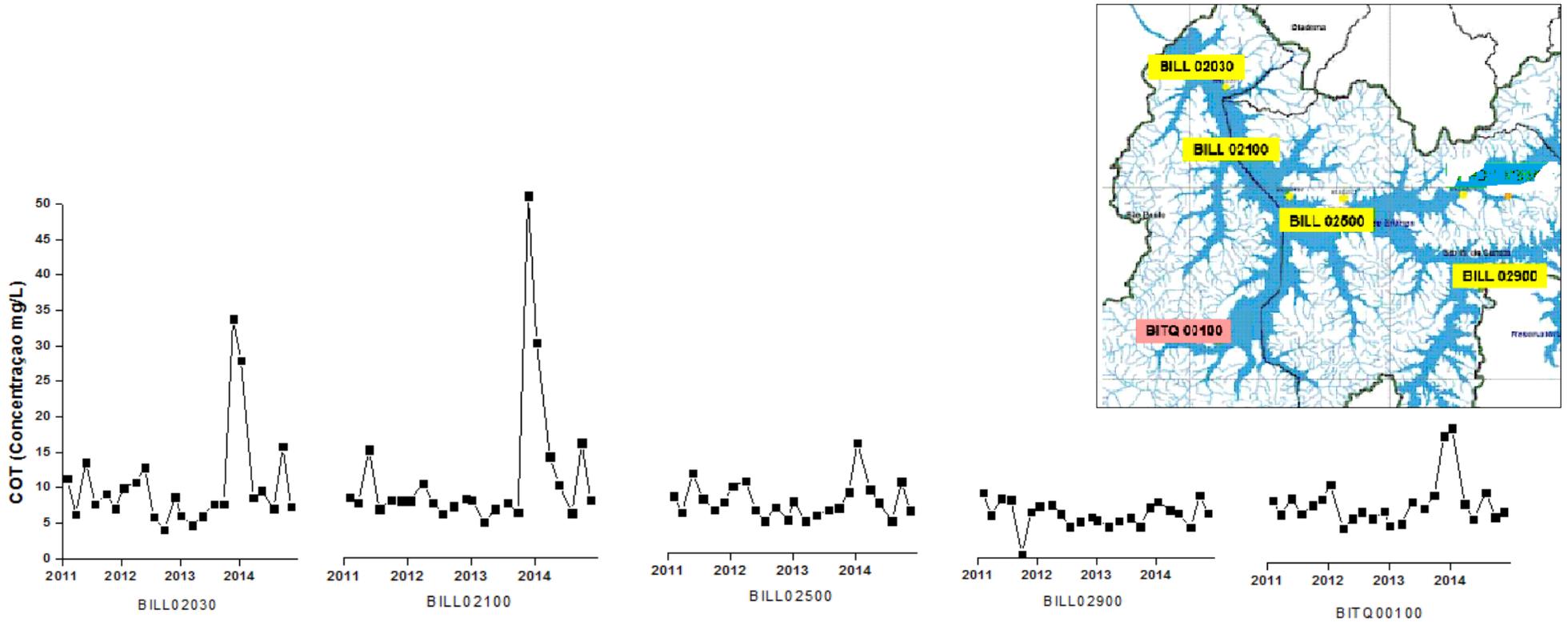
Com exceção da estação BILL02900, os maiores valores de COT para todas as outras unidades foram encontrados em novembro de 2013, podendo-se justificar pelo período de estiagem sofrido. Conforme dados apresentados na Figura 14, este período foi menos chuvoso, tendo precipitação pluviométrica mais baixa que o padrão típico.

Além disso, segundo informações fornecidas pela EMAE, entre outubro de 2013 e dezembro de 2014, houve bombeamento em Pedreira durante cerca 92 dias, cujas vazões médias diárias apresentam variação entre 0,79 e 131 m³ /s. A média diária nestes dias de bombeamento foi de 24,2 m³ s⁻¹ (RF-B, 2015).

Visto que a concentração de COT nas cinco estações de monitoramento é considerável, pode-se inferir que esta variável tem influência do desenvolvimento das algas desta região. Pressupõe-se ainda que a principal fonte de carbono seja de origem autóctone.

Segundo BIANCHINI (1999), para os reservatórios é possível agrupar as fontes de matéria orgânica detrital naquelas originadas dos processos de produção primária e pela fitomassa incorporada durante a operação de enchimento - fontes autóctones – daquelas advindas através dos tributários e das enxurradas de frações particuladas e dissolvidas de matéria orgânica - fontes alóctones.

Figura 16: Concentrações de COT nas estações de monitoramento da Represa Billings. * Valor menor que o limite de detecção (0,50 mg L⁻¹)



5.3.2. NITROGÊNIO KJELDAHL

Com relação ao parâmetro NKT observa-se, conforme apresentado na Figura 17, grande variabilidade de concentração, principalmente para a estação BILL02030. Tal fato pode ser justificado pela localização deste ponto, que é caracterizada pelo impacto do recebimento de carga orgânica do rio Pinheiros. A variabilidade do aporte desta carga, bem como a vazão transferida, depende dos fatores operacionais do bombeamento. Essa área possui ainda intensa urbanização, o que pode acarretar no lançamento de efluentes sem tratamento. Segundo HOWARTH et al. (1996), a contribuição de nitrogênio total oriundo de esgoto está fortemente correlacionada com a densidade populacional de uma região, que nesta área, existe de forma intensa e irregular.

O trabalho de SILVA et al. (2014) também encontrou altas concentrações de nitrogênio total (NT) na região de Pedreira (BILL02030) quando comparadas as concentrações dos demais pontos amostrados. Em contrapartida, observou-se menores teores de oxigênio dissolvido. No presente trabalho não foi considerado este parâmetro, mas é provável que se encontrasse os mesmos resultados, já que este é essencialmente consumido no processo de autodepuração.

Acompanhando o curso d'água, a BILL02100 representa a qualidade com relação a diluição e autodepuração da água bombeada do Rio Pinheiros para o reservatório, e mesmo já estando distante da zona de degradação, com valores de concentração um pouco menores, mostra-se ainda com variabilidade de concentração, o que pode indicar que neste ponto o corpo hídrico ainda não se recuperou por completo.

As estações BILL02500, BILL02900 e BITQ0100 foram as que apresentaram menores variabilidades, sendo a BILL02900 representante da qualidade da água na saída do reservatório e indica melhores condições quando comparada, por exemplo, a BILL02500.

Sendo um ponto de captação de águas para abastecimento público utilizado pela Sabesp, as concentrações de NKT obtidas em BITQ00100, exceto para o início de 2014, possuem valores baixos (da ordem de $1,2 \text{ mg L}^{-1}$). Porém, neste ponto, a presença de algas dentro da represa Billings pode ser associada às altas concentrações de nitrogênio e fósforo da água e do próprio sedimento.

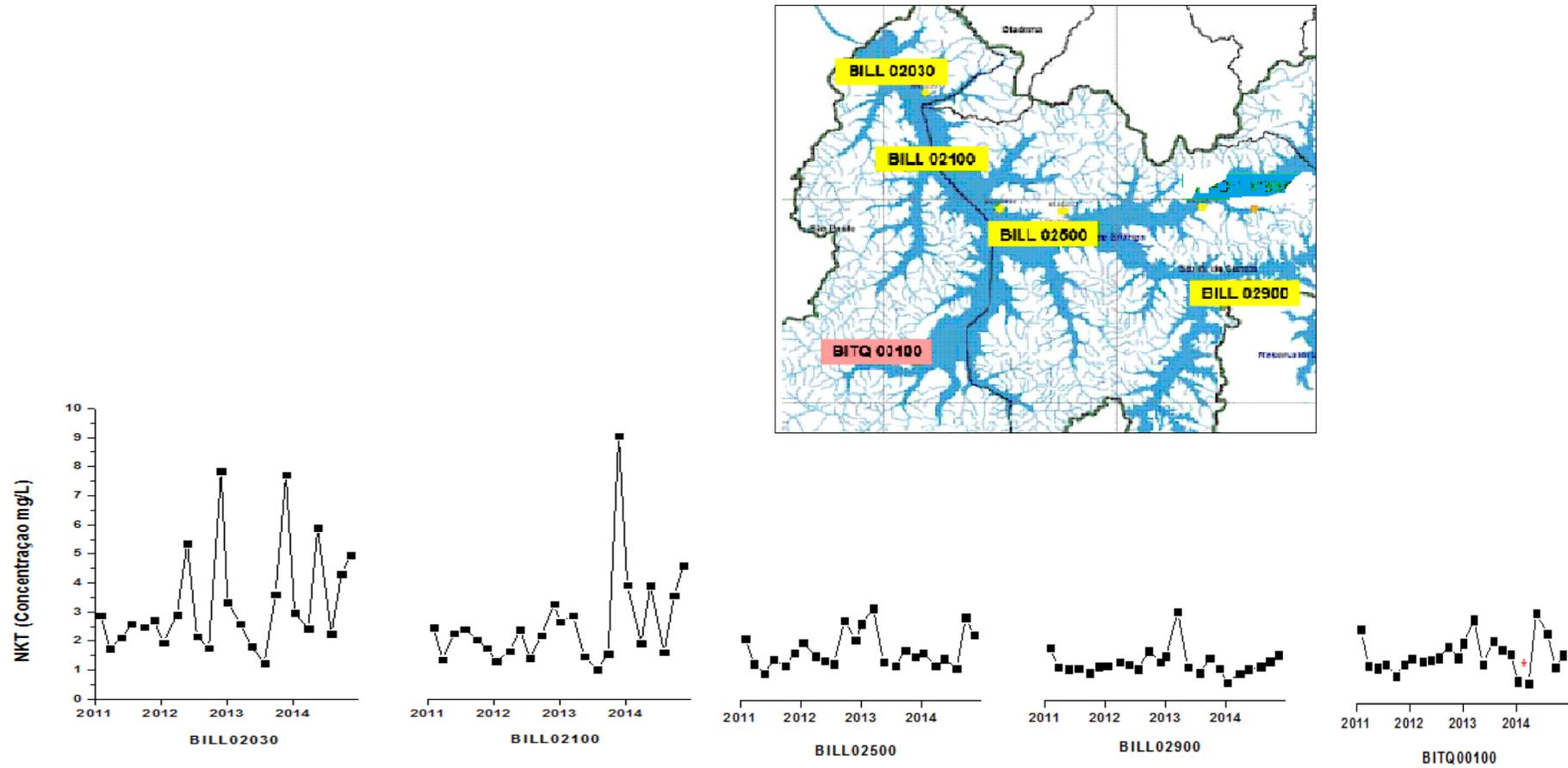
Segundo NASCIMENTO (2010), a alta disponibilidade de nitrogênio e fósforo em represas receptoras de esgoto doméstico, como a Billings, aumenta a possibilidade de floração de

cianobactérias. Estes organismos são bioquimicamente semelhantes às bactérias, mas realizam fotossíntese como as algas; acumulam-se na superfície das águas, compreendendo uma coloração esverdeada, característica presente na maioria das estações de monitoramento em estudo.

Compensando o consumo de nitrogênio, algumas cianofíceas são capazes de fixar o nitrogênio molecular, contribuindo para a disponibilidade deste nutriente no ambiente. Dentre as algas cianofíceas, destacam-se várias espécies planctônicas e perifíticas dos gêneros *Nostoc*, *Anabaena* e *Aphanizomenon* e a espécie *Anabaena azollae*, que vive em simbiose com macrófitas aquáticas do gênero *Azolla* (ESTEVEES, 1998).

Salienta-se a não existência de um valor de concentração máxima permitida para o parâmetro NKT na portaria do Ministério da Saúde nº 2914 de dezembro de 2011, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, assim como no CONAMA nº 357/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

Figura 17: Concentrações de NKT nas estações de monitoramento da Represa Billings. * Valor menor que o limite de detecção ($0,50 \text{ mg L}^{-1}$)



5.3.3. SAZONALIDADE DOS PARÂMETROS QUÍMICOS

As Tabelas 17 a 21 mostram as concentrações máximas e mínimas de COT e NKT nos períodos seco e chuvoso nas 5 estações de monitoramento, assim como a média entre essas duas concentrações.

Tabela 17: Concentrações de COT e NKT nos períodos seco e chuvoso na estação BILL02030.

BILL02030						
Parâmetro	SECO		MÉDIA	CHUVOSO		MÉDIA
	máx (mg L ⁻¹)	mín (mg L ⁻¹)	mg L ⁻¹	máx (mg L ⁻¹)	mín (mg L ⁻¹)	mg L ⁻¹
COT	15,8	4,08	9,94 ± 5,86	33,8	4,71	19,26 ± 14,55
	(set/14)	(set/12)		(nov/13)	(mar/13)	
NKT	7,84	1,74	4,79 ± 3,05	5,89	1,23	3,56 ± 2,33
	(nov/12)	(mar/11)		(mai/14)	(jul/13)	

Tabela 18: Concentrações de COT e NKT nos períodos seco e chuvoso na estação BILL02100.

BILL02100						
Parâmetro	SECO		MÉDIA	CHUVOSO		MÉDIA
	máx (mg L ⁻¹)	mín (mg L ⁻¹)	mg L ⁻¹	máx (mg L ⁻¹)	mín (mg L ⁻¹)	mg L ⁻¹
COT	15,00	5,75	10,38 ± 4,63	47,3	4,63	25,97 ± 21,34
	(set/14)	(jul/12)		(nov/13)	(mar/13)	
NKT	3,52	0,92	2,22 ± 1,30	8,26	1,17	4,72 ± 3,55
	(mai/14)	(jul/13)		nov/10)	(jan/12)	

Tabela 19: Concentrações de COT e NKT nos períodos seco e chuvoso na estação BILL02500.

BILL02500						
Parâmetro	SECO		MÉDIA	CHUVOSO		MÉDIA
	máx (mg L ⁻¹)	mín (mg L ⁻¹)	mg L ⁻¹	máx (mg L ⁻¹)	mín (mg L ⁻¹)	mg L ⁻¹
COT	11,00	4,34	7,67 ± 3,33	15,1	4,35	9,73 ± 5,38
	(mai/11)	(jul/12)		(jan/14)	(mar/13)	
NKT	2,31	0,74	1,53 ± 0,79	2,56	0,97	1,77 ± 0,80
	(set/14)	(mai/11)		(mar/13)	(mar/13)	

Tabela 20: Concentrações de COT e NKT nos períodos seco e chuvoso na estação BILL02900.

BILL02900						
Parâmetro	SECO		MÉDIA	CHUVOSO		MÉDIA
	máx (mg L ⁻¹)	mín (mg L ⁻¹)	mg L ⁻¹	máx (mg L ⁻¹)	mín (mg L ⁻¹)	mg L ⁻¹
COT	8,80	4,24	6,52 ± 2,28	9,14	4,41	6,78 ± 2,37
	(set/14)	(jul/14)		(jan/11)	(mar/13)	
NKT	1,38	0,76	1,07 ± 0,31	2,48	0,50	1,49 ± 0,99
	(set/12)	(set/11)		(mar/13)	(jan/14)	

Tabela 21: Concentrações de COT e NKT nos períodos seco e chuvoso na estação BITQ00100.

BITQ0100						
Parâmetro	SECO		MÉDIA	CHUVOSO		MÉDIA
	máx (mg L ⁻¹)	mín (mg L ⁻¹)	mg L ⁻¹	máx (mg L ⁻¹)	mín (mg L ⁻¹)	mg L ⁻¹
COT	9,53	4,61	7,07 ± 3,48	18,3	5,02	11,70 ± 9,39
	(set/14)	(mai/12)		(mar/14)	(mar/13)	
NKT	2,22	0,68	1,45 ± 1,09	2,07	0,50	1,29 ± 1,11
	(mai/14)	(set/11)		(mar/13)	(mar/14)	

No período chuvoso, as concentrações de COT variaram em média de 7,0 mg L⁻¹ a 26,0 mg L⁻¹ e no período seco, de 6,5 mg L⁻¹ a 10,4 mg L⁻¹. Portanto, tipicamente o período chuvoso apresentou-se com maiores concentrações quando comparado ao período seco. Segundo MAROTTA et al. (2008), períodos de maiores densidades pluviométricas são frequentemente vinculados a lixiviação de COD terrestre, o que pode aumentar a concentração de COT.

PANHOTA (2007) também observou maiores concentrações de carbono orgânico no período chuvoso, no qual atribuiu-se o aumento à produção primária, visto que há maior disponibilidade de nutrientes e entrada de material alóctone.

Ao mesmo tempo, as concentrações mais altas ocorreram basicamente no final de 2013, onde, conforme apresentado pelas Figuras 14 e 15, foi uma época de pouca chuva, o que também pode ter contribuído para uma menor diluição desta variável.

Os pontos BILL02030 e BILL02100 são os que possuem maior variabilidade de concentração entre máximos e mínimos, justificando o alto desvio padrão.

O parâmetro NKT mostra-se com concentrações um pouco menos variáveis quando comparado aos períodos seco e chuvoso para todos os pontos amostrais, sendo de 1,07 mg L⁻¹ a 4,80 mg L⁻¹ para o período seco e de 1,29 mg L⁻¹ a 4,72 mg L⁻¹ para o chuvoso, não indicando mudanças acentuadas em relação à sazonalidade.

5.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Outros parâmetros limnológicos para a água como clorofila *a*, concentração de fósforo, cianobactérias, DBO e temperaturas da água e do ar também foram obtidos no mesmo período e dos mesmos locais, a fim de que se pudesse correlacioná-los com a qualidade da água. Também

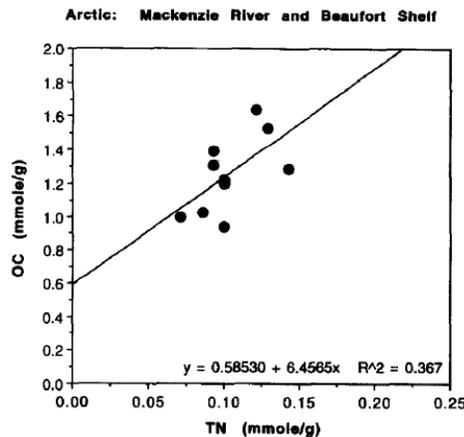
foi calculado o valor da razão C_{org}/N_{NKT} nas estações de monitoramento, a cada amostragem. As concentrações de cada ponto de monitoramento, a cada amostragem, no período de estudo são apresentadas na Tabela 26 que se encontra no Anexo.

Com os dados obtidos para o período de 2011 a 2014, foi feita a análise de Correlação de Pearson, que é definida como uma medida do grau de relação linear entre duas variáveis quantitativas. Este coeficiente de Pearson (p) varia entre os valores -1 e +1, sendo que o valor 0 (zero) significa que não há relação linear, o valor +1 indica uma relação linear perfeita e o valor -1 também indica uma relação linear perfeita, mas inversa, ou seja, quando uma das variáveis aumenta, a outra diminui. Quanto mais próximo estiver de +1 ou -1, mais forte é a associação linear entre as duas variáveis (FILHO & JUNIOR, 2009).

Observou-se, conforme Tabela 22, que a correlação entre a razão C_{org}/N_{NKT} com outras variáveis limnológicas (clorofila a , concentração de fósforo e cianobactéria, IET) indicadoras de qualidade da água é pequena, sugerindo que, para os dados deste trabalho, esta razão significou pouco como indicador de qualidade da água, no que tange a eutrofização.

Conforme Figura 18, no trabalho de RUTTENBERG E GOÑI (1996), observou-se uma baixa correlação entre o carbono orgânico e nitrogênio total no sedimento costeiro do Ártico. Isto foi justificado pelos autores como presença de quantidades variáveis de matéria orgânica e terrestre, uma vez que, segundo os mesmos autores, no Golfo do México as distintas fontes de matéria orgânica para o sedimento estão presentes em proporções quase invariantes e indicam correlações significativas entre CO e NT.

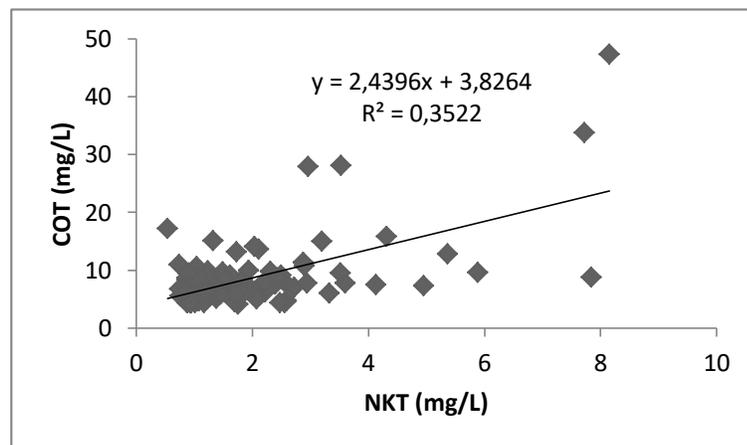
Figura 18: Correlação entre as concentrações de carbono orgânico (OC) e nitrogênio total (NT) no sedimento costeiro do ártico.



Fonte: RUTTENBERG E GOÑI (1996).

Pode-se induzir, conforme Figura 19, que para água pode ocorrer fato semelhante, e com maior frequência devido a variabilidade de concentrações em razão da dinâmica de reservatórios quando comparado ao sedimento. Segundo WACHHOLZ (2007), um reservatório pode ter vários compartimentos aquáticos, comunicando-se e deslocando energia e matéria. Essa transferência de propriedades direciona mudanças no tempo e no espaço, assim como a disponibilidade de nutrientes, em uma dada área.

Figura 19: Correlação entre as concentrações de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio Kjeldahl (NKT)



Fonte: Autor (2016).

Tabela 22: Correlações de Pearson entre as variáveis limnológicas. Os valores destacados em vermelho são aqueles que apresentaram maior correlação de Pearson.

	COT	NKT	$\frac{C_{org}}{N_{NKT}}$	Clor <i>a</i>	PT	CE	TURB	pH	CIANOB	IET	PLUV	TEMP _{água}	TEMP _{ar}
COT	1,000000	0,621108	0,232581	0,759064	0,777397	0,308131	0,388926	0,256312	0,610114	0,536410	0,129967	0,331949	0,278059
NKT	0,621108	1,000000	-0,360485	0,844066	0,889522	0,617845	0,308398	0,185240	0,558308	0,667289	0,064990	0,249483	0,232704
$\frac{C_{org}}{N_{NKT}}$	0,232581	-0,360485	1,000000	-0,130625	-0,143511	-0,284828	-0,006144	0,210640	-0,044001	-0,134896	0,033287	0,180068	0,140878
Clor <i>a</i>	0,759064	0,844066	-0,130625	1,000000	0,873606	0,374626	0,542664	0,366652	0,672964	0,704510	0,001121	0,232696	0,162975
PT	0,777397	0,889522	-0,143511	0,873606	1,000000	0,570663	0,416098	0,227771	0,667362	0,695228	-0,027376	0,244435	0,248725
CE	0,308131	0,617845	-0,284828	0,374626	0,570663	1,000000	0,246732	-0,073070	0,186381	0,517351	0,037775	0,164026	0,177211
TURB	0,388926	0,308398	-0,006144	0,542664	0,416098	0,246732	1,000000	0,383548	0,481148	0,452217	0,111746	0,296533	0,184348
pH	0,256312	0,185240	0,210640	0,366652	0,227771	-0,073070	0,383548	1,000000	0,354965	0,195915	0,256238	0,622931	0,487968
CIANOB	0,610114	0,558308	-0,044001	0,672964	0,667362	0,186381	0,481148	0,354965	1,000000	0,484462	0,082241	0,226799	0,152641
IET	0,536410	0,667289	-0,134896	0,704510	0,695228	0,517351	0,452217	0,195915	0,484462	1,000000	0,127927	0,240961	0,151720
PLUV	0,129967	0,064990	0,033287	0,001121	-0,027376	0,037775	0,111746	0,256238	0,082241	0,127927	1,000000	0,710955	0,388011
TEMP_{água}	0,331949	0,249483	0,180068	0,232696	0,244435	0,164026	0,296533	0,622931	0,226799	0,240961	0,710955	1,000000	0,747737
TEMP_{ar}	0,278059	0,232704	0,140878	0,162975	0,248725	0,177211	0,184348	0,487968	0,152641	0,151720	0,388011	0,747737	1,000000

* C_{org}/N_{NKT} : razão molar entre o COT e NKT em água. COT: carbono orgânico total; NKT: nitrogênio kjeldahl; Clor *a*: clorofila *a*; PT: fósforo total; CE: condutividade elétrica; TURB: turbidez; CIANOB: número de cianobactéria; IET: índice de estado trófico; PLUV: densidade pluviométrica; TEMP: temperatura.

Pela Tabela 22, pode-se observar que existiram algumas correlações significativas entre as variáveis: a alta correlação entre NKT e PT ($p=0,889$) condiz com o esperado, uma vez que tanto o N quanto o P são fatores determinantes em um ambiente eutrofizado, como a represa Billings. A grande presença de algas pode ser justificada também pela forte correlação entre a clorofila *a* e PT ($p=0,873$), clorofila *a* e COT ($p=0,759$), clorofila *a* e NKT ($p=0,844$), cianobactérias e PT ($p=0,667$), cianobactérias e COT ($p=0,610$) e cianobactérias e NKT ($p=0,558$). Através destes resultados, a hipótese da variável COT ter origem da biomassa algal (fonte autóctone) torna-se razoável.

Apesar da razão COT com o NKT não ter uma boa correlação com as variáveis testadas, observa-se que o NKT e COT separadamente, possuem correlação moderada ($p=0,62$). Em vista disso, é importante destacar que esta razão C_{org}/N_{NKT} é feita através de uma divisão. Esta relação pode, contudo, mascarar as variações verificadas nas duas variáveis, já que elimina as ordens de grandeza e, modifica a escala.

Foi realizada também a análise de regressão linear, onde se gera uma relação expressa pela equação da reta, o coeficiente de determinação (R^2), da razão C_{org}/N_{NKT} obtida na água e no sedimento com as médias anuais dos indicadores clorofila *a* e concentração de fósforo, que são variáveis relacionadas à presença de algas. Os resultados foram menores na matriz água que para a matriz sedimento, comprovando uma maior correlação destas variáveis à segunda matriz, conforme apresentado na Tabela 23 e Figuras 20 e 21. Este fato poderia ser justificado pela maior estabilidade do sedimento com relação às variáveis limnológicas.

Para o período estudado, na matriz sedimento, pode-se observar uma correlação positiva bastante forte ($r^2 > 0,9$) entre a razão C/N com a concentração de fósforo (PT) e uma correlação positiva moderada ($0,5 < r^2 < 0,7$) para a clorofila *a* em água.

Já com relação à matriz água, a razão C_{org}/N_{NKT} apresentou uma correlação positiva moderada com a concentração de fósforo (PT) ($p = 0,76$) e uma correlação baixa para a clorofila *a*.

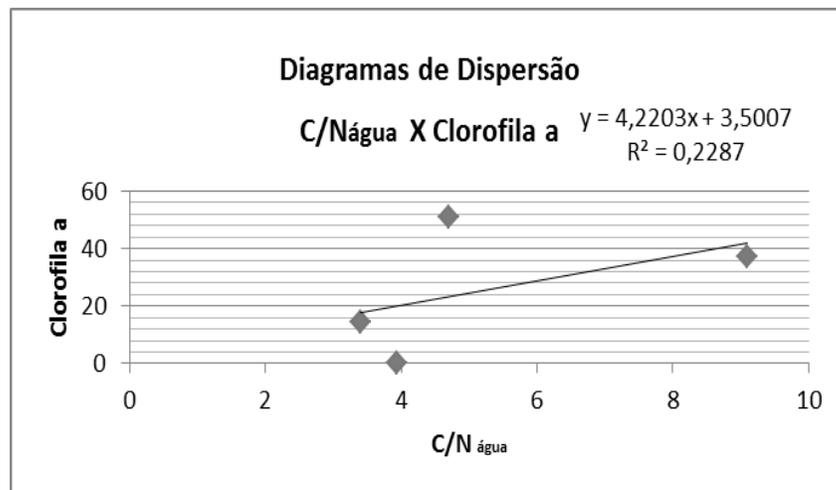
Tabela 23: Coeficiente de determinação de C/N com clorofila *a* e PT na matriz sedimento e água entre os anos de 2011 a 2014.

Variáveis	Sedimento (R^2)	Água (R^2)
C/N x Clorofila <i>a</i>	0,76	0,23
C/N x PT	0,94	0,76

Fonte: Autor (2015).

Figura 20: Diagramas de dispersão da razão molar de carbono orgânico total e nitrogênio Kjeldahl da água e do sedimento com a clorofila *a* (a e b). Fonte: Autor (2016).

(a)



(b)

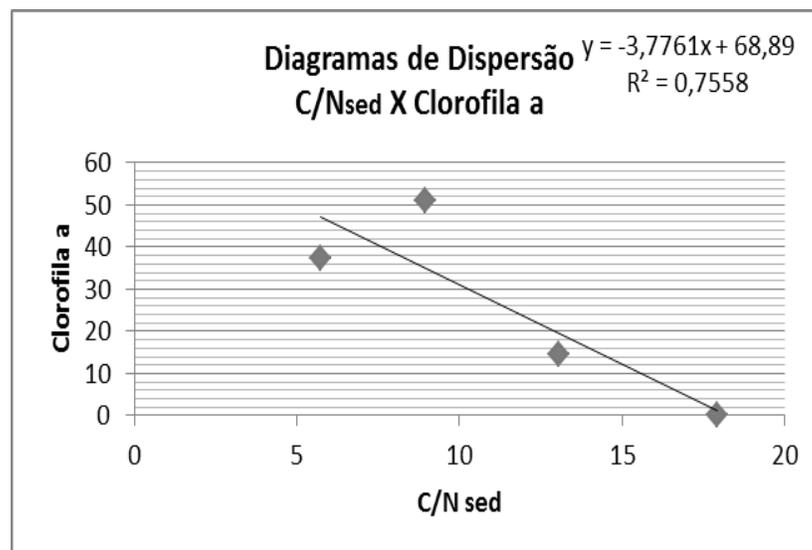
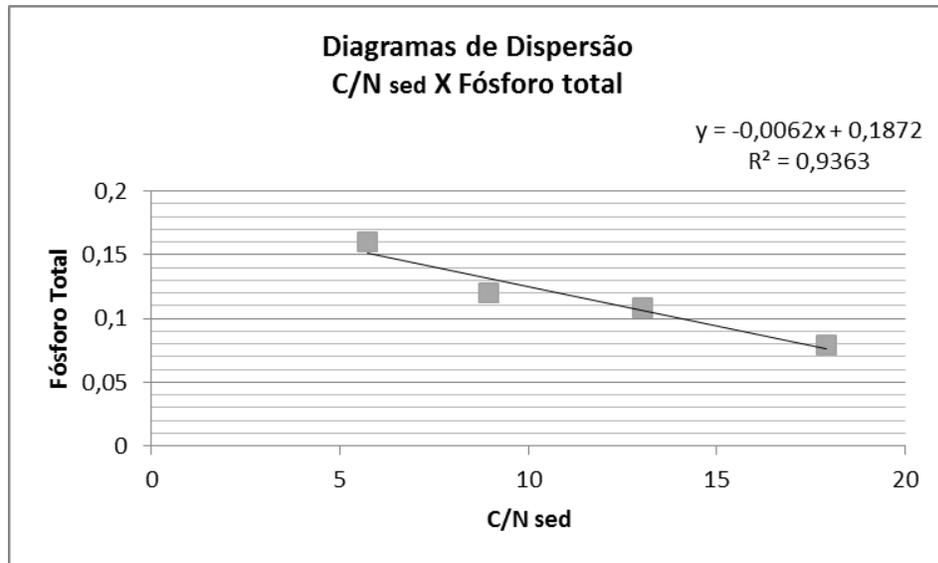
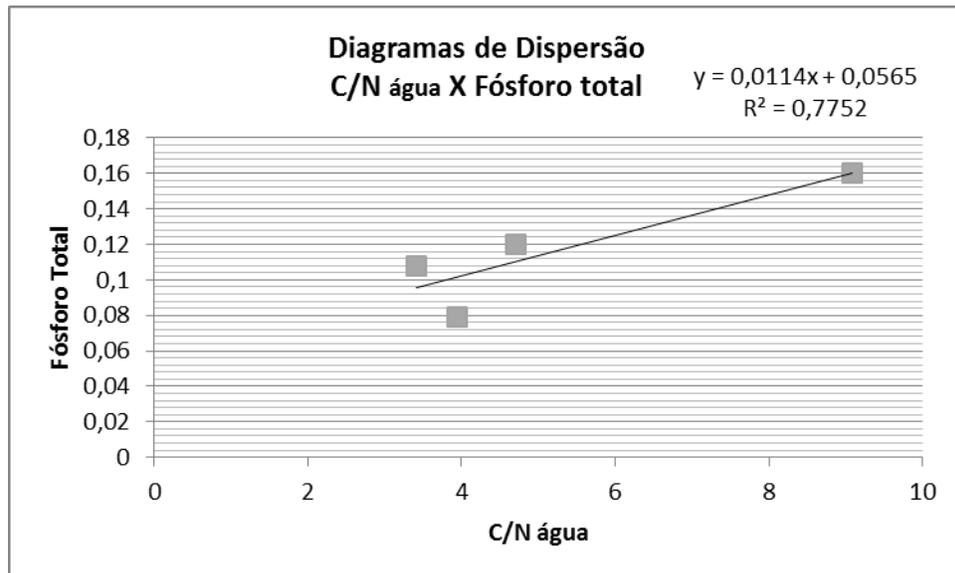


Figura 21: Diagramas de dispersão da razão molar de carbono orgânico total e nitrogênio Kjeldahl da água e do sedimento com fósforo total. Fonte: Autor (2016).

(a)



(b)



Observa-se que na Tabela 22 não há correlação significativa entre PT e C_{org}/N_{NKT} , contradizendo o resultado obtido na Tabela 23. Pode-se concluir que esta diferença se dá pelo modo de obtenção das correlações.

O diagrama de dispersão, utilizado na análise de regressão mostra a relação entre duas variáveis quantitativas, medidas sobre os mesmos indivíduos. Já a Correlação de Pearson mede o grau de relacionamento linear entre valores emparelhados x e y de uma amostra.

Cabe ressaltar também que o conjunto de dados disponível para essa avaliação é bastante limitado (24 dados no total para cada estação), o que traz pouco significado estatístico ao resultado de correlação. Entretanto, uma avaliação qualitativa desses resultados de C_{org}/N_{NKT} poderá indicar que, assim como para a matriz sedimento, valores mais baixos da razão C_{org}/N_{NKT} apontam a presença de maiores aportes de matéria orgânica de origem antrópica no sistema.

5.4.1. RELAÇÃO MOLAR CARBONO/ NITROGÊNIO (C/N) NO SEDIMENTO

O nitrogênio, assim como o fósforo, é nutriente limitante para produção de fitoplâncton. Segundo MEYERS E TERANES (2001), o fitoplâncton apresenta em média razão C/N entre 4 e 10. Já as plantas terrestres vasculares tendem a possuir razões iguais ou acima de 20.

GOÑI et al. (2003) utiliza-se também das composições C/N para analisar a origem da matéria orgânica nas águas de superfície da Baía de Winyah, onde a matéria orgânica originária de plantas e ambientes de pântanos é tipicamente pobre em nitrogênio, tornando a relação C/N elevada, já as fontes de matéria orgânica proveniente de fitoplâncton e bacterioplâncton possuem alta concentração de nitrogênio, fazendo a razão C/N ser menor.

RUTTENBERG E GOÑI (1996) indicam que a razão de compostos bioquímicos apresenta valores menores, como as proteínas, por exemplo, com valor de C/N ~5.

KHAN et al., (2006) identifica valor médio de 5,8 para biomassa microbiana C/N em solo contaminado por lodo de esgoto. Com isso, pode-se inferir que valores menores da razão C_{org}/N_{NKT} podem proceder de locais contaminados por esgoto.

A Tabela 24 apresenta a razão molar C_{org}/N_{NKT} para as estações de monitoramento avaliadas nas águas da represa Billings.

Tabela 24: Relação molar C_{org}/N_{NKT} para os pontos em água da represa Billings.

C_{org}/N_{NKT}	BILL02030	BILL02100	BILL02500	BILL02900	BITQ00100
2011	4,43	5,31	7,52	9,05	8,53
2012	2,78	4,72	5,27	6,62	7,26
2013	3,80	5,49	4,62	5,00	5,71
2014	3,91	5,26	6,98	7,93	9,59

Fonte: Autor (2015).

Conforme apresentado na Tabela 4, valores abaixo de 8, para os sedimentos indicam condições de aumento de biomassa, descarga de efluentes e cargas protéicas, já os valores acima de 8 representam condição normal do ambiente. Tomando como base a mesma condição, observa-se espacialmente duas situações extremas nos pontos BILL02030 e BITQ00100: o primeiro, com valores mais baixos (abaixo de 5), e o último, com valores mais altos, próximos ou acima de 8. Estes valores condizem com as características dos pontos amostrais, já que representam a entrada do reservatório e um ponto de transposição e captação, ou seja, um ponto com maior interferência antrópica e outro com qualidade da água para captação, tratamento e distribuição para consumo humano, respectivamente. Os outros pontos, que estão espacialmente distribuídos entre eles, tem valores de razão molar intermediários entre 5 e 8.

De acordo com o monitoramento já realizado atualmente pela CETESB, os sedimentos dos reservatórios Billings, Guarapiranga e Rio Grande apresentam razão molar C/N conforme apresentado na Tabela 25.

Tabela 25: Relação C/N do sedimento, segundo dados da CETESB.

Corpo d'água	C/N molar 2013	C/N molar 2014
Reservatório Billings (BILL02100)	5,7	9,0
Reservatório Guarapiranga (GUAR00900)	12,4	7,4
Reservatório Rio Grande (RGDE02900)	11,1	9,8

Fonte: Adaptado de CETESB (2014).

No ano de 2013, o valor da razão molar C/N tanto para água quanto para o sedimento na estação BILL02100 apresentaram-se próximos na represa Billings, indicando características de cargas proteicas e efluentes no local. Porém, é notória a diferença de resultados entre os anos de 2013 e 2014 no sedimento. De acordo com a Tabela 4, o ano de 2014 apresentou-se com condições consideradas normais no reservatório, sendo que para as amostras de água, indícios de matéria orgânica local continuaram presentes. Nos reservatórios Rio Grande e Guarapiranga esta diferença mostrou-se discrepante entre 2013 e 2014, entretanto, com valores de razão próximos do considerado normal pela mesma Tabela. É importante destacar que estas diferenças entre os resultados podem ser devido a grande variabilidade amostral do próprio sedimento. Não avaliou-se os valores desta relação para as amostras de água.

É importante destacar que, em climas tropicais, a disponibilidade de nutrientes presentes nas águas e nos sedimentos é favorecida pela maior frequência de energia solar e altas temperaturas, quando comparados à ambientes temperados. Especificamente na represa Billings, o sedimento é resultado da entrada de esgoto do sistema Tietê-Pinheiros, do transporte de substâncias pelas águas superficiais e pela sedimentação das algas desenvolvidas dentro da própria represa. Ocorre, então, através da ressuspensão, a liberação contínua e lenta dos nutrientes para o corpo hídrico, mantendo-se as condições para a eutrofização (ROCHA & BRANCO, 1985).

A razão C/N em perfis de sedimento é utilizada para identificar a história do reservatório, onde a razão aumenta na presença de matéria orgânica terrestre e diminui com o aumento da matéria orgânica algal (KAUSHAL & BINFORD, 1998).

Há de destacar que o uso da variável química COT ainda é pouco difundido na área da limnologia. Porém, a análise mostra-se de grande relevância, uma vez que demonstra forte correlação com o indicador DQO, podendo em alguns casos, ser utilizado como parâmetro para substituí-la e quantificar a matéria orgânica. Segundo STEINMETZ et al. (2011), a linearidade obtida entre estas duas variáveis para efluentes agroindustriais foi de 0,97.

BORTOLI (2010) defende que a análise de COT não gera resíduos, além da economia de tempo na análise e pode substituir de maneira favorável as laboriosas determinações de DQO. Em seu trabalho, a relação entre DQO e COT foi linear, com R^2 de 0,975 e o coeficiente de variação entre a DQO estimada de 5%. Logo, além de ser importante para a utilização da razão C/N contribui com práticas mais limpas e rápidas em laboratório.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi possível caracterizar qualitativamente o uso e ocupação do solo da área de entorno do reservatório, identificando sua influência na qualidade da água através de estudos de campo e de dados demográficos da região. Verificou-se que grande parte das estações monitoradas sofre com as consequências da falta de infraestrutura de saneamento adequada.

Em relação a heterogeneidade espacial e a variabilidade temporal deste ambiente, foi possível identificar que os compartimentos mais impactados são os que estão mais próximos ao recebimento de cargas orgânicas do Rio Pinheiros e áreas próximas a moradias irregulares.

Verificou-se, ainda, que a variação sazonal é mais impactante para o COT do que para o NKT. Com relação à variabilidade, ambos mostram-se variáveis, sendo a BILL02030 com concentrações mais variáveis para o NKT quando comparada as outras estações de monitoramento.

Através da análise estatística de Pearson foi possível verificar baixa correlação entre a razão da concentração molar de carbono orgânico total e de nitrogênio Kjeldahl para água com os indicadores clorofila *a*, fósforo total, condutividade elétrica, turbidez, pH, cianobactérias, índice de estado trófico, densidade pluviométrica e temperatura. Contudo, pode-se dizer que os valores da razão C_{org}/N_{NKT} obedecem numericamente e qualitativamente os mesmos valores da razão C:N para o sedimento, ocorrendo uma tendência de valores maiores para áreas com maior grau de preservação ambiental e de resultados de razões mais baixos para locais com elevados aportes de matéria orgânica.

Para a água, nas condições de estudo propostas, a razão molar carbono orgânico total e nitrogênio Kjeldahl pode ser utilizada como um indicador qualitativo de interferência antrópica, uma vez que os valores mais baixos da razão concordam com locais mais impactados pelo homem, assim como ocorre para a razão C/N para o sedimento.

7. PERSPECTIVAS

A partir do trabalho realizado, observa-se a necessidade de um maior aprofundamento entre a razão C_{org}/N_{NKT} com as variáveis limnológicas clorofila *a*, fósforo total, condutividade elétrica, turbidez, número de cianobactéria e índice de estado trófico, através de um maior número de amostras, inclusive sedimento, além de uma maior periodicidade amostral.

Torna-se viável a utilização de outros métodos estatísticos para comparação com a análise de Pearson, visto que na análise de regressão realizada a correlação entre o PT e a razão C_{org}/N_{NKT} mostrou-se razoável.

A comparação da razão C/N com rios e outros reservatórios da Bacia do Alto Tietê tanto para água como para sedimento também poderá mostrar resultados importantes com relação a matéria orgânica local e de origem antrópica.

8 . REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCD MAIOR. Disponível em <www.abcdmaior.com.br/materias/cidades/mau-cheiro-aumenta-na-billings-e-moradores-farao-ato>. Acesso em 19/05/2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Disponível em <<http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-qualidade-agua.aspx>>. Acesso em: 14/10/15.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 22^h edition, Washington: 2012, American Public Health Association.

ANDRADE, L. N. **Autodepuração dos corpos d'água**. Revista da Biologia, v. 5, p. 16-19, dez/2010.

ALEXANDER, R.B., BOHLE, J.K., BOYER, E.W., DAVID, M.B., HARVEY, J.W., MULHOLLAND, P.J., SEITZINGER, S.P., TOBIAS, C.R., TONITTO, C., WOLLHEIM, W.M. **Dynamic modeling of nitrogen losses in river networks unravels the coupled effects of hydrological and biogeochemical processes**, Biogeochemistry, 93, p.91-116, 2009.

ALLAN, J.D. **Landscape and riverscape: the influence of land use on stream ecosystems**, Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics, 35, p.257-284, 2004.

ARBUCLE, K.E., DOWNING, J.A. **The influence of watershed land use on lake N:P in a predominantly agricultural landscape**. Limnology and Oceanography, 46, p.970-957, 2001.

AVILA, V.B. **Relação entre o Uso e Manejo do Solo em uma Bacia Rural e a Contribuição de Nitrogênio, Fósforo e Sedimentos a Corpos Hídricos**, 114p, Dissertação (Mestre em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos), Faculdade de Tecnologia– Universidade de Brasília, Brasília/ DF, 2005.

BRASIL. Portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde. **Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e**

seu padrão de potabilidade. Disponível em: www.bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html. Acesso em: 31/05/2015.

BIANCHINI JR, I. **Aspectos do processo de decomposição nos ecossistemas aquáticos continentais**. pg 21-43. *In*: Pompêo, M. L. M. (ed.) *Perspectivas na Limnologia do Brasil*. São Luís: Gráfica e Editora União, 1999. 191 p.

BISUTTI, I.; HILKE, I.; RAESSLER, M. **Determination of total organic carbon – an overview of current methods**. *Trends in Analytical Chemistry*. v. 23, n. 10-11, p. 716-726, 2004.

BORTOLI, M. **Partida, operação e otimização de um sistema de nitrificação/desnitrificação visando a remoção de nitrogênio de efluente da suinocultura pelo processo ludzack-ettinger modificado**, 149 f, Dissertação (Mestre em Engenharia Química), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina. 2010.

CAPOBIANCO, J. P. R.; WHATELY, M. **Billings 2000 : ameaças e perspectivas para o maior reservatório de água da região metropolitana de São Paulo : relatório do diagnóstico socioambiental participativo da bacia hidrográfica da Billings no período 1989-99**. São Paulo : Instituto Socioambiental, 2002.

CARVALHO, M.C.; COELHO-BOTELHO, M.J.; LAMPARELLI, M.C.; ROQUETTI-HUMAITÁ, M.H.; SALVADOR, M.E.P.; SOUZA, R.C.R; TRUZZI, A. **Spatial and temporal variations of chlorophyll *a*, plankton and some physicochemical factors at Billings Complex, São Paulo, Brazil**. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung fürtheoretische und angewandte Limnologie*, v. 26, p. 452-457, 1997.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Relatório de qualidade das águas superficiais do Estado de São Paulo: 2009. Anexo A. São Paulo: CETESB; 2010. Disponível em: www.cetesb.sp.gov.br. Acesso em: 06/10/2014.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Relatório de qualidade das águas superficiais do Estado de São Paulo: 2011. São Paulo: CETESB; 2014. Disponível em: www.cetesb.sp.gov.br. Acesso em: 20/10/2014.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Relatório de qualidade das águas superficiais do Estado de São Paulo: 2012. São Paulo: CETESB; 2013. Disponível em: www.cetesb.sp.gov.br. Acesso em: 20/10/2014.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Relatório de qualidade das águas superficiais do Estado de São Paulo: 2013. São Paulo: CETESB; 2014. Disponível em: www.cetesb.sp.gov.br. Acesso em: 20/10/2014.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Relatório de qualidade das águas superficiais do Estado de São Paulo: 2014. São Paulo: CETESB; 2015. Disponível em: www.cetesb.sp.gov.br. Acesso em: 15/11/2014.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. São Paulo: CETESB; 2015. Disponível em: www.cetesb.sp.gov.br. Acesso em: 25/01/2016.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Infoáguas: 2016. São Paulo. Disponível em: <www.cetesb.sp.gov.br/agua/infoaguas>. Acesso em: 05/01/2016.

CETESB. L5.303: **Fitoplâncton de água doce: métodos qualitativo e quantitativo**. São Paulo, 2013.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO TIETÊ. **Conheça a Bacia do Alto Tietê: Caracterização Geral**. São Paulo: 2014. Disponível em:< http://www.comiteat.sp.gov.br/pdf/a_bacia/CaracterizacaoGeral.pdf>. Acesso em: 20/12/2015.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (SABESP). São Paulo: SABESP, 2015. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/>. Acesso em: 22/05/2015.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução n° 357/05**. Estabelece a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional. Brasília. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/>>. Acesso em: 04/10/2015.

CUNHA, D. G. F. **Heterogeneidade espacial e variabilidade temporal do reservatório de**

Itupararanga: uma contribuição ao manejo sustentável dos recursos hídricos da bacia do rio Sorocaba (SP), Dissertação de Doutorado, Programa de Engenharia Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE). Disponível em: <<http://www.dae.sp.gov.br/>>. Acesso em 25/05/2015.

DIÁRIO DO GRANDE ABC (2011). Disponível em < www.dgabc.com.br/>. Acesso em: 16/02/2016.

DIGNAC M.F., KNABNER-KOGEL I., MICHEL K., MATZNER E. KNICKER H. **Chemistry of soil organic matter as related to C: N in Norway spruce forest (Picea abies(L.) Karst.) floors and mineral soils**. Journal of plant nutrition soil science, v. 165, p.281-289, 2002.

DOMINGUES, F. D. **Estequiometria de Macrófitas Aquáticas Flutuantes do Reservatório de Vigário – RJ**. 83p. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Biodiversidade Neotropical, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2013.

DOWNING J.A., COLE J.J., MIDDELBURG J.J., STRIEGL R.G., DUARTE C.M., KORTELAJNEN P., PRAIRIE Y.T., LAUBE K.A. **Sediment organic carbon burial in agriculturally eutrophic impoundments over the last century**. Global Biogeochemical Cycles, 22, doi 10.1029/2006GB002854, 2008.

EMPRESA METROPOLITANA DE ÁGUAS E ENERGIA S.A. (EMAE). Disponível em: <<http://www.emae.com.br/>>. Acesso em: 25/05/2015.

ESPÍNDOLA, R.S.; ROCHA, E.L.G.; PEREIRA, F.R.; RODRIGUES, M.H.S. **Limnological and ecotoxicological studies in the cascade of reservoirs in the Tietê river (São Paulo, Brazil)**. Brazilian Journal of Biology, v.65, n.4, nov/ 2005.

ESTEVEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 1998.

ESTEVEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2011.

FONSECA, J.C.L., SILVA, M.R.A., BAUTITZ, I.R., NOGUEIRA, R.F.P., MARCHI, M.R.R. **Avaliação da confiabilidade analítica das determinações de carbono orgânico total (COT).** Eclética Química, v.31, n. 3, 2006.

FILHO, D.B.F. JUNIOR, J.A.S. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson (r). Revista Política Hoje, v. 18, n. 1, 2009.

FIGUEIREDO, M. C. B. TEIXEIRA, A. S. ARAÚJO, L. F. P. A. ROSA, M.F. PAULINO, W.D. MOTA, S. ARAÚJO, J.C. **Avaliação da vulnerabilidade ambiental de reservatórios à eutrofização. Engenharia Sanitária Ambiental.** [online]. v. 12, n.4, p.399-409. 2007.

FRACALANZA, A.P.; CAMPOS, V. N. O. **Produção social do espaço urbano e conflitos pela água na região metropolitana de São Paulo.** São Paulo em Perspectiva, v. 20, n. 2, p. 32-45, abr./jun. 2006.

FOLHA DE SÃO PAULO. <<http://www1.folha.uol.com.br/fsp/cotidian/ff1510201007.htm>>. Acesso em: 16/05/2016.

FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS (SEADE). Informações dos municípios paulistas. São Paulo: SEADE, 2015. Disponível em:<<http://www.imp.seade.gov.br/frontend/#/perfil>>. Acesso em: 20/03/2016.

FUNGARO, DENISE A.; MELDONIAN, NELSON L.; MARTINS, LUIZ. **Impactos ambientais no Reservatório Billings apos a operacao de bombeamento; controle de cheia versus flotação.** In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS PARA O MEIO AMBIENTE, 2, 28-30 de abril, 2010, Bento Goncalves, RS.

GOMES, J.L.; BARBIERI, J.C. **Gerenciamento de recursos hídricos no Brasil e no Estado de São Paulo: um novo modelo de política pública.** Cadernos Ebape, v 2, n 3, p. 1-21, Dez/2004.

GOOGLE MAPS. Disponível em:< <https://www.google.com.br/maps>> Acesso em: 01/11/2015.

GOÑI, M.A., TEIXEIRA, M.J. & PERKEY, D.W. **Sources and distribution of organic matter in a river-dominated estuary (Winyah Bay, SC, USA)**. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v.57, n. 5-6, p. 1023-1048, 2003.

HARRISON J.A., MARANGER R.J., ALEXANDER R.B., GIBLIN A.E., JACINTHE P.A., MAYORGA E., SEITZINGER S.P., SOBOTA D.J., WOLLHEIM W.M. (2009) **The regional and global significance of nitrogen removal in lakes and reservoirs**. *Biogeochemistry*, 93, 143–157, 2009.

HOWARTH, R. W.; G. BILLEN, D. SWANEY A. TOWNSEND, N. JAWORSKI;K. LAJTHA, J. A. DOWNING, R. ELMGREN, N. CARACO, T. JORDAN, F.BERENDSE, J. FRENEY, V. KUDEYAROV, P. MURDOCH & Z. ZHAO-LIANG. **Regional nitrogen budgets and riverine N & P fluxes for the drainages to the North Atlantic Ocean: Natural and human influences**. *Biogeochemistry*, v. 35, p. 75–139, 1996.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008. IBGE, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 20/02/2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PROTEÇÃO AMBIENTAL (PROAM). Billings 2009 impactos ambientais. Campanha Billings, eu te quero viva! São Paulo: PROAM. 19 p. Disponível em:<<http://www.proam.org.br/documentos>>. Acesso em: 10/03/2016.

ITIKAWA, V.K., ALVIM, A.T.B. **Moradia e Preservação Ambiental: Conflitos em Área de Preservação de Mananciais em São Bernardo do Campo**. IV Encontro Nacional da Anppas 4,5 e 6 de junho de 2008 Brasília - DF – Brasil

JACOBI, P. R.; CIBIM, J. LEAO, R. S. **Crise hídrica na Macrometrópole Paulista e respostas da sociedade civil**. *Estudos. avançados*. [online]. v.29, n.84, p.27-42. 2015.

JORNAL O ESTADO DE SÃO PAULO. Disponível em: <http://sao-paulo.estadao.com.br/noticias/geral,sp-declara-oficialmente-crise-hidrica-no-alto-tiete,1746587>. Acesso em: 04/10/2015.

JUNIOR, A. J. M. **Caracterização limnológica e compartimentação do reservatório de Ponte Nova, Alto Tietê, SP – uma contribuição ao seu manejo**, 91f, Tese (Doutor em Ciências), Instituto de biociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

JUNIOR, E.S.; IKEMATSU, P.; RADOLL, G.R.; MIKETEN, S. **Dinâmicas urbanas e pesquisas do núcleo de estudos da paisagem na área de mananciais**. Paisagem Ambiente:ensaios, n. 30, p. 107 – 126. 2012.

KAUSHAL, S.; BINFORD, M. W. **Relationship between C:N ratios of lake sediments, organic matter sources**. Journal of Paleolimnology, v.22, p. 439–442, 1999.

KHAN, K. S., CHANDER, K., HARTMANN, G. LAMERSDORF, N., JOERGENSEN R. G. **Sources of Heavy Metals and Their Long-term Effectson Microbial C, N and P Relationships in Soil**. Water Air Soil Pollut, v.181, p. 225–234, 2007.

LAMPARELLI , M. C. **Grau de trofia em corpos d’água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**, 235 f, Tese de doutorado, USP/ Departamento de Ecologia, Universidade de São Paulo, 2004.

LIMA, P.H. **Bairro dos Alvarenga: do caos à sustentabilidade**. Revista Labverde, v. 8, n. 3, jun/ 2014.

MAROTTA, H.; PINHO, L.; ENRICH –PRAST, A. **Relação positiva entre pluviosidade, carbono orgânico dissolvido e a superação de CO₂ em uma lagoa costeira tropical**. Oecologia Brasiliensis, v.12, n.1, p. 92-99, 2008.

MARTINELLI, L. A., OMETTO, J. P. H. B., FERRAZ, E. S., VICTORIA, R. L., CAMARGO, P. D., MOREIRA, M. Z.. **Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis**. São Paulo, Oficina de Textos. 2009.

MARTINS, J.R.S. **Capítulo 6: Processos em reservatórios e lagos**. EPUSP-PHD-2460 – Rev 2008.

MENDONÇA, R.F. Origem e destino do carbono em sistemas límnicos – uso de técnicas isotópicas em reservatórios e lagos rasos, (72f), Dissertação (Mestre em Ecologia), Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada ao Manejo e Conservação de Recursos Naturais. Universidade Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais, 2007.

METCALF & EDDY, INC. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4^a ed. New York: McGraw-Hill, 2003, 1819 p.

MEYERS, P. ISHIWATAR, R. **Lacustrine organic geochemistryman overview of indicators of organic matter sources and diagenesis in lake sediments**. *Organic Geochemistry*, v. 20, n. 7, p. 867-900, set/ 1993.

MEYERS P.A.; TERANES J.L. **Sediment organic matter. in: last wm, smol jp (eds) physical and geochemical methods**. *Tracking environmental change using lake sediments*, v. 2, Kluwer, Dordrecht, 2001.

MIRANDA, M.R.F. **Moradia e Mananciais: tensão e diálogo na metrópole**. São Paulo: FAUUSP/ FAPESP, 2006.

MORENO, P.; CALLISTO, M. **Bioindicadores de qualidade de água ao longo da bacia do rio das velhas (MG)**. In: Ferracini V. L. ; Queiroz S. C. N. & Silveira M. P.(Org.). *Bioindicadores de Qualidade da água*. 1 ed. Jaguariuna: EMBRAPA, v. 1, p. 95-116, 2004.

MORENO, Y.M.; RAMIREZ, J.J. **Seston fluxes in the dam of a Colombian tropical reservoir**. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 22, n. 3, set/2010.

MOSCHINI-CARLOS, V.; NISHIMURA, P.Y.; PÔMPEO, M. **A importância e problemática das cianobactérias nos reservatórios eutrofizados**. *Revista SANEAS*, n. 40, p.14-18, 2011.

NAGALLI, A., NEMES, P.D. **Estudo da qualidade de água de corpo receptor de efluentes líquidos industriais e domésticos**. *Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais*, v. 7, n. 2, p. 131-144, abr./jun, 2009.

NASCIMENTO, P.B. Cianobactérias como indicadoras de poluição os mananciais abastecedores do Sistema Cantareira, 116 f, Dissertação (Mestre em Saúde Pública), Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

NOGUEIRA, M.G., HENRY, R., MARICATTO, F.E. **Spatial and temporal heterogeneity in the Jurumirim reservoir, São Paulo, Brazil.** Lakes & Reservoirs: Research and Management, v. 4, p. 107-120, 1999.

OLIVEIRA, E.C.C. **Biopreservação e toxicidade de cianobactérias nas lagoas de estabilização de tratamento de esgoto (ETE) no município de Juazeiro do Norte, Ceará,** 89 f, Dissertação (Mestre em Biopreservação Molecular), Programa de Pós-Graduação em Biopreservação Molecular, Universidade regional do Cariri, Ceará, 2011.

PANHOTA, RS. **Utilização e destino do carbono orgânico dissolvido em um reservatório eutrófico (Barra Bonita, SP),** 124p, Tese (Doutorado), Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR), São Carlos, 2007.

PEIXOTO P. P. P. **Bases para aproveitamento e gerenciamento de recursos hídricos na região de dourados – MS,** 98f, Tese (Doutor em Agronomia), Faculdade de ciências agrônômicas: campus de Botucatu, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São Paulo, 2002.

PLANO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO TIETÊ: RELATÓRIO FINAL v. 2/4. São Paulo: Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. 2009. Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo.

POMPÊO, M.L.M. **Perspectivas da Limnologia no Brasil.** São Luís: Gráfica e Editora União, 198 pg. 1999.

POMPEO et al. (Orgs.). **Ecologia de reservatórios e interfaces,** Sao Paulo: Instituto de Biociencias da Universidade de São Paulo, 2015.

RIBEIRO FILHO, R.A., PETRERE JUNIOR, M., BENASSI, S.F., PEREIRA, J.M.A. **Itaipu Reservoir limnology: eutrophication degree and the horizontal distribution of its limnological variables.** *Brazilian Journal of Biology*, v. 71, n. 4, p. 889-902, 2011.

ROCHA, A. A.; BRANCO, S.M. **O nitrogênio e fósforo como fatores limitantes ao desenvolvimento de algas cianofíceas na Represa Billings**. Revista DAE, v. 45, n.141, p. 156-158, 1985.

ROCHA, G.A. **A disputa pela água em São Paulo**. v. 17,n 47, 2003.

RODRIGUES, L. M.; SCHWARZBOLD, A. & OLIVEIRA, M. A.. **Spatial and temporal variation of Dona Francisca reservoir (Jacuí River, RS), a subtropical reservoir**. Acta Scientiarum, Biological Sciences, 2012

RUTTENBERG, K.C.; GOÑI, M.A. **Phosphorus distribution, C:N:P ratios, and $\delta^{13}\text{C}_{\text{oc}}$, in arctic, temperate, and tropical coastal sediments: tools for characterizing bulk sedimentary organic matter**. Marine Geology, v. 139, p. 123-145, 1997.

SALGADO, L.J.C. **Desinfecção solar da água contaminada com cianobactérias usando coletores parabólicos compostos**, 87 f Dissertação (Mestre em Engenharia do Ambiente), Centro de Investigação Marinha e Ambiental da Universidade do Porto, Faculdade de engenharia da Universidade do Porto, Cidade do Porto, 2010.

SANTOS, T.R.T.; VALDERDE, K.C.; NISHI, L.; BERGAMASCO, R.; VIEIRA, M.F.; **Estudo da formação de trihalometanos no processo de coagulação/floculação/adsorção em carvão ativado vegetal com o coagulante natural Moringa oleifera Lam para tratamento de água de abastecimento**. 8º encontro de engenharia e tecnologia dos campos gerais. Agosto, 2013.

SÃO PAULO (ESTADO). CAMARA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. **A Água como um Bem e o Saneamento Básico na RMSP**. Elaborado pela Consultoria Técnica de Economia e Orçamento. São Paulo: CMSP/ 2011. 24p.

SÃO PAULO (ESTADO). SECRETARIA DE SANEAMENTO E RECURSOS HÍDRICOS. **Monitoramento da Bacia do Reservatório Billings. Relatório Final (RF-B)**. São Paulo: 2015. Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos e Consórcio PRIME/ECOLABOR

SÃO PAULO (ESTADO). SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE (SMA). **Atualização do Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental (PDPA) da Bacia Hidrográfica do Reservatório**

Billings. Relatório Final. São Paulo: Cobrape. 2010. Processo N° 7097/2007, contrato SMA/CPLA N° 09/2007. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo.

SÃO PAULO (ESTADO). SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE –(SMA). Coordenadoria de Planejamento Ambiental. Relatório de Qualidade Ambiental. São Paulo: SMA/RQA, 2011. 256p.

SÃO PAULO (ESTADO). SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE –(SMA). Coordenadoria de Planejamento Ambiental. Relatório de Qualidade Ambiental. São Paulo: SMA/RQA, 2012. 254p.

SÃO PAULO (ESTADO). SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE –(SMA). Coordenadoria de Planejamento Ambiental. Relatório de Qualidade Ambiental. São Paulo: SMA/RQA, 2013. 214p.

SÃO PAULO (ESTADO). SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE –(SMA). Coordenadoria de Planejamento Ambiental. Relatório de Qualidade Ambiental. São Paulo: SMA/RQA, 2014. 226p.

SÃO PAULO (ESTADO). SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE –(SMA). Coordenadoria de Planejamento Ambiental. Relatório de Qualidade Ambiental. São Paulo: SMA/RQA, 2015. 259p.

SÃO PAULO (ESTADO). SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE – (SMA). Coordenadoria de Planejamento Ambiental. Planejamento Municipal: Informações Ambientais.Organização: Arlete Tieko Ohata. São Paulo: SMA/CPLA, 2013.

SÃO PAULO (ESTADO). SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE – (SMA). Coordenadoria de Educação Ambiental. Billings. - - São Paulo: SMA/CEA, 2010. 150p. ; 21x29,7cm. (Cadernos de Educação Ambiental – Edição Especial Mananciais, vol. I.

SÃO PAULO (ESTADO). SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE – (SMA). Ações municipais para proteção das águas no estado de São Paulo - 2014/ Ana Cristina Freitas de Araújo, Liv Nakashima Costa, Marta Teresa Deucher, Rosa Maria de Oliveira Machado Mancini, Thereza Camara Chini Nisi, Vanessa Rezene dos Santos, organizadores. -- São Paulo: SMA, 2015.

SCHUTZ, A.R. Caracterização sazonal da exportação de matéria particulada (seston) e dissolvida do sistema hidrológico do Taim para a lagoa Mirim (Rio Grande do Sul, Brasil),

Dissertação (Mestrado), Instituto de Biociências – Departamento de Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

SILVA, G.P., FERRETI, S.F., SETTE, E. **Gentrificação e políticas de revitalização nos centros históricos no brasil: processos que levam ao déficit habitacional**. Revista de Políticas Públicas. São Luis, v. 12, n. 2, p. 83-91, jul./dez. 2008.

SILVA, O.F. **Caracterização dos gradientes longitudinais e laterais do reservatório Tucuruí/PA, através da análise estatística dos bancos de dados limnológico e de imagens TM-Landsat**, 136f, Dissertação (Mestre em Sensoriamento Remoto), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1994.

SILVA, M.R.A., OLIVEIRA, M.C., NOGUEIRA, R.F.P. **Estudo da aplicação do processo foto-Fenton solar na degradação de efluentes de indústria de tintas**. Eclética Química, v. 29, n. 2, p.19-16, 2004.

SILVA, S. C.; NISHIMURA, P.Y.; MARIANI, C.F.; CARLOS, V.M.; POMPÊO, M.L.M. **Compartimentalização e qualidade da água: o caso da Represa Billings**. Bioikos, v. 28, n. 1, p. 31-43, jan./jun., 2014.

SISTEMA AMBIENTAL PAULISTA: DATAGEO. Disponível em:
<<http://datageo.ambiente.sp.gov.br/>>. Acesso em: 10/11/2015.

SOLIA, M.; FARIA, O. M.; ARAÚJO, R. **Mananciais da região metropolitana de São Paulo**. São Paulo: Sabesp, 2007.

STEINMETZ, R. L.R.; KUNZ, A.; PRÁ, M.C.; BORTOLI, M. **Uso de método de combustão para estimativa da demanda química de oxigênio (DQO) e da alcalinidade em efluentes agroindustriais**. 34ª reunião anual da sociedade brasileira de química. 2011.

STERNER, R. W., TOM ANDERSEN, J. J. ELSER, D. O. HESSEN, J.M. HOOD, EDWARD M., JOTARO, U. **Scale-dependent carbon:nitrogen:phosphorus seston stoichiometry in marine and freshwaters**. Limnology and Oceanography, v. 53, n. 3, p. 1169-1180, 2008.

STERNER, R. W. **C:N:P stoichiometry in Lake Superior: freshwater sea as end member.** Inland Waters, v.1, n.1, p. 29-46, 2011.

STRAŠKRABA, M. **Limnological differences between deep valley reservoirs and deep lakes.** International Review of hydrobiology, v. 83, p.1-12, 1998.

THE CENTER FOR HUMAN SETTLEMENTS. Disponível em <<http://www.chs.ubc.ca/brazil/Portuguese/plocation.htm> > Acesso em: 10/05/2016.

THORNTON, K.W.; KIMMEL, B.L.; PAYNE, F.E. – **Reservoir Limnology: Ecological Perspectives.** New York. 1990.

TOMINAGA, M.; MIDIO, A.F. **Exposição humana a thialometanos presentes em água tratada.** Revista de Saúde Pública, v.33, n.4, p. 413-421, 1999.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da água no Brasil** – Brasília: UNESCO, 2011. 156p.

TUNDISI, J. G. **Reservoir as complex systems.** Ciência e Cultura, v.48, n.5/6, p.383-387,1996.

TUNDISI, J. G. TUNDISI, T.M. **Limnologia.** Oficina de textos, 2008. p.319.

VANNI, M.J.; RENWICK, W.H.; BOWLING, A.M.; HORGAN, M.J.; CHRISTIAN, A.D. **Nutrient stoichiometry of linked catchment-lake systems along a gradient of land use.** Freshwater Biology, n. 56, p. 791–811, 2011.

VON SPERLING, E. LIBÂNIO M., LIBÂNIO P. A. C., COSTA B. M. P. **Avaliação da relevância do carbono orgânico total como parâmetro de caracterização de águas de abastecimento.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 5, n.4, p. 41-55, out/dez 2000.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Minas Gerais, 2005, 452p.

WACHHOLZ, F. **Compartimentação aquática do reservatório Rodolfo Costa e Silva-RS, a partir de variáveis limnológicas e imagens orbitais**, 98f, Dissertação (Mestre em Geografia), Programa de Pós-Graduação em Geografia, Centro de Ciências Naturais e Exatas,. Universidade Federal de Santa Maria, RGS, 1994.

WETZEL, RG. **Limnologia**. Lisboa: Fundação Caloute Gulbenkian. 919 p. 1993.

ANEXO

Tabela 26: Dados de variáveis COT, NKT, NH₃, C_{org}/N_{NKT}, Clor a, PT, Cianob e DBO das estações de monitoramento em estudo.

Data	Ponto	COT	NKT	NH ₃	C _{org} /N _{org}	Clor. a	PT	CIANOB	DBO	IET
31/01/2011	BILL02030	11,3	2,88	0,41	4,58	151,83	0,2	564730	13,00	53,99
23/03/2011	BILL02030	6,23	1,74	0,71	4,18	não realizado	0,17	não realizado	8,00	não realizado
26/05/2011	BILL02030	13,6	2,11	0,23	7,52	115,38	0,19	115104	23,00	53,16
21/07/2011	BILL02030	7,75	2,58	1,35	3,50	13,07	0,281	5345	4,00	49,01
29/09/2011	BILL02030	9,15	2,49	0,45	4,29	não realizado	0,26	não realizado	14,00	não realizado
23/11/2011	BILL02030	7,06	2,72	1,85	3,03	42,17	0,047	3920	9,00	46,46
31/01/2011	BILL02100	7,93	2,21	<0,1	3,54	89,81	0,13	250160	9,00	51,40
23/03/2011	BILL02100	7,11	1,23	0,3	6,74	não realizado	0,11	não realizado	5,00	não realizado
26/05/2011	BILL02100	14,1	2,04	0,19	8,06	122,96	0,16	83950	22,00	52,80
21/07/2011	BILL02100	6,35	2,17	0,57	3,41	14,63	0,108	5870	3,00	46,39
29/09/2011	BILL02100	7,52	1,84	0,73	4,77	não realizado	0,108	não realizado	8,00	não realizado
23/11/2011	BILL02100	7,42	1,58	0,53	5,48	40,99	0,025	5675	6,00	44,48
31/01/2011	BILL02500	7,82	1,73	<0,1	5,27	68,43	0,05	não realizado	6,00	47,84
23/03/2011	BILL02500	5,5	1,01	0,13	6,35	não realizado	0,04	não realizado	5,00	não realizado
26/05/2011	BILL02500	11	0,74	<0,1	17,34	38,57	0,04	não realizado	5,00	45,76
21/07/2011	BILL02500	7,45	1,15	0,39	7,56	65,34	0,06	não realizado	5,00	48,28
29/09/2011	BILL02500	5,93	0,97	0,22	7,13	não realizado	0,02	não realizado	5,00	não realizado
23/11/2011	BILL02500	6,97	1,33	0,14	6,11	54,65	0,019	não realizado	5,00	44,36
31/01/2011	BILL02900	9,14	1,47	<0,1	7,25	47,04	0,02	347120	5,00	44,14
23/03/2011	BILL02900	5,99	0,93	0,11	7,51	não realizado	0,03	não realizado	10,00	não realizado
24/05/2011	BILL02900	8,3	0,88	0,13	7,29	24,06	0,03	122390	<3,00	44,96
21/07/2011	BILL02900	8,14	0,9	0,21	10,55	24,39	0,011	144740	3,00	40,72
29/09/2011	BILL02900	não realizado	0,76	0,15	não realizado	não realizado	0,029	não realizado	6,00	não realizado

Data	Ponto	COT	NKT	NH ₃	Corg/Norg	Clor. a	PT	CIANOB	DBO	IET
23/11/2011	BILL02900	6,42	0,94	0,13	7,97	30,07	<0,007	189955	<3,00	não realizado
31/01/2011	BITQ00100	8,38	1,83	<0,1	5,34	57,74	0,04	260155	5,00	46,75
23/03/2011	BITQ00100	6,57	0,93	<0,1	8,24	não realizado	0,03	não realizado	3,00	não realizado
26/05/2011	BITQ00100	8,68	0,88	<0,1	11,51	43,53	0,025	34830	8,00	44,63
21/07/2011	BITQ00100	6,66	0,96	0,16	8,09	8,72	0,007	2895	<3,00	36,83
29/09/2011	BITQ00100	não realizado	0,68	0,15	não realizado	não realizado	0,011	não realizado	<3,00	não realizado
23/11/2011	BITQ00100	7,8	0,97	0,2	9,38	45,11	<0,007	17560	4,00	não realizado
12/01/2012	BILL02030	10	1,94	0,74	6,01	64,69	0,012	154310	13,00	43,38
28/03/2012	BILL02030	10,8	2,9	1,3	4,34	não realizado	0,116	não realizado	11,00	não realizado
24/05/2012	BILL02030	12,8	5,36	<0,1	2,79	613,01	0,242	668860	26,00	57,99
18/07/2012	BILL02030	5,93	2,16	0,75	3,20	37,42	<0,007	103730	8,00	não realizado
20/09/2012	BILL02030	4,08	1,75	0,38	2,72	não realizado	0,071	não realizado	16,00	não realizado
28/11/2012	BILL02030	8,74	7,84	1,46	1,30	547,97	0,563	957950	11,00	60,28
12/01/2012	BILL02100	7,47	1,17	0,19	7,45	75,38	<0,007	179570	9,00	não realizado
28/03/2012	BILL02100	9,67	1,49	<0,1	7,57	não realizado	0,023	não realizado	5,00	não realizado
24/05/2012	BILL02100	7,19	2,15	<0,1	3,90	129,2	0,097	364800	10,00	51,40
18/07/2012	BILL02100	5,75	1,27	0,13	5,28	38,61	<0,007	104955	3,00	não realizado
20/09/2012	BILL02100	6,68	1,98	0,16	3,94	não realizado	0,079	não realizado	5,00	não realizado
28/11/2012	BILL02100	7,73	2,94	0,97	3,07	147,26	0,217	116160	8,00	54,16
12/01/2012	BILL02500	9,12	1,62	0,13	6,57	105,32	<0,007	não realizado	8,00	não realizado
28/03/2012	BILL02500	9,87	1,23	0,12	9,36	não realizado	0,015	não realizado	4,00	não realizado
24/05/2012	BILL02500	5,91	1,1	<0,1	6,27	46,97	0,019	não realizado	3,00	43,98
18/07/2012	BILL02500	4,34	1,01	<0,1	5,01	38,76	0,047	não realizado	3	46,26
20/09/2012	BILL02500	6,24	2,22	<0,1	3,28	não realizado	0,079	não realizado	4,00	não realizado
28/11/2012	BILL02500	4,56	1,69	0,71	3,15	66,29	0,131	não realizado	6,00	50,68
12/01/2012	BILL02900	7,29	0,97	0,11	8,77	55,6	<0,007	424075	5,00	não realizado
28/03/2012	BILL02900	7,41	1,07	0,14	8,08	não realizado	0,074	não realizado	3,00	não realizado
24/05/2012	BILL02900	6,19	0,99	0,37	7,29	39,76	<0,007	214925	<3,00	não realizado
18/07/2012	BILL02900	4,34	0,88	<0,1	5,75	34,41	0,017	282950	<3,00	42,88

Data	Ponto	COT	NKT	NH ₃	Corg/Norg	Clor. a	PT	CIANOB	DBO	IET
20/09/2012	BILL02900	5,09	1,38	<0,1	4,30	não realizado	0,029	não realizado	3,00	não realizado
28/11/2012	BILL02900	5,75	1,07	0,18	6,27	50,06	0,037	150013	3,00	46,16
12/01/2012	BITQ00100	8,65	1,1	0,11	7,45	47,67	0,048	231260	4,00	47,95
28/03/2012	BITQ00100	10,6	1,04	0,21	7,57	não realizado	0,013	não realizado	3,00	não realizado
24/05/2012	BITQ00100	4,61	1,08	<0,1	4,98	44,68	0,023	354650	3,00	44,44
18/07/2012	BITQ00100	6	1,13	<0,1	6,19	63,71	0,014	1310900	3,00	43,81
20/09/2012	BITQ00100	6,92	1,4	<0,1	5,77	não realizado	0,036	não realizado	4,00	não realizado
28/11/2012	BITQ00100	5,98	1,12	0,16	6,23	29,25	0,045	245900	3,00	45,43
03/01/2013	BILL02030	6,05	3,33	1,78	2,12	59,88	0,161	109855	11,00	51,05
14/03/2013	BILL02030	4,71	2,59	0,69	3,86	53,95	0,17	111755	8,00	50,96
15/05/2013	BILL02030	5,99	1,81	0,47	7,33	49,45	0,21	104430	6,00	51,39
25/07/2013	BILL02030	7,73	1,23	0,29	2,12	não realizado	0,23	não realizado	8,00	não realizado
25/09/2013	BILL02030	7,72	3,6	2,51	2,50	não realizado	0,41	não realizado	9,00	não realizado
21/11/2013	BILL02030	33,8	7,72	1,49	5,11	673,6	0,8	1013560	37,00	61,85
03/01/2013	BILL02100	7,55	2,39	0,4	3,69	101,04	0,124	206730	9,00	51,55
14/03/2013	BILL02100	4,63	2,59	0,17	2,09	não realizado	0,15	não realizado	9,00	não realizado
15/05/2013	BILL02100	6,32	1,32	0,17	5,59	94,7	0,16	73100	8,00	52,16
25/07/2013	BILL02100	7,17	0,92	0,14	9,09	37,42	0,16	97135	7,00	49,88
25/09/2013	BILL02100	5,91	1,4	0,47	4,93	não realizado	0,14	não realizado	5,00	não realizado
21/11/2013	BILL02100	47,3	8,15	0,59	6,77	954,26	0,95	1431270	49,00	63,22
03/01/2013	BILL02500	7,09	2,14	0,15	3,87	171,96	0,079	não realizado	5,00	51,48
14/03/2013	BILL02500	4,35	2,56	0,12	1,98	não realizado	0,13	não realizado	8,00	não realizado
15/05/2013	BILL02500	5,14	1,07	0,1	5,60	133,65	0,08	não realizado	5,00	50,90
25/07/2013	BILL02500	5,95	0,96	0,1	7,23	80,86	0,07	não realizado	5,00	49,27
25/09/2013	BILL02500	6,19	1,4	0,13	5,16	não realizado	0,11	não realizado	8,00	não realizado
21/11/2013	BILL02500	8,3	1,21	0,32	8,00	65,22	0,1	não realizado	6,00	49,82
03/01/2013	BILL02900	5,31	1,23	0,11	5,04	50,25	0,027	381780	3,00	45,21
14/03/2013	BILL02900	4,41	2,48	0,14	2,07	não realizado	0,03	não realizado	3,00	não realizado
15/05/2013	BILL02900	5,16	0,92	<0,1	6,54	48,88	0,04	208750	4,00	46,34

Data	Ponto	COT	NKT	NH ₃	Corg/Norg	Clor. a	PT	CIANOB	DBO	IET
25/07/2013	BILL02900	5,59	0,76	<0,1	8,58	52,7	0,04	114460	4,00	46,52
25/09/2013	BILL02900	4,39	1,17	<0,1	4,38	não realizado	0,05	não realizado	7,00	não realizado
21/11/2013	BILL02900	7,06	0,89	0,12	9,25	22,45	0,03	158625	5,00	43,56
03/01/2013	BITQ00100	6,99	1,48	<0,1	5,51	103,95	0,06	322730	5,00	49,42
14/03/2013	BITQ00100	5,02	2,07	<0,1	2,83	não realizado	0,04	não realizado	5,00	não realizado
15/05/2013	BITQ00100	5,3	0,96	<0,1	6,44	39,37	0,05	93700	4,00	46,48
25/07/2013	BITQ00100	8,28	1,54	<0,1	6,27	336,8	0,07	18494	14,00	52,77
25/09/2013	BITQ00100	7,37	1,33	0,13	6,46	não realizado	0,08	não realizado	7,00	não realizado
21/11/2013	BITQ00100	9,15	1,22	0,17	8,75	107,81	0,05	12190	10,00	48,95
09/01/2014	BILL02030	27,9	2,96	<0,1	11,00	444,79	0,44	1326150	17,00	59,02
26/03/2014	BILL02030	8,64	2,42	1,14	4,17	não realizado	0,22	não realizado	9,00	não realizado
15/05/2014	BILL02030	9,63	5,89	0,27	1,91	794,77	0,59	480385	38,00	61,33
31/07/2014	BILL02030	7,06	2,25	0,25	3,66	171,07	0,25	953090	7,00	54,96
25/09/2014	BILL02030	15,8	4,31	1,45	4,28	não realizado	0,37	não realizado	8,00	não realizado
13/11/2014	BILL02030	7,33	4,95	2,63	1,73	127,41	0,37	174085	8,00	55,43
09/01/2014	BILL02100	28,1	3,53	<0,1	9,29	620,14	0,55	1322600	20,00	60,51
26/03/2014	BILL02100	13,2	1,73	0,29	8,90	não realizado	0,21	não realizado	9,00	não realizado
15/05/2014	BILL02100	9,53	3,52	0,22	3,71	311,4	0,42	1616545	29,00	58,00
31/07/2014	BILL02100	5,84	1,45	0,1	4,70	51,17	0,12	190365	<3,00	49,78
25/09/2014	BILL02100	15	3,2	0,65	5,47	não realizado	0,71	não realizado	14,00	não realizado
13/11/2014	BILL02100	7,49	4,13	1,88	2,12	160,38	0,33	194330	8,00	55,64
09/01/2014	BILL02500	15,1	1,32	<0,1	13,35	156,82	0,15	não realizado	7,00	53,20
26/03/2014	BILL02500	8,74	0,97	0,19	10,51	não realizado	0,09	não realizado	5,00	não realizado
15/05/2014	BILL02500	6,9	1,16	0,22	6,94	70,57	0,05	não realizado	6,00	47,91
31/07/2014	BILL02500	4,36	0,89	0,15	5,72	47,58	0,04	não realizado	4,00	46,27
25/09/2014	BILL02500	9,8	2,31	0,18	4,95	não realizado	0,12	não realizado	4,00	não realizado
13/11/2014	BILL02500	5,81	1,83	0,72	3,70	13,21	0,12	18375	4,00	46,46
09/01/2014	BILL02900	7,92	<0,50	<0,1	-	32,08	0,04	278865	<3,00	45,30
26/03/2014	BILL02900	6,73	0,75	0,19	10,47	não realizado	0,05	não realizado	<3,00	não realizado

Data	Ponto	COT	NKT	NH₃	Corg/N_{org}	Clor. a	PT	CIANOB	DBO	IET
15/05/2014	BILL02900	6,22	0,87	0,28	8,34	35,28	0,03	291355	4,00	44,67
31/07/2014	BILL02900	4,24	0,94	0,23	5,26	31,01	0,03	161835	<3,00	44,35
25/09/2014	BILL02900	8,8	1,09	0,12	9,42	não realizado	0,04	não realizado	3,00	não realizado
13/11/2014	BILL02900	6,22	1,27	0,14	5,71	64,82	0,04	521445	4,00	47,03
09/01/2014	BITQ00100	17,2	0,54	0,24	37,16	75,38	0,14	281375	6,00	51,19
26/03/2014	BITQ00100	18,3	<0,50	0,11	não realizado	não realizado	0,1	não realizado	15,00	não realizado
15/05/2014	BITQ00100	7,95	2,22	0,15	4,18	289,58	0,12	206410	18,00	54,03
31/07/2014	BITQ00100	5,85	1,73	0,4	3,95	75,74	0,09	196700	8,00	49,87
25/09/2014	BITQ00100	9,53	0,9	<0,1	12,35	não realizado	0,1	não realizado	4,00	não realizado
13/11/2014	BITQ00100	6,2	1,2	0,34	6,03	33,86	0,1	6710,00	4,00	48,21

Fonte: CETESB (2015).

