AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

# Qualidade de Água e Sedimento em Reservatório

**Douglas Batista da Silva**

**Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Materiais**

**Orientadora:**
**Profa. Dra. Marycel Elena Barboza Cotrim**

**São Paulo**
**2016**

**INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES**
**Autarquia associada à Universidade de São Paulo**

# Qualidade e Água e sedimento em Reservatório

**Douglas Batista da Silva**

**Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Materiais**

**Orientadora:**
**Profa. Dra. Marycel Elena Barboza Contrim**

**Versão Corrigida**
**Versão Original disponível no IPEN**

**São Paulo**
**2016**

*Aos meus pais, Valdir e Lucia, que sempre acreditaram em mim.*

## AGRADECIMENTOS

À Dra. Marycel Elena Barboza Cotrim pela orientação, confiança e amizade, que desde o início na iniciação científica, incentivou e acreditou no meu potencial.

Ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/CNEN-SP) e ao Centro de Química e Meio Ambiente (CQMA), pela disponibilização da infraestrutura para a realização deste trabalho.

A Capes – pelo apoio financeiro concedido por meio da bolsa de mestrado.

À FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo apoio financeiro concedido ao projeto de pesquisa que este trabalho está inserido (FAPESP n° 2009/53898-9).

Ao Prof. Dr. Carlos Eduardo de Mattos Bicudo e a Profa. Dra. Denise de Mattos Bicudo do Instituto de Botânica, coordenadores do projeto temático FAPESP juntamente com a Profa. Dra. Maria Aparecida Faustino Pires do IPEN. Além da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) pela parceria e o auxílio nas coletas das amostras e apoio logístico de campo.

À Lucilena Rebelo Monteiro pelo auxilio nas pesquisas e pelo auxílio nos dados estatísticos, pelos incentivos e conselhos e principalmente, pela amizade.

Aos amigos de laboratório Thamiris B. Stellato, Sabrina M. V. Soares, Joyce R. Marques, Mainara Generoso Faustino, os quais me ajudaram muito nas pesquisas sobre a Guarapiranga.

A Tatiane B. S. C. Silvana pela elaboração dos mapas temáticos e paciência.

Aos meus amigos Elias Santana Silveira e Carlos Fernando de Brito, que sempre me ajudaram, incentivaram e aconselharam e, principalmente pela amizade e ajuda nos estudos na biblioteca.

Ao meu pai e minha mãe que sempre estão me ensinando, incentivando e me dando muito amor e carinho quando eu mais preciso e a minha irmã e irmão por quem tenho um carinho muito especial.

Agradeço a todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares e ao Centro de Química e Meio Ambiente (CQMA) pela oportunidade de desenvolver este trabalho.

A todo o pessoal do CQMA pela colaboração na realização deste trabalho.

Obrigado!

***“A vitória será sempre daquele que permanecer acreditando por mais tempo.”***

# RESUMO

A água é um recurso essencial à vida, logo deve estar presente em quantidade e qualidade adequada para seu consumo. O presente estudo teve como objetivo avaliar a qualidade ambiental da represa Guarapiranga, Localizado em partes dos municípios de Cotia, Embu, Itapecerica da Serra, Juquitiba, São Lourenço da Serra e São Paulo e na área total do município de Embu Guaçu, este sistema tem significativa degradação em sua qualidade de água devido ao aporte de efluente doméstico e industrial aumentando o custo do tratamento e dificultando o acesso a água potável. Foram apresentados os resultados de 26 metais, 7 ânions, parâmetros limnológicos: pH, condutividade, temperatura, oxigênio dissolvido, transparência da água, obtidos a partir das amostras das coletas realizadas entre os anos de 2011 a 2013, em amostras de água na superfície, meio e fundo em 14 pontos e de sedimento de fundo nestes mesmos pontos sendo avaliando 26 metais. Os resultados de sedimento foram comparados com os valores de TEL e PEL e os resultados de água foram com os limites de estabelecidos pela resolução COMANA 357/2005. Os parâmetros limnológicos, condutividade, pH e oxigênio dissolvido ficaram fora do enquadramento da resolução do COMANA 357/05. Todas as espécies iônicas atenderam ao estabelecido pelo CONAMA 357/05, no entanto é observado um aumento das concentrações no decorrer das coletas. A serie nitrogenada assim com a relação Fe:P mostraram ser importantes parâmetros de controle do aporte da carga orgânica no reservatório. Dos 26 elementos analisados somente Al, Cu, Mn apresentaram concentrações fora do estabelecido pela resolução COMANA 357/05. Os sedimentos analisados os elementos químicos Cu, Cr, Zn apresentaram valores acima do TEL e do PEL. A partir dos resultados obtidos infere-se que o reservatório do Guarapiranga apresenta dois compartimentos distintos, um mais degradado que vai do ponto 05 a 14 que sofre os impactos da ocupação do seu entorno e um mais preservado que vai do ponto 01 a 05, sem tanta influência de ocupação urbana no seu entorno.

## ABSTRACT

Water is an essential life resource, and that it must be present in adequate quantity and quality for consumption. This study is aimed to evaluate the environmental quality of Guarapiranga reservoir, classified as Class 1. This is located in parts of the municipalities of Cotia, Embu, Itapecerica da Serra, Juquitiba, São Lourenço da Serra and São Paulo and in the Embu Guaçu's total area. This reservoir has significant degradation in the quality of water due to domestic and industrial wastewater contribution, as it effects the cost of treatment and makes it difficult to access drinking water. These papers presents the results of 26 metals, 7 anions, limnology parameters: pH, conductivity, temperature, dissolved oxygen, water clarity, obtained from samples collections between the years 2011-2013, These are water samples on the surface, middle and bottom on 14 points and bottom sediment in these same points being evaluated 26 metals. The sediment results were compared with TEL and PEL values, water results were compared with the established limits by the resolution of COMANA 357/2005. Limnological parameters, conductivity, pH and dissolved oxygen were outside the framework of COMANA's resolution 357/05. All Ionic species responded to established by CONAMA 3357/05, however it is noted an increase in concentrations between samples collected. Nitrogen series as well as Fe:P ratio showed important contribution of control parameters of the organic load in reservoir. Of the 26 elements analyzed only Al, Cu, Mn concentrations was observed outside of the COMANA's resolution 357/05. In the sediments analyzed, the chemical elements Cu, Cr, Zn showed values above the TEL and PEL. From the results obtained infers that the Guarapiranga reservoir has two compartments distinct; a more degraded that will from point 05-14 suffering from the occupation of the impacts around them, and another compartment more preserved that will from point 01-05 without much influence of urban occupation around them.

**SUMÁRIO**

1. INTRODUÇÃO ..... 16
2. Histórico da Legislação de Qualidade das Águas ..... 21
3. Gestão da qualidade das águas ..... 28
4. Índice do Estado Trófico ..... 33
5. Reversão das águas do braço Taquacetuba Billings para o Guarapiranga 35
6. Valores Guias de Qualidade de Sedimento (VGQS) ..... 39
7. OBJETIVOS ..... 42
   7.1 Objetivos específicos ..... 42
8. MATERIAIS E MÉTODOS ..... 43
   8.1 Área de Estudo ..... 43
   8.2 Amostragem ..... 50
   8.3 Coleta de Água ..... 54
   8.4 Coleta de sedimento ..... 56
   8.5 Espectrometria de emissão óptica com plasma de argônio (ICP-OES) 57
   8.6 Absorção atômica ..... 60
   8.6.4 Cromatografia de Íons ..... 61
   8.7 Mapas temáticos ..... 62
   8.8 Análise estatística ..... 62
9. RESULTADOS E DISCUSSÕES ..... 63
   9.1 Variáveis Limnológicas ..... 63
   9.2 Variáveis Climatológicas ..... 63
   9.3 Temperatura ..... 65
   9.4 Condutividade Elétrica ..... 68
   9.5 Potencial Hidrogeniônico – pH ..... 72
   9.6 Transparência da água ..... 75
   9.7 Oxigênio Dissolvido ..... 77

10. Espécies Iônicas ..... 82
10.1 Fluoreto ..... 83
10.2 Cloreto ..... 86
10.3 Sulfato ..... 90
10.4 Série Nitrogenada Amônio-N, Nitrito-N e Nitrato-N ..... 94
11. Relação Fe e P em Água e Sedimento ..... 106
12. Metais Totais e Dissolvido em Água e Sedimento ..... 115
12.1 Alumínio ..... 117
12.2 Cobre ..... 122
12.3 Manganês ..... 127
12.4 Chumbo ..... 131
12.5 Zinco ..... 134
12.6 Bário ..... 139
12.7 Cromo ..... 142
13. Análise multivariada de metais totais e dissolvidos em água ..... 146
14. Analise multivariada de metais em Sedimento ..... 149
15. Conclusões ..... 153
16. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 155

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Classificação dos corpos d' água de acordo com acordo com seus usos - Resolução CONAMA 357/05. ..... 25
TABELA 2 – Parâmetros físicos e químicos analisados e seus limites de enquadramento para corpos de água classe 1 de acordo com o 27
TABELA 3 – Índices analisados pela rede de monitoramento de águas de interiores da CETESB ..... 32
TABELA 4 - Comparação de valores de metais analisados por diferentes autores, em diferentes mananciais, com os VGQS. ..... 41
TABELA 5 - Características do reservatório do Guarapiranga ..... 44
TABELA 6- Estimativa da população residente nos municípios que estão no entorno da Bacia Guarapiranga, dados de 2014. ..... 48
TABELA 7 - População residente no entorno da represa Guarapiranga por bairros de São Paulo, em 2010. ..... 48
TABELA 8 - Descrição dos pontos de coleta de água e sedimento e coordenadas geográficas. ..... 52
Tabela 9 – Programa de amostragem e compartimento amostrado realizado no reservatório do Guarapiranga. ..... 53
TABELA 10 - Profundidade das coletas realizadas no período de 2011-2013. 53
TABELA 11 - Programa de aquecimento do micro-ondas para amostras de água. ..... 55
TABELA 12 - Programa de aquecimento do micro-ondas para amostras de água. ..... 56
TABELA 13 - Programa de aquecimento do forno micro-ondas para amostras de sedimento. ..... 57
TABELA 14 - Condições Operacionais do ICP-OES ..... 58
TABELA 15 - Coeficiente de correlação, faixa de concentração, limite de detecção, limite de quantificação elemento traço para ICP-OES.59

TABELA 16 - Faixa de concentração, limite de detecção, limite de quantificação do sistema de AAS. ..... 60
TABELA 17 - Coeficiente de correlação, faixa de concentração, limite de detecção, limite de quantificação dos analítos aniônicos. ..... 61
TABELA 18 – Variação da temperatura em ºC de superfície meio e fundo no período estudado. ..... 67
TABELA 19 - Componentes principais identificados na matriz de dados ..... 151

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Índice de Estado Trófico (IET) das estações de amostragem na Represa Guarapiranga, para os períodos de verão, inverno e média anual. Fonte: (Aquased, 2013). ..... 33
FIGURA 2 - Índice de Estado Trófico anual na malha espacial de amostragem na Represa Guarapiranga. ..... 34
FIGURA 3 - Estação de bombeamento do braço Taquacetuba da Billings para o reservatório Guarapiranga. ..... 36
FIGURA 4 - Local do canal de recepção das águas transpostas do braço Taquacetuba do reservatório Billings para o reservatório do Guarapiranga. ..... 37
FIGURA 5 - Várzea do rio Parelheiros nas proximidades das águas transpostas do braço Taquacetuba. ..... 37
FIGURA 6 - Qualidade das Águas do Braço Taquacetuba da Represa Billings bombeada para o Reservatório Guarapiranga. ..... 38
FIGURA 7 – Bacia do reservatório do Guarapiranga ..... 45
FIGURA 8 - Afluentes do Guarapiranga e seus 17 córregos de menor extensão. 46
FIGURA 9 - Sistema de Saneamento da Bacia Guarapiranga ..... 50
FIGURA 10 - Mapa dos pontos de coleta do reservatório do Guarapiranga. ..... 51
FIGURA 11 - Pluviometria mensal acumulada no reservatório do Guarapiranga . 64
FIGURA 12 - Gradiente de temperatura da água no reservatório do Guarapiranga. ..... 66
FIGURA 13 - Distribuição de condutividade elétrica das águas do reservatório do Guarapiranga. ..... 70
FIGURA 14 - Distribuição do potencial hidrogeniônico das águas de superfície, meio e fundo. ..... 74
FIGURA 15 - Variação de transparência no período amostrado ..... 76
FIGURA 16 - Distribuição de oxigênio dissolvido no reservatório do Guarapiranga. ..... 80

FIGURA 17 - Distribuição de Fluoreto nas Coletas de 2011 a 2013 no reservatório do Guarapiranga .....84
FIGURA 18 - Distribuição de Fluoreto em superfície meio e fundo da coluna d'água do reservatório do Guarapiranga. .....85
FIGURA 19 - Mapa temático da distribuição média de Cloreto em água superficial do reservatório do Guarapiranga. .....87
FIGURA 20 - Distribuição de Cloreto em superfície meio e fundo da coluna d'água do reservatório do Guarapiranga. .....88
FIGURA 21 - Distribuição de Cloreto nas Coletas de 2011 a 2013 no reservatório do Guarapiranga. .....89
FIGURA 22 - Mapa temático da distribuição média de Sulfato em água superficial do reservatório do Guarapiranga .....91
FIGURA 23 - Distribuição de Sulfato em superfície meio e fundo da coluna d'água do reservatório do Guarapiranga. .....92
FIGURA 24 - Distribuição de Sulfato nas Coletas de 2011 a 2013 no reservatório do Guarapiranga .....93
FIGURA 25 - Mapa temático da distribuição média de Amônio-N em água superficial do reservatório do Guarapiranga. .....97
FIGURA 26 - Mapa temático da distribuição média de Nitrito-N em água superficial do reservatório do Guarapiranga. .....97
FIGURA 27 - Mapa temático da distribuição média de Nitrato-N em água superficial do reservatório do Guarapiranga. .....98
FIGURA 28 - Distribuição de Amônio-N nas Coletas de 2011 a 2013 no reservatório do Guarapiranga .....99
FIGURA 29 - Distribuição de Nitrito-N nas Coletas de 2011 a 2013 no reservatório do Guarapiranga .....100
FIGURA 30 - Distribuição de Nitrato-N nas Coletas de 2011 a 2013 no reservatório do Guarapiranga .....100
FIGURA 31 - Distribuição de amônio-N em superfície meio e fundo da coluna d'água do reservatório do Guarapiranga.....102
FIGURA 32 - Distribuição de Nitrito-N em superfície meio e fundo da coluna d'água do reservatório do Guarapiranga .....103

FIGURA 33 - Distribuição de Nitrato-N em superfície meio e fundo da coluna d'água do reservatório do Guarapiranga .....104
FIGURA 34 - Distribuição de ferro dissolvido em superfície meio e fundo da coluna d'água do reservatório do Guarapiranga.....108
FIGURA 35 - Distribuição de Ferro nas Coletas de 2011 a 2013 no reservatório do Guarapiranga. .....109
FIGURA 36 - Mapa temático da distribuição de $Fe_T$ nos sedimentos no reservatório do Guarapiranga em março de 2011. .....110
FIGURA 37 - Distribuição de Fósforo nas Coletas de 2011 a 2013 no reservatório do Guarapiranga .....111
FIGURA 38 - Mapa temático da Distribuição de P nos sedimentos do Guarapiranga em março de 2011. .....112
FIGURA 39 - Mapa temático das razões de Fe/P nos sedimentos coletados na represa do Guarapiranga em março de 2011. .....113
FIGURA 40 - Distribuição de alumínio nas Coletas de 2011 a 2013 no reservatório do Guarapiranga .....118
FIGURA 41 - Distribuição de alumínio em superfície meio e fundo da coluna d'água do reservatório do Guarapiranga. .....119
FIGURA 42 – Mapa temático da distribuição de Alumínio em Sedimento do Reservatório do Guarapiranga. .....120
FIGURA 43 - Distribuição de cobre nas Coletas de 2011 a 2013 no reservatório do Guarapiranga .....123
FIGURA 44 - Distribuição de cobre dissolvido em superfície meio e fundo da coluna d'água do reservatório do Guarapiranga.....124
FIGURA 45 - Mapa temático da distribuição de cobre em Sedimento do Reservatório do Guarapiranga. .....126
FIGURA 46 - Distribuição do Cu no sedimento (mg kg-1) comparado com TEL e PEL. .....126
FIGURA 47 - Distribuição de manganês nas Coletas de 2011 a 2013 no reservatório do Guarapiranga .....128
FIGURA 48 - Distribuição de manganês total em superfície meio e fundo da coluna d'água do reservatório do Guarapiranga.....129

FIGURA 49 - Mapa temático da distribuição de manganês em Sedimento do Reservatório do Guarapiranga. ..... 130
FIGURA 50 - Distribuição de Chumbo total em superfície meio e fundo da coluna d'água do reservatório do Guarapiranga. ..... 132
FIGURA 51 – Mapa temático da distribuição de chumbo em e Sedimento do Reservatório do Guarapiranga. ..... 133
FIGURA 52 - Distribuição de zinco nas Coletas de 2011 a 2013 no reservatório do Guarapiranga. ..... 135
FIGURA 53 - Distribuição de zinco total em superfície, meio e fundo da coluna d'água do reservatório do Guarapiranga. ..... 136
FIGURA 54 – Mapa temático da distribuição do zinco no sedimento da represa Guarapiranga (mg. $kg^{-1}$). ..... 137
FIGURA 55 - Distribuição do Zn no sedimento (mg kg-1) comparada com TEL e PEL. ..... 138
FIGURA 56 - Distribuição de bário nas Coletas de 2011 a 2013 no reservatório do Guarapiranga. ..... 140
FIGURA 57 - Distribuição de bário total em superfície, meio e fundo da coluna d'água do reservatório do Guarapiranga. ..... 141
FIGURA 58 - Mapa temático da distribuição de bário em Sedimento do Reservatório do Guarapiranga. ..... 142
FIGURA 59 - Mapa temático da distribuição de cromo em sedimento do Reservatório do Guarapiranga. ..... 143
FIGURA 60 - Distribuição do Cr no sedimento (mg kg-1) comparada com TEL e PEL. ..... 145
FIGURA 61 - Análise dos componentes principais com Fator 1XFator 2 por ponto ..... 147
FIGURA 62 - Análise de Cluster realizada em 6 coletas nos 14 pontos com 56 parâmetros. ..... 147
FIGURA 63 - Análise dos componentes principais com Fator 1 x Fator 2 por ponto. ..... 149
FIGURA 64 - Associações observadas entre o fator 1 e 2. ..... 151
FIGURA 65 - Associações observadas entre o fator 1 e 5. ..... 152

FIGURA 66 - Associações observadas entre o fator 2 e 3..... 152

## 1. INTRODUÇÃO

A água é um bem comum e um recurso natural essencial para a manutenção da vida. Por esse motivo, deve estar presente no ambiente em quantidade e qualidade adequadas. Estas duas características estão intimamente ligadas. A qualidade da água depende da quantidade de água existente para dissolver, diluir e transportar substâncias benéficas e maléficas para os seres que dela fazem uso (BRAGA, et al., 2005).

Dentre dos recursos naturais, a água se constitui no mais importante, por ser um elemento fundamental a vida, como para todas as atividades desenvolvidas pelo homem. Portanto, devem-se garantir as fontes de água que satisfaçam as demandas quantitativas e qualitativas, de maneira segura e confiável, para os diversos usos de qualquer comunidade. (Piveli, R. P, 2005).

A crise atual da água, que resulta na redução global de seu suprimento em função do aumento demográfico exacerbado, dos seus múltiplos usos, da perda de seus mecanismos de retenção e da degradação crescente dos ambientes aquáticos, tem grande interesse global, uma vez que impõe dificuldades ao desenvolvimento, aumenta a incidência de doenças hidro veiculadas, produz estresse econômico e social, aumenta as desigualdades entre regiões e países e coloca em risco a manutenção da vida no planeta (Tundisi 2005, Ribeiro 2008).

Nas últimas décadas os reservatórios passaram a ter um papel muito importante, pois são ecossistemas artificiais que integram as consequências do uso e ocupação do solo dentro dos limites da sua bacia de drenagem, portanto devem ser monitorados e geridos para possuir a melhor qualidade de água possível (Fiorillo, 2006).

Os reservatórios têm sido alterados de maneira significativa em função dos múltiplos impactos ambientais advindos das atividades antrópicas, tanto por meios diretos, através de despejos domésticos e industriais, assim

como também por meios indiretos, trazidos pelas águas pluviais com o escoamento superficial do solo (Dornfeld, 2002).

Desta forma, cada vez mais as cidades terão que se adequar as novas realidades da utilização da água para o suprimento de suas necessidades. Planos de gerenciamento urbanos adequados serão necessários para produzir modificações nos sistemas terrestres e aquáticos, envolvendo impactos geológicos, climáticos, hídricos, na flora e na fauna bem como sobre o homem e suas atividades, para que as construções respeitem os limites das fontes produtoras de água nas regiões metropolitanas das cidades, garantindo a água em quantidade e qualidade para as gerações atuais e para as futuras.

A poluição de corpos hídricos é um dos problemas causadores da escassez de água potável para abastecimento público. Isso ocorre pelo despejo de efluentes domésticos em excesso e efluentes industriais que carregam substâncias tóxicas até as águas naturais. A classificação e o monitoramento da qualidade da água desses corpos hídricos propiciam um melhor aproveitamento desses recursos, pois possibilitam a realização de estudos de consumo sustentável e planejamento do crescimento urbano, sem que este desenvolvimento afete o corpo hídrico (Soares, 2011).

A eutrofização é um processo natural que ocorre nos corpos de água, principalmente em lagos e reservatórios, mas quando associado com atividades antrópicas pelo uso humano e industrial, a eutrofização produz alterações nos ecossistemas aquáticos, aumento da concentração de nutrientes, principalmente de nitrogênio e fósforo, por meio de contribuições de efluentes domésticos, agrícolas e industriais, podendo interferir na sua qualidade e uso (Harper 1992, Espinola, 2001).

As águas são classificadas de acordo com o nível de qualidade que deve ser mantido em função dos usos previstos, sendo as maiores exigências para as águas de reservas ecológicas e as que se destinam ao abastecimento público. A qualidade das águas depende da natureza geológica do terreno, da cobertura vegetal e do uso e ocupação do solo (Lemes, 2001).

Os sedimentos de rios e lagos podem ser um importante meio de avaliação da poluição em ambientes aquáticos, pois é um compartimento dos ecossistemas aquáticos responsável pelo transporte, acumulação e liberação de elementos tóxicos e nutrientes. Desta forma, este compartimento ambiental pode representar uma fonte potencial de contaminação para o meio aquático, comprometendo a biota e a população que utiliza suas águas para fins de abastecimento (Quináglia, 2006).

A composição do sedimento é resultado de contínuos processos de intemperismo e erosão sobre minerais e rochas que desprendem continuamente pequenas partículas deste material, sendo em seguida carregados por vento, gelo e água, podendo arrastar consigo metais e outros compostos presentes na água no ar e no solo, atingindo frequentemente os corpos d'água (Guimarães, 2011).

A ação antrópica também influencia os sedimentos, pois o lançamento de efluentes domésticos e industriais não tratados nos cursos d'água pode afetar significativamente estes sistemas. Neste contexto, o sedimento funciona como um compartimento que influencia a dinâmica de substâncias químicas em ecossistemas aquáticos, por atuar como um reservatório e consequentemente como fonte de substância presentes neste sistema. Os processos naturais de formação destes reservatórios podem ser alterados por atividades antrópicas e a análise dos sedimentos fornecem informações importantes sobre o meio ambiente, para se entender os processos naturais e também as influências antrópicas destes processos (Guimarães, 2011).

A Região Metropolitana de São Paulo recebe água potável através do Sistema Integrado de Abastecimento de Água, composto por 8 sistemas produtores de água, entre eles o Sistema Guarapiranga**,** o segundo maior sistema, localizado nas proximidades da Serra do Mar. Sua água é proveniente dos rios Embu-Mirim, Embu-Guaçu, Santa Rita, Vermelho, Ribeirão Itaim e Parelheiros e também pelas transferências dos rios Capivari e Monos e pela transposição do Taquacetuba, a margem esquerda da represa Billings. Produz

aproximadamente 15 mil litros de água por segundo e abastece aproximadamente 5 milhões de pessoas das Zonas Sul e Sudoeste da Capital (SABESP, s.d). Além disso, envolve outros diversos usos da água como preservação ambiental, geração de energia, controle de cheias e recreação.

São Paulo, a maior megalópole da América do Sul com 19,1 milhões de habitantes, concentra o mais importante polo financeiro, industrial e comercial do Brasil. Enfrenta o maior desafio, o de melhorar os padrões de prestação de serviços em um contexto de severas limitações físicas, apresenta, hoje, um dos quadros mais críticos do país no que diz respeito à garantia de água em quantidade e qualidade para o abastecimento de sua população. As áreas de mananciais da RMSP, responsáveis pela produção da água utilizada para abastecimento público e manutenção das atividades econômicas, ocupam 52% de sua área e abrangem total ou parcialmente 25 municípios que têm sofrido intensos processos de eutrofização, assoreamento e toxicidade (Wately & Cunha 2006).

A mancha urbana da cidade está em constante crescimento em direção aos mananciais causando impactos negativos para a qualidade da água e contribui para a perda acelerada da capacidade de produção. As áreas já ocupadas e que têm infraestrutura são cada vez mais valorizadas e especuladas; inviabilizando a permanência da população mais pobre, que não pode arcar com os custos crescentes dos imóveis. Como resultado, novos terrenos e moradias acessíveis são buscados mais longe, promovendo o avanço e a consequente perda de áreas ainda protegidas (ISA, 2006).

As ações para prevenir o avanço da ocupação dos mananciais são tímidas e demoradas. Os raros investimentos nas áreas de mananciais são dedicados basicamente, à realização de obras de infraestrutura e à recuperação de alguns assentamentos precários, essas obras são inexpressivas diante do ritmo do crescimento da população e dos assentamentos nessas regiões. Os mananciais já abrigam mais de 10% da área urbanizada e 18% das áreas de favela de toda a Região Metropolitana, e uma população superior a 1,6 milhão

de pessoas. Já a população que vive ao redor da represa do Guarapiranga aumentou em quase 40% entre 1991 e 2000 estimada em aproximadamente 800 mil. (ISA, 2006)

A represa Guarapiranga é, em particular, um dos maiores e mais ameaçados mananciais da RMSP, abastecendo cerca de quatro milhões de pessoas. Embora tenha sido construída em 1906, não se dispõe de uma série de dados temporais ininterruptos da qualidade da água para este sistema. Os demais reservatórios situados na RMSP apresentam cenários diversos quanto às fontes poluidoras, bem como quanto à qualidade de suas águas e sedimentos (Aquased, 2013).

Avaliar a qualidade da água e sedimento neste reservatório se faz importante, tanto para uso de abastecimento como para a determinação das áreas potencialmente afetadas por poluição difusa, determinando os níveis de referência desta área quanto à base de dados de estudos posteriores. Os conhecimentos dos processos que afetam a qualidade da água e sua interferência no reservatório poderão auxiliar na implementação de políticas públicas que garantam a qualidade da água e sua sustentabilidade.

A reconstituição das mudanças sofridas pelos ecossistemas aquáticos ao longo do último século é essencial para uma melhor compreensão dos impactos humanos e naturais. Logo as contribuições físicas e químicas do reservatório Guarapiranga são importantes por ser uma das represas de abastecimento mais antigas da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), sendo importante compreender os processos que afetam a qualidade das águas do reservatório, podendo estabelecer também indicadores ambientais. A proposta deste trabalho insere-se no Projeto Temático da FAPESP intitulado “Reconstrução paleolimnológica da represa Guarapiranga e diagnóstico da qualidade atual da água e dos sedimentos de mananciais da RMSP com vistas ao gerenciamento do abastecimento” (Acrônimo: **AcquaSed**).

## 2. Histórico da Legislação de Qualidade das Águas

A água não se encontra no seu estado puro na natureza, a sua presença é indissociável de substâncias estranhas presentes em solução e/ou em suspensão (sejam elas: sólidas, líquidas ou gasosas) circunstâncias que afetam necessariamente suas características e suas capacidades de eventual utilização para seus diversos usos (Mendes, et al., 2004).

O Brasil apresenta sérios problemas relacionados à qualidade da água, principalmente nos centros urbanos, que não tiveram um sistema de gestão apropriado a sua expansão com o intuito de manter os suprimentos adequados de água às populações e manter a preservação dos ecossistemas.

A crise econômica do fim do século XIX e início do século XX, centrada na troca do modelo econômico de agrário para industrial, exigiu uma maior utilização da energia elétrica para a geração de riquezas. Neste contexto sócio econômico, inicia-se um trabalho de mudança de conceitos relativos ao uso e a propriedade da água. As mudanças econômicas e sociais, que se deram no Brasil e no mundo, abriram espaço para o estabelecimento de uma Política Nacional de Gestão de Águas (CETESB, s.d).

A primeira lei que tratou sobre os recursos hídricos foi o código das águas, instituído pelo decreto 24.643 em 10 de julho de 1934, que apesar de tratar sobre o controle da poluição e introduzir o sistema de outorga, tais ferramentas não foram regularizadas. O enfoque do código das águas esteve relacionado ao desenvolvimento econômico, e a demanda de água para gerar energia elétrica (Cardoso, 2008).

Diversos países utilizavam o enquadramento dos recursos hídricos tais como: Japão, Inglaterra, Canadá e Índia (Costa, 2005). Neste cenário, o estado de São Paulo regulamentou o primeiro sistema de classificação dos

corpos d'água em 1955 e enquadrou alguns rios de acordo com o decreto 24.806/55.

Em 1970, com o aumento da degradação dos recursos hídricos causados pelas expansões urbanas, desenvolvimento industrial e mudanças nos processos produtivos, além das atividades agrícolas e agropecuárias, começou-se a apontar a necessidade de uma atualização do código das águas de 1934, uma vez que os recursos hídricos no país estavam sofrendo com a degradação e nescessitava de mudança da forma que era utilizada, induzindo a um uso mais racional do recurso, para que índices como os de desperdício e contaminação caíssem, garantindo uma qualidade melhor de água para o abastecimento e melhor gestão de saneamento (Ricardo, 2005).

Após a Conferência do Meio Ambiente de Estocolmo realizada em 1972, é instituída no Brasil a Secretaria Especial de Meio Ambiente – SEMA, no âmbito do Ministério do Interior, e começam a ser criados os órgãos estaduais do meio ambiente. Inicia-se, com isso, um processo de separação entre o tratamento legal dado à proteção da quantidade e qualidade de água que se perpetua até os dias atuais, ficando os aspectos de qualidade a cargo das legislações ambientais (Diniz, et al., 2006).

A nova política da água veio fortalecer a gestão descentralizada de cada bacia hidrográfica por parte de seus respectivos comitês, subcomitês e agências, e instituiu a cobrança pelo uso do recurso como um dos principais instrumentos de atuação destes órgãos. A cobrança é uma forma de administrar a exploração dos recursos hídricos federais e estaduais para a geração de fundos que permitam investimentos na preservação dos próprios rios e bacias (Ricardo, 2005).

Em âmbito federal, foi a portaria MINTER 0013, de 15/01/76, que inicialmente regulamentou a classificação dos corpos d' água superficiais, com os respectivos padrões de qualidade e de emissão para efluentes. Através desta

portaria, as águas interiores foram divididas em 4 classes, com a finalidade restrita de atender padrões de balneabilidade e recreação.

Em 1981 é instituído o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. É o órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente-SISNAMA, foi instituído pela Lei 6.938/81 que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, regulamentada pelo Decreto 99.274/90. Em 1981 a lei 6.938, de 31 de agosto de 1981 institui a Política Nacional do Meio Ambiente por meio do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, em um processo de maturidade legal sobre qualidade das águas.

Em 1988 a Constituição brasileira passou a determinar que todas as águas fossem de domínio público, revogando a previsão do Código de Águas de águas particulares. Pela Constituição Federal, as águas ou são de domínio do Estado ou de domínio da União e também instituiu o Sistema Nacional de Recursos Hídricos e definiu os critérios de outorga e direito de seu uso (Art. 21 inciso XIX) (Brasil, 1988), que foi sancionada pela lei 9.433 de 1997 que estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos.

A Política Estadual de Recursos Hídricos deve assegurar que a água, sendo um recurso natural essencial para a vida ao desenvolvimento e ao bem-estar social, seja utilizada com padrões de qualidade satisfatórios por seus usuários e suas gerações futuras em todo o território de São Paulo.

Em junho de 1986, o Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA, considerando a necessidade de reformular os critérios existentes para melhor distribuir os usos, contemplar as águas salinas e salobras e melhor especificar os parâmetros e limites associados aos níveis de qualidade requeridos, estabeleceu a classificação das águas do Território Nacional, através da resolução CONAMA 20/86 e posteriormente substituída pela resolução CONAMA 357/05.

A resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005 classifica os corpos d’água em 4 classes e dá suas diretrizes ambientais para seu

enquadramento como descrito na TAB. 1. A classificação de cada corpo d’água é de acordo com os parâmetros físico-químicos que possuem e níveis máximo de concentração permissíveis, pois alguns parâmetros fisicos e quimicos são considerados tóxicos.

Em 2011, a resolução CONAMA 357/05 foi complementada com a resolução CONAMA 430/1, que dispõem sobre os padrões de lançamento de efluentes.

**TABELA 1 –** Classificação dos corpos d' água de acordo com acordo com seus usos - Resolução CONAMA 357/05.

| Classes de água | Usos a que se destina |
|---|---|
| **Classe especial** | a) Ao abastecimento para o consumo humano, com desinfecção;<br>b) Á preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas;<br>c) Á preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral. |
| **Classe 1** | a) Ao abastecimento para o consumo humano após o tratamento simplificado;<br>b) Á proteção das comunidades aquáticas;<br>c) Á recreação e contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho (conforme a resolução CONAMA 274/2000).<br>d) Á irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo que sejam ingeridas cruas sem remoção da película;<br>e) Á proteção das comunidades aquáticas em terras indígenas. |
| **Classe 2** | a) Ao tratamento de recursos humanos após tratamento convencional;<br>b) Á proteção das comunidades aquáticas;<br>c) Á recreação do consumo primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho (conforme a resolução CONAMA 274/2000).<br>d) Á irrigação de hortaliças plantas frutíferas parques, jardins, campo de esporte;<br>e) Á agricultura e á atividades de pesca. |
| **Classe 3** | a) Ao tratamento de recursos humanos após tratamento convencional;<br>b) Á irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;<br>c) A pesca amadora;<br>d) Á recreação de contato secundário;<br>e) Á dessedentação de animais;<br>f) Á navegação;<br>g) Á harmonia paisagística. |
| **Classe 4** | a) Á navegação;<br>b) Á harmonia paisagística. |

Para cada um dos usos e classes de qualidade são estabelecidas condições de qualidade por meio de variáveis descritivas, tais como materiais

flutuantes não naturais, óleos e graxas, substâncias que propiciam gosto ou odor, corantes provenientes de fontes antrópicas, resíduos sólidos objetáveis e toxicidade e; quantitativas, tais como pH, DBO, OD, substâncias orgânicas, Metais totais e dissolvidos, Densidade de Cianobactérias, teor de Clorofila, entre outras, onde existem faixas de concentração permitidas. O limite máximo permissível das variáveis para cada classe de água é denominado de padrão de qualidade (CETESB, 2013).

O enquadramento dos corpos hídricos do estado de São Paulo foi realizado pelo decreto Estadual 10.755 de 22/11/1977, sendo classificados de acordo com os parâmetros físico-químicos de cada corpo d'água. As água do reservatório do Guarapiranga foram classificadas como classe 1. Os limites dos parâmetros dessa classe são apresentados na TAB. 2. Essa categoria de água refere-se a destinada ao abastecimento após tratamento simplificado como também todos seus afluentes com exceção do Rio Embu-Mirim e seus afluentes até a barragem no Município de São Paulo.

**TABELA 2 –** Parâmetros físicos e químicos analisados e seus limites de enquadramento para corpos de água classe 1 de acordo com o COMANA 357/05.

| Parâmetros | Valor Máximo Permitido |
|---|---|
| pH | 6,0 - 9,0 |
| Oxigênio dissolvido | 6 mg. $L^{-1}$ |
| Turbidez | 100 UNT |
| $NO_3^-$ | 10 mg. $L^{-1}$ |
| $SO_4^{-2}$ | 250 mg. $L^{-1}$ |
| $Cl^-$ | 250 mg. $L^{-1}$ |
| $F^-$ | 1,4 mg. $L^{-1}$ |
| Ag Total | 0,1 mg. $L^{-1}$ |
| Al Dissolvido | 0,1 mg. $L^{-1}$ |
| As Total | 0,01 mg. $L^{-1}$ |
| Ba Dissolvido | 0,7 mg. $L^{-1}$ |
| B Dissolvido | 0,5 mg. $L^{-1}$ |
| Be Dissolvido | 0,04 mg. $L^{-1}$ |
| Cr Total | 0,05 mg. $L^{-1}$ |
| Co Dissolvido | 0,05 mg. $L^{-1}$ |
| Cu Dissolvido | 0,009 mg. $L^{-1}$ |
| Cd Dissolvido | 0,001 mg. $L^{-1}$ |
| Fe Dissolvido | 0,3 mg. $L^{-1}$ |
| Hg Dissolvido | 0,0002 mg. $L^{-1}$ |
| Li Total | 2,5 mg. $L^{-1}$ |
| Mn Total | 0,1 mg. $L^{-1}$ |
| Ni Total | 0,025 mg. $L^{-1}$ |
| P Total | 0,02 mg. $L^{-1}$ |
| Pb Total | 0,01 mg. $L^{-1}$ |
| Sb Dissolvido | 0,005 mg. $L^{-1}$ |
| Se Total | 0,01 mg. $L^{-1}$ |
| V Total | 0,1 mg. $L^{-1}$ |
| Zn Total | 0,18 mg. $L^{-1}$ |

Outro passo extremamente importante para o Brasil foi quando o Ministério da Saúde publicou a Portaria 518 de 25 de março de 2004, estabelecendo os padrões de qualidade da água para consumo humano a qual

foi substituída pela portaria 2.914, de 12 de dezembro de 2011, a qual dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Salienta-se que o enquadramento dos corpos hídricos, respeitando os padrões de qualidade, consiste numa meta a ser atingida ao longo do tempo. Desta forma, ressalta-se que as ações de controle de poluição de fontes pontuais (origem doméstica e industrial) ou difusas (origem urbana e agrícola) devem caminhar no sentido de promover a adequação da qualidade dos corpos hídricos na sua respectiva classe de qualidade (CETESB, 2013).

A Lei nº 12.233, de 16 de janeiro de 2006, define a Área de Proteção e Recuperação dos Mananciais da Bacia Hidrográfica do Guarapiranga, e dá outras providências correlatas. Esta lei declara a Bacia Hidrográfica do Guarapiranga como manancial de interesse regional para o abastecimento público e cria a Área de Proteção e Recuperação dos Mananciais da Bacia Hidrográfica do Guarapiranga - APRM-G, situada na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos - UGRHI do Alto Tietê.

## 3. Gestão da qualidade das águas

O Brasil apresenta sérios problemas relacionados à degradação da qualidade da água, principalmente nos centros urbanos. Nestas condições, é premente a implementação de um sistema apropriado, com o intuito de prover os suprimentos adequados de água as populações e manter a saúde do ecossistema (Cardoso, 2008).

O abastecimento público de água, em termos de qualidade e quantidade, é uma questão crescente da humanidade, em função da escassez deste recurso e da deterioração da qualidade dos mananciais. Organismos internacionais como, por exemplo, a Organização Pan-americana de Saúde

(OPAS) e Associação Interamericana de Engenharia Sanitárias e Ambiental (AIDIS), e nacionais como o Ministério da Saúde e o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) têm reconhecido a problemática da água neste final de século (Brasil, 2006).

É fato que as atividades humanas respaldadas em um estilo de vida de desenvolvimento tem determinado ações significativas no meio ambiente influenciando a disponibilidade desses recursos. A água em alguns territórios é um recursos escasso e com qualidade comprometida. Os crescentes desmatamentos, processos de erosão, assoreamente dos mananciais, lançamentos de efluentes e detritos industriais e domésticos nos recursos hídricos, tem contribuido para tal situação (Brasil, 2006).

Não somente as atividades humanas influenciam a qualidade das águas do reservatório, mas também fatores como clima, estrutura do solo, vegetação, encostas de terra, flutuação dos níveis de água, entre outros. A concentração, o transporte, a transformação e a disposição final de um dado contaminante introduzido em um ambiente aquático pode depender também do nível nutricional.

Logo neste contexto o monitoramento das águas se torna de grande importância para garantir que substâncias tóxicas em quantidades excessivas não afetem sua qualidade e a sua possibilidade de uso. A qualidade da água não só influencia a vida dos seres humanos, mas também a biota aquática e as atividades sociais econômicas em geral (Mendes & Oliveira, 2004 & Soares, 2011).

Em São Paulo foi criada a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB em 24 de julho de 1968, pelo decreto 50.079, que é a agência do Governo do Estado responsável pelo controle, fiscalização, monitoramento e licenciamento de atividades geradoras de poluição, com a preocupação fundamental de preservar e recuperar a qualidade das águas, do ar e do solo (CETESB, s. d).

A CETESB avalia a qualidade das águas superficiais do Estado de São Paulo por meio de duas redes de monitoramento: a de águas doces, iniciada em 1974, e a de águas salinas e salobras, em 2010, com 47 pontos de monitoramento, possibilitando um conhecimento adequado das condições dos corpos d'água do estado de São Paulo. Estas estações se situam nas 22 unidades de gerenciamento de recursos hidricos (URGHIs) de acordo com a Lei Estadual 9.034 de 27 de Desembro de 1994 que está estruturada no conceito de bacia hidrografica (CETESB, 2013).

O reservatório do Guarapiranga pertence a UGRHI 6 - Alto Tietê (industrial), apesar de apresentar índice de densidade de 10,5 pontos $Km^{-2,}$ superando mais de 10 vezes o critério da CEE (Comunidade Econômica Européia), com alta densidade demográfica, cerca de 3.500 habitantes.$m^{-2}$, concentrados no entorno da cidade de São Paulo, alta vulnerabilidade dessa UGRHI frente à pressão antrópica. A UGRHI 6 - Alto Tietê, que inclui a cidade de São Paulo, possui uma população de 20,6 milhões de habitantes e apresenta uma densidade total de 15,6 pontos por 1.000 km. A situação é de alta vulnerabilidade à pressão antrópica.

Em 1975 a CETESB começou a utilizar o Índice de Qualidade das Águas que foi criado em 1970, nos Estados Unidos, pela National Sanitation Foundation. Nas décadas seguintes, outros Estados brasileiros adotaram o IQA, que hoje é o principal índice de qualidade da água utilizado no país. O IQA foi desenvolvido para avaliar a qualidade da água bruta visando seu uso para o abastecimento público, após tratamento. Os parâmetros utilizados no cálculo do IQA são em sua maioria indicadores de contaminação causada pelo lançamento de esgotos domésticos (ANA, s.d).

Os índices de qualidade das águas são utilizados pela CETESB para fornecer uma visão geral da qualidade da água de São Paulo, pois integram os resultados de diversas variáveis através de indicadores. Existem 4 redes de monitoramento de águas de interiores, são elas rede básica (diagnóstico geral dos recursos hídricos do estado de São Paulo) Rede de Balneabilidade, Rede

de Sedimento e Monitoramento Automático (controle das fontes poluidoras e controle das águas para abastecimento público).

A qualidade da água não se refere a um grau de pureza absoluto, mas um padrão tão próximo do possível do natural, ou seja, tal como se encontra nas nascentes antes do contato com o homem. Além disso, a um grau de pureza desejável, depende seu uso que inclui abastecimento, irrigação, atividades industriais, pesqueira entre outros (Chaves, 2008).

Os padrões de potabilidade são utilizados para que se possa regulamentar os níveis de poluentes a serem mantidos em um corpo d'água dependendo do uso que está destinado. Esses padrões atendem dois propósitos (i) manter a qualidade do curso d' água ou definir a meta a ser atingida e (ii) constituir base para definir os níveis de tratamento a serem adotados de modo que os efluentes lançados não alterem o curso d' água (Porto, et al., 1991).

A rede de monitorameno que abrange o reservatório do Guarapiranga inclui a análise dos índices descritivos (IQA, IAP, IET, IVA. ICF, ICZ, IB, CQS, ICB) como apresentado na TAB. 3.

**TABELA 3 –** Índices analisados pela rede de monitoramento de águas de interiores da CETESB

| Rede de Monitoramento | Indices | | Objetivo | Variáveis que compõem os índices |
|---|---|---|---|---|
| **Rede Básica** | IQA | Índice de Qualidade das águas | Diluição de efluentes (principalmente doméstico) | Temperatura, pH, Oxigênio Dissolvido, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Escherichia coli /Coliformes Termo tolerante, Nitrogênio Total, Fósforo Total, Sólidos Totais e Turbidez. |
| | IAP | Índice de Qualidade das águas para Fins de Abastecimento Público | Utlizados para abastecimento público | Temperatura, pH, Oxigênio Dissolvido, Demanda Bioquimica de Oxigênio, Escherichia coli, Nitrogênio Total, Fósforo Total, Sólidos Totais, Turbidez, Ferro, Manganês, Alumínio, Cobre, Zinco, Potencial de Formação de Trihalometanos, Número de Células de Cianobactérias (Ambiente Lêntico), Cadmio, Chumbo, Cromo Total, Mercurio e Níquel. |
| | IET | Índice do Estado Trófico | Eutrofização | Clorofila a e Fósforo Total. |
| | IVA | Índice de Qualidade das águas para Proteção da Vida Aquatica | Proteção da vida aquática | Oxigênio Dissolvido, pH, Ensaio Ecotoxicológico com Ceriodaphnia dubia, Cobre, Zinco, Chumbo, Cromo, Mercúrio, Níquel, Cádmio, Surfactantes, Clorofila a e Fósforo Total. |
| | ICF | Índice da Comunidade Fitoplanctônica | Ambientes lênticos utilizados para abastecimento; ou estado mesotrófico | Comunidade Fitoplânctônica |
| | ICZ | Índice da Comunidade Zooplanctônica | Proteção da vida aquática | Comunidade Zooplânctônica e Clorofila a |
| **Rede de Balneabilidade** | IB | Índice de Balneabilidade | Balneabilidade / Recreação | Coliformes Termotolerantes ou Escherichia coli |
| **Rede de Sedimento** | CQS | Critério de Qualidade do Sedimento | Proteção da vida aquática | Contaminantes químicos que possuem valores estabelecidos pelo CCME[1]; Ensaio Ecotoxicológico com Hyalellaazteca, Comunidade Bentônica. |
| | ICB | Índice da Comunidade Bentônica | Proteção da vida aquática | Comunidade Bentônica |

Fonte: (CETESB, 2013

## 4. Índice do Estado Trófico

De acordo com a média anual do Índice de Estado Trófico (Lamparelli 2004), que se baseia nas concentrações sub-superficiais dos teores de clorofila-a, fósforo total e profundidade de desaparecimento do disco de Secchi, as estações de montante (01-05) foram classificadas de mesotróficas a meso-eutróficas. As demais passaram para eutróficas, com exceção da estação GUA-12 que foi classificada como supereutrófica (FIG.1). Considerando a escala temporal, a maioria das estações de amostragem decresce em qualidade no período de inverno, com exceção da GUA-12 (Aquased, 2013).

Na FIG. 2 é representada a classificação anual do IET na malha espacial de amostragem da represa do Guarapiranga. Nota-se claramente a compartimentalização horizontal da represa em relação ao estado trófico, de montante para jusante, bem como as condições mais comprometidas da estação GUA12, que recebe os córregos Gavirutuba e Itupu (Aquased, 2013).

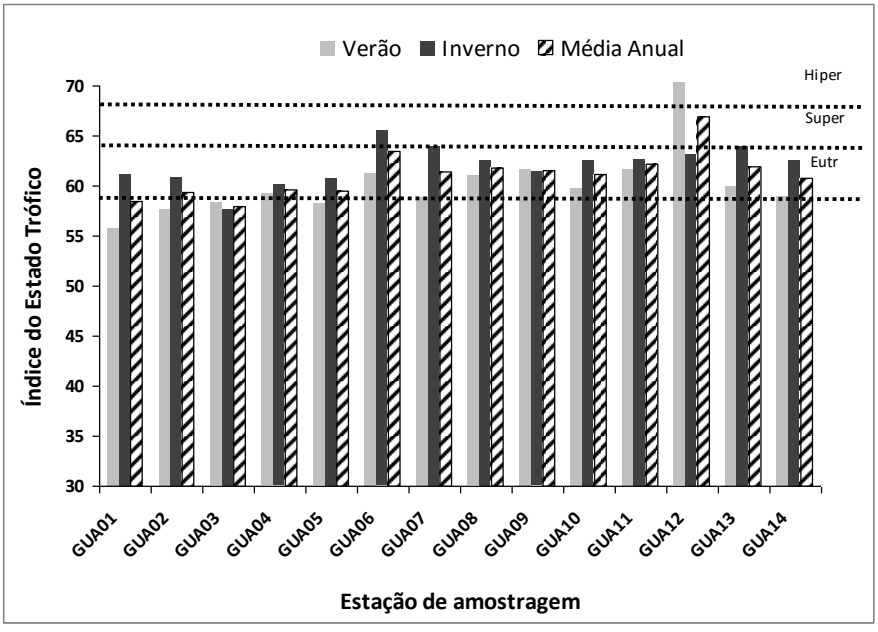


**FIGURA 1 -** Índice de Estado Trófico (IET) das estações de amostragem na Represa Guarapiranga, para os períodos de verão, inverno e média anual. Fonte: **(Aquased, 2013).**

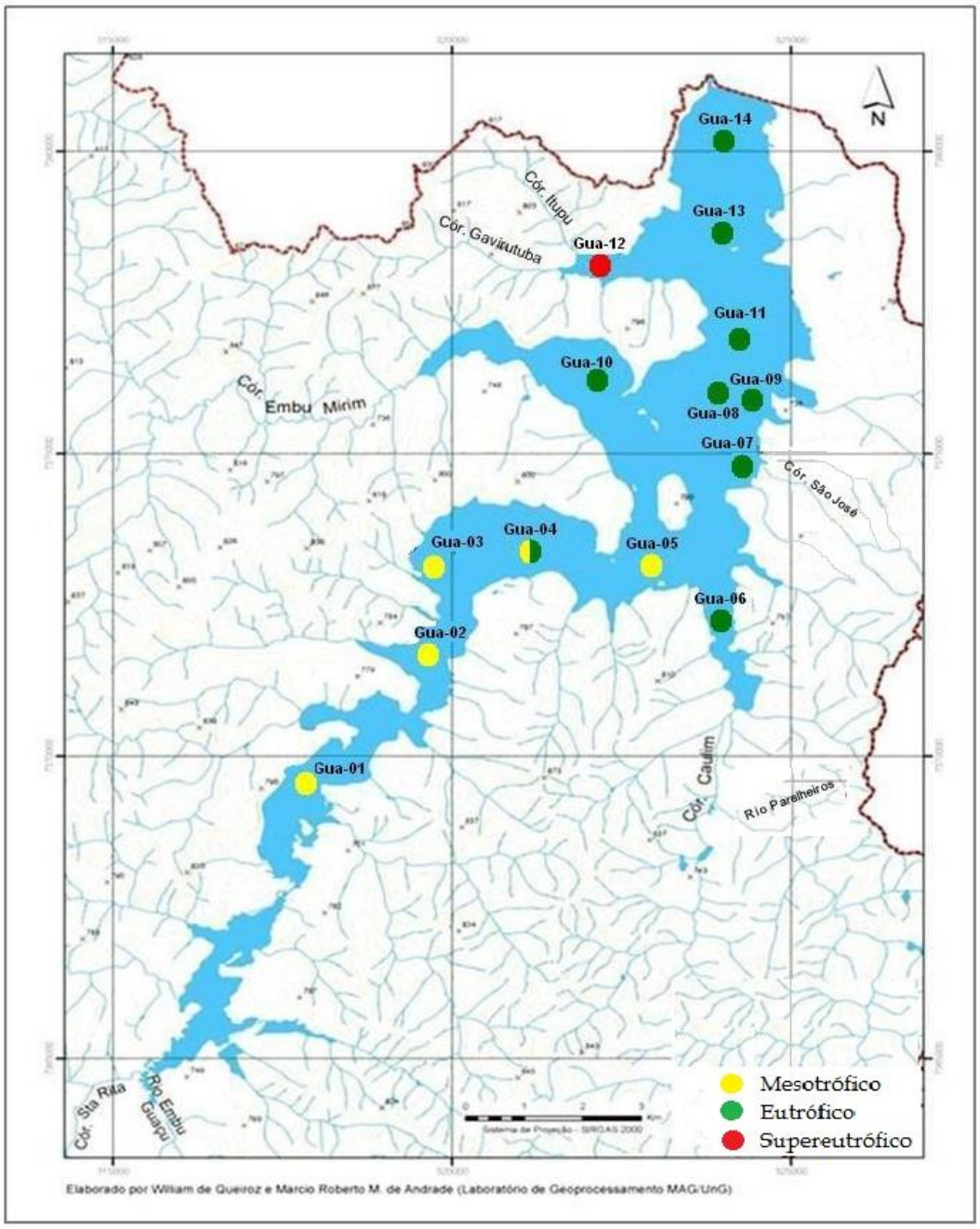


**FIGURA 2 -** Índice de Estado Trófico anual na malha espacial de amostragem na Represa Guarapiranga.

Fonte: **(Aquased, 2013).**

## 5. Reversão das águas do braço Taquacetuba Billings para o Guarapiranga

A grande expansão populacional ocorrida nos últimos anos na RMSP causou um grande impacto nas demandas de água, a partir de meados do ano de 2000 e com a estiagem prolongada, séries históricas começaram a ocorrer provocando o racionamento de água.

Um fator importante na modificação da qualidade da água no reservatório do Guarapiranga é que no ano de 2000 iniciou-se a transferência de água do reservatório da Billings para o reservatório do Guarapiranga capitada através do braço Taquacetuba, objetivando incrementar a captação de água em 4 $m^3. s^{-1}$.

O Sistema Produtor Taquacetuba-Guarapiranga consiste na transposição das águas do Braço Taquacetuba da Represa Billings para a Represa Guarapiranga, e se destina incrementar o suprimento de água à população da Região Metropolitana de São Paulo. No projeto do Taquacetuba foi contemplada a construção de duas estações elevatória, uma extensão de aproximadamente 14 km de uma adutora com trechos de 1500 e 1200 mm de diâmetro e também um tanque unidirecional de amortecimento, além de três válvulas de dissipação de energia ao desaguar na Represa Guarapiranga.

A reversão do braço Taquacetuba da Billings para o reservatório do Guarapiranga como apresentado na FIG.3 é uma medida contraditória, pois embora a capacidade do reservatório do Guarapiranga seja aumentada entre 2 e 4$m^3. s^{-1}$, o parecer técnico pela CETESB n°01/97ER/DA/DD (Matsuzaki, 2007 apud CETESB, 1997) diz que com a transposição poderia ocorrer impactos a biota aquática e à saúde pública associados à ressuspensão de sedimento contaminados do reservatório Billings e à introdução de organismos não existentes no reservatório Guarapiranga.

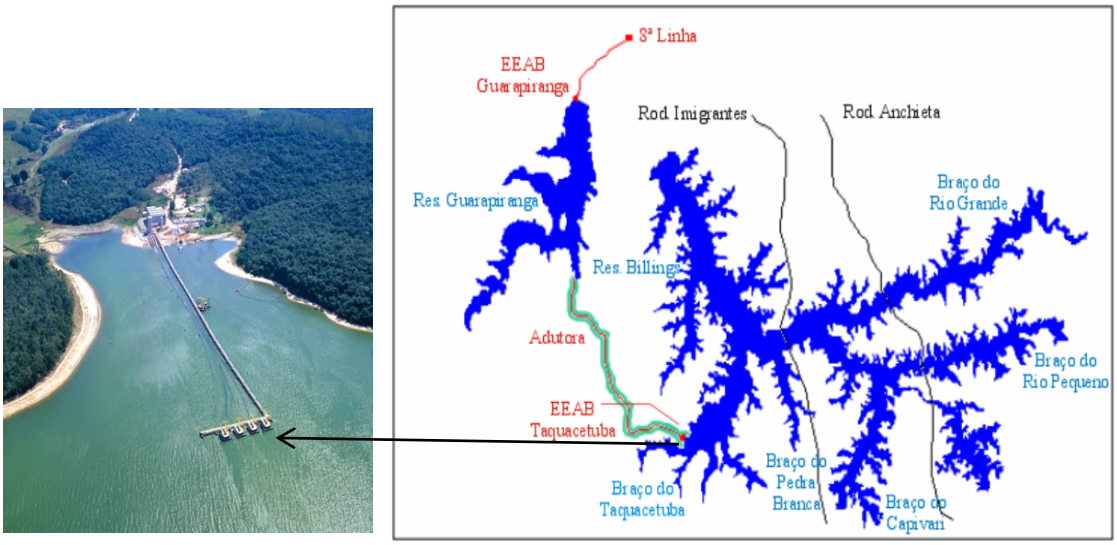


**FIGURA 3 -** Estação de bombeamento do braço Taquacetuba da Billings para o reservatório Guarapiranga.
Fonte: (SABESP, s. d & James Shiromoto, 2005)

As águas transpostas do braço Taquacetuba se encontram próximas da bacia do rio Parelheiros, afluente ao reservatório Guarapiranga demonstrada na FIG. 5. Ocupa uma área de 93 hectares, tendo ainda como contribuinte significativo o córrego Itaim. Segundo (Matsuzaki, 2007) em 2002 foram encontrados em ambos os afluentes valores de fósforo que variam de 0,057 a 0,175 $mg.L^{-1}$, mantendo em estado hipereutrófico, e que os valores de fosforo se mantiveram acimado dos valores estabelecidos no CONAMA 357/05 para águas classe 2, nitrogênio que variam de 0,5 a 3,93 $mg.\ L^{-1}$.

As elevadas concentrações de nutrientes podem estar associadas a cargas difusas como também demostrado no trabalho de (ANDRADE, 2005) onde se verificou as altas concentrações de fósforo no rio Parelheiros tanto em período seco como chuvoso e também como a ineficiência de afastamento de esgoto sanitário oriundos da ocupação da região, que foram atribuídas às fontes difusas na várzea como mostra a FIG. 5, onde apresenta alteração antrópica que envolve o uso agrícola, lazer (campo de futebol) e invasões imobiliárias.

Os valores de fósforo na Billings foram menores que nas águas transpostas para o reservatório do Guarapiranga. As águas de rios e riachos degradam sua bacia, que possui diversos núcleos habitacionais, alguns construídos legalmente e outros não, muitas destas ocupações não dispõem de sistema de coleta ou afastamento de esgoto, e na área onde existe o sistema de coleta de esgoto, muitos não utilizam pois apresentam um dispendido mensal, desta forma a várzea apresenta bastante influência antrópica (GEOTEC, 2001).

**FIGURA 4 -** Local do canal de recepção das águas transpostas do braço Taquacetuba do reservatório Billings para o reservatório do Guarapiranga.

**FIGURA 5 -** Várzea do rio Parelheiros nas proximidades das águas transpostas do braço Taquacetuba.

Importante ressaltar que a CETESB em 2007 classificou as águas transpostas do braço Taquacetuba como sendo de pior qualidade que a do Guarapiranga, como apresentado na FIG. 6. No entanto, a várzea do Parelheiros tem o papel importante de absorver a maior parte dos nutrientes nesta região, fazendo com que esta mesma região do Guarapiranga permaneça mais preservada do que outras regiões do reservatório.

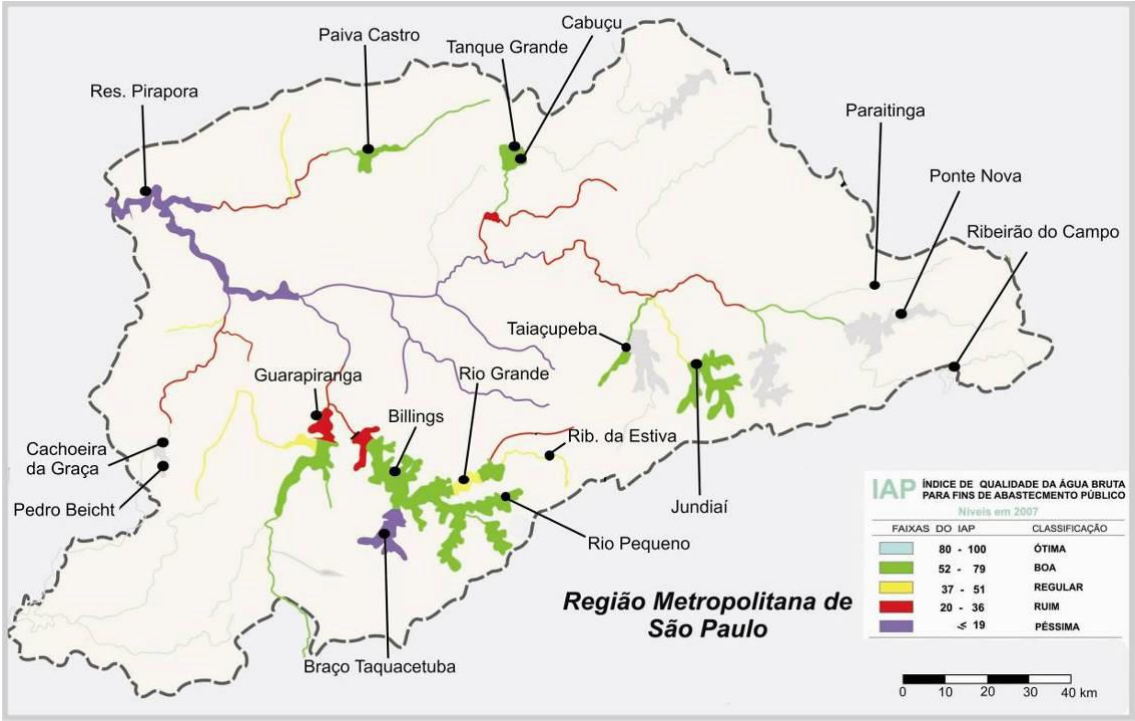


**FIGURA 6 -** Qualidade das Águas do Braço Taquacetuba da Represa Billings bombeada para o Reservatório Guarapiranga.

Este ponto de transposição foi escolhido pela SABESP pelo fato de ser um local onde existe uma maior produção de água no reservatório da Billings, não prejudicando o sistema como um todo, tendo em vista que o reservatório Billings tem as funções de geração de energia na usina de Henry Borden e abastecimento público, além de regularizar a vazão do rio Pinheiros em períodos chuvosos na região metropolitana de São Paulo.

## 6. Valores Guias de Qualidade de Sedimento (VGQS)

De acordo com os estudos de Silverio (2003), os sedimentos agem com um reservatório de contaminantes para o ambiente e para os organismos que vivem sob ou que estão em contato direto com este compartimento, os sedimentos contaminados apresentam um grande risco para a biota. Uma avaliação eficaz deste risco reque um entendimento das relações entre concentrações de contaminantes nos sedimentos e as ocorrências de efeitos adversos à biota (Silva, 2008).

Os valores-guia de qualidade de sedimento (VGQS) foram desenvolvidos pelo Conselho Canadense do Ministério do Meio Ambiente. Os valores foram estabelecidos por meio da consulta e compilação de bancos de dados de agências governamentais do Canadá e EUA, que relacionaram concentrações químicas de metais e outros compostos tóxicos a múltiplos testes de toxicidade, com o uso de sedimentos naturais e enriquecidos em laboratórios (Padial, 2008).

A avaliação concisa desse risco depende da correlação entre as concentrações desses contaminantes e a ocorrência dos efeitos causados à biota, baseada em informações químicas, físicas, biológicas e toxicológicas. Uma importante ferramenta utilizada como referência na avaliação, tomada de decisões e gerenciamento de ambientes contaminados são os Valores-Guia de Qualidade de Sedimentos, os VGQS (Brito, 2014).

A partir de análises de efeitos biológicos e da relação causa e efeito das substâncias na biota, foram elaborados os VGQS de efeitos limiares (Threshold Effect Level- TEL), que são valores abaixo dos quais efeitos tóxicos à biota são improváveis e os VGQS de efeitos prováveis (Probable Effect Level PEL), que são valores acima dos quais efeitos biológicos adversos são prováveis (Padial, 2008).

Grande parte dos estudos de sedimento compara os resultados analisados com os VGQS para estabelecer à toxicidade do sedimento e a presença de substâncias químicas tóxicas a biota (TAB. 4). Outra comparação importante é com Valores de Referência Regional (VRR), que são valores de concentração que seriam naturalmente encontrados no local, em níveis anteriores à influência antrópica, considerando as características geológicas regionais (Padial, 2008).

Logo as concentrações de metais e semi-metais em sedimentos foram comparadas com os valores de TEL – Treshold Effect Level e PEL- Probable Effect Level listados na TAB. 4. (CCME- Canadian Concil of Ministers of the Environment, 2012).

**TABELA 4 -** Comparação de valores de metais analisados por diferentes autores, em diferentes mananciais, com os VGQS.

| **Autor** | [1] Paula Regina Padial | [2] Antonio Mozeto Gisela de Aragão Wilson de Figueiredo | Antonio Mozeto Gisela de Aragão Wilson de Figueiredo | [3]Marcos Lemes | Marcos Lemes | VGQS | VGQS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Elemento (mg. Kg$^{-1}$)** | **Guarapiranga** | **Rasgão** | **Billings** | **Rio Jaguari Mirim** | **Rio Canoas** | **TEL** | **PEL** |
| Ag | | | | 2,6 | 0,14 | | |
| Al | | | | 436 | 349 | | |
| As | | 6,7 | 14 | | | 5,9 | 17 |
| Ba | | | | 1358 | 973 | | |
| Ca | | | | 826 | 987 | | |
| Cd | 2,7 | 2,4 | 3 | 0,3 | 1,5 | 0,596 | 3,53 |
| Co | | | | 3,4 | 4,3 | | |
| Cr | 541,2 | 142 | 112 | 1,1 | 1,7 | 37,3 | 90 |
| Cu | 1089, 7 | 224 | 169 | 7,7 | 6,5 | 35,7 | 197 |
| Fe | | | | 3134 | 3144 | | |
| Hg | | 0,22 | 0,39 | | | 0,174 | 0,486 |
| Mg | | | | 136 | 205 | | |
| Mn | | | | 763 | 499 | | |
| Ni | 8,5 | 86 | 83 | 1 | 1,7 | 18 | 35,9 |
| P | | | | 18,9 | 8 | | |
| Pb | 59,1 | 104 | 82 | 4,7 | 4,7 | 35 | 91,3 |
| Zn | 126, 5 | 858 | 423 | 10,4 | 5,5 | 123,1 | 315 |

**Fonte:** [1]. **Padial, P.R. 2008**. Qualidade, heterogeneidade espacial e biodisponibilidade de metais no sedimento de um reservatório tropical urbano eutrofizado (Reservatório Guarapiranga, SP) [2] **Jardim, W.F.; Mozeto, A.A.; Umbuzeiro,G.A. 2006**. Projeto Qualised: Métodos de coleta, análises físico-químicas e ensaios biológicos e ecotoxicológicos de sedimentos de água doce. [3] **Lemes, M. J. L. 2001**. Avaliação de metais e elementos-traço em águas e sedimentos das Bacias Hidrográficas dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo, São Paulo.

# 7. OBJETIVOS

Avaliar a qualidade ambiental do reservatório do Guarapiranga, quanto aos parâmetros físico-químicos e a presença metais e semi-metais, de forma a observar o comportamento destes elementos provenientes de atividades antrópicas e/ou naturais, e estabelecer um diagnóstico da área sistematizando as informações e ampliando as existentes.

## 7.1 Objetivos específicos

Monitorar o reservatório do Guarapiranga quanto as possíveis contribuições de cátions e ânions, metais e semi-metais em amostras de sedimento de fundo e água bruta nos compartimentos de superfície, meio e fundo, utilizando também como critérios de avaliação a legislação do COMANA 357/05 e os valores da legislação Canadense TEL E PEL;

Verificar a influência da sazonalidade no aporte de possíveis contaminantes;

Disponibilizar informações deste trabalho em um banco de dados de qualidade de água e sedimento do reservatório do Guarapiranga, e compreender fatores que afetam estas condições de qualidade.

# 8. MATERIAIS E MÉTODOS

## 8.1 Área de Estudo

O Reservatório Guarapiranga foi construído pela empresa Canadense *"The São Paulo Tramway, Light"* e *"Power Company*" hoje conhecida como Eletropaulo entre 1906 e 1909, como o represamento do rio Guarapiranga conhecido também como rio Embu-Guaçu que é afluente do rio Pinheiros (Cardoso, 2008). A razão para sua construção foi destinada à regularização da vazão do Rio Tietê e consequentemente aumentar a geração de energia elétrica na Usina de Santana de Parnaíba, que tinha sua função comprometida no período de estiagem.

O reservatório hoje chamado de Guarapiranga foi construído na região de Santo Amaro, na época município administrativamente independente de São Paulo. Foi denominada de Represa de Santo Amaro, passando a ser chamada de Represa Velha, depois da construção, e por último recebeu a denominação de Represa de Guarapiranga, nome derivado do tupi-guarani e que significa "garça vermelha".

Possui perímetro de 85 km, área de espelho d'água de 26,6 $km^2$, respectivamente. Localiza-se na 23º43" latitude Sul, 46º32" longitude Oeste e altitude de 740 m, suas características são apresentadas na TAB. 5 (CETESB, 1988).

**TABELA 5-** Características do reservatório do Guarapiranga

| Característica | Valor | Fonte |
|---|---|---|
| Profundidade média e máxima | 5,7 – 13 m | (CETESB, 1988) |
| Tempo de retenção da água | 185 dias | (Beyruth 2000) |
| Volume | 194 x $10^6$ $m^3$ | (Mozeto, Silvério & Soares 2001) |
| Área da represa | 33 $km^2$ | (Ducrot, et al. 2005) |
| Área de drenagem | 639 $km^2$ | (Beyruth 2000) |
| População | 3,8 milhões de habitantes | (Ducrot, et al. 2005) |
| Captação | 12 a 14,3 $m^3$. $s^{-1}$ | (Ducrot, et al. 2005) |

O reservatório do Guarapiranga é uma sub-bacia da bacia hidrográfica do Alto Tietê e está totalmente situada no estado de São Paulo estendendo-se por uma área aproximada 639,11 ha. $Km^2$ (Guimarães, 2011). Fazem parte dessa bacia áreas parciais dos municípios de Cotia, Embu, Itapecerica da Serra, Juquitiba, São Lourenço da Serra e São Paulo, e integralmente a área do município de Embu-Guaçu como pode ser observado na FIG. 7 (SMA/CEA, 2008). Possui área de drenagem de 638 $km^2$ (8% da área total da Região Metropolitana de São Paulo), e tem como principal corpo d'água, o reservatório formado pelo represamento do rio Guarapiranga (PDPA, 2012).

**FIGURA 7 –** Bacia do reservatório do Guarapiranga
Fonte: Adaptação de (SMA/CEA, 2008).

O sistema produtor de água Guarapiranga tem contribuição de aproximadamente 97%, das águas dos rios Embu-Mirim, Embu–Guaçu, Parelheiros e Ribeirão Santa Rita e outros cursos de água menores como o Ribeirão Itaim, Represa e Fazenda da Ilha, e os córregos Luzia, Itararé, Fundo, Piquiri, Itupu, Guavirutuba, São José, Bonito, Rio das Pedras, Tanquinho e Barro Branco, Casa Grande e pequenos córregos de abastecimento hídrico, também duas transposições de água de outras bacias hidrográficas: a reversão do rio Capivari para o rio Embu-Guaçu e a reversão das águas do braço Taquacetuba, da Represa Billings, para o rio Parelheiros apresentado na FIG. 8 (São Paulo, SMA/CEA, 2008).

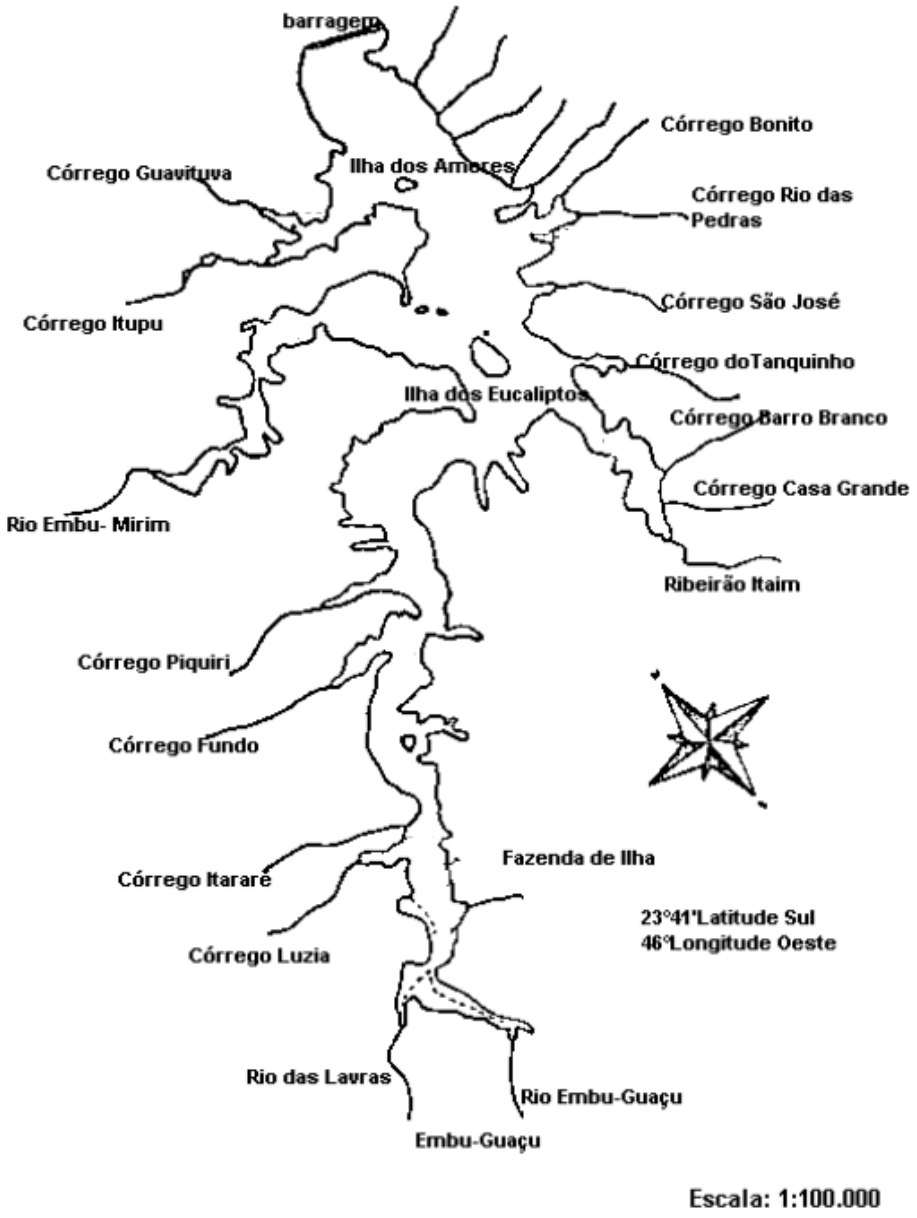


**FIGURA 8 -** Afluentes do Guarapiranga e seus 17 córregos de menor extensão. Fonte: (Cutolo, s.d)

Abriga uma região de transição entre a mancha urbana da metrópole e as escarpas da Serra do Mar, ainda recobertas de remanescentes da Mata Atlântica. Incorpora, ao norte, territórios densamente urbanizados, concentrados principalmente em torno do lago; e, ao sul, territórios ainda relativamente preservados, compreendendo as cabeceiras dos rios Embu Guaçu e Santa Rita (seu afluente), já próximos à vertente marítima da Serra do Mar. A leste

confronta-se com a bacia do Reservatório Billings, também bastante urbanizada no trecho próximo à barragem, e a sudeste, com a bacia do Capivari-Monos, ainda pouco ocupada. A oeste confronta-se com a bacia do rio Cotia (PDPA, 2012).

No ano de 1928 passou a ser utilizado como manancial para abastecimento público da cidade de São Paulo e atualmente é responsável pelo abastecimento de aproximadamente 20% da RMSP, ou seja, aproximadamente 5,1 milhões de pessoas residentes nos bairros de Butantã, Campo Limpo, Morumbi e Santo Amaro na capital e no município de Taboão da Serra, através do fornecimento de 14 $m^3.s^{-1}$ para o sistema produtor Guarapiranga, constituído pela estação de tratamento de água Alto da Boa Vista, operada pela SABESP (PDPAG, 2012; Helou, 1987 & Folha de São Paulo, 2015).

Este reservatório é relatado como eutrófico desde 1960 devido à descarga de esgoto não tratado (Mozeto, Silvério & Soares 2001), sendo classificado como hipereutrófico em 1994. A ocupação do entorno da represa Guarapiranga foi marcada, em 1920, com edifícios residenciais e clubes, que eram atraídos por ofertas de lazer e pela qualidade da paisagem. Nos anos 1930 e 1940 começaram a se formar os loteamentos, mas nos anos 1950 e 1960 as ofertas de loteamentos residenciais aumentaram. Os sinais iniciais de degradação da qualidade de água e da região apareceram na década de 50, quando a Sociedade Amigos de Interlagos começou a pedir a construção de um coletor de esgotos na margem direita.

Em 1990 o governo criou um programa de recuperação ambiental da região e contou com auxílio financeiro do Banco Mundial, investindo mais de US$ 300 milhões na região, em particular em redes de esgotos e reurbanização de favelas. Contudo esses investimentos não foram suficientes, pois a qualidade da água piorou ao longo dos anos e a quantidade de água disponível encontra-se cada vez mais comprometida.

A qualidade das águas do reservatório piora a cada ano com a interferência humana, que faz o custo do tratamento da água ficar alto, apesar de metade de a população ter algum tipo de coleta de esgoto (PDPAG, 2012 & ISA, 2006).

A estimativa de habitantes no entorno da região em 2014, apresentada na TAB. 6, é de 762 mil habitantes, totalizando os municípios de Embu das artes, Embu-Guaçu, Itapecerica da Serra, Juquitiba e São Lourenço da Serra. Na região de São Paulo, que abrange os bairros de Parelheiros, Capela do Socorro e M'Boi Mirim, os dados em 2010 eram de 1.289.418 de habitantes na região, os dados estão apresentados na TAB. 7 (IBGE, 2015).

**TABELA 6-** Estimativa da população residente nos municípios que estão no entorno da Bacia Guarapiranga, dados de 2014.

| Município | Habitantes |
|---|---|
| **Cotia** | 225.306 |
| **Embu das artes** | 259.063 |
| **Embu-Guaçu** | 66.792 |
| **Itapecerica da Serra** | 165.327 |
| **Juquitiba** | 30.443 |
| **São Lourenço da Serra** | 15.028 |
| **Total** | **761.959** |

Fonte: (IBGE, 2015)

**TABELA 7 -** População residente no entorno da represa Guarapiranga por bairros de São Paulo, em 2010.

| Bairros de São Paulo | Habitantes |
|---|---|
| **Capela do Socorro** | 594.930 |
| **M'Boi Mirim** | 563.305 |
| **Parelheiros** | 131.183 |
| **Total** | **1.289.418** |

Fonte: (IBGE, 2015)

A carga poluidora na represa do Guarapiranga é causada especialmente por despejos de esgotos (provenientes de residências, de comércio, de ruas, de pequenas indústrias e de atividades agrícolas, entre outros) e a poluição difusa (resíduos que não são descartados e coletados adequadamente) (SMA/CEA, 2008). Com o aumento da ocupação irregular no entorno da bacia do Guarapiranga, através da implantação de favelas e loteamentos populares sem infraestrutura, os esgotos gerados por esses indivíduos são lançados *in natura* na represa, considerado o maior fator de sua degradação (BALTRUSIS, et al., 2006).

Como pode ser observado na FIG. 9, mais de 50% de 200 mil domicílios possuem rede de esgoto, mas ainda existem muitos domicílios sem a rede de esgoto, cerca de 30%. A falta de rede de esgoto agrava cada vez mais as condições de qualidade de água. Com saneamento básico os riscos de contaminação e transmissão de doenças são evitados e também são evitadas as contaminações ambientais (SMA/CEA, 2008).

Em 2003, 59% da Bacia do Guarapiranga estava alterada devido à atividades antrópicas. Esta parcela está dividida entre usos antrópicos (42%) e usos urbanos (17%). As áreas de vegetação remanescente de Mata Atlântica na região estavam em 37% da área da bacia, em 2003. Estas fisionomias são primordiais para a manutenção da capacidade de produção hídrica e o equilíbrio ambiental (WHATELY, et al., 2006).

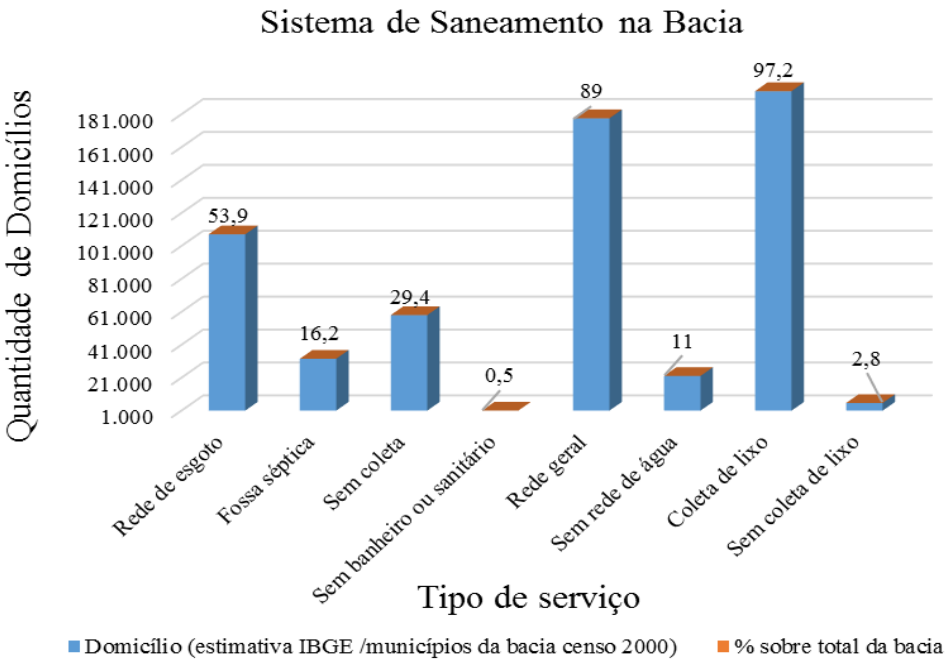


**FIGURA 9 -** Sistema de Saneamento da Bacia Guarapiranga

Fonte: Adaptado da (SMA/CEA, 2008).

## 8.2 Amostragem

Foram realizadas quatro campanhas de coleta no período de 2011 a 2013, em quatorze pontos distribuídos na Represa do Guarapiranga, conforme apresentado na FIG. 10.

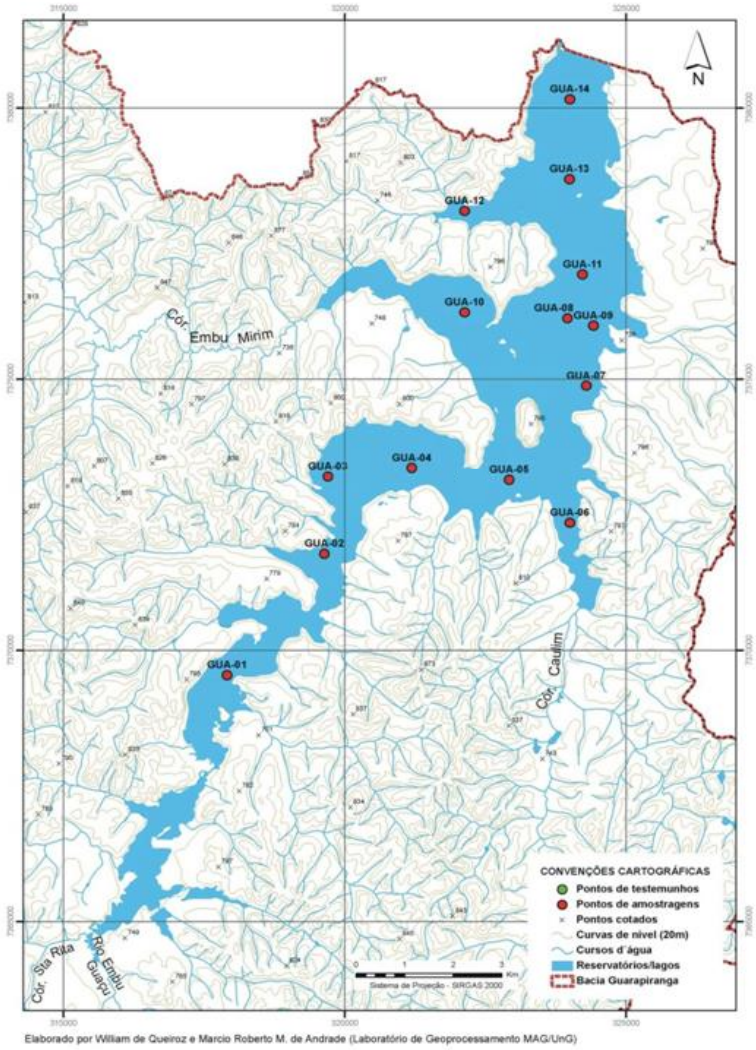


**FIGURA 10 -** Mapa dos pontos de coleta do reservatório do Guarapiranga.

As estações de amostragem foram escolhidas visando avaliar o reservatório como um todo e também a influência dos aportes dos tributários que compõem o seu sistema, de modo a avaliar a sua heterogeneidade, abrangendo um ciclo hidrológico de seca e chuva, e conhecer a influência das sub-bacias na qualidade da água da do reservatório.

Os pontos de coleta 06, 07, 09, 10, 11 e 13 são os pontos que a SABESP já faz o monitoramento, já os pontos 01, 02, 03, 04, 05, 08 e 14, foram os pontos escolhidos pelo projeto para que se tivesse uma maior abrangência do reservatório. As coordenadas geográficas e a descrição dos pontos, entre outras observações de coleta, são apresentadas na TAB. 8.

**TABELA 8 -** Descrição dos pontos de coleta de água e sedimento e coordenadas geográficas.

| Pontos de Referência | Local de amostragem | Coordenadas | Observações |
|---|---|---|---|
| GUA-01 | 01 | 23º46,496'S 46º47,220'W | Influência do rio Embu-Guaçu. Local mais protegido com duas espécies de macrófitas. |
| GUA-02 | 02 | 23º45,295'S 46º46,187'W | Influência do Córrego Mombaça (esgoto) Urbanização desordenada. Com bolhas de gás na superfície. Rodoanel |
| GUA-03 | 03 | 23º 44,522'S 46º46,136'W | Com cheiro de esgoto e banco de Salvinia. |
| GUA-04 | 04 | 23º44,446'S 46º45,258'W | Próximo à estação de monitoramento em tempo real da SABESP. |
| GUA-05 | 05 | 23º44,575'S 46º44,242'W | Entre a Ilha da Formiga e o Solo Sagrado. |
| GUA-06 | 06 | 23°45,012´S; 46°43,615´W | Várzea da Transposição do Taquacetuba (encerrada em 2009). |
| GUA-07 | 07 | 23°43,647´S; 46°43,423´W | Entre a saída do Córrego Tanquinho e o Córrego São José. |
| GUA-08 | 08 | 23º42,969'S 46º43,612'W | Floração de cianobactérias (Dia ensolarado). |
| GUA-09 | 09 | 23º43,046'S 46º43,340'W | Próximo à saída do Rio das Pedras e Rio Bonito. Apresentava uma floração. |
| GUA-10 | 10 | 23º42,899'S 46º44,687'W | Ponto que sofre influência do Rio Embu-Mirim. Cianobactérias. Entre a antena e o Heliporto. |
| GUA-11 | 11 | 23º42,534'S 46º43,449'W | Ponto próximo ao Córrego sem nome. |
| GUA-12 | 12 | 23º41,885'S 46º44,673'W | Próximo às saídas do Córrego Itupu e do Ribeirão Guavirutuba. Cheiro forte de esgoto próximo à estação de remoção de nutrientes. |
| GUA-13 | 13 | 23º41,580'S 46º43,573'W | Cheiro forte. Ponto com aplicação de Algicida. |
| GUA-14 | 14 | 23º40,782'S 46º43,559'W | Em frente à captação de água. Entre o Iate Clube e o começo do parque Guarapiranga. Pode ter sofrido influência da aplicação de algicida. Algas com aparência esbranquiçada. |

O programa de coleta do reservatório do Guarapiranga é apresentado na TAB. 9, as coletas foram realizadas com o auxílio da embarcação da SABESP e com o apoio da sua equipe.

**Tabela 9 –** Programa de amostragem e compartimento amostrado realizado no reservatório do Guarapiranga

| Compartimento amostrado | **Programa de Amostragem** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Mar/11 | Ago/11 | Set/12 | Abri/13 |
| Água (Superfície, Meio e Fundo). | X | X | X | X |
| Sedimento | - | X | - | - |

Os resultados apresentados neste trabalho se referem aos pontos amostrados conforme a TAB. 10. É importante ressaltar que algumas amostras não foram coletadas por não haver profundidade suficiente: as coletas de agosto de 2011 nos pontos 01, 02, 03, 06, 07 e 12, de setembro de 2012 nos pontos 01, 02, 03, 06, 09 e12, e em abril 2013 nos pontos, 01, 03, 06, 07 e 12. Foram ainda realizadas medidas das variáveis temperatura, pH, condutividade e oxigênio dissolvido por meio da sonda multiparâmetro Horiba U-22.

**TABELA 10-** Profundidade das coletas realizadas no período de 2011-2013

| **Período Coletado** | **Profundidade (m)** | **Pontos de Coleta** | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **01** | **02** | **03** | **04** | **05** | **06** | **07** | **08** | **09** | **10** | **11** | **12** | **13** | **14** |
| **2011** | **Fundo** | 0,5 | 2,6 | 3 | 5 | 6,2 | 2,8 | 2,2 | 5 | 7,5 | 5 | 9 | 3 | 9,3 | 8,7 |
| | **Meio** | * | * | * | 2,5 | 3 | * | * | 2,5 | 4 | 2 | 4,5 | * | 4,5 | 4 |
| **2012** | **Fundo** | 2,6 | 3,4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4,9 | 8 | 4 | 6 | 9,6 | 3,9 | 9,9 | 8,9 |
| | **Meio** | * | * | * | 2,5 | 2,5 | * | 2,5 | 4 | * | 2,5 | 5 | | 5 | 4,5 |
| **2013** | **Fundo** | 3 | 4,5 | 4 | 6 | 7 | 4 | 3,5 | 9 | 6 | 5 | 9 | 4 | 10 | 10 |
| | **Meio** | * | 2 | * | 3 | 3,5 | * | * | 4 | 3 | 2,5 | 4 | * | 5 | 5 |

***: não apresentou profundidade suficiente para realização da coleta.**

As coletas foram realizadas conforme recomendações do guia de coletas da CETESB & ANA (2011) e do Standard Methods (2005). Para a determinação de metais, foram coletadas duas alíquotas, uma para análise de metais disponíveis e outra para metais totais, onde em laboratório as amostras foram preservadas com $HNO_3$ 1:1 Merck até atingir pH<2. As amostras de água foram coletadas em frascos de polietileno com capacidade de 250 mL, previamente descontaminados e preservadas sobre refrigeração a 4ºC.

Foram avaliados os elementos, Ag, Al, As, B, Ba, Cd, Co, Cr, Ca, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Se, Sn, V, Zn, Sb, $F^-$, $Cl^-$, $NO_3^-$, $PO_4^{-3}$ e $SO_4^{-2}$ para água. Em campo foram medidos os parâmetros de pH, condutividade, temperatura, oxigênio dissolvido, turbidez, transparência, potencial redox.

Todas as análises foram realizadas nos Laboratórios do Centro de Química e Meio Ambiente do IPEN-CNEN/SP. A Instituição possui política de qualidade, na qual os laboratórios têm participado de Programas Inter Laboratoriais e Testes de Proficiência, obtendo resultados consistentes, além de fazerem parte do Programa Brasileiro de Metrologia Química. Os resultados obtidos foram comparados com os valores estabelecidos pela Resolução CONAMA 357.

### 8.3 Coleta de Água

Foram realizadas quatro campanhas de coleta de água em março e agosto 2011, setembro 2012 e abril 2013. Foram coletadas amostras de água de superfície, meio e 1 metro acima do fundo, utilizando uma garrafa “Van Dorn”, conduzida às profundidades desejadas. As amostras de superfície foram coletadas aproximadamente 30 cm de profundidade e para a coleta das amostras de meio e fundo, foi medida a profundidade máxima de cada ponto e estipulado às profundidades de coleta de acordo com a profundidade máxima.

Foram ainda realizadas medidas de variáveis como temperatura, pH, condutividade e oxigênio dissolvido por meio de uma sonda multe parâmetros Horiba U-22.

A extração dos metais totais em água foi feita pelo método USEPA 3015, utilizado para digestão de amostras de água de rios, córregos, lagos e águas residuais e consiste basicamente de digestão ácida com $HNO_3$ em micro-ondas em sistema pressurizado com temperatura e pressão controladas.

As amostras foram pipetadas 45 mL de amostra com pipetas volumétricas e adicionado 1 mL de HCl e 4 mL de $HNO_3$ 65%, em uma célula de teflon de micro-ondas e executado o programa de aquecimento descrito na TAB. 11. Após esfriarem as amostras foram filtradas em papel de filtro quantitativo.

**TABELA 11 -** Programa de aquecimento do micro-ondas para amostras de água.

| T1 | Potência | T2 | Potencia |
|---|---|---|---|
| 20 | 630W | 10 | 0W |

T= Tempo em minutos.

A extração de fósforo total nas amostras de água foi realizada segundo método USEPA 4500 P-B, através de digestão ácida com $H_2SO_4$ e $HNO_3$ em sistema de micro-ondas com temperatura e pressão controladas. Foram pipetadas 50 mL de amostra com pipetas volumétricas e adicionado 1 mL de $H_2SO_4$ e 1 mL de $HNO_3$ 65%, em uma célula de teflon de micro-ondas e executado o programa de aquecimento descrito na TAB. 12. Após esfriarem as amostras foram transferidas para um tubo falcon e posteriormente analisadas.

**TABELA** 12 - Programa de aquecimento do micro-ondas para amostras de água.

| T1 | Potencia | T2 | Potencia |
|---|---|---|---|
| 20 | 630W | 10 | 0W |

T= Tempo em minutos.

Para os metais dissolvidos em água as amostras foram filtradas a vácuo, com membrana de 0,45 microns. Para preservação as amostras foram acidificadas com 15µL de ácido nítrico ($HNO_3$) P.A. da Merck.

Para os cátions e ânions em água, as amostras foram filtradas em um sistema de filtração a vácuo utilizando membrana 0,45 microns e diâmetro e posteriormente analisadas.

### 8.4 Coleta de sedimento

A campanha de coleta de sedimentos foi realizada em agosto de 2011, correspondente ao período de inverno e também a estação mais seca. Foi utilizado um amostrador de sedimento por gravidade modificado, da marca UWITEC (MONDSEE, Áustria) pertencente ao Instituto Internacional de Ecologia. Após a coleta as amostras foram resfriadas e mantidas a 4°C até o início de seu preparo no laboratório. Posteriormente as amostras foram secas em estufa a 60°C por 5 dias, moídas em almofariz de ágata e peneiradas a 80 mesh (1mm).

A digestão do sedimento para análise de metais e semi-metais seguiu o procedimento descrito pela Agência de Proteção Ambiental americana EPA 3051a (USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY 1994), que consiste basicamente de digestão ácida em sistema de micro-ondas

com temperatura e pressão controladas, visando a posterior quantificação de metais e elementos traço.

Foram pesados 0,5g de amostra de sedimento previamente peneirado em peneira de 250 MESH, adicionou-se 10 mL de $HNO_3$ e 3 mL de HCl 65% na célula de teflon de micro-ondas e executado o programa de aquecimento descrito na TAB. 13 por 2 vezes. Após esfriarem as amostras foram filtradas em papel de filtro quantitativo.

**TABELA 13 -** Programa de aquecimento do forno micro-ondas para amostras de sedimento.

| T1 | Potencia | T2 | Potencia | T3 | Potencia | T4 | Potencia | T5 | Potencia |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 250W | 3 | 400W | 8 | 650W | 8 | 790W | 25 | 0 W |

T= Tempo em minutos.

## 8.5 Espectrometria de emissão óptica com plasma de argônio (ICP-OES)

Os elementos Ag, Al, B, Ba, Co, Cr, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Sn, V e Zn, foram analisados por Espectrometria de Emissão com Fonte de Plasma Induzido (ICP-OES). O equipamento utilizado foi Spectro Flame M 120 E – Spectro, com tocha axial, que dispõe de recursos em seu programa que possibilitam uma escolha criteriosa das linhas de emissão utilizadas para cada elemento (Cotrim, 2006; Lemes, 2001).

A Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma de Argônio (ICP-OES) é amplamente utilizada para análises ambientais (Cotrim, 2005; Reis, 2009; Lemes, 2001) por suas características gerais:

a) É uma técnica multielementar rápida que permite a determinação simultânea de seus constituintes maiores, menores e traço;

b) Embora a sensibilidade da técnica para muitos dos elementos comumente determinados não seja muito baixa (por exemplo, Cu, Cd, Ni, Pb e Zn) não existe grande diferença quando comparada a técnica Espectrométrica de Absorção Atômica (AAS), porém ela é muito sensível para elementos metálicos refratários (por exemplo, V, Be) bem como para alguns não-metálicos como B e P;

c) A baixa vulnerabilidade do ICP-OES para os interferentes interelementares faz com que a calibração para uma variedade de materiais ambientais seja muito mais fácil do que para a técnica de Espectrometria de Absorção Atômica.

Para a determinação dos elementos traço e metais utilizou-se o método da curva analítica por meio do uso de soluções padrões multielementares (Cotrim, 2005; Lemes, 2001; Soares, 2011) elaborando assim programas analíticos para cada elemento. A TAB. 14 apresenta as condições operacionais do ICP-OES.

**TABELA 14 -** Condições Operacionais do ICP-OES

| Padrões Operacionais | Condições |
|---|---|
| Potência do Plasma | 1200 W |
| Gás Refrigerante | 28 L. $min^{-1}$ |
| Gás Auxiliar | 1,5 L. $min^{-1}$ |
| Pressão do Nebolizador | 2,8 bar |
| Fluxo da amostra | 1,5 mL. $min^{-1}$ |

Fonte: (Cotrim, 2006)

A TAB. 15 apresenta o coeficiente de correlação faixa de concentração, limite de detecção e limite de quantificação obtidos.

**TABELA 15 -** Coeficiente de correlação, faixa de concentração, limite de detecção, limite de quantificação elemento traço para ICP-OES.

| Elemento | ʎ (nm) | Faixa de concentração (mg. $L^{-1}$) | Limite de quantificação (mg. $L^{-1}$) |
|---|---|---|---|
| Ag | 328,068 | 0,005-6,0 | 0,005 |
| Al | 167,083 | 0,002-1,2 | 0,002 |
| B | 249,773 | 0,003-1,2 | 0,003 |
| Ba | 455,403 | 0,003-1,2 | 0,0003 |
| Ca | 315,887 | 0,0006-1,2 | 0,006 |
| Co | 231,483 | 0,05-1,2 | 0,05 |
| Cr | 267,716 | 0,03-1,2 | 0,03 |
| Cu | 324,754 | 0,01-1,2 | 0,01 |
| Fe | 261,187 | 0,001-1,2 | 0,02 |
| K | 766,491 | 0,006-1,2 | 0,001 |
| Mg | 383,826 | 0,007-1,2 | 0,006 |
| Mn | 257,610 | 0,002-1,2 | 0,007 |
| Mo | 202,030 | 0,02-1,2 | 0,02 |
| Na | 589,592 | 0,02-1,2 | 0,002 |
| Ni | 231,604 | 0,02-1,2 | 0,02 |
| P | 177,500 | 0,02-1,2 | 0,02 |
| Sn | 283,999 | 0,02-1,2 | 0,02 |
| V | 290,882 | 0,01-1,2 | 0,01 |
| Zn | 213,856 | 0,003-1,2 | 0,003 |

**Fonte:** (Cotrim, 2006)

Esta metodologia foi realizada com material de referência por (COTRIM, 2006) certificado NST ( National Institute of standers and tecnology, gaithersburg, MA, USA): SRM 1643 c ( Trace Elementsin Water).

## 8.6 Absorção atômica

Os elementos Hg, Se, As, Sb, Pb e Cd foram analisados por espectrometria de absorção atômica (AA). Os elementos Pb, Cd, Sb e Se determinados por forno de grafita (Dantas et al, 2002), o Hg com atomização por geração de vapor frio (Furusawa et al., 2002) e o As por geração de hidreto (Furusawa et al., 2002).

A espectrometria de absorção atômica é um método sensível para a determinação quantitativa de mais de 60 elementos. Para a elaboração dos programas analíticos de cada elemento utilizou-se o método de curva analítica, por meio de uso de solução padrão mono elementares. A TAB. 13 apresenta os limites que detecção e quantificação do método analítico.

**TABELA 16 -** Faixa de concentração, limite de detecção, limite de quantificação do sistema de AAS.

| Elemento | Faixa de concentração (mg. $L^{-1}$) | Limite de quantificação (mg. $L^{-1}$) |
|---|---|---|
| Pb | 0,001 - 0,1 | 0,001 |
| Cd | 0,0001 - 0,5 | 0,0001 |
| Se | 0,001 - 0,1 | 0,001 |
| Sb | 0,001 - 0,1 | 0,001 |
| As | 0,001 - 0,12 | 0,001 |
| Hg | 0,0008 - 0,006 | 0,0008 |

**Fonte:** (Cotrim, 2006)

A metodologia foi realizada com material de referência certificado por NST (National Institute of standers and tecnology, gaithersburg, MA, USA): SRM 1643 c (Trace Elementsin Water).

### 8.6.4 Cromatografia de Íons

As determinações dos ânions e cátions foram realizadas por cromatografia de íons (DX-120, Dionex Corporation, USA). As amostras coletadas foram filtradas com filtro de acetato de celulose 0,45µm, mantidas a 4ºC, e analisadas em no máximo 24h após a coleta. Para as análises de Fluoreto, Nitrito-N e Nitrato-N foram empregues as colunas analíticas IONPAC AS9-HC e de guarda IONPAC AG9-HC, com supressão auto regenerativa (supressora ASRS-300, 4 mm, DIONEX). Para a análise de amônia-N foram empregadas às colunas analíticas IONPAC CS12A e de guarda CG12A, também com supressão auto regenerativa (Supressora CSRS-300, 4 mm, DIONEX). Maiores detalhes dos procedimentos estão disponíveis nos métodos USEPA 300.1 e 300.7.

Na TAB. 17 são mostrados os coeficientes de correlação, faixa de concentração, limite de detecção, limite de quantificação dos analítos aniônicos.

**TABELA 17 -** Coeficiente de correlação, faixa de concentração, limite de detecção, limite de quantificação dos analítos aniônicos.

| Analito (mg. $L^{-1}$) | Faixa de concetração | Coeficiente de correlação | Limite de detecção | Limite de quantificação |
|---|---|---|---|---|
| $F^-$ | 25-150 | 0,9988 | 3 | 25 |
| $Cl^-$ | 25-150 | 0,9996 | 5 | 25 |
| $NO^{3-}$ | 50-200 | 0,9958 | 7 | 50 |
| $PO_4^{3-}$ | 25-200 | 0,9993 | 4 | 25 |
| $SO_4^{2-}$ | 200-1400 | 0,9995 | 70 | 200 |

**Fonte:** (Cotrim, 2006)

## 8.7 Mapas temáticos

Os mapas temáticos foram obtidos através do programa Arcgis 10.2 utilizando as coordenadas dos pontos coletados referenciados por GPS, plotando estas informações versus a concentração de cada um dos parâmetros avaliados.

## 8.8 Análise estatística

A avaliação dos resultados foi realizada por meio de análise multivariada dos dados. Para determinar a variabilidade dos dados ambientais em relação às coletas, será realizada a Análise de Componentes Principais (ACP), utilizando o programa *Statistic* versão 7.0.

# 9. RESULTADOS E DISCUSSÕES

## 9.1 Variáveis Limnológicas

Entre as variáveis limnológicas utilizadas na avaliação da qualidade da água, as quais são diretamente influenciadas pelo uso do solo na bacia de drenagem, destacam-se as concentrações de fósforo, nitrogênio, oxigênio dissolvido e clorofila a, bem como os valores de pH, turbidez e densidade de coliformes termotolerantes e totais (Marotta, et al., 2008).

As análises das variáveis limnológicas são importantes ferramentas para a avaliação da qualidade da água, por serem parâmetros de fácil medição e por servir como indicadores de impactos causados pelos efluentes domésticos e industriais. No reservatório do Guarapiranga foram avaliados os parâmetros limnológicos através de variáveis de: condutividade, turbidez, oxigênio dissolvido (OD), transparência, pH e temperatura.

## 9.2 Variáveis Climatológicas

Foram utilizados os dados de precipitação para o reservatório do Guarapiranga obtidos através do banco de dados virtual da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP, 2011), sempre utilizado os dados da pluviometria acumulada mensal, apresentado na FIG. 11.

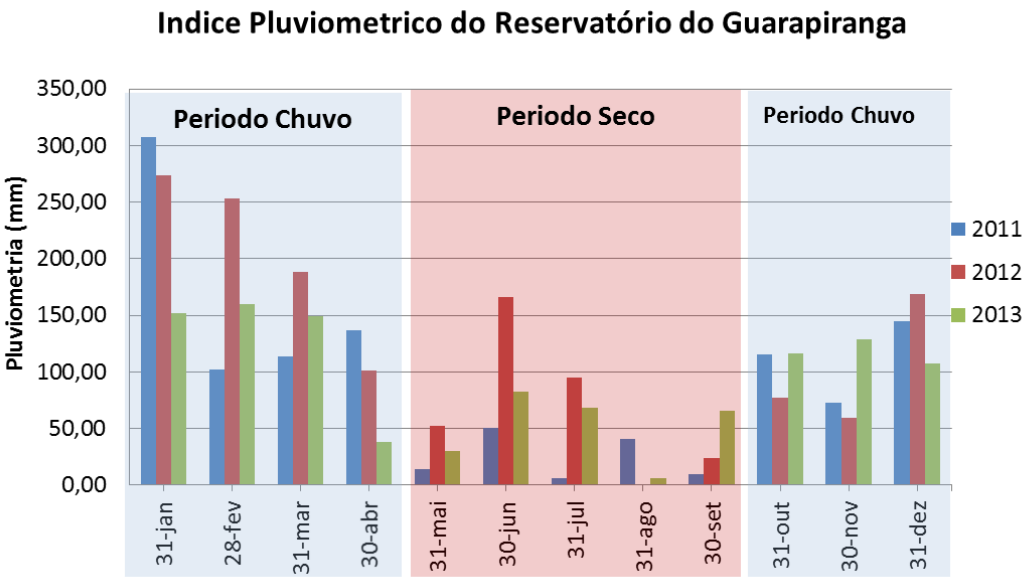


**FIGURA 11** - Pluviometria mensal acumulada no reservatório do Guarapiranga

A pluviometria é um dos fatores que podem influenciar muitos parâmetros tais como temperatura, condutividade, oxigênio, transparência. Nos períodos de chuva tem um efeito de diluição dos parâmetros e nos períodos de estiagem suas concentrações tendem a aumentar (Soares, 2011 & Lemes, 2001).

O maior índice pluviométrico, no período das coletas foi em março 2011 e abril de 2013, representando o período de chuvas. O menor índice foi em agosto e setembro de 2012, caracterizando o período de seca. A coleta de abril de 2013 apresentou um baixo índice pluviométrico que pode ser explicado pela grande estiagem que caracterizou esse ano.

## 9.3 Temperatura

Os maiores valores de temperatura no período estudado (2011 – 2013) foram observados nas regiões das águas superficiais do reservatório em todas as coletas, apresentados na FIG. 12 (A, B, C).

Foram observados os menores valores de temperatura, no perfil de temperatura superficial de agosto de 2011 e com uma maior variação de temperatura entre as coletas (FIG. 12 A), com valor máximo de 22°C e o valor mínimo de 12°C. Para as amostras de meio, observou-se um valor máximo de 18°C e um valor mínimo de 14°C. Para as amostras de fundo o valor máximo é de 17°C e o valor mínimo de 13°C (TAB. 15). Esta coleta corresponde ao período de inverno onde as temperaturas são menores nesta época do ano e não há incidência de chuva correspondente ao período de estiagem no reservatório.

No processo de tratamento de água, a utilização de água com temperatura abaixo de 12°C causa inconvenientes ao tratamento, pois diminui a eficiência da desinfecção, aumenta a viscosidade da água e diminui a velocidade de sedimentação (Mendes, et al., 2004).

Os próprios fenômenos de oxidação biológica da matéria orgânica podem causar a elevação da temperatura em áreas localizadas. A principal consequência da elevação da temperatura da água de um manancial está relacionada com a perda do oxigênio. A solubilidade deste é tanto maior quanto menor for à temperatura. A temperatura exerce influência na circulação de massas d’água, no metabolismo biótico e na cinética de compostos químicos na água (Figueiredo, 2005).

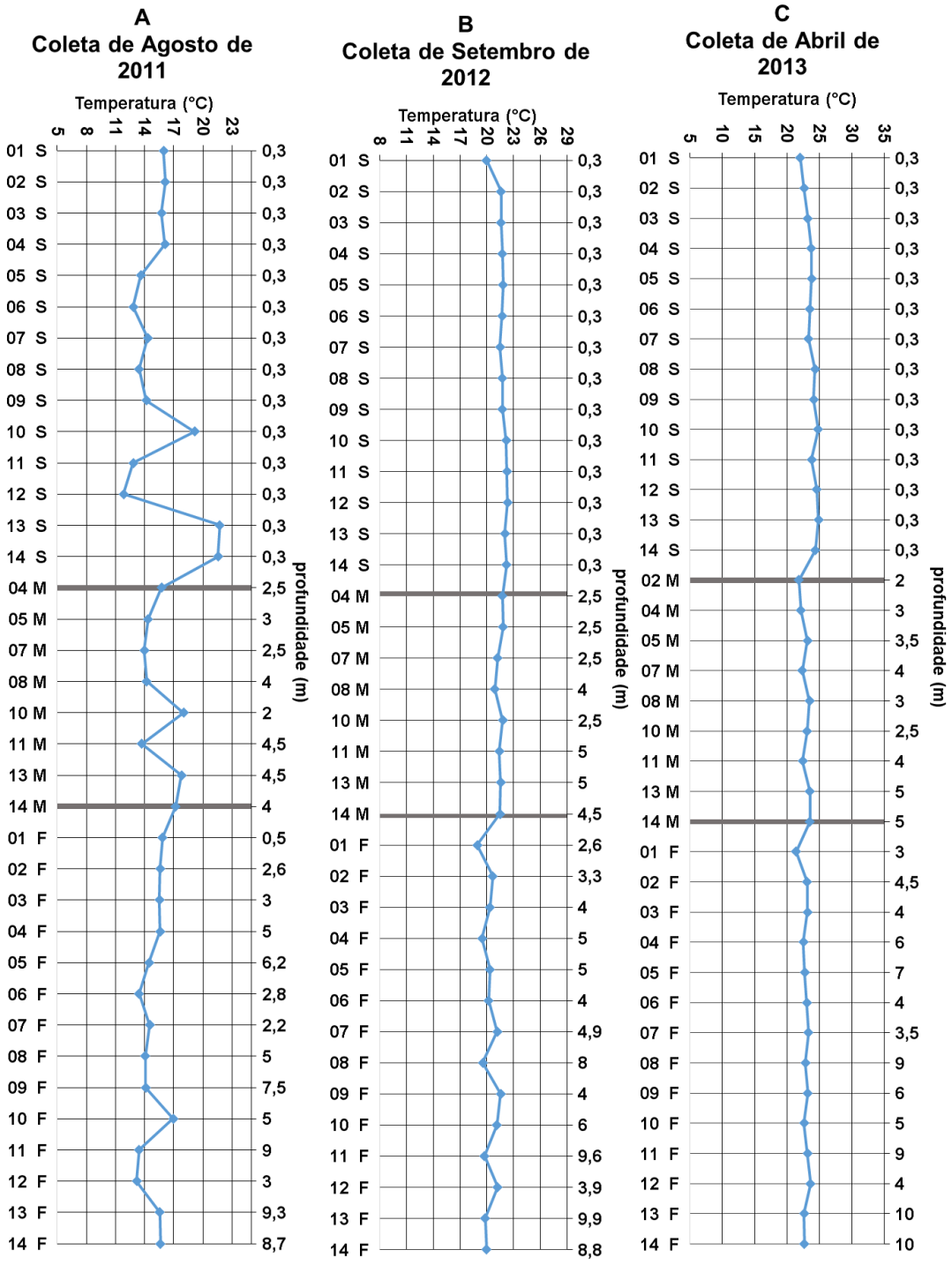


**FIGURA 12 -** Gradiente de temperatura da água no reservatório do Guarapiranga.

**TABELA 18 –** Variação da temperatura em ºC de superfície meio e fundo no período estudado.

| Coletas | Ago/11 | | | Set/12 | | | Abr/13 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Profundidades | S | M | F | S | M | F | S | M | F |
| Máximo | 22 | 18 | 17 | 22 | 22 | 21 | 25 | 24 | 24 |
| Minímo | 12 | 14 | 13 | 20 | 21 | 19 | 22 | 21 | 21 |
| Média | 16 | 16 | 15 | 22 | 21 | 20 | 24 | 23 | 23 |
| Desvio Padrão | 3,14 | 1,81 | 1,15 | 0,58 | 0,31 | 0,72 | 0,81 | 0,77 | 0,53 |

Já em setembro de 2012 (FIG. 12 B) as maiores temperaturas foram na superfície e não apresentou grandes variações entre superfície meio e fundo, o valor máximo de superfície foi de 22°C e o mínimo foi de 20°C. Para o meio, o valor máximo observado foi 22°C e o mínimo é de 21°C (TAB. 15), já para o fundo o valor máximo foi de 21°C e o mínimo de 19,12°C. É possível observar que não ocorreu uma variação brusca de temperatura nesta coleta.

Os perfis de temperatura de superfície, meio e fundo na coleta de abril de 2013 apresentados na FIG. 12 (C) foram os que apresentaram os maiores valores de temperatura entre as coletas. Para as amostras de superfície observou-se um valor máximo de 25°C e um mínimo de 22°C. Para as amostras de meio o máximo foi 24°C e o mínimo foi de 22°C. Para as amostras de fundo o máximo foi de 16°C e o mínimo foi de 13°C (TAB. 15).

Para regiões de clima tropical, assim como é o reservatório do Guarapiranga as temperaturas da água superiores a 25˚C, pode levar a uma estratificação térmica com gradientes de temperatura inferiores a 0,6˚C. $m^{-1}$ na coluna d'água (Kellner, *et al* , 2009).

Se a temperatura for superior, o crescimento microbiano é acelerado podendo induzir problemas de floração de sabores e gosto anormais ou de corrosão das tubulações e equipamentos (Mendes, et al., 2004). Variações de

temperatura de pelo menos, 3 a 4ºC em um mesmo dia são consideradas como choque térmico. Essas variações são extremamente estressantes para os peixes (levando-os geralmente à morte), sobretudo para peixes em estágios mais jovens (e, portanto, mais sensíveis), já que por serem organismos de sangue frio não têm a capacidade de regular a temperatura do corpo e necessitam de um tempo de adaptação quando há alterações na temperatura do ambiente (CETESB, s.d).

### 9.4 Condutividade Elétrica

Através da medida da condutividade podem-se detectar fontes poluidoras nos sistemas aquáticos, uma vez que valores elevados podem indicar poluição. Portanto é uma maneira de avaliar a disponibilidade de nutrientes nos ecossistemas aquáticos (Moraes, 2001).

A condutividade elétrica é uma das mais importantes variáveis limnológicas, pois, muitas vezes ela representa integração do ambiente terrestre com o aquático (Pereira Filho, 2000). Segundo Esteves (1998), a condutividade elétrica em ambientes aquáticos representa a capacidade que a água possui de conduzir corrente elétrica. Este parâmetro está relacionado com a presença de íons dissolvidos na água, que são partículas carregadas eletricamente.

Como a resolução COMANA 357/05 não estipula um valor de condutividade para corpos de água classe 1, para comparar os resultados de condutividade foi utilizado o valor orientativo da CETESB (2012), onde valores de condutividades superiores a 100 µS. $cm^{-1}$ indicam um ambiente impactado e abaixo deste valor indica que são ambientes mais preservados.

Os últimos 20 anos, a região do reservatório do Guarapiranga vem apresentando piora na sua qualidade da água, efeitos estes principalmente observados na área de captação da SABESP (ponto 14, área de captação para o abastecimento público). Com exceção de 1991, ano em que ocorreu uma

extraordinária floração de algas no reservatório, até o ano 2000 as médias de condutividade não indicavam um ambiente impactado (SABESP, 2008).

Os maiores valores em desconformidade com a Cetesb foi na coleta de agosto de 2011 como pode ser observada na FIG. 13 (A). A coluna d'água superficial e de fundo entre os pontos 06 a 14 mantiveram-se acima de 100 µS. $cm^{-1}$ . Na coluna d'água de meio somente o ponto 04 se manteve abaixo de de 100 µS. $cm^{-1}$ .

De acordo com Sartor (2008) em 2000, o reservatório do Guarapiranga apontava condutividade com valores acima dos 100 µS. $cm^{-1}$, indicando que o ambiente se encontra gravemente impactado. Nos anos em que houve longos períodos de estiagem (2002-2004), os valores de condutividade apresentaram-se mais altos, devido à maior concentração de poluentes decorrente do menor volume de água presente no reservatório (Sartor, 2008).

Quanto maior for à quantidade de íons dissolvidos, maior será a condutividade elétrica da água. Em águas continentais, os íons diretamente responsáveis pelos valores da condutividade são, entre outros, o cálcio, o magnésio, o potássio, o sódio, carbonatos, carbonetos, sulfatos e cloretos. A coleta de agosto representa um período de estiagem no reservatório, com isso a concentração dos íons tende a ficarem mais concentrados.

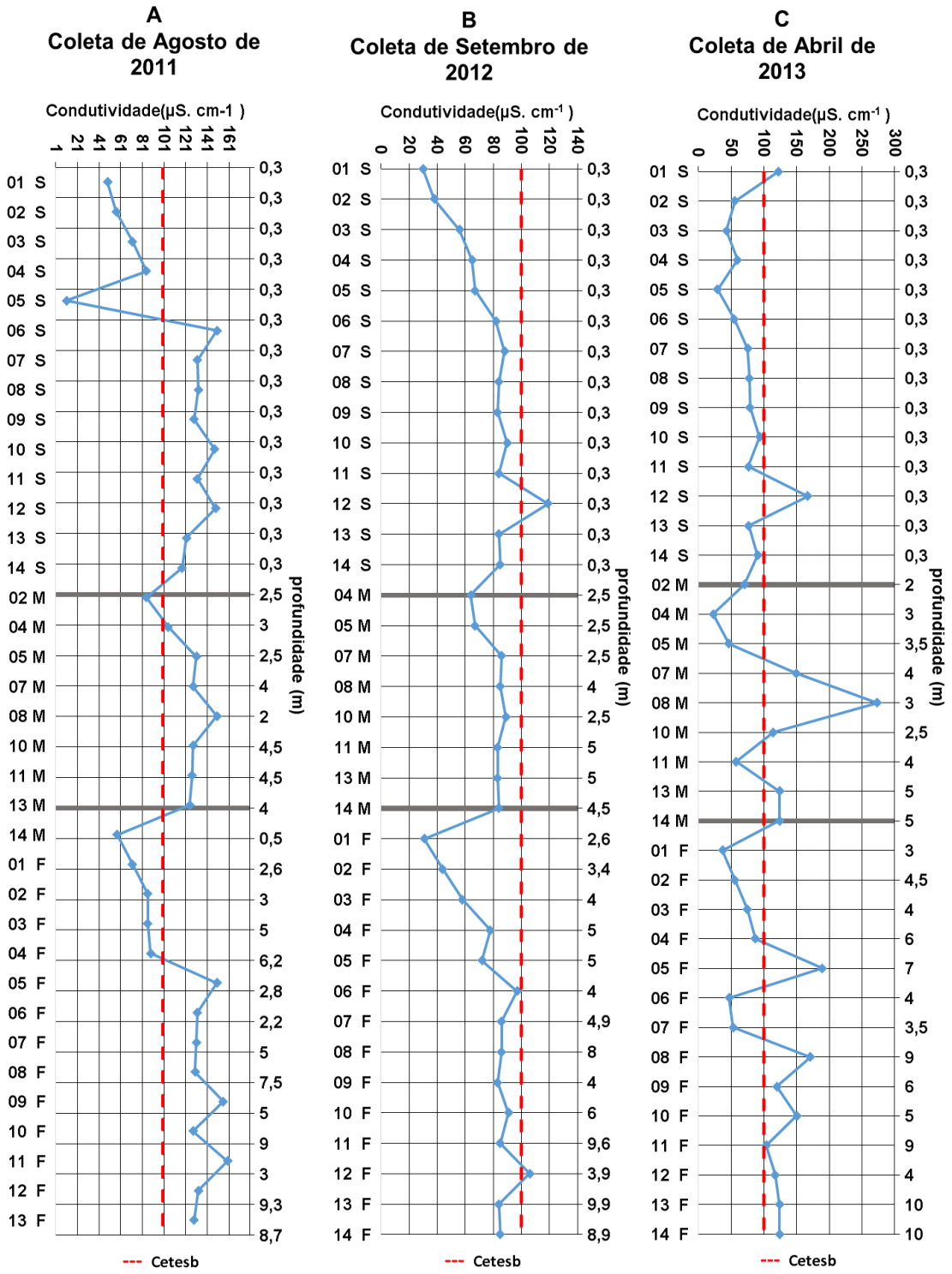


**FIGURA 13 -** Distribuição de condutividade elétrica das águas do reservatório do Guarapiranga.

Como pode ser observado na FIG. 13 (B), a coleta de setembro de 2012 foi a única coleta que apresentou conformidade com a CETESB em todas as profundidades da coluna d'água, apenas o ponto 12 (119 µS. $cm^{-1}$) em superfície e fundo (FIG. 10 B) se manteve acima do limite, todos os outros pontos da coluna d'água de superfície meio e fundo se mantiveram abaixo de 100 µS. $cm^{-1}$.

Em estudos feitos por Sartor (2008) a partir de 2005, ocorreu uma leve melhoria, mantendo-se relativamente constante até 2007. Os valores de condutividade também apontam para uma situação melhor de qualidade na região da captação da SABESP, em relação ao Braço do Parelheiros (PDPA, 2007-2010). Os valores da condutividade elétrica são inversamente proporcionais aos valores do índice pluviométrico, ou seja, quanto maior for o índice pluviométrico, menor será a concentração de íons na água.

A coleta de setembro de 2012 representa o período de seca no reservatório a última chuva antes da coleta havia ocorrido há 5 dias antes a pulviometria para este dia registrada pela SABESP foi de 2 mm, como o volume de chuva foi muito pequeno e ocorreu em um período distante do dia da coleta, é possivel que houve uma melhora da qualidade da água devido a diminuição de lançamento de efluentes no reservatório.

Em abril de 2013 (FIG. 13 C), pode se observar que a coluna d'água superficial apresentou a maior conformidade, os únicos pontos que ficaram acima dos limites da CETESB foram os pontos 01 e 12. Na coluna d'água de meio e fundo foram maiores as variações, na maioria dos pontos amostrados mantiveram-se acima de 100 µS. $cm^{-1}$.

De acordo com SMA/CPLA (2010), valores de condutividade acima 100 µS. $cm^{-1}$ podem ser explicados pela aplicação de algicidas a base de sulfato de cobre, usado no reservatório quando há floração de algas. A condutividade da água também pode aumentar à medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados, provindos do escoamento superficial das águas de chuva para o reservatório (CETESB, s.d).

Outro fator é que na coleta de abril de 2013 os valores de temperatura foram os maiores das coletas feitas no período amostrado (FIG. 12) e de acordo com Mendes & Oliveira (2004), a temperatura pode interferir na qualidade da água sobre os níveis das solubilidades dos sais e dos gases da dissociação de substâncias dissolvida, aumentando a condutividade.

### 9.5 Potencial Hidrogeniônico – pH

O termo pH (potencial hidrogeniônico) é usado para expressar a intensidade da condição ácida ou básica de uma solução e é uma maneira de expressar a concentração do íon hidrogênio (Câmara, 2011). O pH indica se a água é ácida, básica ou neutra nas condições padrões, as restrições de faixas de pH são estabelecidas para as diversas classes de águas naturais, tanto de acordo com a legislação federal, quanto pela legislação do Estado de São Paulo.

O pH é considerado um importante parâmetro químico no controle de qualidade de águas, principalmente, quando estas são destinadas ao abastecimento de centros urbanos. Além disso, este se destaca por ser um fator que controla grande parte das reações químicas contribuindo para a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados; outras condições podem exercer efeitos sobre as solubilidades de nutrientes (Freitas, Brígido, & Badolato, 2002).

Águas naturais apresentam valores de pH que variam com as características do solo. A alteração do pH das águas pode também decorrer da elevada atividade fotossintética, quando o pH tende a aumentar (floração de algas, independente de a alga ser tóxica ou não) (CETESB, 2015).

A coleta de agosto de 2011 foi a que apresentou todos os pontos coletados dentro dos limites de enquadramento pelo COMANA 357/05 tanto para superfície meio e fundo. O pH esteve dentro dos limites de enquadramento pela legislação na coleta de setembro de 2012 (FIG. 14 B) somente no ponto 01 o

qual tem influência do rio Embu-Guaçu, que de acordo com o relatório da CETESB apresentou em 2013 toxicidade, e o ponto 03 se manteve acima do pH 9.

Em geral, em águas superficiais, o pH é alterado pelas concentrações de íons H+ originados da dissociação do ácido carbônico, que geram baixos valores de pH. Esse ácido carbônico, nos corpos d'água, é resultante a introdução de gás carbônico pelas águas de chuva, ar atmosférico, matéria orgânica do solo e, principalmente, matéria orgânica que é consumida e oxidada nas águas (Esteves, 1988). O pH acompanha as variações observadas na FIG. 14 para o oxigênio dissolvido, encontrando-se acima do limite máximo de enquadramento estabelecido pela legislação.

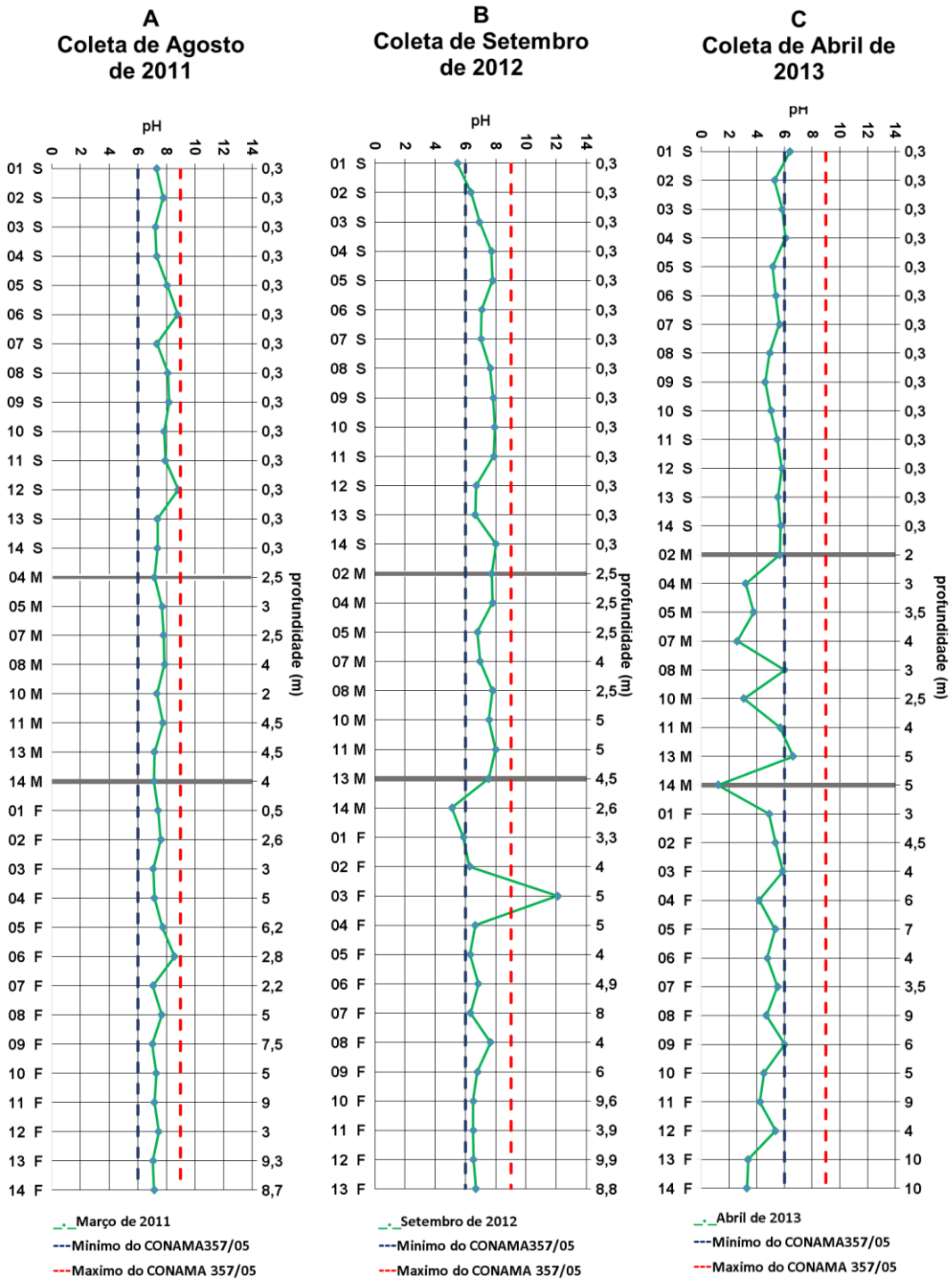


**FIGURA 14 -** Distribuição do potencial hidrogeniônico das águas de superfície, meio e fundo.

Os menores valores de pH entre as coletas foram observados na coleta de abril de 2013 em superficie, meio e fundo, a qual ocorreu as maiores desconformidades de acordo com o CONAMA 357/05 (FIG. 14 C). De acordo com CETESB, em 2013, o volume do reservatório apresentou diminuição constante, devido ao período de estiagem e também à ausência do bombeamento do Braço do Taquacetuba, recuperando-se somente em dezembro, com a intensificação das chuvas.

O ponto 01 apresentou valores abaixo do limite de enquadramento do CONAMA 357/05 no perfil de superfície e fundo em setembro de 2012, e para fundo no ponto 02. Este ponto tem Influência do Córrego Mombaça onde foram observadas bolhas de gás na superfície na coleta. De acordo com Marotta, et al, (2008) o excesso de matéria orgânica dos esgotos contribui para reduzir o pH na água devido à liberação de gás carbônico (precursor do ácido carbônico em meio aquoso).

Os pontos que apresentaram valores abaixo do limite de enquadramento pelo o COMANA 357/05 podem ter sido influenciados pela quantidade de matéria orgânica presente no fundo do reservatório, sendo que quanto maior a quantidade de matéria orgânica disponível, menor o pH, pela produção de ácido húmico (Câmara, 2011).

### 9.6 Transparência da água

A capacidade de penetração de radiação solar em ambiente aquático depende da quantidade de material suspenso presente na massa líquida (Bueno, Galbiatti, & Borges, 2005).

A transparência da coluna d'água pode variar desde alguns centímetros até dezenas de metros. Essa região da coluna d'água é denominada zona eufótica e sua extensão depende, principalmente, da capacidade do meio em atenuar a radiação subaquática. Do ponto de vista óptico, a transparência da

água pode ser considerada o oposto da turbidez. A transparência da água pode ser avaliada através de medições de profundidade do disco de Secchi que é fixado a uma corda graduada. Este método embora bastante simples, também pode ser utilizado para analisar o coeficiente de atenuação REM na coluna d'água, estabelecendo com alguma limitação a correspondência entre a transparência da água, a profundidade Secchi e o limite da zona eufótica (Ferreira, Pereira e Rosa, 2012).

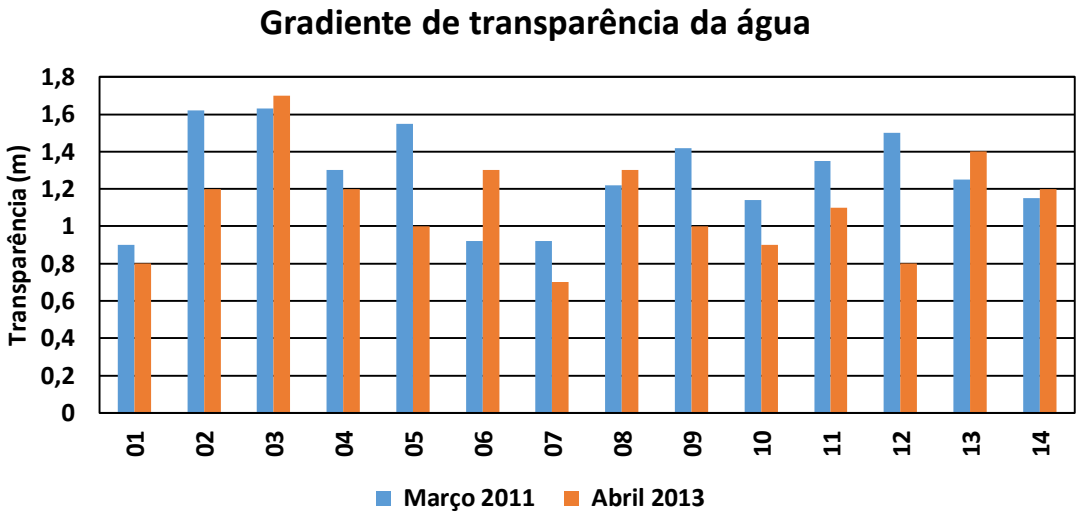


**FIGURA 15 -** Variação de transparência no período amostrado

A FIG. 15 apresenta os resultados de transparência, onde nas coletas de março de 2011 (1,63 m) e abril de 2013 (1,70m) foram observados os maiores valores de transparência para o ponto 03. Os menores valores de transparência foram observados no ponto 01, que tem a influência do rio Embu-Guaçu. Este local é mais protegido e foram observadas duas espécies de macrófitas na coleta. Esta é uma área de uso misto, com núcleos urbanos circundados por áreas de chácaras de lazer, atividades agrícolas e remanescentes de vegetação natural (PDPA, 2007-2010). Outro ponto com baixos valores de transparências foi o 07, que se localiza entre a saída do Córrego Tanquinho e o Córrego São José. São áreas densamente urbanizadas, com diferentes padrões urbanísticos e parcialmente providas de sistemas de coleta e exportação de esgotos (PDPA,

2007-2010).

Segundo Chapman, et al., 1998 lagos eutróficos são ambientes que exibem altas concentrações de nutrientes e uma alta produção de biomassa associada usualmente com baixa transparência.

A transparência da água é diretamente proporcional ao disco de Secchi e inversamente proporcional ao TSS (Sólidos Suspensos Totais), isto é, quanto maior a transparência, maior a profundidade do disco e, portanto, menor o valor do TSS presente na água e vice-versa. Assim, essa variável limnológica é fortemente vulnerável às condições do ecossistema terrestre, uma vez que, em áreas de relevo com desmatamento, solo exposto sobre condições de elevado índice pluviométrico e ventos fortes, há uma grande possibilidade da transparência da água ser mínima, devido ao elevado aporte de partículas e/ou nutrientes sólidos carreados para o ambiente aquático (Esteves, 1998; Pereira Filho, 2000).

### 9.7 Oxigênio Dissolvido

O oxigênio dissolvido é uns dos principais indicadores de poluição, pois influencia na dinâmica dos ecossistemas aquáticos por ser um elemento principal no processo metabólico dos organismos destas comunidades além de participar de diversos processos químicos (Soares, 2011). Dada a sua reatividade, química e biológica, as interferências que exercem nos organismos aquáticos e as inter-relações que mantem o conjunto dos processos metabólicos que decorrem, a fração dissolvida na água é um fator determinante na sua qualidade e dos processos físicos, químicos e biológicos que nela ocorrem (Mendes, et al., 2004).

Os indicadores de qualidade da água são denominados parâmetros ou substâncias, que retratam os tipos de contaminação. As contaminações de origem orgânica como lançamento de esgotos domésticos sem tratamento levam a um consequente aumento da concentração da matéria orgânica e a sua

decomposição pelos microrganismos que determinam a redução nos níveis de Oxigênio Dissolvido no meio aquático, podendo chegar a anoxia, dependendo das características do lançamento e do rio. Quando os níveis de Oxigênio Dissolvido tendem a zero, a decomposição da matéria orgânica ocorre em meio anaeróbio com o aparecimento subsequente de subprodutos voláteis odoríferos que emanam dos corpos de água, causando incômodos à população e danos aos materiais e à flora (Tucci & Mendes, 2006) .

A maior parte do oxigênio é oriunda da atmosfera que tem 20,95% em sua composição, logo a capacidade de um corpo hídrico se oxigenar em contato com a atmosfera é um atributo importante. O oxigênio é produzido pela ação fotossintética das algas mas este processo não é eficiemte como meio de oxigenar a água. Essa ineficiência é explicada pelo fato do oxigênio ganho durante o dia ser perdido a noite, quando as algas passam a consumi-lo como parte de seu processo metabólico e, quando morrem a degradação de sua biomassa também consome oxigênio (Mariani, 2006).

Os maiores valores de OD foram observados nos gradientes de superfície para todas as coletas como pode se observar na FIG. 16 (A, B, C). A coleta de agosto de 2011 (FIG. 16 A) foi a que apresentou a maior conformidade com a resolução do CONAMA 357/05 sendo que praticamente todos os valores de OD se mantiveram dentro da legislação. O valor máximo foi 9,15 mg. $L^{-1}$ e o mínimo de 4,15 mg. $L^{-1}$, apenas o ponto 13 em superfície e fundo e os pontos 11 e 14 em fundo ficaram um pouco abaixo do estabelecido pelo o COMANA 357/05.

Em setembro de 2012 (FIG. 16 B) o qual corresponde ao período seco do reservatório, apenas o ponto 01 (5,54 mg. $L^{-1}$) na superfície ficou menor que os parâmetros estabelecidos pelo o COMANA 357/05. O perfil de fundo obteve a maior variação de OD, sendo possível que estas variações estejam relacionadas com a estratificação térmica.

Tanto na coleta de 2011 e 2012, os valores de oxigênio ficaram dentro dos valores estabelecidos pela resolução do COMANA 357/05, para a classe

que o reservatório é enquadrado (Classe 1). Estes períodos correspondem ao começo de estiagem no reservatório. De acordo com a SABESP (2011) dois dias antes da coleta de agosto de 2011 os índices pluviométricos foram de 16 mm e 25 mm. Esses índices podem ter influenciado no aumento do oxigênio dissolvido, indicando que as chuvas promovem a diluição da carga poluidora presente nesse período. Altas concentrações de oxigênio também podem estar associadas aos "bloom" de algas e indicam estado de eutrofização do corpo d'água, que é favorecido pelas cargas poluidoras afluentes ao reservatório (CETESB, 2013). Esta produção de $O_2$ está associada às algas e outros organismos produtores primários em consequência da atividade fotossintética (Mendes, et al., 2004).

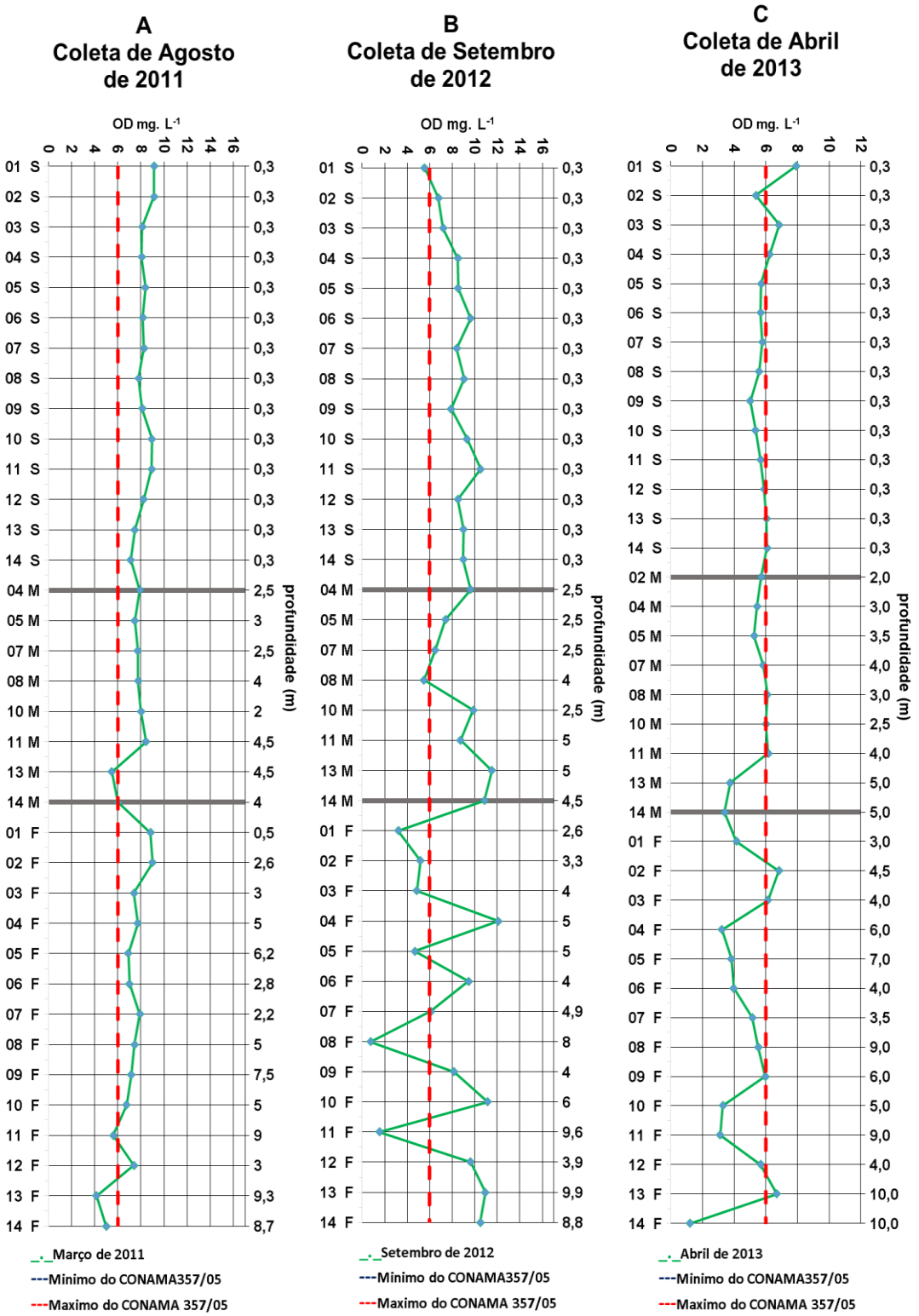


**FIGURA 16 -** Distribuição de oxigênio dissolvido no reservatório do Guarapiranga.

Na coleta de abril de 2013 (FIG. 16 C), a maioria dos pontos amostrados apresentou valores um pouco abaixo do estabelecido pelo COMANA 357/05 e as maiores desconformidades foram no gradiente de fundo. Os postos que apresentaram diminuição de OD estão relacionados com o período chuvoso no reservatório, quando o reservatório apresenta a maior variação de temperatura (Mariani, 2006).

As diminuições de oxigênio dissolvido nas amostras de meio comparadas com as amostras de superfície são, devidos à quebra da estratificação térmica do corpo d'água, que causa inversão das camadas de água de fundo e de superfície e devido às profundidades da coluna d'água do reservatório.

A diminuição de oxigênio dissolvido ao longo da coluna d'água de corpos hídricos lênticos, onde se constata a ocorrência da estratificação térmica, ocorre principalmente em épocas quentes. Neste período, com temperaturas mais elevadas, a camada superficial do reservatório apresenta valores mais elevados, acarretando menor densidade da água (epilimnio), enquanto que a camada mais profunda apresenta temperatura mais baixa e com maior densidade (hipolimnio). Desta forma, cria-se uma estabilidade na massa líquida que será desestruturada por forças externas, como o vento, entrada de afluentes, sazonalidade (Fiorucci & Filho, 2005).

Essa estabilidade pode levar a uma alteração na qualidade ao longo da coluna da água, principalmente, na camada mais profunda, como a redução da concentração de Oxigênio Dissolvido devido ao aumento dos processos de decomposição.

## 10. Espécies Iônicas

O intenso crescimento urbano observado desde a década de 60 causou significativo acréscimo da carga orgânica ao reservatório do Guarapiranga acelerando o processo de eutrofização (ANA, 2005) e tornando as florações de algas mais frequentes. As atividades como loteamentos, ocupações irregulares (SEMA, 2004) e a ausência de saneamento básico vem favorecendo a baixa qualidade das águas do reservatório.

As áreas periféricas do município de São Paulo, assim como os municípios mais distantes da RMSP, apresentaram maiores índices de crescimento populacional onde se localizam os mananciais hídricos que abastecem as cidades. Ao longo das últimas décadas observa-se a expansão e concentração associadas à redução de investimentos nos serviços públicos básicos como moradia, saúde, educação e saneamento.

Estes eventos trouxeram um grande prejuízo para a qualidade da água do reservatório do Guarapiranga com os despejos inadequados de efluentes domésticos e industriais. Barban, (s.d) diz que em 2000, cerca de 800 mil pessoas viviam na bacia do Guarapiranga, segundo IBGE, e apenas cerca de 60% desta população tem rede de coleta de esgoto. Dado as altas taxas de crescimento da população nas áreas periféricas estima-se um número muito maior.

A tendência de ocupação do entorno da represa foi marcada nas décadas de 20 a 50, por loteamentos residenciais clubes, chácaras e marinas atraídas por oferta de lazer e pela qualidade da paisagem, sendo que a partir da década de 70 núcleos urbanos clandestinos e populosos começaram a se instalar nas margens da represa (SABESP, 2008).

Em 1990 e 1991, devido à floração de Cianobactérias *Amabaena Solitaria*, foram relatados problemas gastrointestinais na população abastecida por águas do reservatório de Guarapiranga (Beyruyh, 1996).

De acordo com o Seminário do Guarapiranga (2006) os rios contribuintes com concentração elevada de nutrientes são Córrego Bonito, Córrego do Tanquinho e Córrego de São José. O rio Embu Mirim, no qual existem concentrações moderadas de nutrientes, apesar de receber grande carga de efluente doméstico e cargas poluidoras de seus cursos, é um corpo d'água bastante volumoso que possibilita a diluição dos efluentes aportados. Estes contribuintes fazem com que os pontos 08, 09 e 11 apresentem as maiores concentrações de P total na área estudada neste trabalho.

### 10.1 Fluoreto

O Fluoreto é um ânion considerado conservativo, encontrado naturalmente nas águas naturais (Gonçalves, et al. 2012 & Piveli, et al.,2006). Com a fluoretação das águas de abastecimento, a ocorrência de fluoretos tem sido associada ao lançamento de esgoto não tratado nos corpos de água.

Quando as concentrações de fluoreto são altas, geralmente estão associadas com fontes subterrâneas, como locais próximos a montanhas altas ou áreas com depósitos geológicos de origem marinha.

É um constituinte normal da água, sendo que a sua concentração depende da quantidade de precipitações recebidas na região que causam a lixiviação de depósitos naturais. Não se encontra em seu estado livre devido a sua elevada reatividade, sendo encontrado em forma de complexos com fluoretos de alumínio, cálcio e sódio ou de outros metais (Mendes, et al., 2004). Seu transporte e transformação são influenciados pelo pH, dureza da água e a presença de materiais de troca iônica como argila. No solo, a concentração de fluoretos aumenta com a profundidade.

As contaminações de fluor estão ligadas às industrias de alumínio e também às indústrias de fertilizantes na produção de adubos e de ácido fosfórico

devido sua ultilização das Flúor-apatites para sua extração (Mendes, et al., 2004).

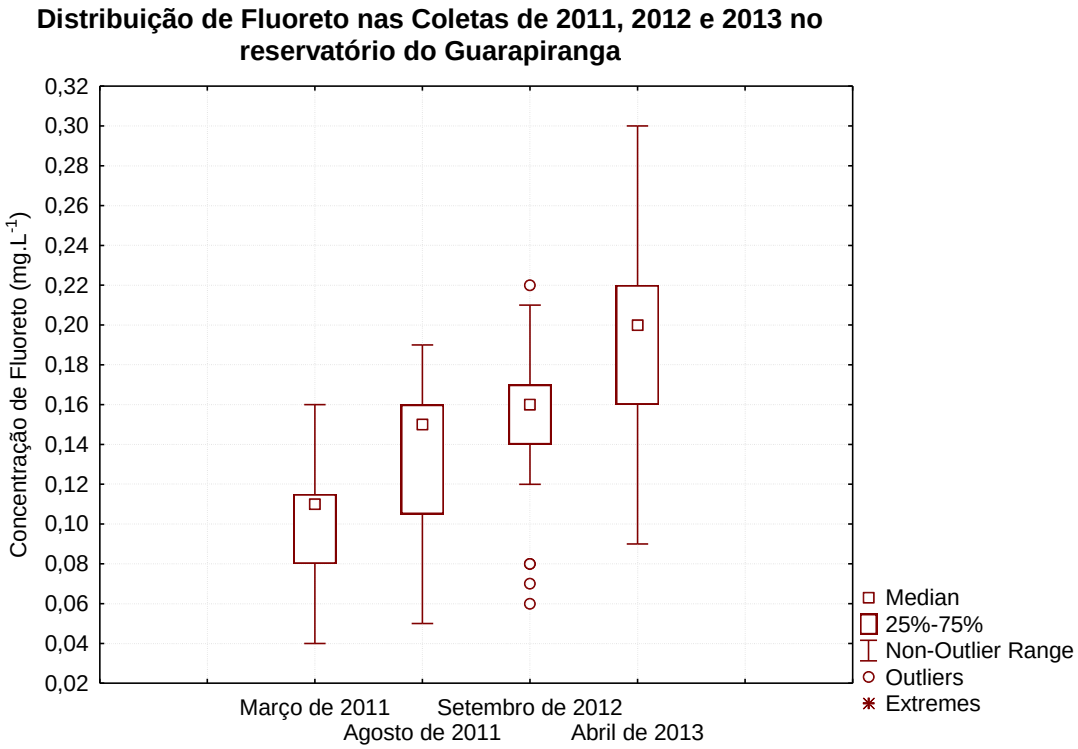


**FIGURA 17 -** Distribuição de Fluoreto nas Coletas de 2011 a 2013 no reservatório do Guarapiranga

Nas concentrações de fluoreto no período amostrado apresentados na FIG. 17, pode se observar que estão abaixo da resolução do CONAMA 357/05 (1,4 $mg.L^{-1}$). No entanto entre os períodos amostrados houve um aumento gradativo das concentrações do fluoreto entre as coletas.

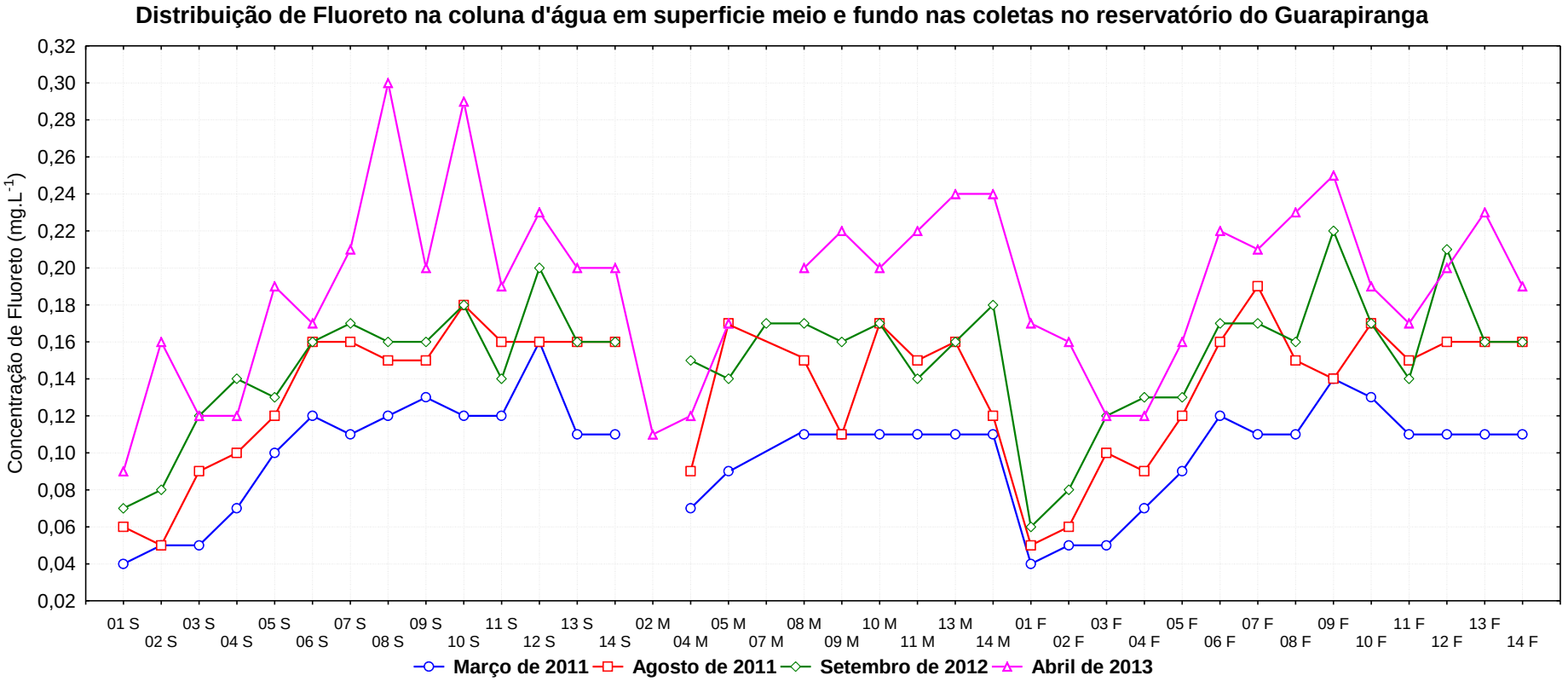


**FIGURA 18 -** Distribuição de Fluoreto em superfície meio e fundo da coluna d'água do reservatório do Guarapiranga.

A FIG. 18 apresenta a distribuição de fluoreto entre as coletas e pontos. Pode-se observar um aumento gradativo das concetrações no decorrer do tempo na coluna d'água nos três perfis estudados de superfície meio e fundo.

Em todas as profundidades da coluna d'água observaram-se pequenas variações tanto no período de seca quanto no período chuvoso, mostrando que não há relação com a lixiviação do solo ou fontes industriais. Considerando que não há outras fontes de fluoreto, estes valores podem estar relacionados com volume de esgoto que é lançado na represa sem tratamento adequado.

### 10.2 Cloreto

Altas concentrações de cloreto podem conferir sabor a água além de efeitos laxivos a quem esta acostumado a consumir água com baixas concetrações de cloreto (Silva, et al., 2003).

O cloreto nas águas subterrâneas tem sua origem oriundo da percolação da água através de solos e rochas. Nas águas superficiais está ligada ao lançamento de esgoto sanitário, sendo que cada pessoa expele 6 g de cloreto por dia o que faz com que os esgotos possam apresentar uma concentração de 15 mg. $L^{-1}$. Diversos são os efluentes industriais que apresentam concentração de cloreto elevada como a indústria de petróleo, farmacêutica e curtumes. Já nas águas tratadas a adição de cloro leva a uma elevação do nível de cloreto, resultantes das reações de dissociação do cloro na água. (Silva, 2008).

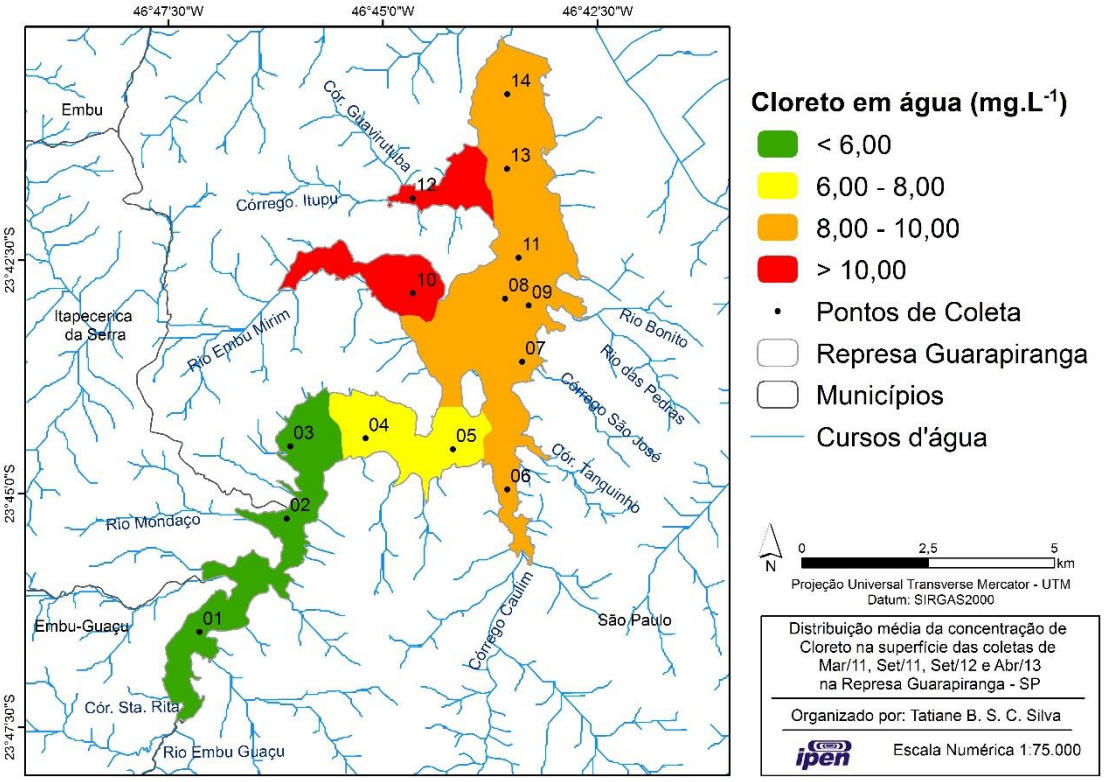


**FIGURA 19 -** Mapa temático da distribuição média de Cloreto em água superficial do reservatório do Guarapiranga.

Os resultados das análises de cloretos (FIG. 20), apresentaram valores variando de 4 a 12 mg.L$^{-1}$ em todas as coletas, abaixo do limite máximo de enquadramento pelo COMANA 357/05 (250 mg. L$^{-1}$). Observa-se uma tendência ao aumento da concentração do cloreto principalmente nos pontos 10 e 12, devido ao aporte de esgoto não tratado observados em coleta (FIG. 18).

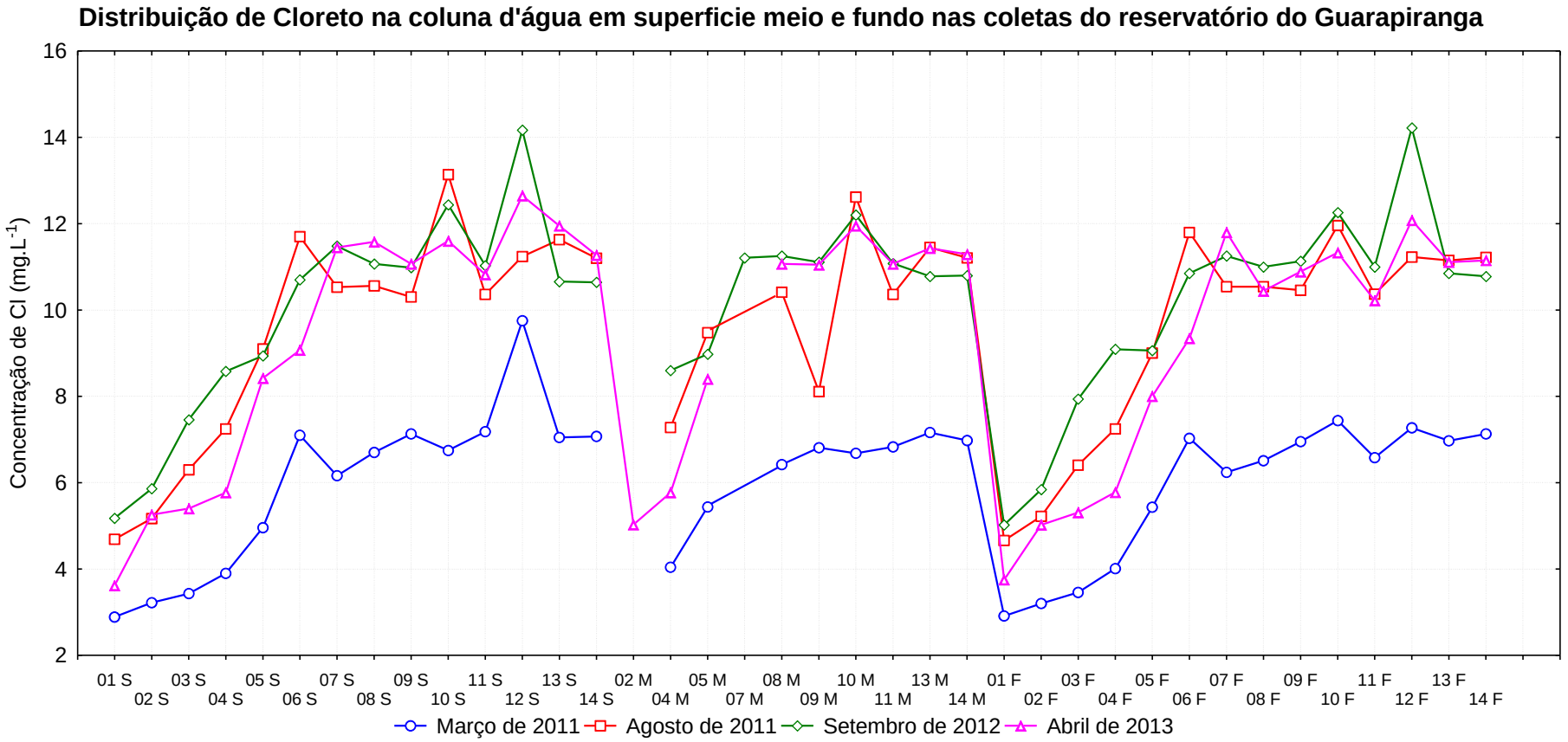


**FIGURA 20 -** Distribuição de Cloreto em superfície meio e fundo da coluna d'água do reservatório do Guarapiranga.

A distribuição de Cl entre as coletas é apresentada na FIG. 21, na coleta de março de 2011 pode se observar as menores concentrações. Entre as coletas agosto de 2011, setembro de 2012 e abril de 2013 as concentrações ficaram mais homogêneas.

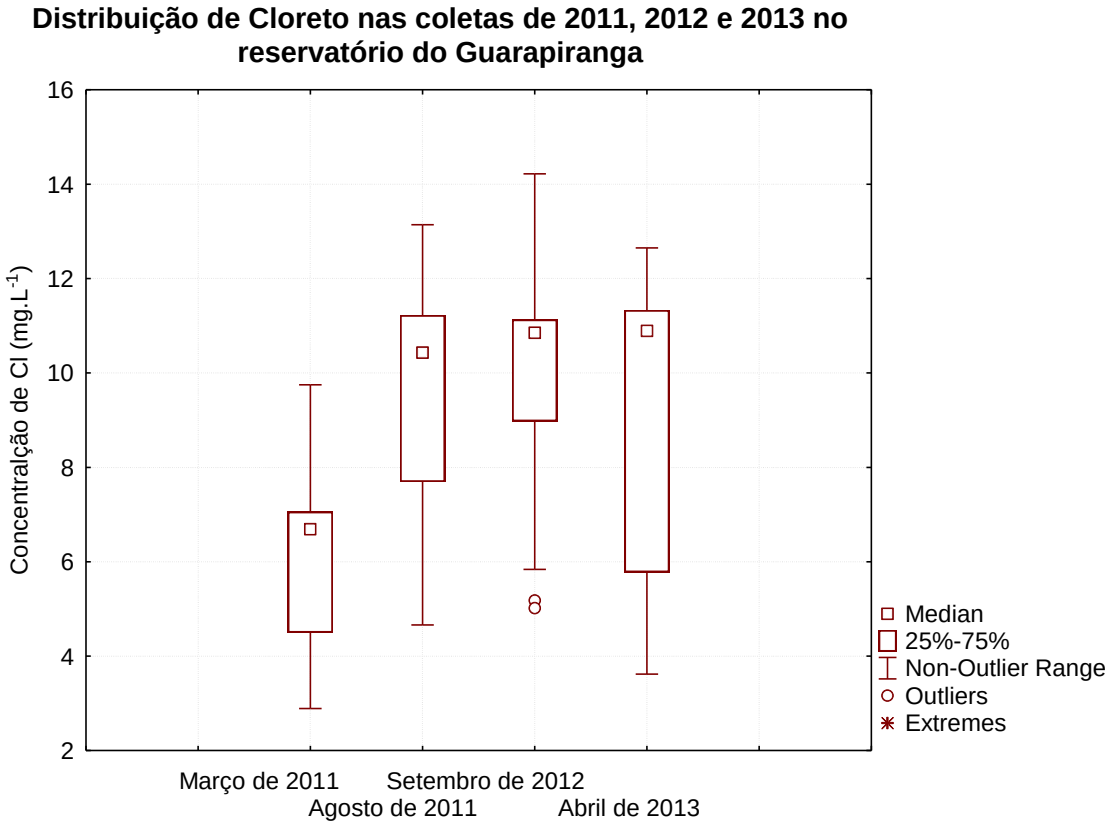


**FIGURA 21 -** Distribuição de Cloreto nas Coletas de 2011 a 2013 no reservatório do Guarapiranga.

### 10.3 Sulfato

Os cátions associados ao sulfato são em geral, o cálcio, magnésio e o sódio, cujas solubilidades são muito diversas. Um contribuinte importante são os efluentes industriais de curtumes, têxteis, produção de pasta de papel e tratamento de superfície. A poluição atmosférica, ligada às chuvas ácidas, pode estar na origem de depósitos significativos de sulfatos, sob a forma de partículas e sua presença em solução nas águas da chuva (Mendes, et al., 2004).

As emissões de compostos de enxofre, em especial de $SO_2$ e $SO_3$, que em contato com a água origina o $H_2SO_4$ nas chamadas chuvas ácidas. As emissões de $SO_2$ são emitidas em 20 milhões de toneladas ano no que se refere às emissões de origem natural, sendo que as emissões antropogênicas apresentam valores muito mais elevados, na ordem de 250 milhões de toneladas ano (Mendes, et al., 2004).

Altos teores de sais minerais, particularmente sulfato e cloreto, estão associados à tendência de corrosão em sistema de distribuição, além de conferir sabor nas águas (Silva, 2008). A FIG 22 apresenta os resultados de sulfato. Podemos observar que a maior concentração está no ponto 12 e entre os pontos 06 a 14.

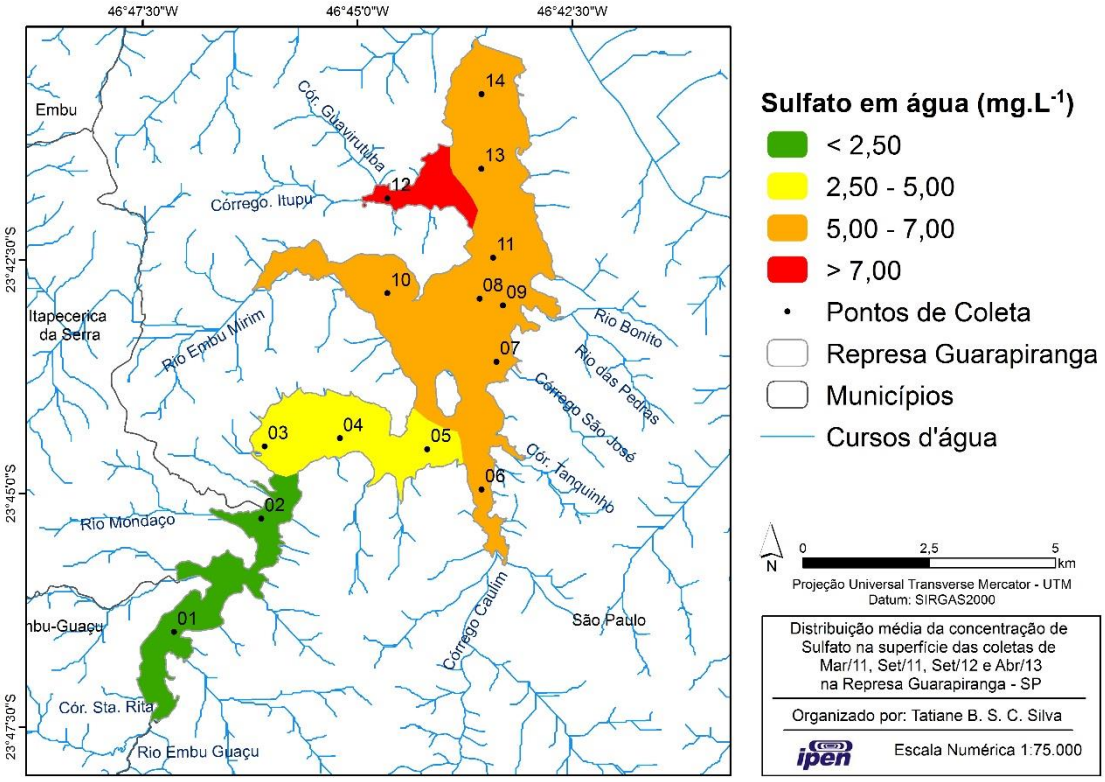


**FIGURA 22 -** Mapa temático da distribuição média de Sulfato em água superficial do reservatório do Guarapiranga

Todos os pontos amostrados no período estudado apresentaram valores abaixo da resolução do COMANA 357/05 o qual estabelece para águas doce classe 1 um limite de 250 mg $L^{-1}$ de sulfato. Na FIG. 23 é observado que há um aumento na concentração de sulfato no decorrer dos pontos, sendo que os maiores valores obtidos foram nos pontos 12S (8,85 mg. $L^{1-}$) e 12F (9,01mg. $L^{-1}$).

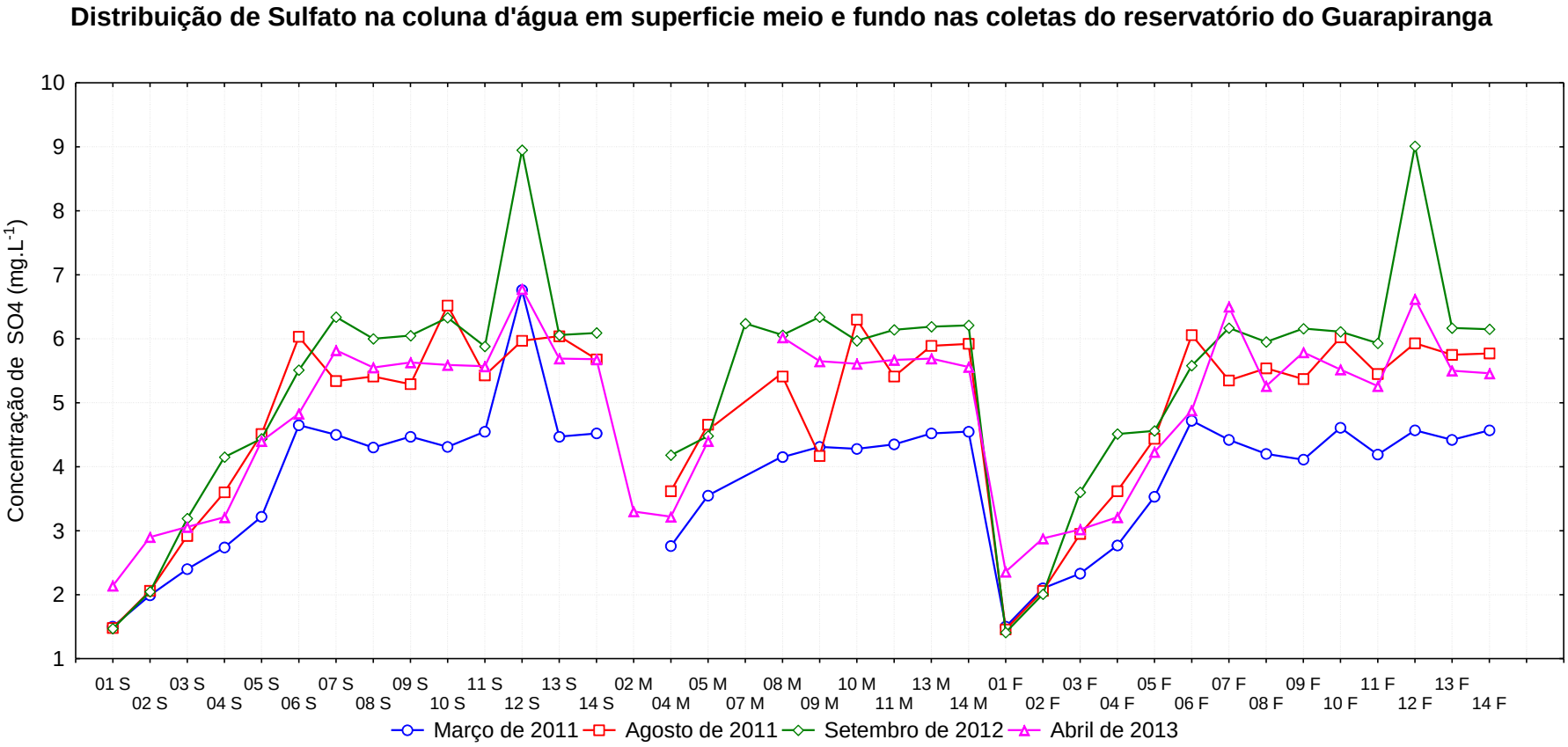


**FIGURA 23 -** Distribuição de Sulfato em superfície meio e fundo da coluna d'água do reservatório do Guarapiranga.

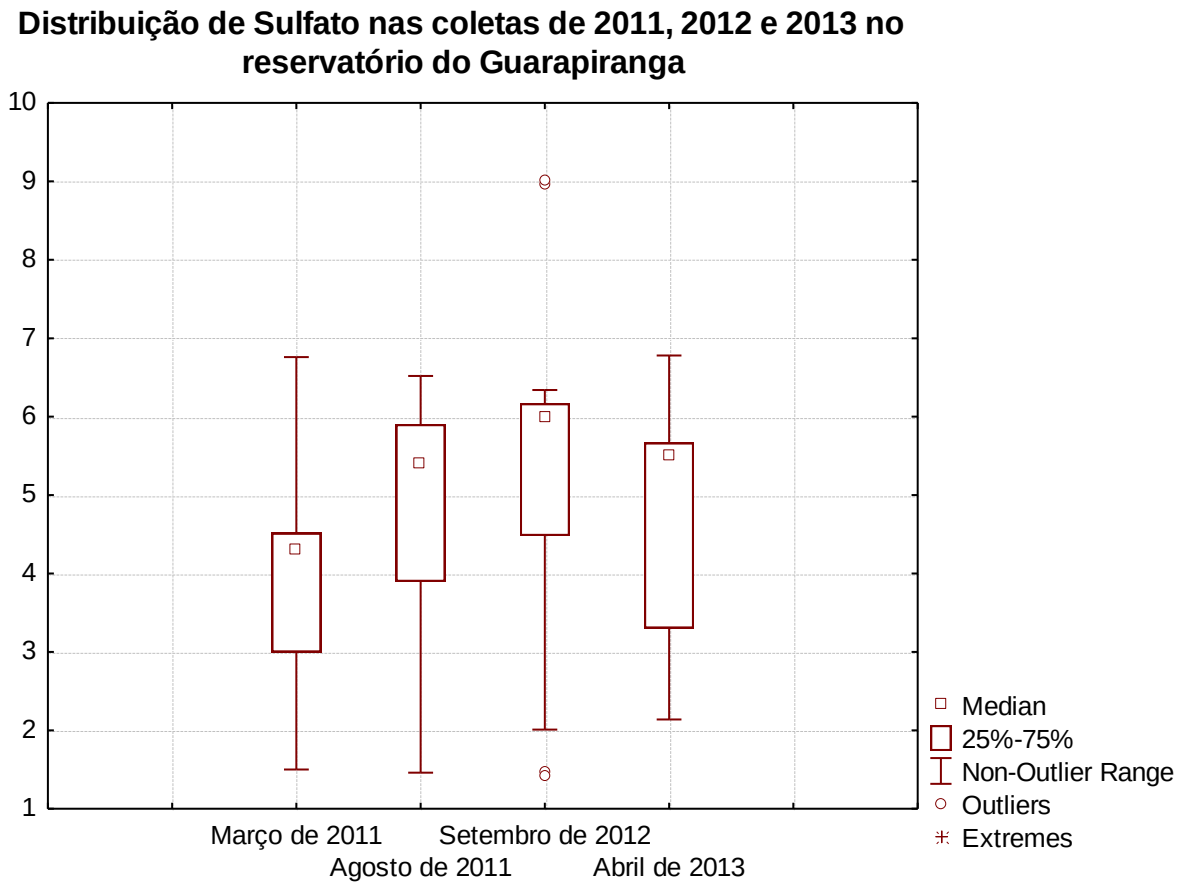


**FIGURA 24 -** Distribuição de Sulfato nas Coletas de 2011 a 2013 no reservatório do Guarapiranga

Entre as coletas observou-se que as concentrações de sulfato foram homogêneas entre agosto de 2011, setembro de 2012 e abril de 2013, somente março de 2011 observou se a concentração um pouco a baixo das outras coletas, como pode ser observada na FIG. 24.

Em águas subterrâneas, o sulfato aparece naturalmente em decorrência da dissolução de solos e rochas (Piveli & Kato, 2006). Em águas superficiais, é proveniente do descarte de esgotos domésticos e efluentes industriais. Nestas águas, o sulfato varia entre 2 a 80 mg. $L^{-1}$, podendo exceder 1000 mg. $L^{-1}$ em áreas próximas a descargas industriais ou em regiões áridas que possa conter sulfato mineral, como o gesso (Piveli & Kato, 2006).

De acordo com Mendes e Oliveira (2004), doses entre 1 e 2 mg. $L^{-1}$ podem causar efeitos purgativos em adultos. Teores inferiores podem, gerar efeitos negativos em crianças e bebês, nas quais podem induzir disinteria e complicações gastro intestinais.

### 10.4 Série Nitrogenada Amônio-N, Nitrito-N e Nitrato-N[1]

Os compostos de nitrogênio são os nutrientes para os processos biológicos. São tidos como macro nutrientes, pois depois do carbono, o nitrogênio é o elemento exigido em maior quantidade pelas células vivas. Quando descarregados nas águas naturais, conjuntamente com o fósforo e outros nutrientes presentes nos despejos, provocam o enriquecimento do meio, tornando-o mais fértil e possibilitando o crescimento em maior extensão dos seres vivos que os utilizam, especialmente as algas, que eutrofizam o meio, causando depleção de oxigênio no meio aquático (Vidal, et al., 2013).

O processo de urbanização desordenada resulta no crescimento caótico da cidade onde, na falta de mecanismos de regulação, estimula muitos loteamentos clandestinos, ocupações ilegais e ocupações em áreas de risco. Seu maior impacto e ocasionado pelas grandes quantidades de lançamento de nutrientes, proveniente de efluentes industriais e, principalmente de esgoto doméstico pela a ocupação desordenada no entorno do reservatório, que vem sofrendo com o processo de eutrofização.

As florações de algas têm sido recorrentes, afetando negativamente o sistema de tratamento e abastecimento de águas e acaba implicando em aportes significativos de fósforo e nitrogênio, nutrientes limitantes para as populações algais. O sistema de abastecimento de água do Guarapiranga requer

[1] Todas as espécies nitrogenadas reportadas nesse trabalho são expressas na forma elementar: Nitrato-N, Nitrito-N e amônia-N.

o conhecimento das relações causa-efeito que influem na qualidade da água, especialmente aquelas relacionadas ao desenvolvimento de algas, propondo a proteção da bacia. Associados a eutrofização, surgem efeitos diretos sobre a qualidade da água tais como (Di Bernardo, 1995) o aumento:

- Da matéria orgânica particulada (fitoplâncton, zooplâncton, bactérias, protozoários, fungos e detritos);
- De substâncias orgânicas dissolvidas que podem conferir sabor e odor a água;
- Da à cor ou da turbidez na água;
- Da demanda de oxigênio na coluna de sedimento podendo levar a liberação de sulfeto de hidrogênio, amônia, ferro, manganês, fósforo, e a ocorrência de anaerobiose no manancial provocando a mortandade de peixes. Estes efeitos de eutrofização favorecem, portanto, o assoreamento pelo acúmulo de materiais e de vegetação, tornando o lago mais raso, podendo até vir a desaparecer (Sperling, 2005).

Além disso, os impactos causados pela eutrofização chegam aos consumidores associados à presença de compostos potencialmente tóxicos e carcinogênicos, de sabor e odor, problemas de corrosão nas tubulações, além de elevar cada vez mais os custos em tratamentos específicos das águas do reservatório.

O amônio-N ($NH_4^+$) provoca consumo de oxigênio dissolvido das águas naturais ao ser oxidado biologicamente, por estes motivos, a concentração de amônia-N é um importante parâmetro de classificação das águas naturais (CETESB, s.d). A ocorrência de concentrações elevadas de amônio-N pode ser resultante de poluição próxima à fonte poluidora, sua presença indica descarte de efluente recente sem tratamento e está relacionada com falta de rede coletora de esgoto, pois é o produto inicial da decomposição de resíduos orgânicos nitrogenados (Manaham, 2013).

As regiões com maior concentração de amônia-N estão mais próximas da fonte direta de esgoto não tratado. Com os processos de oxidação da amônio-N onde ocorre lentamente sua conversão em Nitrato-N que favorece a floração de algas, sendo um contaminante de difícil remoção, exigindo maior uso de recursos para a coleta, tratamento e distribuição da água para a população.

O nitrito-N ($NO_2^-N$) é um intermediário tanto no processo da nitrificação quanto no da desnitrificação. Em ambientes aquáticos tropicais com boa aeração, o processo de nitrificação ocorre de forma rápida. A concentração de nitrito, geralmente, é muito pequena e difícil de ser detectada (Esteves, 2011).

O nitrato é o produto final da estabilização aeróbia do nitrogênio orgânico, indicando contaminação antiga. Concentrações elevadas de nitrato indicam ainda disposição inadequada de efluentes domésticos ou de indústrias alimentícias, ou o uso de fertilizante nitrogenados na agricultura (Silva, et al., 2003). No caso do Guarapiranga também pode ser explicado pelos “pesque pague” existentes da região.

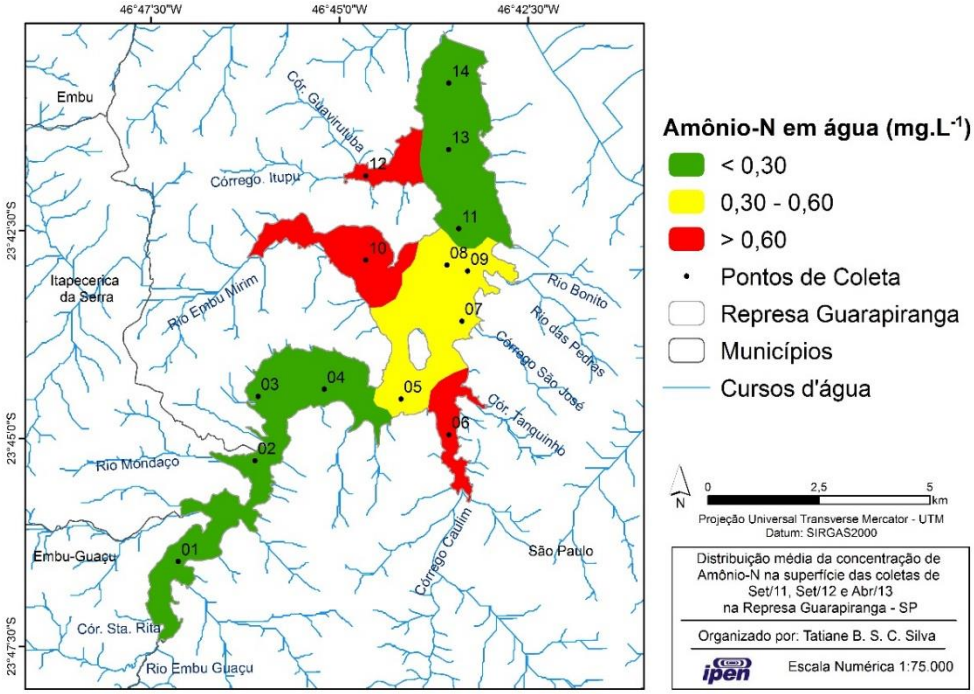


**FIGURA 25 -** Mapa temático da distribuição média de Amônio-N em água superficial do reservatório do Guarapiranga.

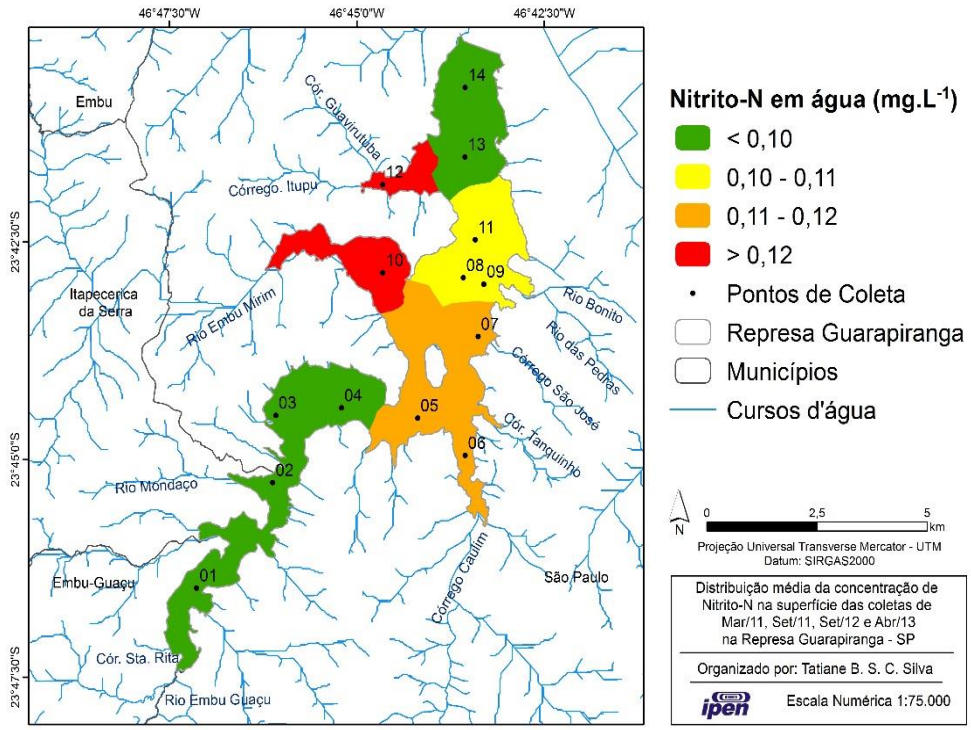


**FIGURA 26 -** Mapa temático da distribuição média de Nitrito-N em água superficial do reservatório do Guarapiranga.

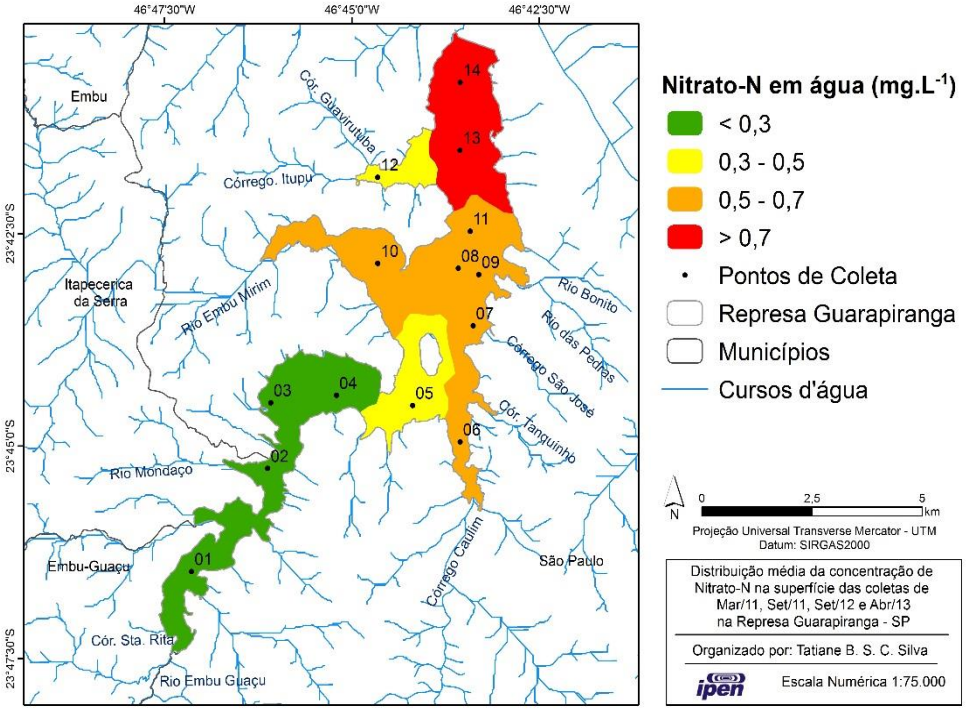


**FIGURA 27 -** Mapa temático da distribuição média de Nitrato-N em água superficial do reservatório do Guarapiranga.

Na FIG. 25, é possível observar que as maiores concentrações de amônia-N identificadas próximas à área de influência do ponto 10, sofrem influência do Rio Embu-Mirim. Também se observou a contribuição significativa do ponto 12, Córrego Itupu e do Ribeirão Guavirutuba e no ponto 06, transposição do Taquacetuba.

Na FIG. 26 é apresentada a distribuição de nitrito-N. Foram observadas maiores concentrações de nitrito-N na região próxima ao Rio Embu Mirim (10) e sobre a região do Córrego Itupu e do Ribeirão Guavirutuba (12), indo em direção à porção leste da represa nos pontos 05, 06 e 07.

Na FIG. 27 são apresentadas as concentrações de Nitrato-N. O valor mais alto foi observado nos pontos 13 e 14. O ponto 14 é de captação da SABESP. Esta região junto à represa se caracteriza por ter maior tempo de

retenção (Cutolo, s.d). Tal como proposto por Richter e colaboradores (2007), o fluxo de água no sentido da captação associado ao maior tempo de retenção permite que o produto de oxidação biológica do nitrogênio amoniacal e/ou orgânico leve ao aumento de nitrato nesta região. Com o lançamento de produtos para inibir o crescimento de algas a concentração do Nitrato aumenta na proximidade dessa área.

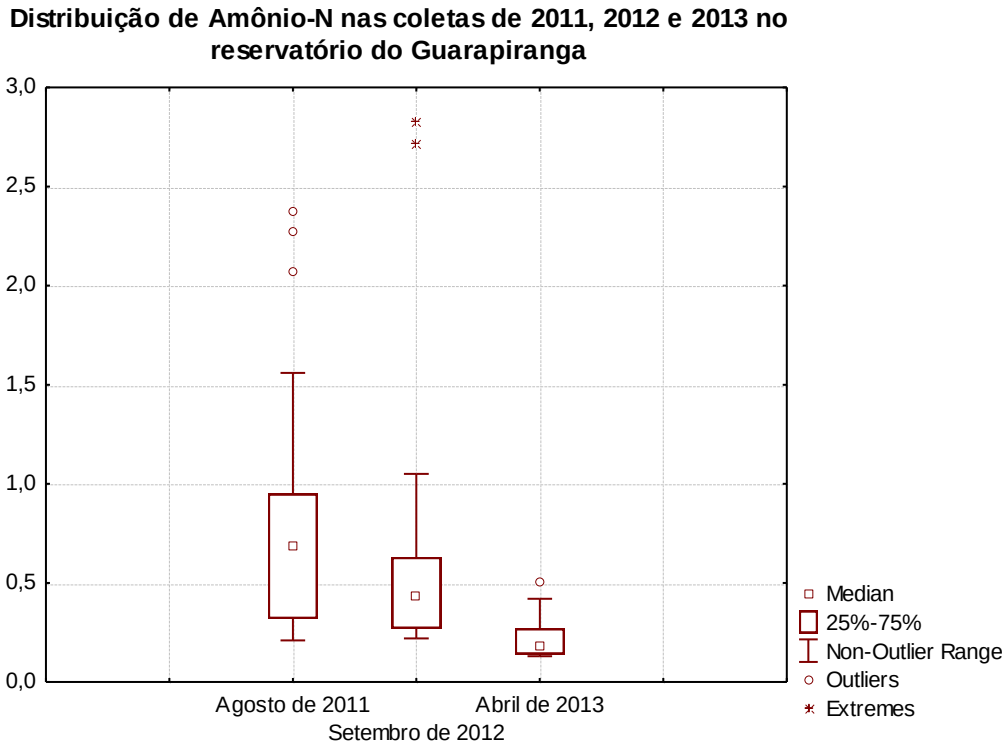


**FIGURA 28 -** Distribuição de Amônio-N nas Coletas de 2011 a 2013 no reservatório do Guarapiranga

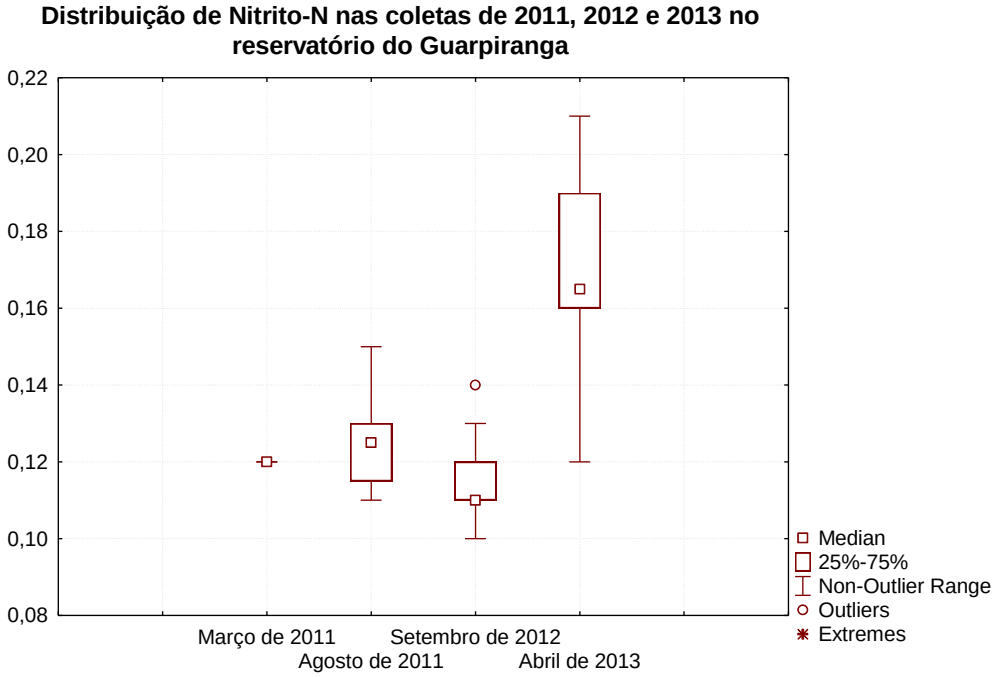


**FIGURA 29 -** Distribuição de Nitrito-N nas Coletas de 2011 a 2013 no reservatório do Guarapiranga

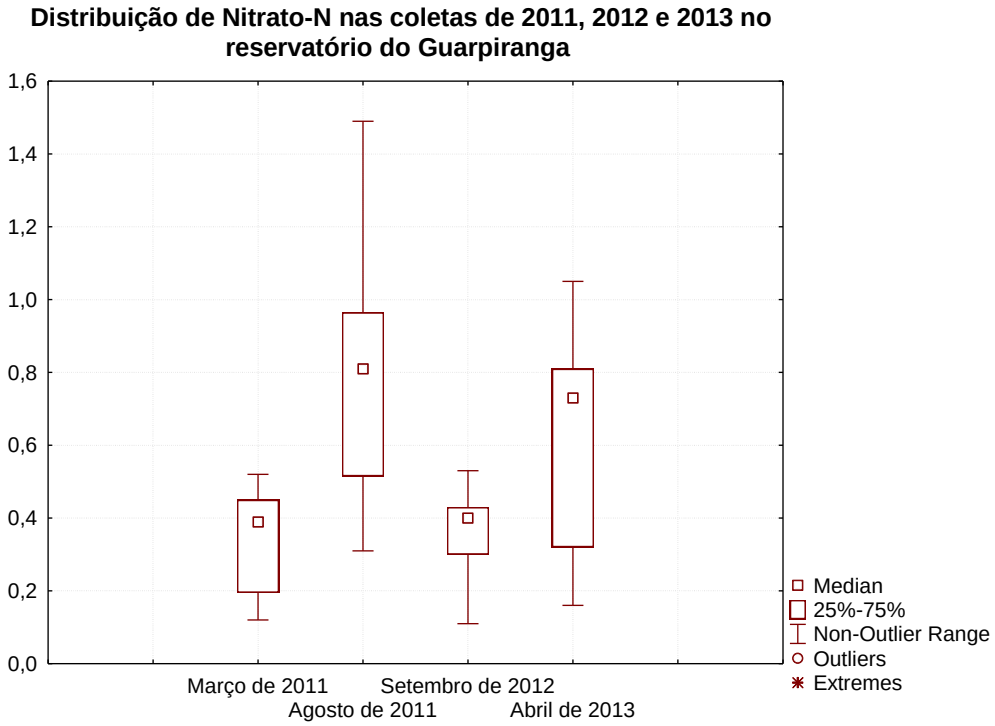


**FIGURA 30 -** Distribuição de Nitrato-N nas Coletas de 2011 a 2013 no reservatório do Guarapiranga

Na FIG. 28 são apresentadas as concentrações de amônio-N, onde pode-se observar que houve uma diminuição gradativa de amônio-N no decorrer das coletas, podendo indicar um menor volume de efluentes sendo lançados no reservatório. Na coleta de março de 2011 não foi possível analisar o amônio-N, pois não sobrou amostra suficiente.

A FIG. 29 apresenta a distribuição de nitrito-N, enquanto a FIG. 30 apresenta a distribuição de nitrato-N. Pode-se observar que ambas as distribuições apresentaram uma variação sazonal. Na coleta de setembro de 2012, período seco, houve uma diminuição da concentração tanto de nitrito-N como de nitrato-N.

Os maiores valores foram observados no período chuvoso na coleta de abril de 2013, tanto para nitrito-N como para nitrato-N, uma vez que a chuva ao lavar a bacia de drenagem transfere nitrogênio para o reservatório. Os valores mais elevados destas espécies de nitrogênio são explicados, principalmente, pelo aporte de nutrientes carreados pelas chuvas e pelas reações de decomposição da matéria orgânica. (Vidal, et al, 2013).

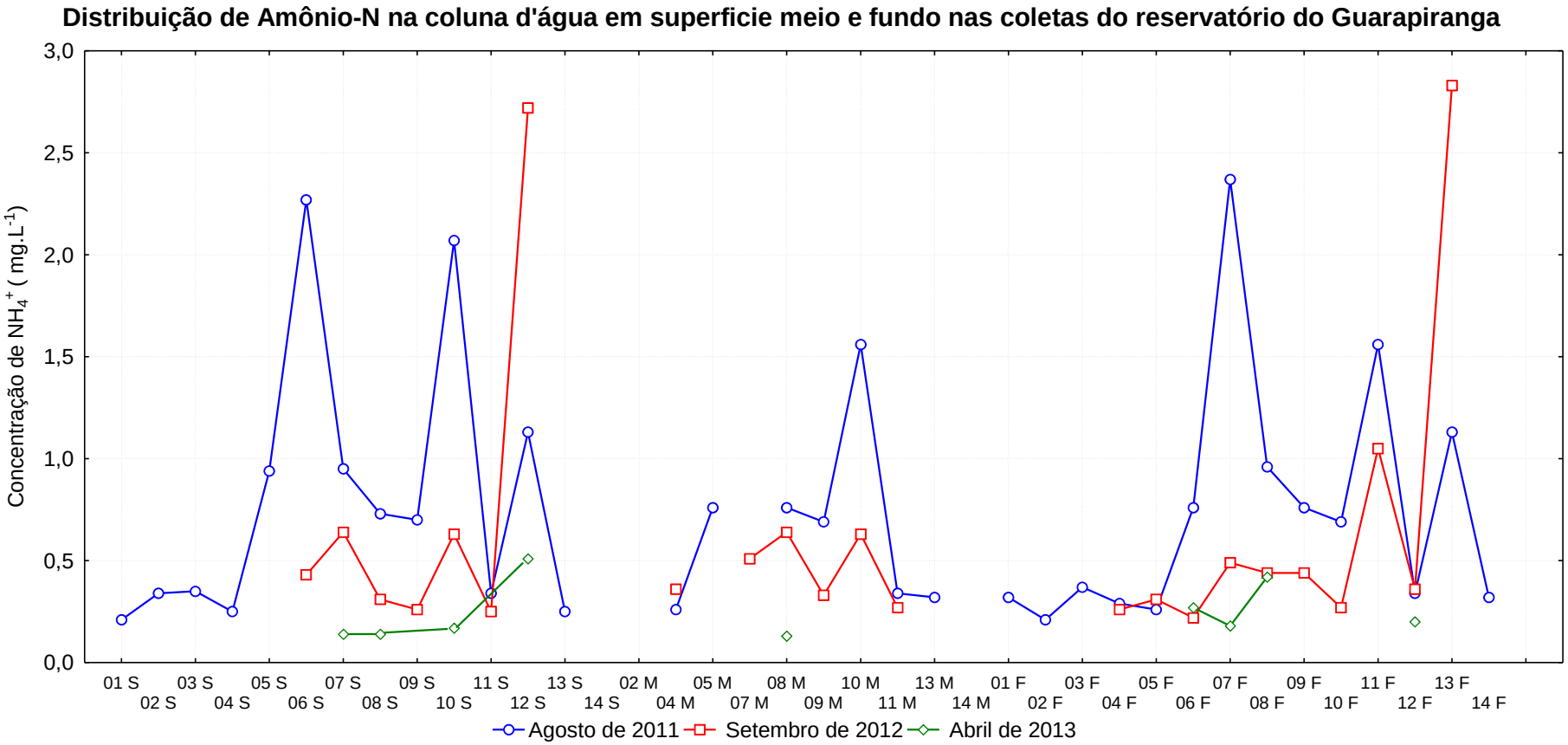


**FIGURA 31 -** Distribuição de amônio-N em superfície meio e fundo da coluna d'água do reservatório do Guarapiranga

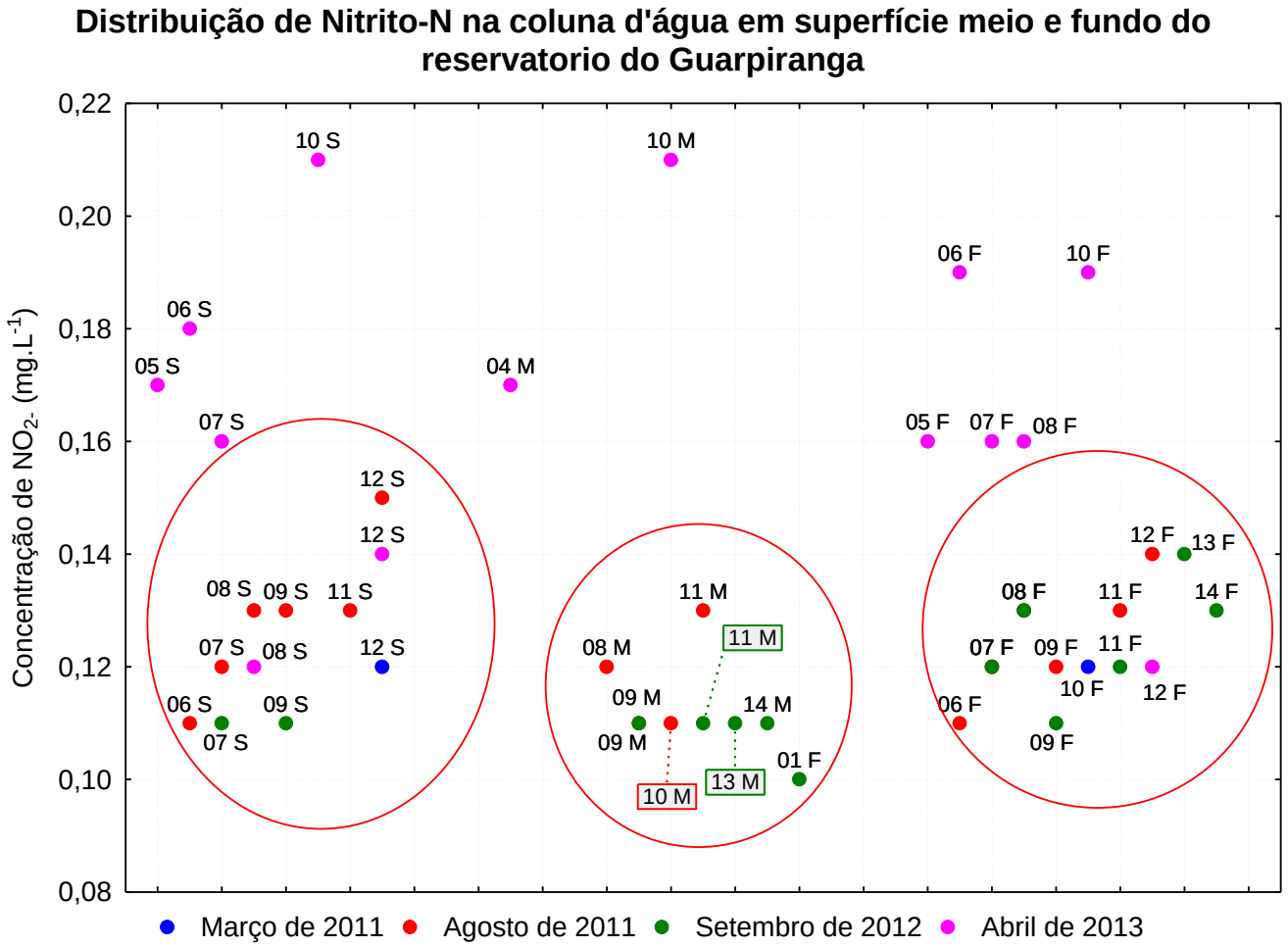


**FIGURA 32 -** Distribuição de Nitrito-N em superfície meio e fundo da coluna d'água do reservatório do Guarapiranga

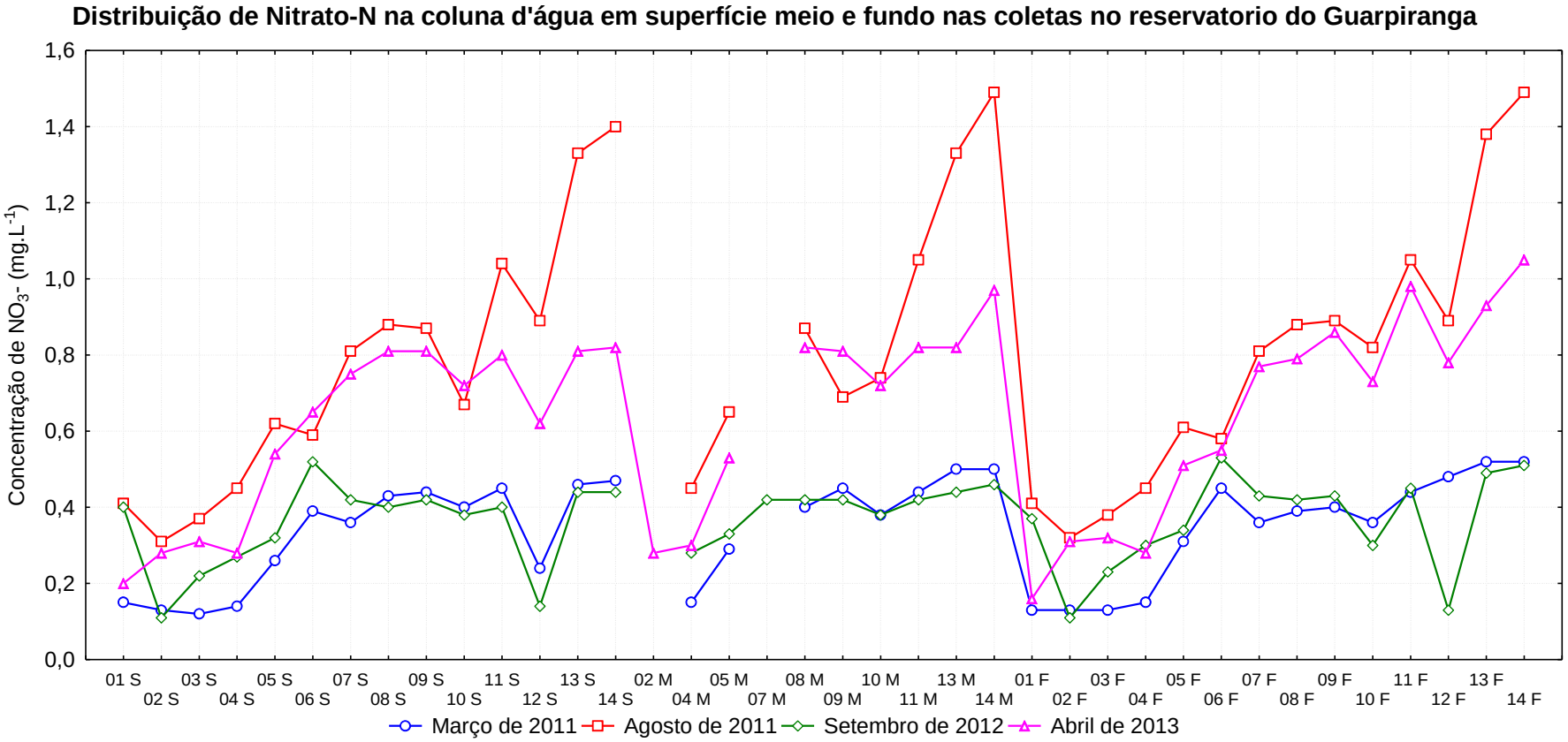


**FIGURA 33 -** Distribuição de Nitrato-N em superfície meio e fundo da coluna d'água do reservatório do Guarapiranga

Os maiores valores de amônio-N que são apresentados na FIG. 31, foram nas áreas próximas aos córregos Guavirutuba e Itupu ponto 12, correspondendo a uma variação 1,13 $mg.L^{-1}$ em agosto de 2011 seguido do maior valor encontrado entre as coletas de 2,72 $mg.L^{-1}$ em setembro 2012. Pode-se se observar que o ponto 10 com contribuição do Rio Embu-Mirim foi o segundo maior valor em agosto de 2011 com 2,07 $mg.L^{-1}$. Enquanto que no Córrego Parelheiros (Várzea do Taquacetuba) ponto 06, que ainda recebe grande quantidade de esgoto sem tratamento, as concentrações de amônia-N chegam a 2,27 $mg.L^{-1}$ em setembro de 2012. As maiores concentrações são observadas no período de estiagem em agosto de 2011 seguido de setembro de 2012.

Segundo Barbosa (1981), a concentração e a distribuição de nitrito em lagos tropicais parece estar diretamente relacionada com o grau de oxigenação da coluna d'água. Para Esteves (1988), em lagos eutróficos, como é o caso do reservatório do Guarapiranga, durante o período de estratificação térmica, ocorre um aumento da concentração de nitrito. E ainda, quanto ao nitrogênio amoniacal, este autor comenta que na maioria dos lagos tropicais estudados parece não haver relação deste elemento com a produtividade, mas sim com a duração do período de estratificação térmica.

O nitrito é bastante instável e por isto não são detectados altos teores para esta forma de nitrogênio (Prado, 2004). Através da FIG.32 pode-se observar exatamente este processo. Em superfície meio e fundo da coluna d'água verificou-se que durante os meses de estudo, a concentração de nitrito-N na água permaneceu muito baixa e apresentou valores mais homogêneos, variando o máximo de 0,21 $mg.L^{-1}$ e mínimo de 0,10 $mg.L^{-1}$. Os maiores valores foram na coleta de abril de 2013. Os valores baixos já eram esperados, pois é facilmente oxidado a nitrato na presença de oxigênio. (Vidal, et al., 2013). O nitrito é a oxidação da amônia, a ocorrência da espécie caracteriza a condição de depleção de oxigênio no meio e/ou a um pouco mais afastado a fonte de lançamento de esgoto não tratado.

As maiores concentrações de nitrato (FIG. 33) foram observadas no ponto 14 em superfície, meio e fundo. Este ponto é o de captação da SABESP, correspondendo quase que ao dobro do observado em março de 2011. Esta região junto à represa se caracteriza por ter maior tempo de retenção (Cutolo, s.d). Tal como proposto por Richter e colaboradores (2007), o fluxo de água no sentido da captação associado ao maior tempo de retenção permite que o produto de oxidação biológica do nitrogênio amoniacal e/ou orgânico leve ao aumento de nitrato nesta região. Com o lançamento de produtos para inibir o crescimento de algas a concentração do Nitrato aumenta na proximidade dessa área.

## 11. Relação Fe e P em Água e Sedimento

Os principais nutrientes responsáveis pelo equilíbrio da biota aquática são o ferro e o fósforo, pois são mais abundantes na natureza e, atualmente, a disponibilidade destes elementos é incrementada em função do uso de fertilizantes na agricultura, por aporte de esgotos urbanos e industriais (Figueiredo et. al, 2007). Em função da eutrofização, muitos reservatórios e lagos no mundo já perderam sua capacidade de abastecimento de populações, de manutenção da vida aquática e de recreação. Os sedimentos dos lagos e reservatórios exercem um papel importante tanto na imobilização quanto na liberação do fósforo.

A eutrofização de lagos é um problema de abrangência mundial (Theis, 1978; Sondergaard, 2013, Smith, 2009), comprometendo tanto o meio ambiente quanto a qualidade do abastecimento de água, através do aumento da produção de fitoplâncton. Nesse processo o fósforo foi identificado em diversos sistemas como o nutriente limitante na proliferação desses organismos (Sondergaard, 2003). Assim o controle do crescimento desordenado de fitoplâncton está diretamente ligado ao processo de identificar as fontes, diminuir o aporte e controlar a liberação de fósforo em lagos e reservatórios (Bostrom, 1988).

A concentração de fósforo nas águas de um lago/represa não é determinada somente pela quantidade do aporte externo desse elemento, mas também pela dinâmica interna do sistema. Os sedimentos contribuem de forma direta para a liberação ou imobilização do fósforo. Sondergaard, (2003) descrevem alguns dos processos que regulam a liberação ou a imobilização de fósforo em lagos eutrofizados, tais como:

(a) ressuspensão de fósforo pela agitação de sedimentos em estações chuvosas;

(b) efeitos da temperatura relacionados a processos de oxidação e redução;

(c) efeito do pH onde grupos $OH^-$ competem com o ferro pelo fósforo e;

(d) presença de óxidos e hidróxidos de ferro, que se ligam de forma muito eficiente ao fósforo permitindo sua imobilização.

Diversos autores (Sondergaard, et al., 2003; Loh, et al., 2013; Jensen, et al., 1992) demonstraram a relação dinâmica do equilíbrio de ferro, estabelecido entre sedimento e água leva a imobilização do fósforo. Jensen (1992) demonstrou que a capacidade de retenção do fósforo permanece elevada desde que a razão Fe:P exceda o valor de 15 (em massa) e que desde que os valores desta razão permaneçam elevados à liberação de fósforo não ocorrerá. Kleeberg, et al., (2012) discute os lançamentos de sais de ferro em lagos mesoeutróficos e eutróficos para o controle da liberação do fósforo.

Em vistas dos relatos de “blooms” de algas na represa Guarapiranga os quais são, muitas vezes, acompanhados do lançamento de sais de cobre e de hidróxido de hidrogênio por sua ação algicida, considerou-se importante o monitoramento das razões de Fe:P na represa, para que se entenda a condição de equilíbrio dinâmico que regula a liberação de fósforo nesse corpo d’água.

Os resultados apresentados são referentes às amostras de sedimento, realizada em agosto de 2011, e água realizadas em março de 2011 e agosto de 2011 e abril de 2013.

A FIG. 34 apresenta uma distribuição espacial das concentrações de Fe dissolvido, somente aquelas que ficaram acima ou próximas do limite da resolução CONAMA 357/05. Podemos observar que os pontos de 01 a 05 são os que apresentaram as maiores concentrações de Fe, indicando a maior disponibilidade de ferro que possa se ligar ao fósforo. Estas regiões do ponto 01 ao 05 são as que têm menor ocupação no seu entorno, sob a influência do Rio Embu-Guaçu, com apenas duas espécies de macrofitas e salvínias e que embora tenha sido possível localizar nas proximidades pontos de lançamentos de esgoto não tratado não há a ocorrência de “blooms” de algas.

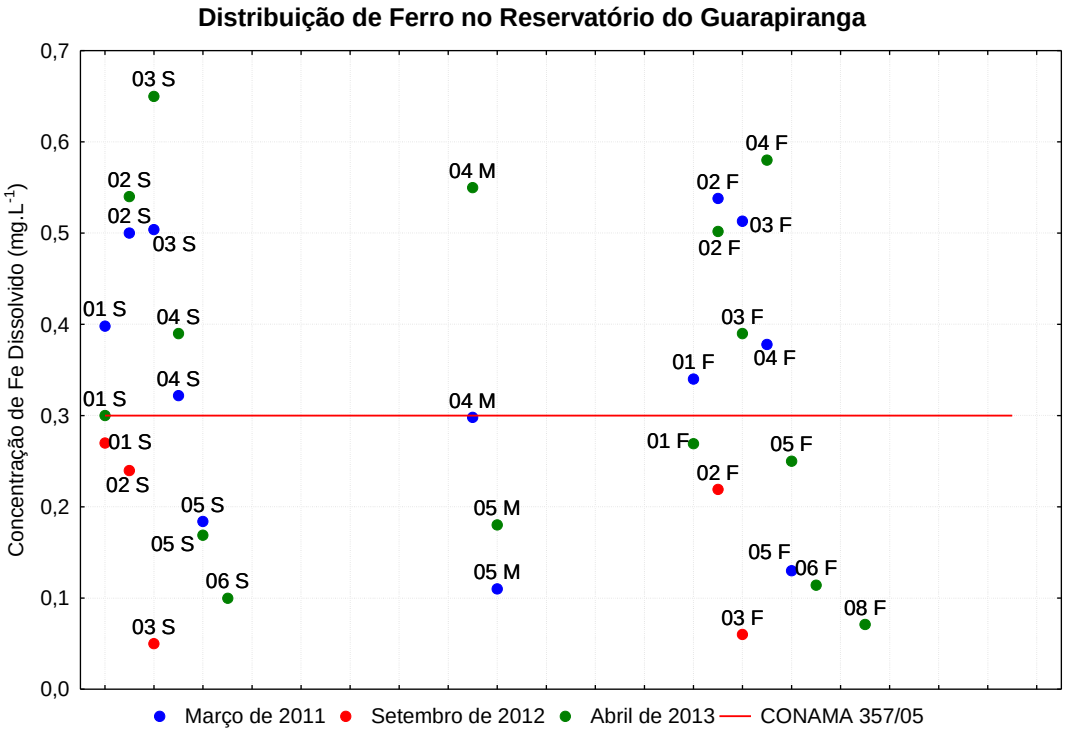


**FIGURA 34 -** Distribuição de ferro dissolvido em superfície meio e fundo da coluna d’água do reservatório do Guarapiranga**.**

Pode se observar a distribuição de Fe dissolvido entre o período coletado na FIG. 35. As concentrações de Fe variam de acordo com os períodos de chuva e seca no reservatório. Em março de 2011 o Fe ficou com a maioria dos pontos acima da resolução do CONAMA 357/05 o mesmo ocorreu com a

coleta de abril de 2013, no entanto se observou nesta coleta uma concentração maior de Fe. Em setembro de 2012 as concentrações de Fe ficaram abaixo do limite da resolução CONAMA 357/05.

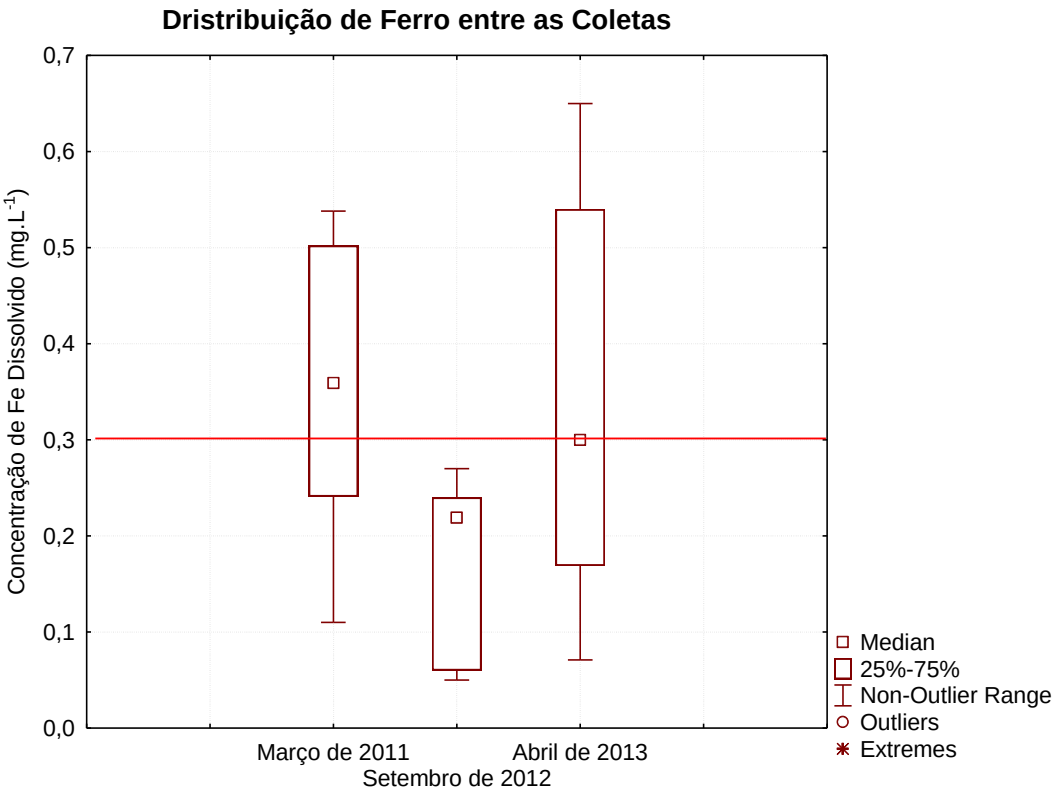


**FIGURA 35 -** Distribuição de Ferro nas Coletas de 2011 a 2013 no reservatório do Guarapiranga.

As concentrações de Fe de março de 2011 e abril de 2013 estão ligadas aos períodos de chuva na região do reservatório, quando há uma maior concentração de Fe vindas da lixiviação do solo e de fontes de lançamento de seus contribuintes no entorno do reservatório. Quando ele é oxidado nos períodos chuvosos (março de 2011 e abril de 2013) sua concentração aumenta e quando o ferro é reduzido ocorre o período de seca (setembro de 2012) sua concentração diminui.

Podemos observar que, nas coletas de março de 2011 e abril de 2013, quando os índices ficaram acima do COMANA, ele estava sendo oxidado do sedimento para a coluna d'água.

A FIG. 36 apresenta a distribuição de ferro nos sedimentos, indicando que ainda ocorre ferro no reservatório nos pontos 01 a 04 em concentrações suficientes para se ligar ao fósforo, permitindo sua imobilização, e nos pontos 05 a 14 é onde não há concentrações suficiente de Fe para se ligar com o P.

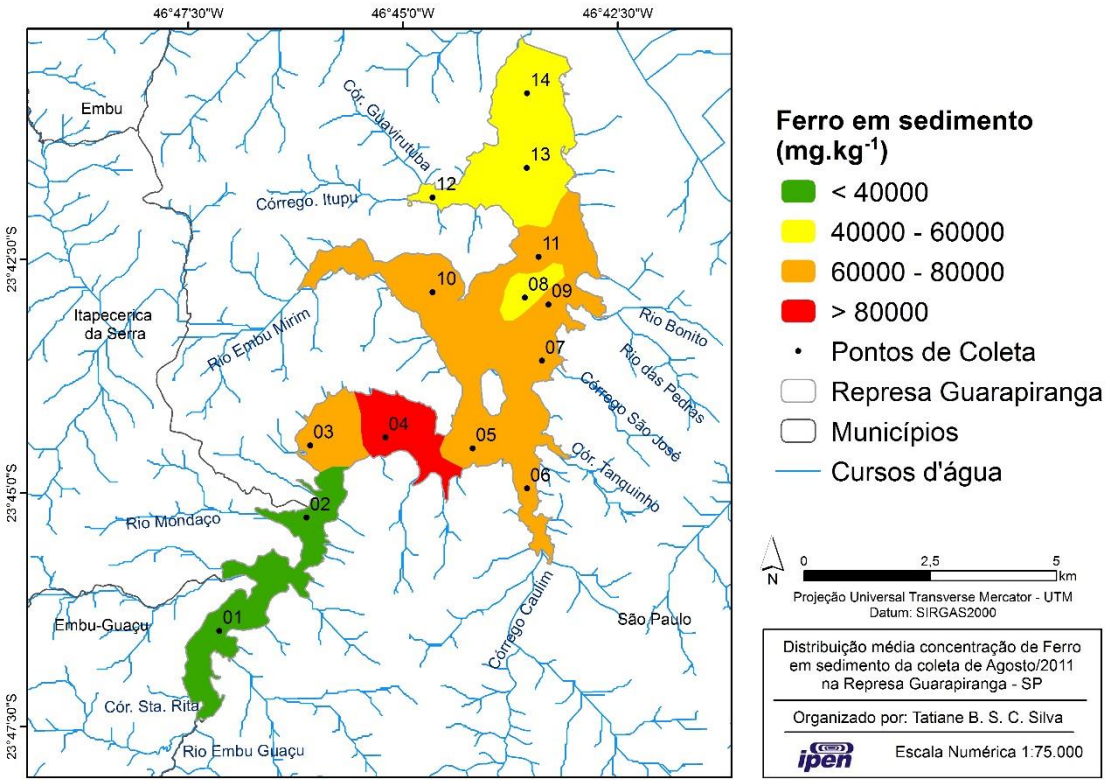


**FIGURA 36 -** Mapa temático da distribuição de $Fe_T$ nos sedimentos no reservatório do Guarapiranga em março de 2011.

A FIG. 37 apresenta a distribuição de P total entre as coletas na água. Em março de 2011 as amostras de P em água não foram abertas pela a metodologia correta, sendo que por este motivo não são apresentados os resultados. Podemos observar que em todas as coletas e pontos o P ficou acima da resolução do CONAMA 357/05. Em abril de 2013, é possível observar as maiores concentrações comparando com a coleta de setembro de 2012.

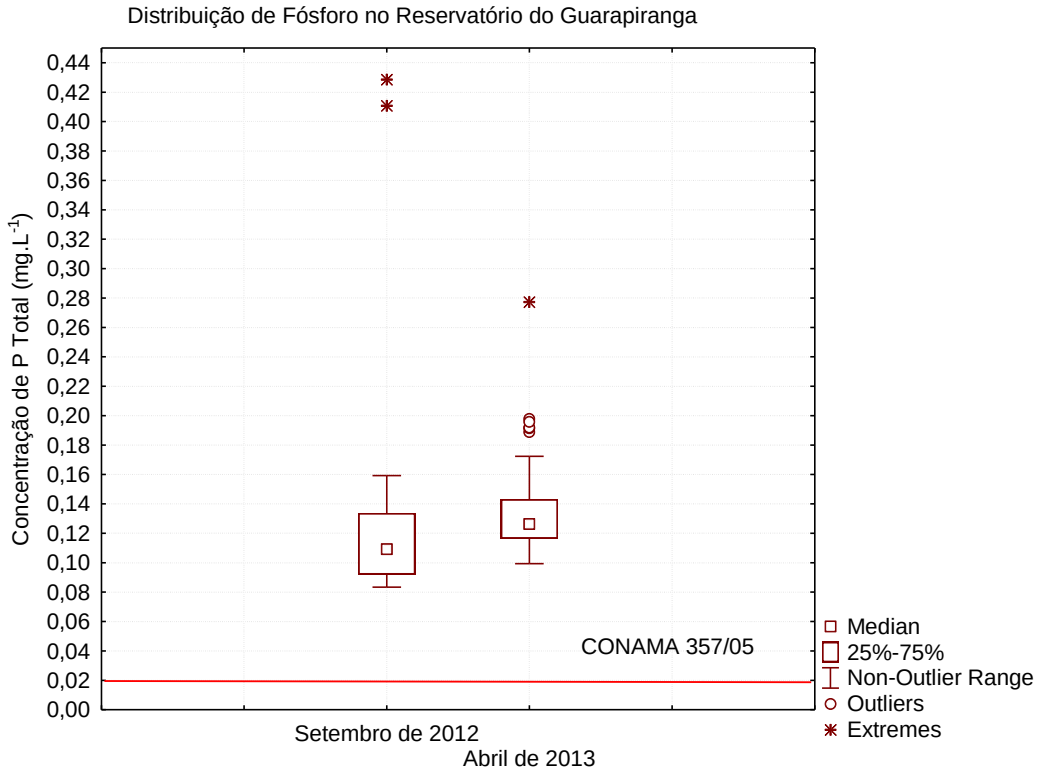


**FIGURA 37 -** Distribuição de Fósforo nas Coletas de 2011 a 2013 no reservatório do Guarapiranga

Na FIG. 38 é mostrada a distribuição de P nos sedimentos da represa do Guarapiranga. Nos pontos 05 a 14 observaram-se as maiores concentrações. Sabe-se que a maior proporção do fósforo nos sedimentos está associada aos metais tais como Al, Fe, Ca e Mn tanto em condições redutoras quanto oxidantes (Kleeberg, et al., 2012). Particularmente em relação ao ferro, na forma $Fe^{+3}$ compostos como o $Fe(OH)_3$ absorvem fortemente o fósforo, formando uma microzona oxidada sobre a superfície do sedimento, levando a grandes retenções de fósforo. Na sua forma reduzida o $Fe^{+2}$ se torna solúvel e o fósforo anteriormente associado é liberado. Kleeberg, et al., 2012, relata que em periodos de estratificação térmica com consumo de oxigênio a redução do ferro a $Fe^{+2}$ leva a liberações de fósforo nas águas dos lagos.

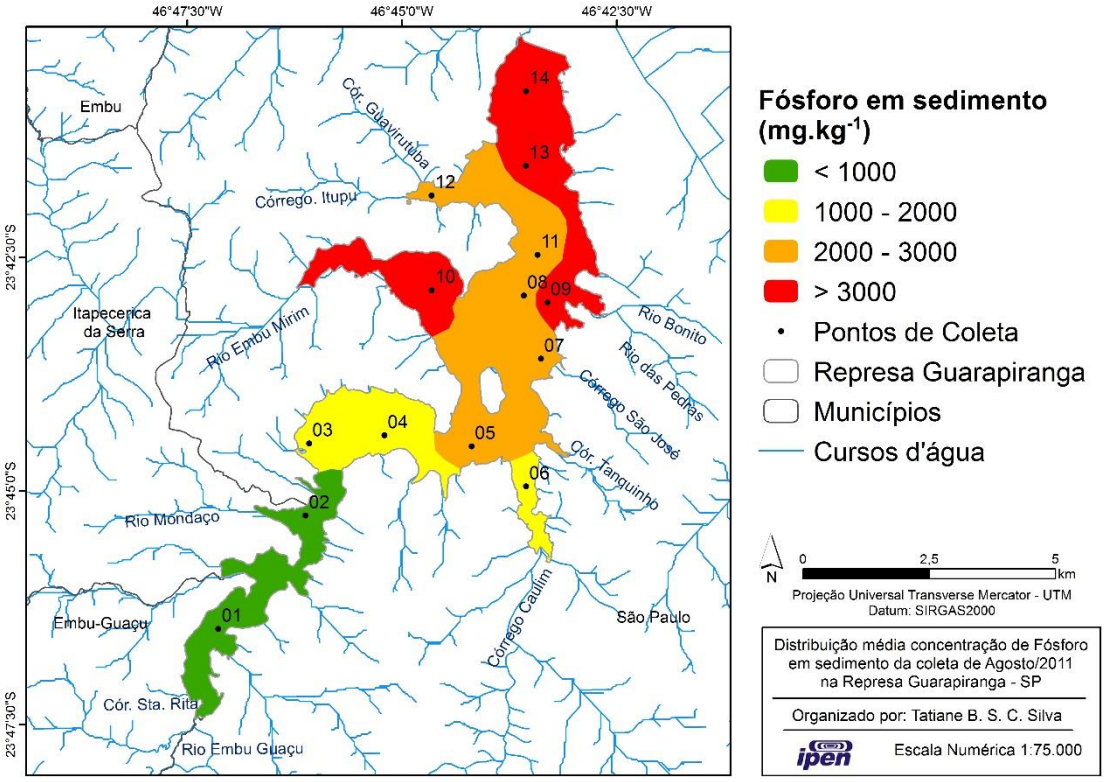


**FIGURA 38 -** Mapa temático da Distribuição de P nos sedimentos do Guarapiranga em março de 2011.

A região mais profunda (14) do Reservatório Guarapiranga apresenta sedimento rico em fósforo com potencial para causar efeito tóxico. Foi observado efeito, toxicidade aguda para *Vibrio fischeri* e mutagenicidade. O número de contaminantes no sedimento e suas concentrações têm aumentado ao longo dos anos, assim como a concentração de fósforo. A densidade de organismos bentônicos observada reflete o grau de trofia do local (SABESP, 2013).

O mapa temático com a razão de Fe:P nos sedimentos é apresentado na FIG. 39, com os valores médios de 32,84 variando entre 12,88 e 57,43 (n=14). Sondergaard, et al., 2003 descreve uma razão Fe:P limitante para a liberação de fósforo dos sedimentos para as águas dos lagos quando os valores desta razão são inferiores a 15.

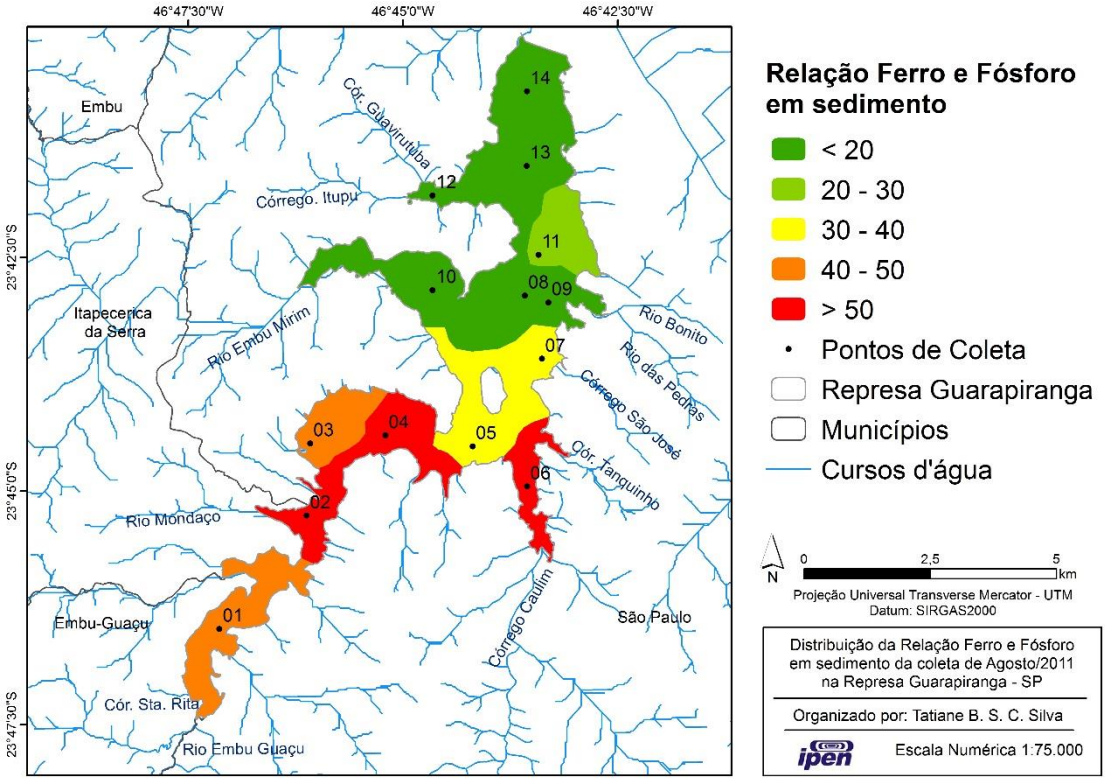


**FIGURA 39 -** Mapa temático das razões de Fe/P nos sedimentos coletados na represa do Guarapiranga em março de 2011.

A região verde, correspondente as menores razões Fe:P, com menor potencial de retenção do fósforo, e portanto mais sujeita a ocorrência dos “blooms” de algas. Assim como o observado durante as coletas, houve a intensa ocorrência de algas nos pontos 08 a 14. O mesmo comportamento é relatado por Jensen, et al., 1992 que ao estudar quatro lagos na Dinamarca com diferentes composições de Fe e Ca em seus sedimentos observou que ocorria maior liberação de Fósforo quando a razão Fe:P diminuía nos sedimentos.

Devido ao impacto causado na qualidade das águas, a tendência de retenção ou de liberação de fósforo gerada pelo equilíbrio sedimento-água é um fator importante no estudo de lagos e reservatórios. A identificação das áreas do entorno da represa Guarapiranga mostrou que as próximas das regiões com as menores razões Fe:P são as mais sensíveis à floração de algas. A fim de assegurar a qualidade da água de abastecimento neste reservatório, além de se executar ações de controle nos aportes de P é também indicado o estudo das

condições que podem favorecer a liberação de P interno (autóctone). A razão Fe:P permite conhecer as condições que podem imobilizar o fósforo depositado em seus sedimentos, como um mecanismo adicional de controle da eutrofização.

Neste estudo, foram identificadas regiões com razões Fe:P superiores a 30, para as quais não foi observada, durante a coleta, presença de algas. Além disso, mostrou uma região cuja razão Fe:P se apresentou menor que 20, na qual foi observada a presença abundante de algas. Em lagos da Dinamarca, as razões Fe:P nas quais houve ocorrência de “blooms” de algas foram menores e esteve, em alguns lagos, na ordem de 15 (Jensen. 1992). Entretanto, outros parâmetros como, por exemplo, as maiores concentrações de Al, Ca e Mg podem influenciar na retenção de fósforo, levando à redução desse valor. As características observadas pertinentes ao potencial de liberação de fósforo dos sedimentos para as águas nas regiões em que há a ocorrência de menores razões Fe:P, concordam com os resultados das características da água intersticial e dos fluxos de nutrientes na interface sedimento-água (AcquaSed Rel. 2).

## 12. Metais Totais e Dissolvido em Água e Sedimento

Existem cerca de vinte elementos considerados tóxicos para a saúde humana incluindo Hg, Cd, Pb, As, Mn, Ti, Cr, Ni, Se, Te, Sb, Be, Co, Mo, Sn, W e V. Destes, os dez primeiros são os de maior utilização industrial e, por isso mesmo, são os mais estudados do ponto de vista toxicológico. Tais elementos reagem com ligantes difusores, com macromoléculas e com ligantes presentes em membranas o que, muitas vezes, lhes conferem as propriedades de bio acumulação na cadeia alimentar, persistência no ambiente e distúrbios nos processos metabólicos dos seres vivos. As bio acumulações se encarregam de transformar concentrações consideradas normais em concentrações tóxicas para as diferentes espécies da biota e para o homem. A persistência garante os efeitos ao longo do tempo ou de longo prazo, mesmo depois de interrompidas as emissões (Lemes, 2001).

Os metais e semi-metais podem estar associados às diversas fontes naturais (lixiviação de solo, intemperização de rochas e/ou variáveis climatológicas) ou por influência antrópica (efluentes e resíduos domésticos e industriais) ao ser descartado no meio ambiente aquático impropriamente, uma partição entre a água e os particulados suspensos, sendo que parte desta carga é metabolizada pela a biota (animal e vegetal) e parte terá como destino final os sedimentos destes ambientes (Silverio, 2003).

Os solos tropicais do Estado de São Paulo possuem concentrações naturalmente elevadas dos metais Alumínio, Ferro e Manganês. Dessa forma, os solos constituem-se em uma fonte significativa desses metais para os corpos hídricos, através da lixiviação de partículas devido a processos erosivos, causados entre diversos fatores por chuvas intensas e carência/ausência de mata ciliar (CETESB, 2013).

A presença de metais em reservatórios, represas e rios é de grande importância e muito preocupante, pois hoje o tratamento de água para consumo humano não faz a retirada destes metais antes de ser distribuída em rede. Uma vez inseridos no meio ambiente dificilmente o tratamento físico-químico de água para consumo humano conseguirá reter e retirar estes metais. Logo as populações abastecidas por estas águas estariam expostas a estes metais e seus efeitos tóxicos a saúde. Para uma melhor visualização dos resultados de metais em água foram tratados somente os dados que se mantiveram acima do LD.

## 12.1 Alumínio

A lixiviação dos solos e minerais a erosão e os efluentes constituem dispersões do alumínio no ambiente aquático (Mendes, et al., 2004). O alumínio também é utilizado na forma de sulfato para provocar a coagulação e floculação das substâncias presentes em água bruta e nos processos de tratamento de água (Mendes, et al., 2004). As precipitações ácidas, resultantes da poluição atmosférica como compostos de nitrogênio e enxofre provocam a formação de ácidos fortes (nítrico e sulfúrico) que acidificam a água da chuva. Com este efeito o pH destas águas normalmente se torna mais ácido, em torno de 5,5, podendo solubilizar o alumínio para a água.

Além de afetar organismos vivos (plantas, micro-organismos do solo e organismos aquáticos), o teor de alumínio das águas naturais sofre com a acidificação das águas um aumento significativo, pois à medida que o pH é diminuído, a solubilidade do alumínio aumenta e seus teores podem se tornar mais elevados na água (Mendes, et al., 2004).

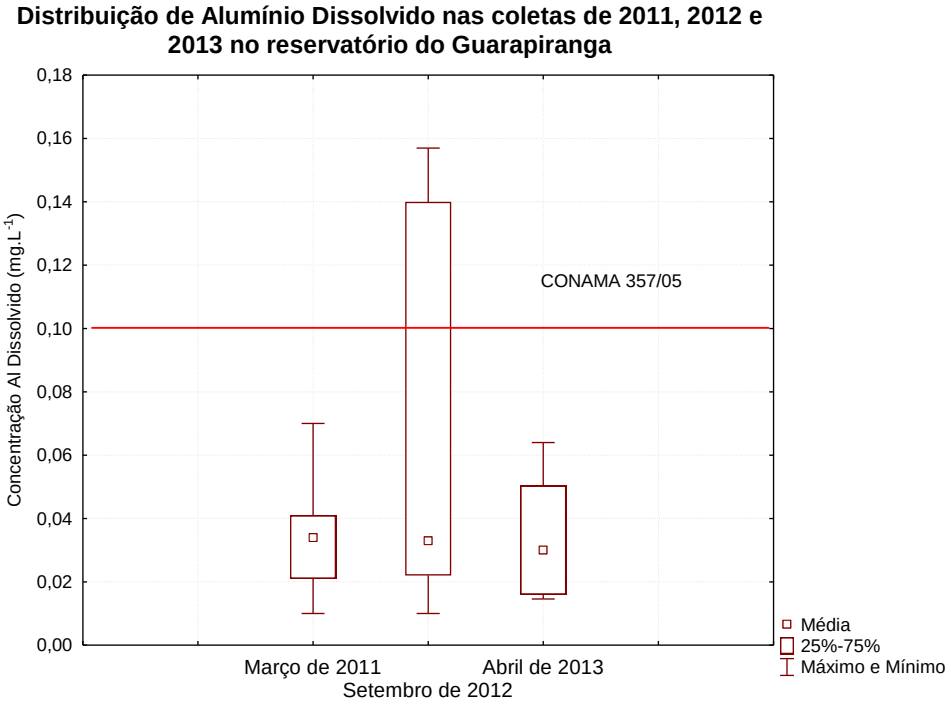


**FIGURA 40 -** Distribuição de alumínio nas Coletas de 2011 a 2013 no reservatório do Guarapiranga

A comparação da distribuição de alumínio dissolvido entre as coletas é apresentada na FIG. 40. Pode-se observar que a coleta realizada em setembro de 2012 demonstrou a maior desconformidade com a resolução do CONAMA 357/05, porém em março de 2011 e abril de 2013 ficaram dentro do enquadramento da resolução.

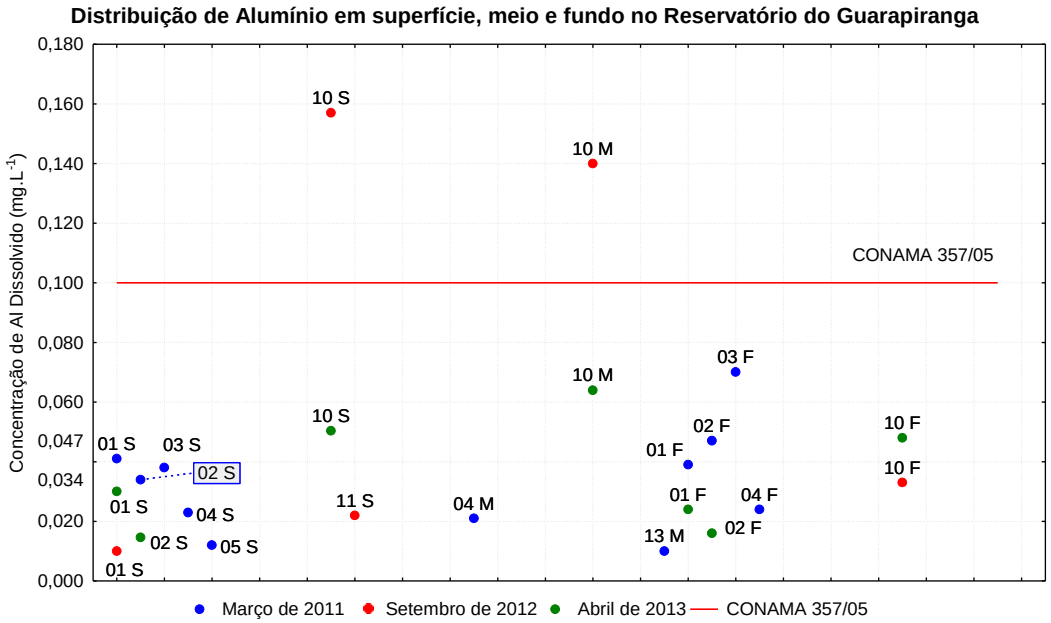


**FIGURA 41 -** Distribuição de alumínio em superfície meio e fundo da coluna d'água do reservatório do Guarapiranga.

Em março de 2011 apenas os pontos de 01 a 05 ficaram acima do LD, o mesmo ocorre em setembro de 2012 nos pontos 01, 10 e 11 e abril de 2013 nos pontos 01, 02 e 10. Em setembro de 2012 os pontos 10S (0157 $mg.L^{-1}$) e 10M (0,14 $mg.L^{-1}$) estavam fora do enquadramento da resolução 357/05 do CONAMA. Em março e abril nos compartimentos de superfície meio e fundo o alumínio dissolvido ficou abaixo do valor máximo de enquadramento do corpo hídrico pelo COMANA 357/05.

A FIG. 42 apresenta o alumínio no sedimento, sendo possível perceber que os pontos de maior concentração são nos pontos 03 a 14. O alumínio é o terceiro elemento mais abundante na crosta terrestre, sua solubilização está ligada a lixiviação dos solos e minerais a erosão e os efluentes, que constituem dispersões do alumínio no ambiente aquático (Mendes, et al., 2004).

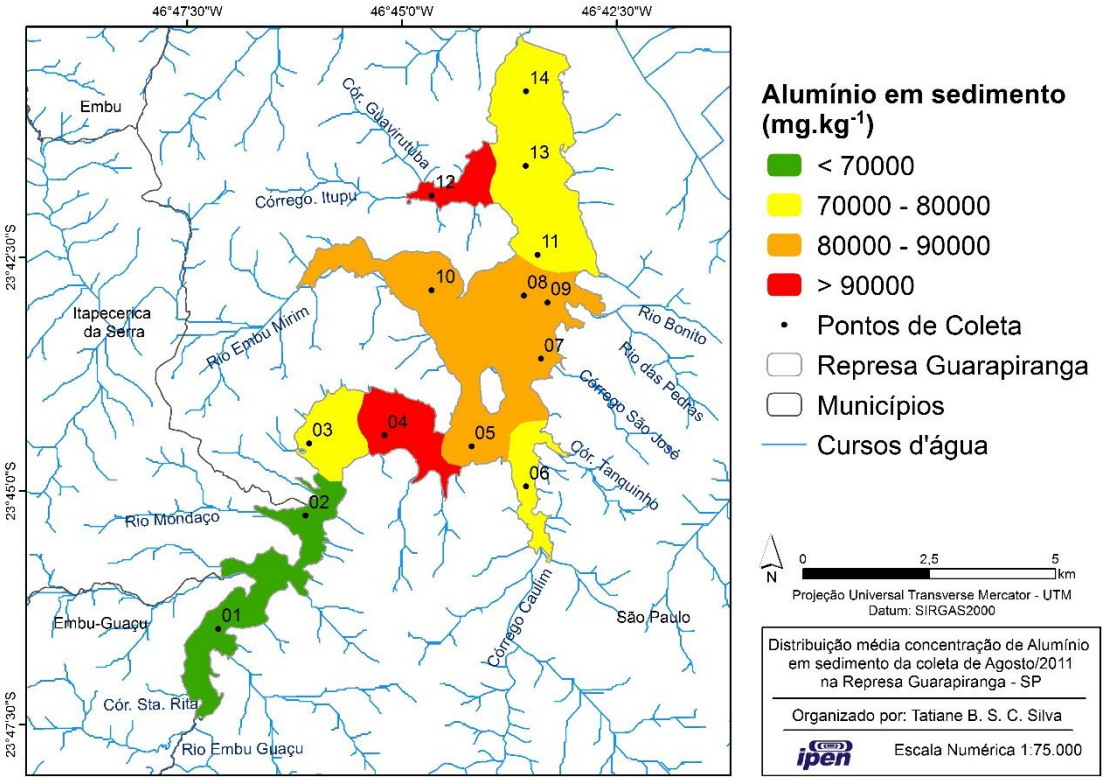


**FIGURA 42 –** Mapa temático da distribuição de Alumínio em Sedimento do Reservatório do Guarapiranga.

Lemes (2001) afirma em seu estudo que o alumínio é abundante nas rochas e minerais. O aumento do seu teor nas águas é decorrente do lançamento de efluente industrial, esgoto doméstico, resíduos industriais, de mineração e de produtos utilizados na agricultura, bem como através de fontes minerais. Apesar do alumínio também poder ser associado à aplicação de sulfato de alumínio para o controle dos “blooms” de algas no reservatório do Guarapiranga, a SABESP não faz seu uso.

De acordo com o relatório da SABESP (2012) esses valores de alumínio estão relacionados como os efluentes industriais. O relatório mostrou não conformidade com os padrões da legislação para alumínio dissolvido. No entanto as concentrações de alumínio também podem estar relacionadas à aplicação de sulfato de alumínio no braço de transposição do Taquacetuba do reservatório do Billings, pois de acordo com o jornal do Grande ABC (2001) o sulfato de cobre foi substituído pelo sulfato de alumínio em 2001 pela SABESP,

este fato pode estar relacionado com as concentrações de alumínio no sedimento nos pontos 03 a 14.

Pode–se observar que na Coleta de abril de 2013 o pH no ponto 01 se mante o mais baixo entre as coletas e no mesmo período o alumínio total na água se manteve mais elevado na superfície e no fundo, esta diminuição do pH causa pelo período de estiagem pode ser um dos fatores de solubilização do alumínio do sedimento para a água.

## 12.2 Cobre

O cobre é um elemento abundante na crosta terrestre, presente por diferentes formas, normalmente na forma de metais oxidados ou sais de enxofre. O cobre nas rochas tem uma concentração média de 70 ppm, trata-se essencialmente de sulfetos, hidróxido e carbonatos. A solubilidade destas espécies é influenciada pelo pH na sua solubilização ou precipitação e no seu comportamento no ecossistema (Mendes, et al., 2004).

Na agricultura os sais de cobre são muito utilizados como fungicidas, sendo também usado na indústria têxtil e fotográfica, na fabricação de pigmentos e corantes, no tratamento de couros e de superfícies e na indústria cerâmica (RODRIGUES, et al., 2012 & Mendes, et al., 2004). Nos seres vivos, o íon cobre é um elemento traço essencial, sendo o mais abundante em humanos, depois do ferro e do zinco, que necessitam de uma ingestão diária de 2 a 5 mg de cobre por dia (RODRIGUES, et al., 2012).

A contaminação das águas naturais com o cobre está ligada as atividades humanas antrópicas, sendo o metal pouco solúvel na água, já seus sais são bastante solúveis (Mendes, et al., 2004). O teor de cobre nas águas em reservatórios do Brasil, por exemplo, está ligado a utilização do sulfato de cobre que é adicionado à água com objetivo de deter a proliferação de algas.

As florações de algas também conhecidas como florações de cianobactérias, ou “blooms de algas”, podem causar gosto e odor desagradáveis na água, além de alterar o equilíbrio ecológico do ecossistema aquático. Entretanto o maior problema causado por estas florações são as ciano toxinas ou toxinas intracelulares por algumas espécies de cianobactérias. Tais toxinas são liberadas na água naturalmente (Briand, et al., 2003). Neste contexto o sulfato de cobre tem uma função muito importante na eliminação destas florações.

Ao avaliar os valores de cobre pode-se observar que o limite de detecção da técnica analítica utilizada (ICP-OES espectrometria de emissão

óptica com fonte de plasma induzido) era de 0,020 $mg.L^{-1}$, no tratamento de dados foi observado que o limite de enquadramento pela resolução COMANA 357/05 era de (0,009 $mg.L^{-1}$) menor que o LD da técnica analítica, logo os resultados de cobre apresentados para o cobre referem-se somente aos valores que se mantiveram acima do LD da técnica analítica.

Na FIG. 43 pode-se observar que em março de 2011 todos os resultados de cobre ficaram abaixo do LD. Em setembro de 2012 e abril de 2013 os valores acima do LD ficaram acima do enquadramento da resolução do CONAMA 357/05, sendo observados os maiores valores na coleta de abril de 2013.

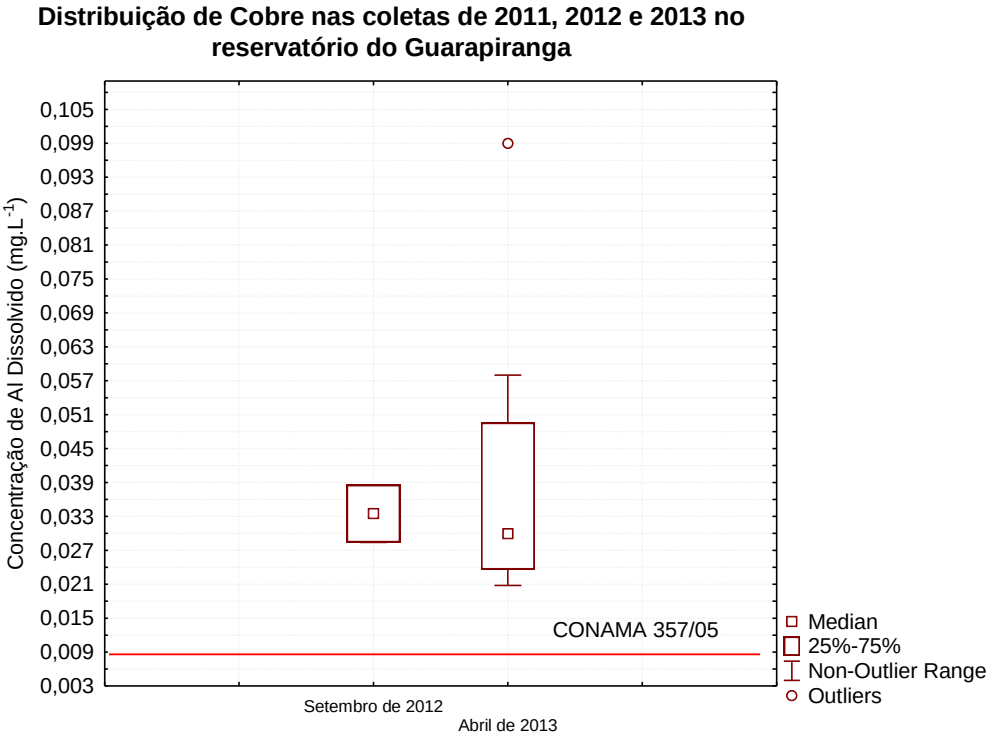


**FIGURA 43 -** Distribuição de cobre nas Coletas de 2011 a 2013 no reservatório do Guarapiranga

A FIG. 44 apresenta a distribuição de cobre dissolvido, podendo-se observar que em todas as coletas os pontos 01 a 06 o cobre ficou abaixo do LD

(0,020 mg.L$^{-1}$). Em setembro de 2012 somente o ponto 10 ficou acima do LD. Em abril de 2013 a maior concentração foi no ponto 12F.

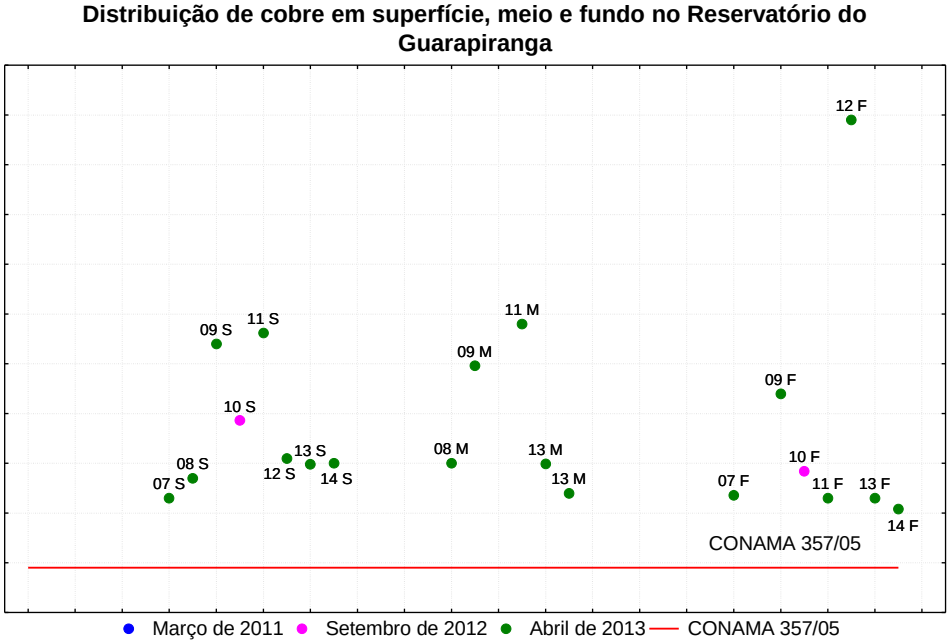


**FIGURA 44 -** Distribuição de cobre dissolvido em superfície meio e fundo da coluna d'água do reservatório do Guarapiranga.

Em abril de 2013 foram observadas as maiores concentrações do cobre, houve um aumento entre os pontos 06 ao 14 nas três profundidades da coluna d'água.

Em agosto de 2011 somente o ponto 13 e 14 ficaram acima do LD (0,020 mg.L$^{-1}$), para o cobre total, como pode se observar na FIG. 29. Isto ocorreu também para setembro de 2012 onde somente o ponto 10 se manteve acima do LD. Na coleta de abril de 2013 se observaram as maiores concentrações entre os pontos 07 a 14, já os pontos 01 a 06 se mantiveram abaixo do LD.

Nos estudos de Beyruth (2000) observou-se que o aumento da densidade de cianobactérias no reservatório do Guarapiranga ocorre após a mortandade de algas em consequência da aplicação do sulfato de cobre.

Assim, a utilização de algicidas deve ser precedida de estudos que indiquem o composto, a forma, a frequência e as condições para aplicação.

Logo, o aumento das concentrações de cobre nas coletas está relacionado com as épocas de floração de algas onde é feita a aplicação de sulfato de cobre para a eliminação das mesmas. Estas medidas têm efeito paliativo emergencial, pois em épocas de florações há necessidade de garantir o abastecimento.

O cobre se manteve com concentrações acima do LD a partir do ponto 06 e até o 14, pois nestes pontos é onde a SABESP faz a utilização de sulfato de cobre para controlar as florações de algas, já na coleta de abril de 2013 as concentrações de cobre são maiores devido ao período de estiagem na época da coleta.

A distribuição espacial do cobre no sedimento na represa Guarapiranga é mostrada na FIG. 45, e sua comparação com TEL e PEL é mostrada na FIG 46. As concentrações de cobre mais elevadas foram encontradas nos pontos 13 e 14 correspondente aos pontos mais próximos da captação de água pela SABESP na barragem. Essas concentrações estão associadas ao uso de sulfato de cobre como algicida, uma prática corrente desde o primeiro bloom de algas relatado em 1990 (RODRIGUES 2008).

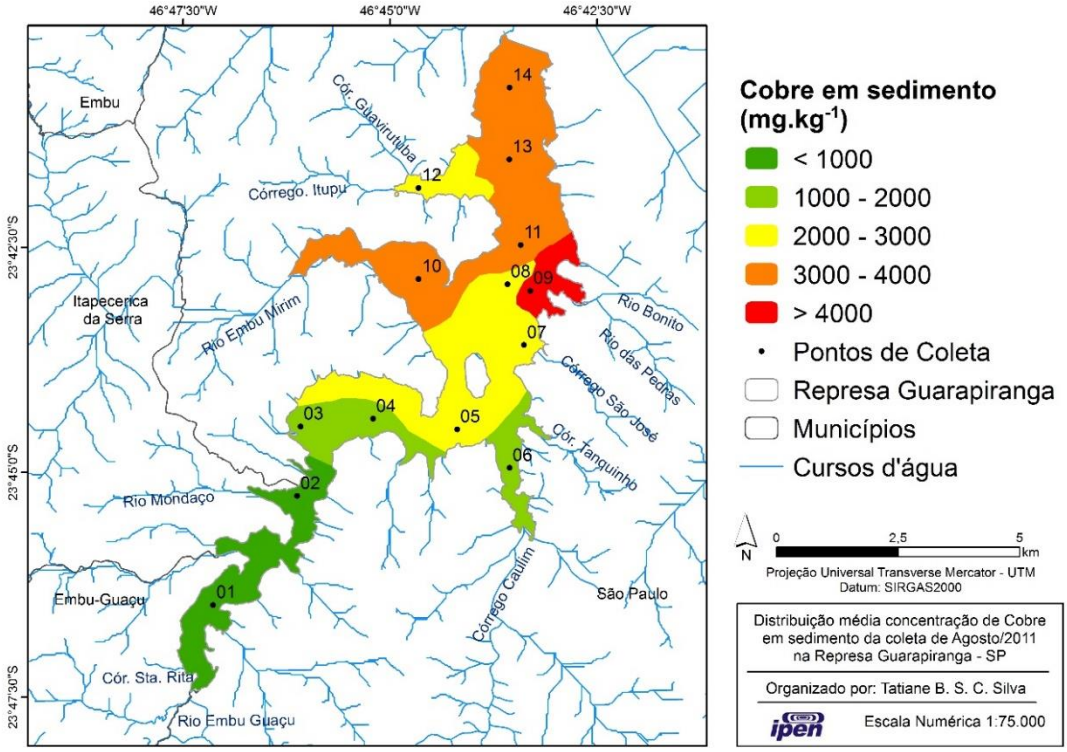


**FIGURA 45 -** Mapa temático da distribuição de cobre em Sedimento do Reservatório do Guarapiranga.

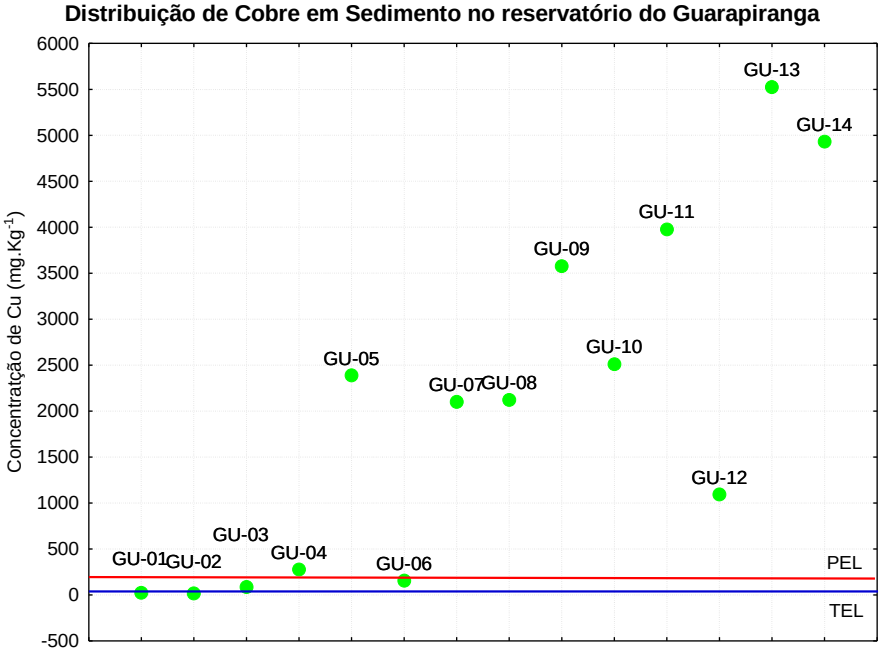


**FIGURA 46 -** Distribuição do Cu no sedimento (mg kg-1) comparado com TEL e PEL.

De acordo com o relatório da SABESP (2013), o cobre ocorre acima de PEL na área de captação de água para abastecimento público do reservatório do Guarapiranga. A concentração de cobre em 12 dos 14 pontos coletados excedeu o TEL -Threshold Effect Level (CCME- Canadian Concil of Ministers of the Environment 2012). E em onze pontos, a concentração do cobre excedeu em até 28 vezes o valor de PEL- Probable Effect Level.

De acordo com estudos de Gabriela M. Simões (2012) a concentração do cobre no reservatório do Guarapiranga começou a aumentar em meados de 1990 quando se intensificou a ocupação no entorno do reservatório e quando surgiram as primeiras ocorrências de algas no reservatório. Desde então a SABESP faz a ultilização do sulfato de cobre para conter as florações, e este fato esta ligado às concentrações acima do TEL e do PEL no sedimento.

### 12.3 Manganês

O manganês constitui 0,09% da crosta terrestre. É grande a solubilidade de muitos de seus sais incluindo óxidos, carbonatos e silicatos, podendo atingir níveis elevados em algumas águas naturais em função da natureza geológica do terreno. É usado industrialmente pela metalurgia principalmente na redução do aço, sendo que outros usos deste elemento são a produção do uso de fertilizantes (sulfatos), fungicidas como secantes de tintas e vernizes (dióxido de manganês), na produção de vidros cerâmica e produtos farmacêuticos (Mendes, et al., 2004).

Na água esse elemento é encontrado na forma dissolvida e suspensa, que pode variar conforme pH e potencial redox. Nas águas subterrâneas, anaeróbia na maioria das vezes, o manganês apresenta-se dissolvido, já nos rios é transportado adsorvido a partículas suspensas nos sedimentos (CETESB, 2012).

É um elemento considerado conservativo em sedimentos de fundo. Segundo (Chapman, et al., 1998) a presença de manganês aumenta o transporte

de elementos traços para as camadas de sedimentos de fundos em lagos e lagoas. A sedimentação de manganês é observada e aumentada através de processos oxidativos de origem microbiológica e está sempre relacionada a camadas de fundo em condição de anoxia que ocorrem nos ciclos de verão.

A FIG. 47 apresenta os resultados de manganês. Em março de 2011 foram observadas as maiores concentrações, ocorrendo a coleta onde o manganês ficou acima do limite de enquadramento do CONAMA 357/05. Em setembro de 2012 observaram-se as menores concentrações. Comparando-se a coleta abril de 2013 com a coleta de setembro de 2012 observa-se que houve um aumento gradativo.

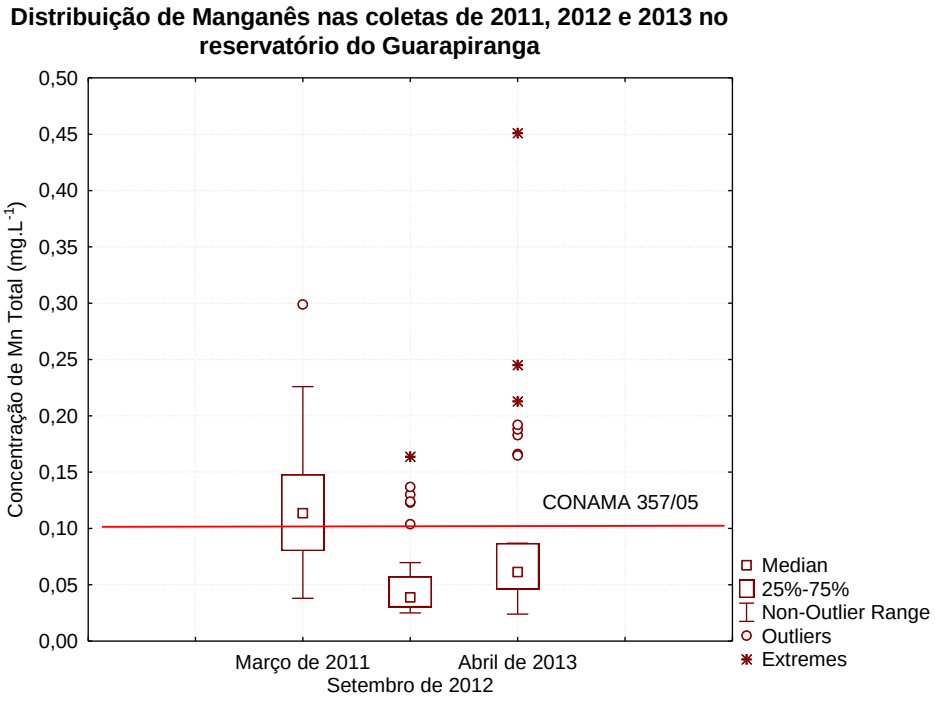


**FIGURA 47 -** Distribuição de manganês nas Coletas de 2011 a 2013 no reservatório do Guarapiranga

A FIG. 48 apresenta a distribuição de manganês comparando os pontos e as coletas, para uma melhor visualização dos resultados somente nos pontos que ficaram fora do enquadramento da resolução CONAMA 357/05 ou

próximos foram apresentados. Nas três coletas as maiores desconformidades foram na coluna d'água do fundo. Em março de 2011 observou-se as maiores desconformidades com o enquadramento pelo CONAMA 357/05, no ponto 06 S e 06F e 13 F,em setembro de 2012 ,nos pontos 03F, 08F, 10F, 11F e 14F e em abril de 2013 nos pontos 01F, 02F, 07F, 08F, 11F, 13F, 14F.

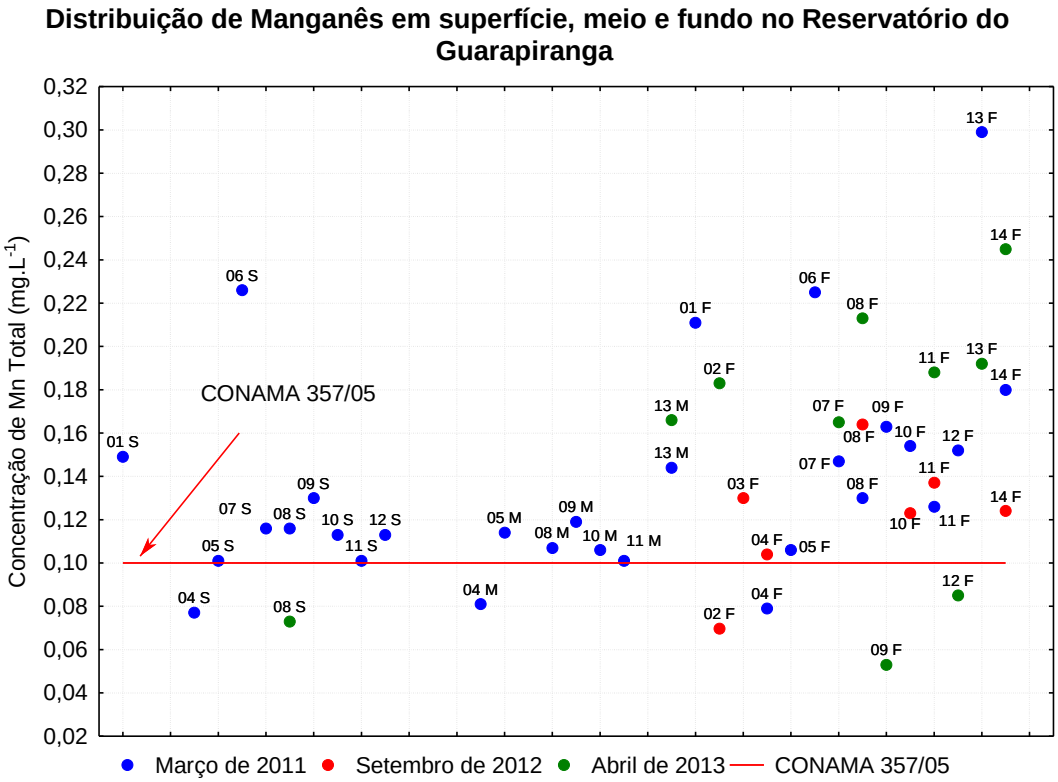


**FIGURA 48 -** Distribuição de manganês total em superfície meio e fundo da coluna d'água do reservatório do Guarapiranga.

Na FIG. 49 apresentamos a distribuição de manganês no sedimento. As maiores concentrações de manganês são observadas nos pontos, 09 (próximo à saída do Rio das pedras e Rio bonito), 11 (córrego sem nome), ponto 13 com aplicação de sulfato de cobre e ou peróxido de hidrogênio.

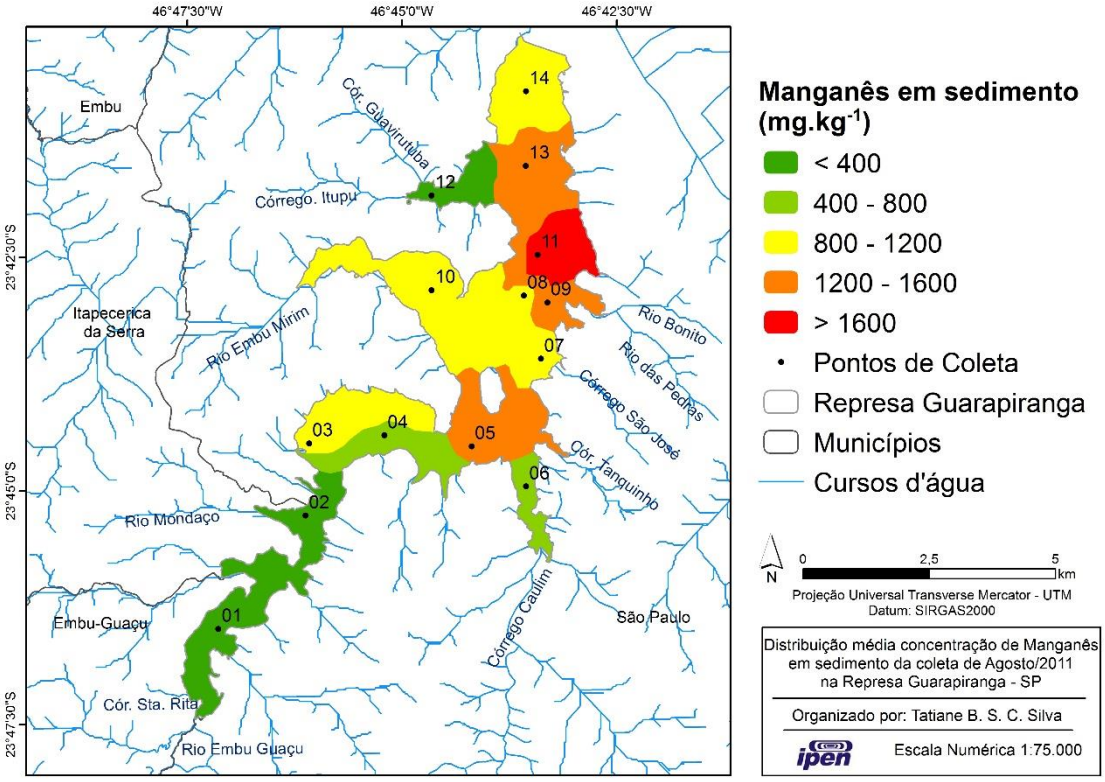


**FIGURA 49 -** Mapa temático da distribuição de manganês em Sedimento do Reservatório do Guarapiranga.

Silva, et al (2003), em seu estudo da qualidade de água e sedimento no reservatório do Guarapiranga, demonstrou um aumento do manganês da estação chuvosa para a seca. No relatório da SABESP (2012) valores acima do CONAMA 357/05 são atribuídos ao lançamento de efluente industrial, mas também podem indicar a intensificação de processos erosivos, com o transporte de material advindo de fonte edáfica.

Cabe ressaltar que a margem direita do reservatório é a mais impactada, pois existe o maior adensamento urbano nessa parte correspondente ao município de São Paulo. O uso industrial do reservatório corresponde 185 hectares ou 0,3% da bacia, já o uso da mineração corresponde a 340 hectares ou 0,5% da bacia de acordo com (ISA, 2006).

Comparando os dados de manganês com os dados de pH, pode-se observar que, apesar do pH na coleta de abril de 2013 ter ficado mais ácida, o

manganês não se mostrou com concentrações tão elevadas como na coleta de março de 2011.

De acordo com o portal “O Taboanense” (2011) a SABESP também faz a utilização de peróxido de hidrogênio para a eliminação de algas no reservatório, este uso pode promover a solubilização dos óxidos de manganês (Oliveira, et al., 2011), podendo explicar as concentrações não conformes com o COMANA 357/05 observadas nas amostras de água. O peróxido de hidrogênio também pode ser produzido por decomposição anaeróbia de matéria orgânica contendo enxofre, fato que pode ocorrer quando a matéria orgânica no período de estiagem no fundo do reservatório se decompõe (Manaham, 2013).

Em abril de 2013 foi observado o menor pH que também pode estar solubilizando o Mn.

### 12.4 Chumbo

O chumbo é um poluente ambiental extremamente tóxico em seres humanos, uma concentração de 0,005 mg. $L^{-1}$ no sangue ou 0,0008 mg. $L^{-1}$ na urina indica um envenenamento sério por chumbo, sendo acumulado principalmente no cérebro, causando uma série de deficiências desde cegueira a paralisia (Macêdo. J, 2006).

A presença significativa de chumbo na água natural se dá pelos os sulfetos PbS tanto por carbonetos $PbCO_3$, que são altamente solúveis em água. Uma grande proporção no meio ambiente em muitas partes do mundo tem sua origem da emissão veicular e ocorre principalmente na forma inorgânica (Baird, 2002).

O chumbo está presente nos combustíveis, apesar destes níveis de chumbo no combustível com o passar dos anos ter diminuído, no entanto a gasolina ainda contém tetraetilo e tetrametilo de chumbo que funcionam como anti-deteriorantes nos combustíveis dos automóveis e impedindo a acumulação de dióxido de chumbo (Mendes, et al, 2004 & Manaham, 2013). Além das fontes

de combustíveis existem as fontes industriais e de mineração. Calcários contendo chumbo e as galenas contribuem para teores de chumbo em águas naturais (Manaham, 2013).

O chumbo é apresentado na FIG. 50. Nas coletas de agosto de 2011 e abril de 2013 todos os pontos ficaram abaixo do LD. Em setembro de 2012, foi a coleta em que se observou as maiores concentrações, que podem estar relacionadas com os sólidos suspensos na época da coleta.

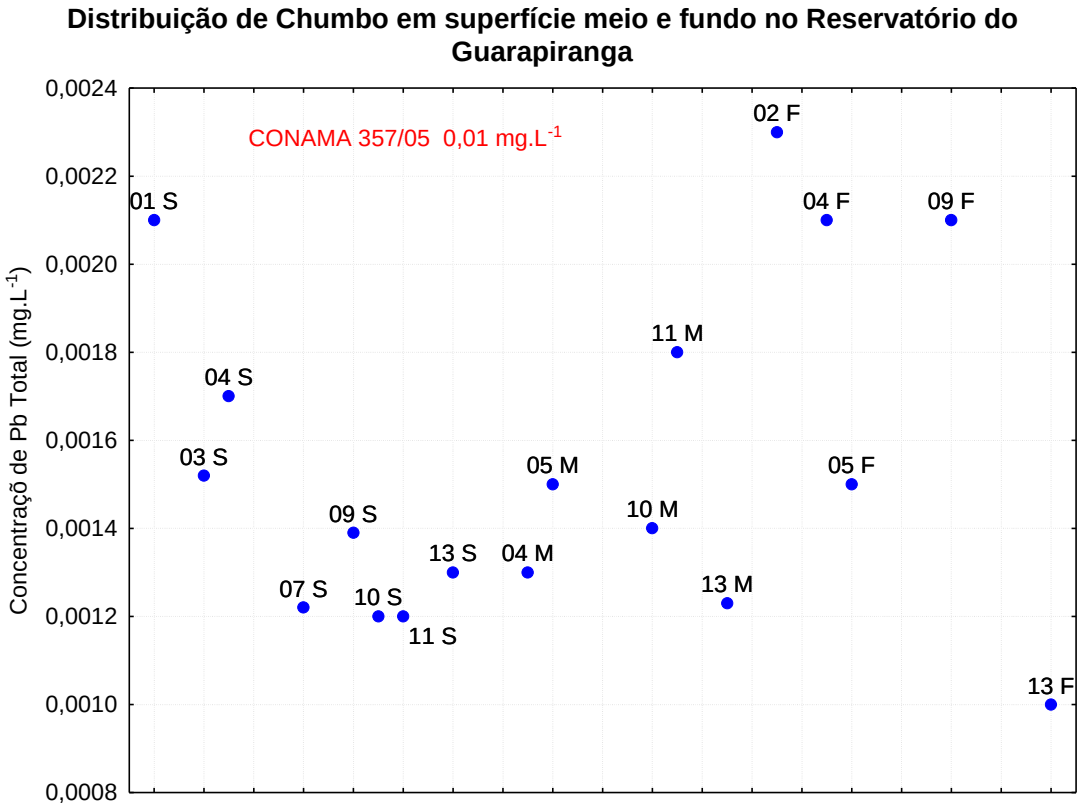


**FIGURA 50 -** Distribuição de Chumbo total em superfície meio e fundo da coluna d'água do reservatório do Guarapiranga.

Nos sedimentos os pontos de 01 até o ponto 06 apresentaram as menores concentrações em sedimento apresentadas no mapa temático da FIG. 52. As maiores concentrações foram observadas na parte superior do reservatório nos pontos 08, 12 e 14, entre os pontos 07, 09, 10, 11, 13 as concentrações de Pb

ficaram próximas. As concentrações do Pb no sedimento ficaram abaixo dos valores de referência tanto para o TEL e quanto para o PEL.

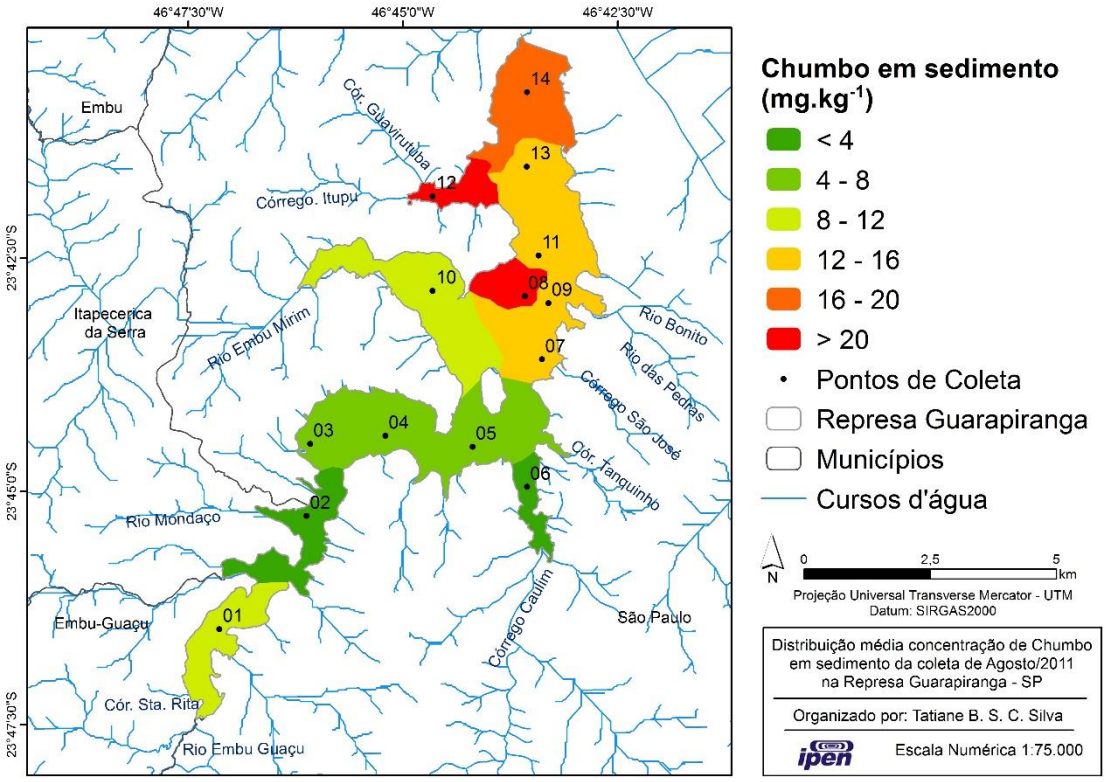


**FIGURA 51 –** Mapa temático da distribuição de chumbo em e Sedimento do Reservatório do Guarapiranga.

Estudos realizados por Richerl, et al (2007) em 2002 mostrou concentrações de chumbo no Córrego Itupu (ponto 12), com teor de chumbo (7,0 ±1,6) μg $L^{-1}$. Esta concentração está próxima ao valor de 10 μg $L^{-1}$, limite de chumbo que pode ser encontrado em rios classe 1. Como no período de estiagem na coleta de setembro o Pb ficou abaixo da resolução CONAMA 357/05.

Logo as distribuições do Chumbo podem ser características do sedimento e do solo da região, pois foi observado que os pontos 01, 07, 09, 10, 11 e 13 apresentaram concentrações tanto em sedimento como na coluna d'

água, sendo que estas concentrações podem estar relacionadas como os sólidos suspensos na época da coleta.

### 12.5 Zinco

O zinco é um elemento relativamente abundante e não tem toxicidade expressiva, por esta razão é um elemento muito utilizado na indústria, apresentando uma menor preocupação em relação a outros elementos tais como, chumbo que é toxico ou crômio que é mais escasso. O zinco é usado como metal na composição em especial o latão. Um dos principais usos do zinco é nas ligas de aço para coberturas anticorrosivas (Manaham, 2013).

O principal composto de zinco é o óxido de zinco, utilizado como acelerador e agente de ativação de endurecimento de produtos de borracha, sobretudo pneus. Outros dois compostos importantes do metal com aplicação comercial são, o cloreto de zinco utilizados em pinhas secas e como desinfetante e agente de vulcanização da borracha e o óxido de zinco utilizado em banhos de galvanoplastia (Manaham, 2013).

No ar, o zinco encontra-se na forma de partículas muito fina, o que favorece sua distribuição no solo e nas águas. Pode se acumular em organismos orgânicos, apresentando de 51 a 1130 vezes a concentração deste metal presente na água (Silva, 2003).

A FIG. 53 apresenta a distribuição de Zn, em todas as coletas o zinco não excedeu o limite do enquadramento pela resolução do CONAMA 357/05. Em março de 2011 foram observadas as maiores concentrações. Em abril de 2013 todos os pontos ficaram abaixo do LD (0,03 $mg.L^{-1}$).

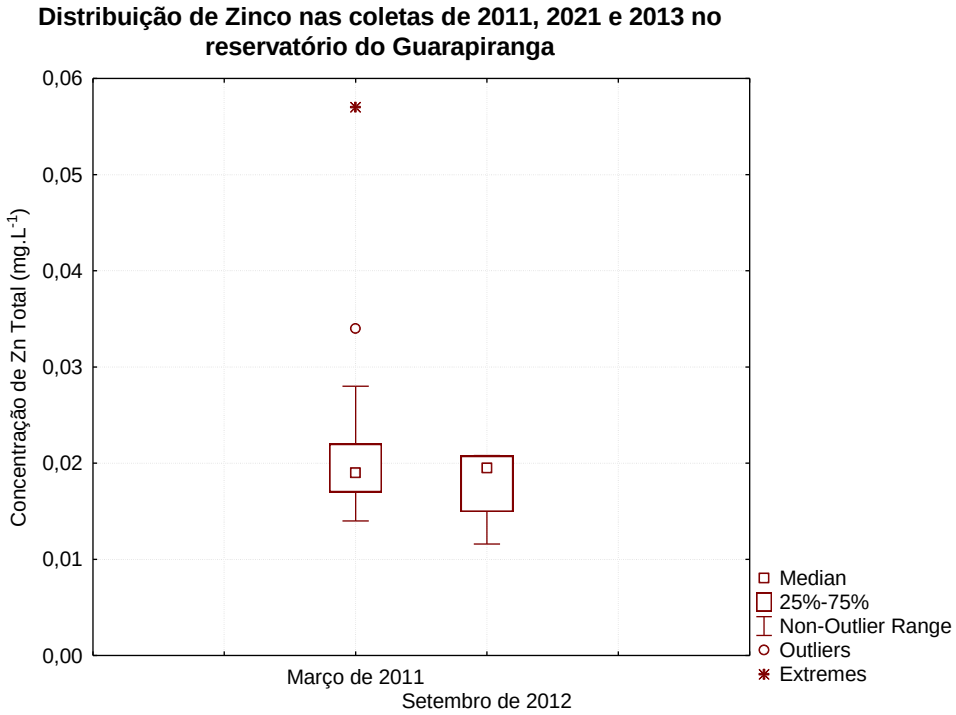


**FIGURA 52 -** Distribuição de zinco nas Coletas de 2011 a 2013 no reservatório do Guarapiranga.

Em superfície, meio e fundo na coluna d'água apresentados na FIG. 53, as maiores concentrações na coleta de março de 2011 foram nos pontos 06S, 04M. Em setembro de 2012 apenas os pontos 01, 05M, 08M, 08F ficaram acima do LD. Comparando as coletas pode se observar uma homogeneidade.

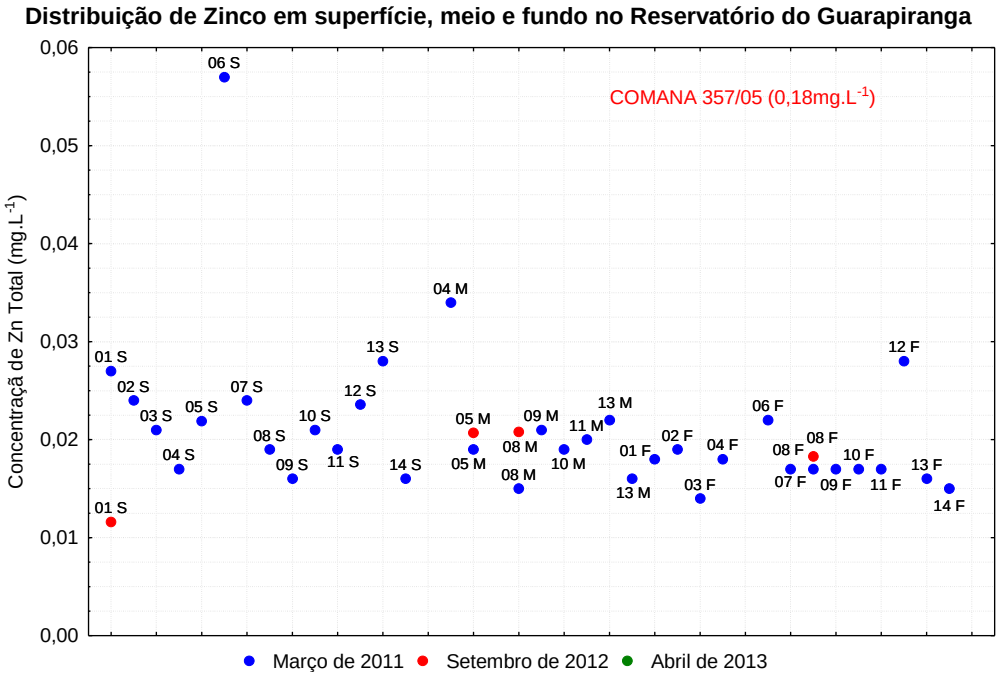


**FIGURA 53 -** Distribuição de zinco total em superfície, meio e fundo da coluna d'água do reservatório do Guarapiranga.

A distribuição espacial do Zn no sedimentos é apresentada na FIG. 54, é possivel observar que as maiores concentrações foram nos pontos 08 e 12, seguidos dos pontos 05, 07, 09 e 11.

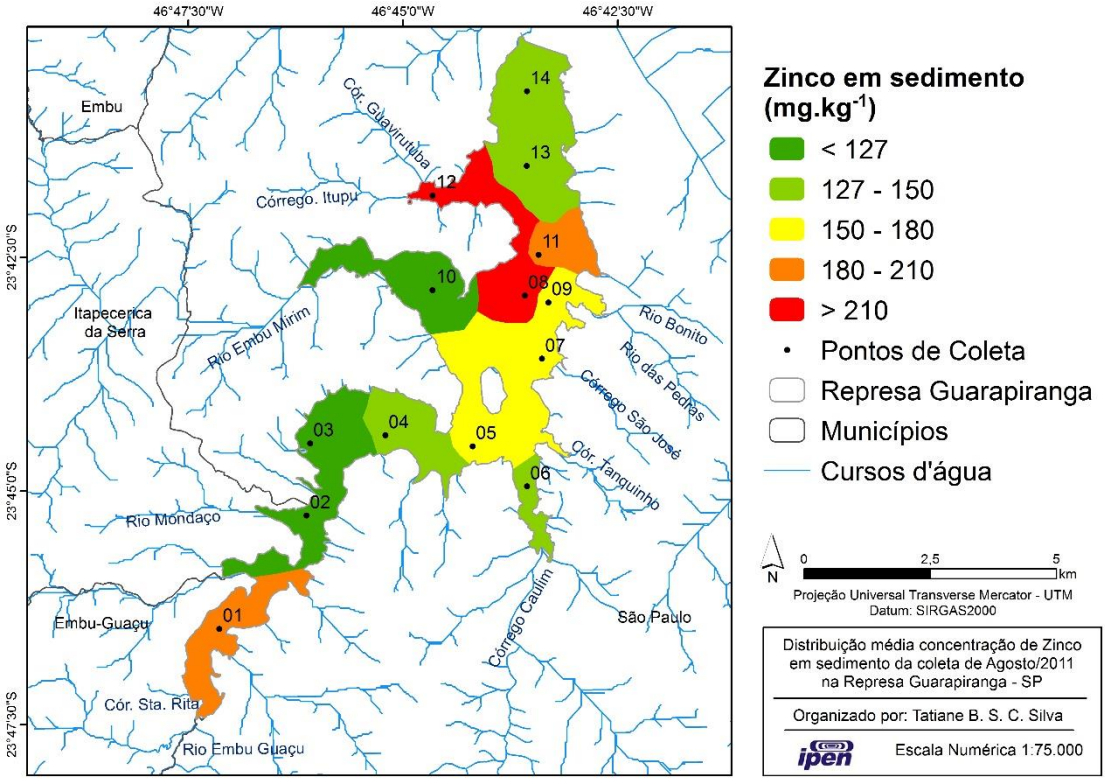


**FIGURA 54 –** Mapa temático da distribuição do zinco no sedimento da represa Guarapiranga (mg. $kg^{-1}$).

A FIG. 55 apresenta a comparação com os valores de TEL e PEL de Zn no sedimento, podendo-se se observar que em 11 dos 14 locais monitorados foram excedidos os valores de TEL, e o ponto 08 excedeu o valor de TEL isto pode ter sido originado pelo crescimento populacional no entorno da represa, ligado ao lançamento de esgoto não tratado em diferentes córregos do sistema Guarapiranga.

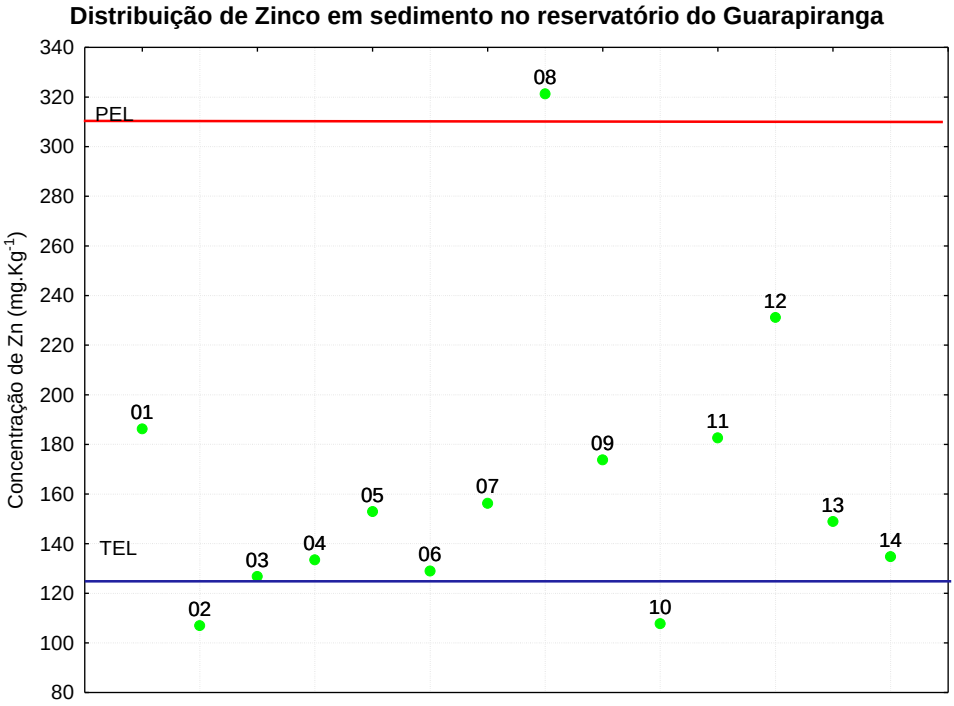


**FIGURA 55 -** Distribuição do Zn no sedimento (mg $kg^{-1}$) comparada com TEL e PEL.

A ampla distribuição de zinco pode ter sido originada pelo prolongado crescimento populacional no entorno da represa que incorreu no lançamento de esgoto não tratado em diferentes córregos do sistema Guarapiranga. O zinco pode estar associado às fontes veiculares como descrito no estudo de Silva (2007) que avaliou as emissões de metais por veículos automotores e seus efeitos à saúde pública. Este estudo permitiu a caracterização de metais na exaustão de veículos a gasolina e diesel. Os resultados mostraram a presença de metais nos veículos a gasolina e diesel, como alumínio, silício, cromo, manganês, zinco e chumbo, distribuídos entre as frações finas e grossas de partículas de 10 µm, emitidas na combustão. Através da distribuição espacial observa-se uma fonte provável próxima aos pontos 08 e 09.

## 12.6 Bário

Segundo Cornelis, et al. (2005) o bário constitui em aproximadamente 0,04% da crosta terrestre e está presente no meio ambiente em relativas concentrações altas. É encontrado somente na forma combinada e as principais são as baritas (sulfato de bário e carbonato de bário).

O bário em geral ocorre nas águas naturais em concentrações muito baixas, de 0,7 a 900 μg $L^{-1}$. Quantidades elevadas são decorrentes de efluentes industriais e de resíduos de minerações. Nas águas naturais é um elemento pouco frequente, dada a reduzida solubilidade dos seus sais, mas não aparece nestas formas por longo tempo no meio ambiente. Os sais mais solúveis de bário são cloreto, nitratos e carbonatos (Mozeto, et al., 2001).

As fontes antrópicas de bário são devido às emissões industriais, como combustão de carvão/óleo diesel e incineração de resíduos. O bário é encontrado no ar atmosférico, na maioria das águas superficiais a sua concentração depende da lixiviação das rochas, fábricas de papel que usam bário como pigmento branco, lâmpadas fluorescentes, tintas e borrachas (CETESB, 2012 & Quináglia, 2006).

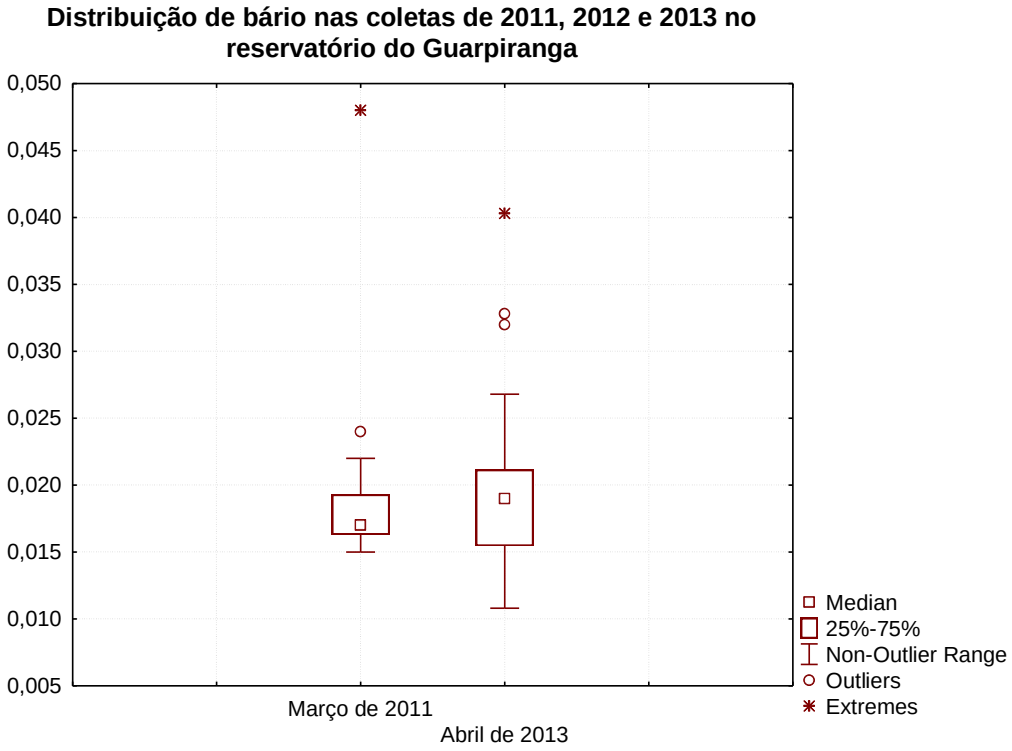


**FIGURA 56 -** Distribuição de bário nas Coletas de 2011 a 2013 no reservatório do Guarapiranga.

A distribuição de bário em todas as coletas ficaram a baixo do limite de enquadramento pela resolução CONAMA 357/05. Pode-se observar na FIG. 57 que a coleta de abril de 2013 foi a que mostrou-se com as maiores concentrações de bário. Na coleta de setembro somente o ponto 8F (0,025 mg. $L^{-1}$) ficou acima do LD.

As maiores concentrações foram observadas nos pontos 13F em março de 2011 e 14F em abril de 2013, entre os outros pontos e coletas houve uma distribuição mais homogênea. Pode-se observar que em vários pontos da coleta houve uma diminuição na concentração de bário, proveniente do período de estiagem e chuva.

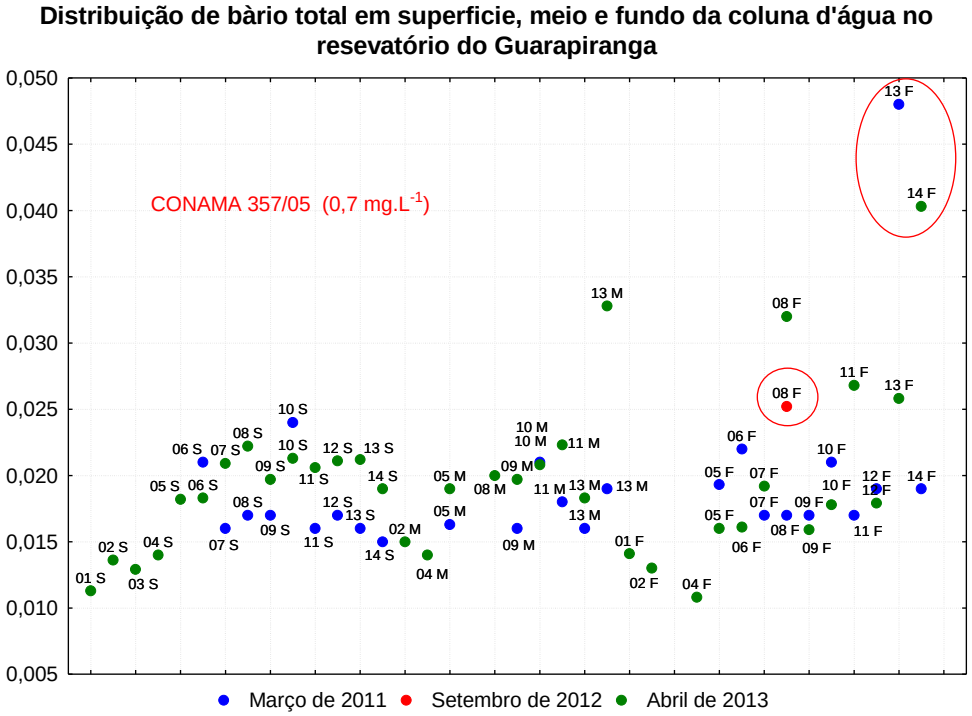


**FIGURA 57 -** Distribuição de bário total em superfície, meio e fundo da coluna d'água do reservatório do Guarapiranga.

A FIG. 58 apresenta as concentrações de bário no sedimento. Os pontos 13 e 14 mais profundos apresentaram as menores concentrações assim como os pontos 01, 02 e 06 (transposição do Taquacetuba), seguidas dos pontos 03, 05, 07, 10 e 11, logo podemos observar que estas concentrações de bário podem ser características do sedimento da região. As maiores concentrações de bário no sedimento foram observadas nos pontos 04, 09 e 12, podendo sugerir que há um descarte pontual nestas regiões.

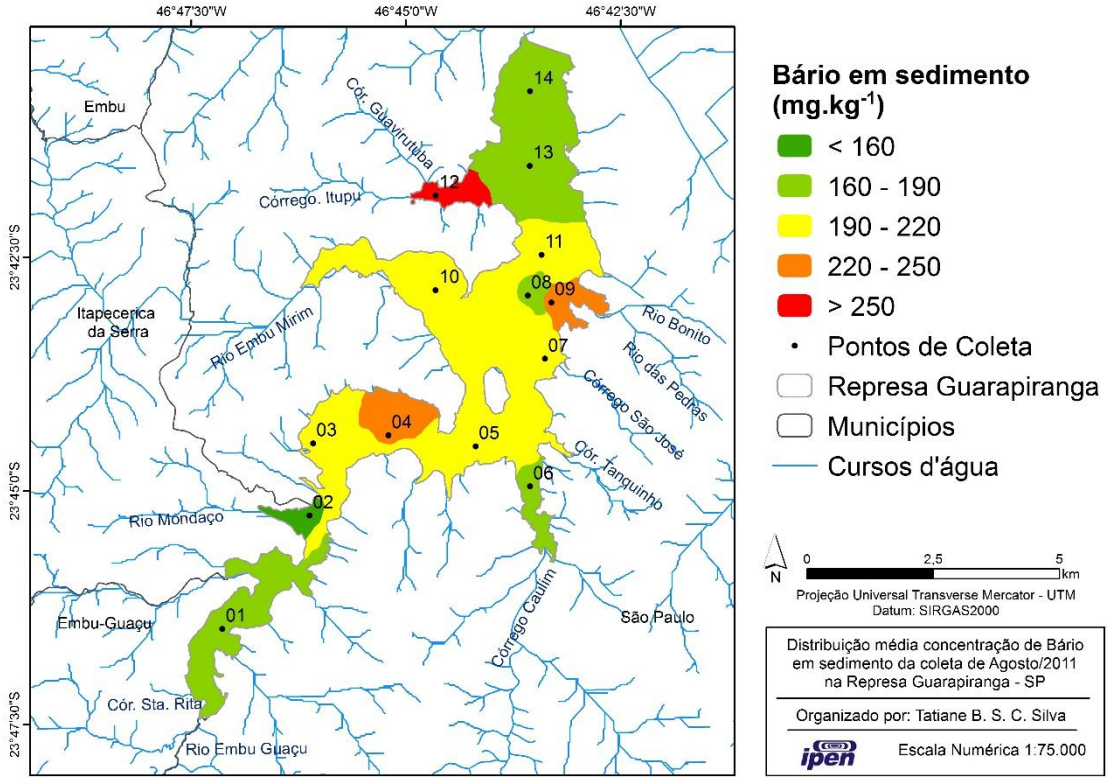


**FIGURA 58 -** Mapa temático da distribuição de bário em Sedimento do Reservatório do Guarapiranga.

Comparando as concentrações de bário no sedimento com as concentrações na água pode-se inferir que o bário não está sendo dissolvido do sedimento para a água neste ambiente assim como mostrado nos estudos de (Quináglia, 2006) o sulfato de bario em solos não apresenta muita mobilidade devido a formação de sais insolúveis na água e a inabilidade do bário formar complexos com ácido fúlvico e ácido húmico.

### 12.7 Cromo

Há pouca quantidade de cromo na crosta terrestre, 0,0012% de massa, é um metal muito resistente à corrosão. O minério mais típico e abundante é a cromita ($FeO.Cr_2O_3$), contendo cerca de 40 a 50% do metal. O crômio ($Cr^{6+}$) é acumulado em espécies aquáticas (CETESB, 2012 & DO CANTO, 2006). O cromo possui dois estados de oxidação no ambiente natural,

como cromo hexavalente ($Cr^{6+}$) que é carcinogênico para o homem, já o cromo trivalente $Cr^{3+}$ é essencial para o metabolismo do ser humano, sendo assim os limites máximos são baseados no cromo hexavalente (Marcolam, et al., 2008).

Pode ser observado na FIG. 59 que a distribuição de crômio no sedimento apresenta-se homogênea com pequenas variações (40 a 55 $mg.L^{-1}$), podendo indicar que o crômio é um elemento característico do sedimento do reservatório do Guarapiranga.

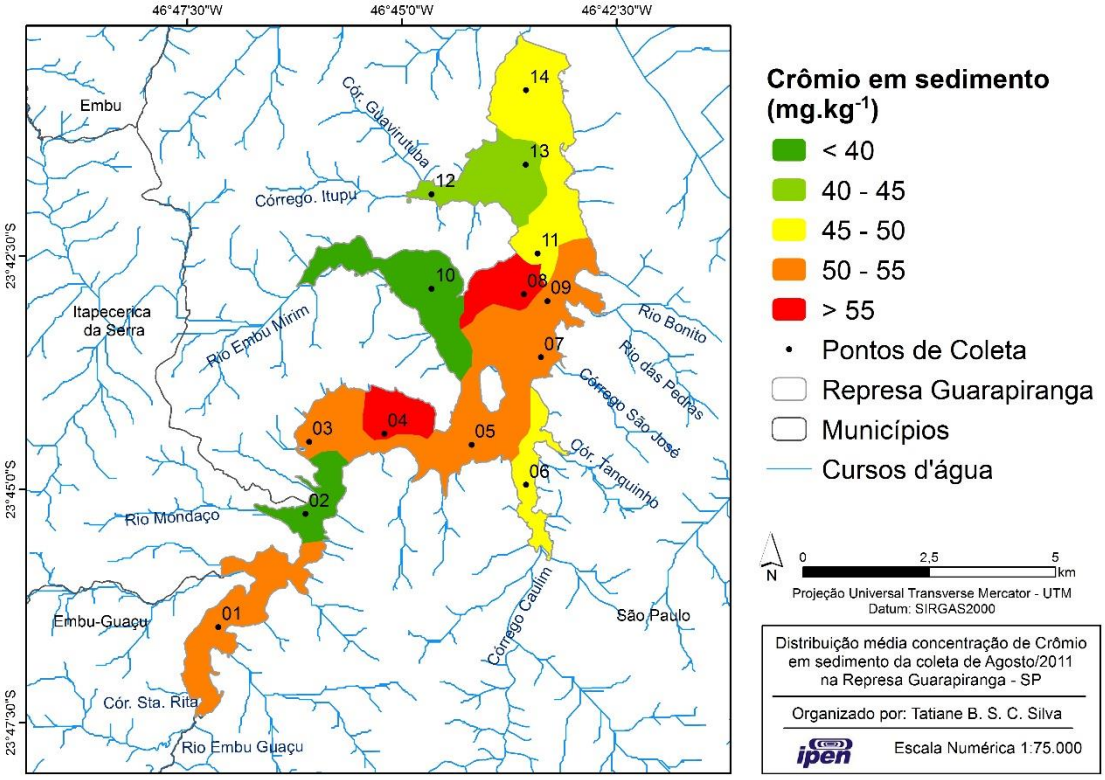


**FIGURA 59 -** Mapa temático da distribuição de cromo em sedimento do Reservatório do Guarapiranga.

O cromo na forma trivalente é estável e com pouca mobilidade e em concentrações-traço é considerado um nutriente essencial aos homens e animais. O hexavalente ($Cr^{6+}$), no entanto, é fortemente oxidante, carcinogênico e mais tóxico que o trivalente ($Cr^{3+}$) e tem uma mobilidade maior é facilmente transportado (Marcolam, et al., 2008).

Os compostos de crômio podem ser encontrados na natureza em rochas, solo, poeiras, névoas vulcânicas, água, plantas e animais. Em ambientes não contaminados pela ação antrópica, o teor de crômio é aproximadamente de 1 $\mu g.L^{-1}$ na água e 0,1 $\mu g.m^{-3}$ no ar (CETESB, 2012).

A utilização do cromo pela a indústria é muito importante sendo utilizada na fabricação de aços especiais no tratamento de superfície na fabricação de ligas, em pigmentos na indústria têxtil, em cerâmicas, vidro, fotografia. O efluente destas indústrias em geral apresenta-se com grandes concentrações de crômio (Mendes, et al., 2004).

Nas coletas e na coluna d'água em todas as profundidades as concentrações de cromo ficaram abaixo do LD. No entanto a coleta de sedimento de agosto de 2011 em todos os pontos de amostragem, exceto 02 e 10, as concentrações de Cr excederam os valores de TEL (FIG. 60). Logo o cromo pode estar ocorrendo na forma trivalente no sedimento, formando óxidos e hidróxidos insolúveis.

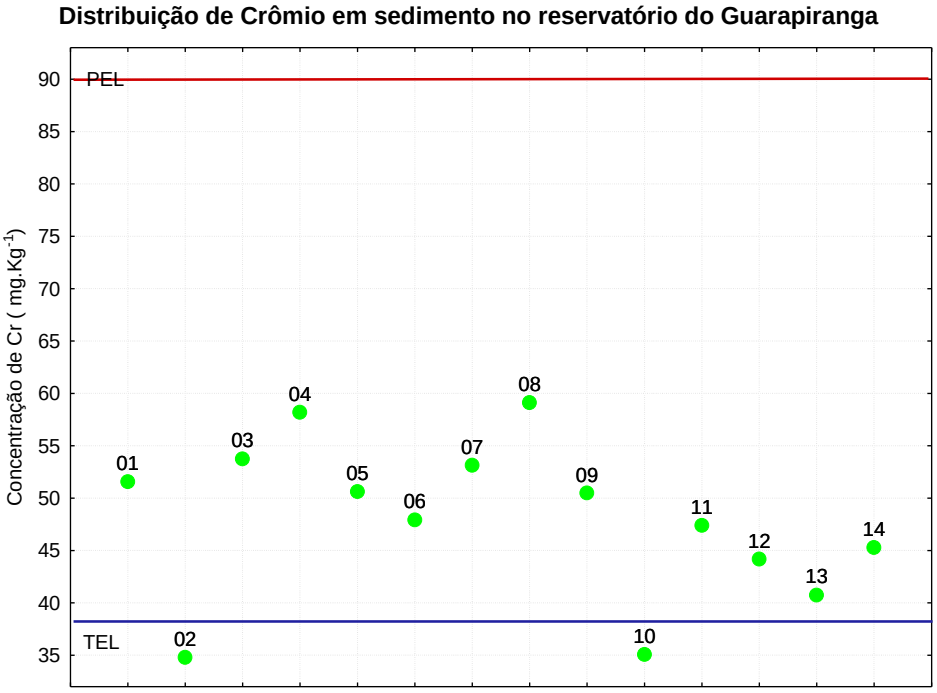


**FIGURA 60 -** Distribuição do Cr no sedimento (mg kg-1) comparada com TEL e PEL.

O crômio no sedimento é dissolvido para a água somente quando há uma reação redox que o transforma em cromo hexavalente no ambiente. De acordo com estudo de Marotta, et al. (2008) o intemperismo dos minerais também pode estar associado com a ocorrência de cromo dissolvido na água. Estes fatos não são observados no reservatório do Guarapiranga as concentrações de cromo permanecem somente no sedimento e não é dissolvido para a água tanto na sua fração dissolvida como total.

O cromo hexavalente ($Cr^{6+}$) é carcinogênico para o homem. Os sedimentos que contem matéria orgânica demonstram que a redução do cromo $Cr^{6+}$ para o $Cr^{3+}$ é lenta, e vai depender do tipo e quantidade de matéria orgânica e as condições de oxi-redução da água. Em ambientes aquosos com alta concentração de matéria orgânica o $Cr^{6+}$ pode ser reduzido mais rapidamente para $Cr^{3+}$ principalmente na presença dos íons de sulfato de ferro $Fe^{2+}$ em condições anaeróbicas.

## 13. Análise multivariada de metais totais e dissolvidos em água

As águas do reservatório do Guarapiranga foram avaliadas através de métodos numéricos de estatística multivariada para a identificação dos componentes principais, onde foram avaliados os metais dissolvidos e metais totais nas coletas de 2011, 2012 e 2013, em superfície meio e fundo.

Na coleta de água de abril de 2013 foi observado que os elementos Ca, K, Mg e Na apresentaram um pico de concentração na sua fração dissolvida nos pontos 10F e 12F, podendo ter ocorrido uma movimentação do sedimento de fundo o que explicaria estas concentrações elevadas. Pois nos mesmos pontos e período a fração total não demonstrou este comportamento. Este comportamento foi considerado anômalo e estes pontos foram excluídos para a análise estatística dos resultados.

Na Análise de Componentes Principais (FIG. 61) foi observado um elevado grau de similaridade no comportamento de elementos majoritários tais como: Na, K, Ca e Mg em todas as coletas. Entre a fração dissolvida e total, estes elementos apresentaram o mesmo comportamento como se pode observar na análise de Cluster mostrada na FIG. 62.

Usualmente, esses elementos compartilham suas origens naturais de intemperismo de rochas e solo do entorno do reservatório, como observado por Soares (2011) no reservatório de Paitinga/Paraibuna. Essa associação pareceu-se confirmar através da avaliação estatística dos componentes principais, que será discutida neste trabalho no tópico de análises de componentes principais.

Os demais elementos ensaiados apresentaram menor grau de similaridade em um único cluster, também de forma independente da coleta realizada, indicando que sua associação entre os grupos está relacionada ao comportamento das substancias e não ao período de coleta.

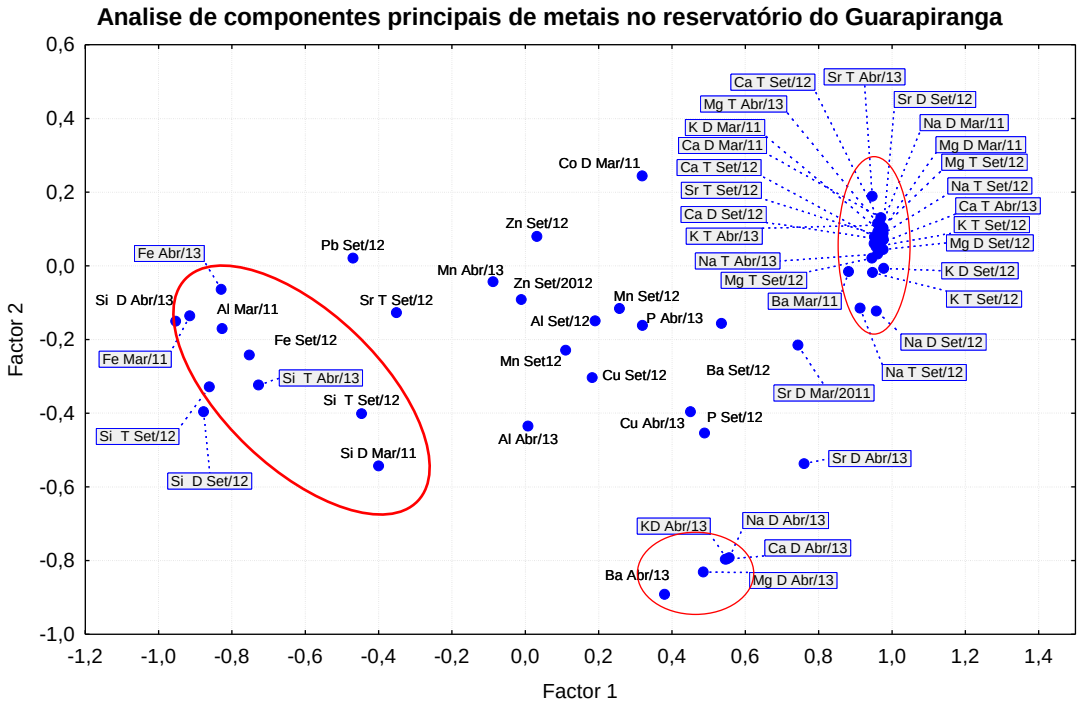


**FIGURA 61 -** Análise dos componentes principais com Fator 1XFator 2 por ponto

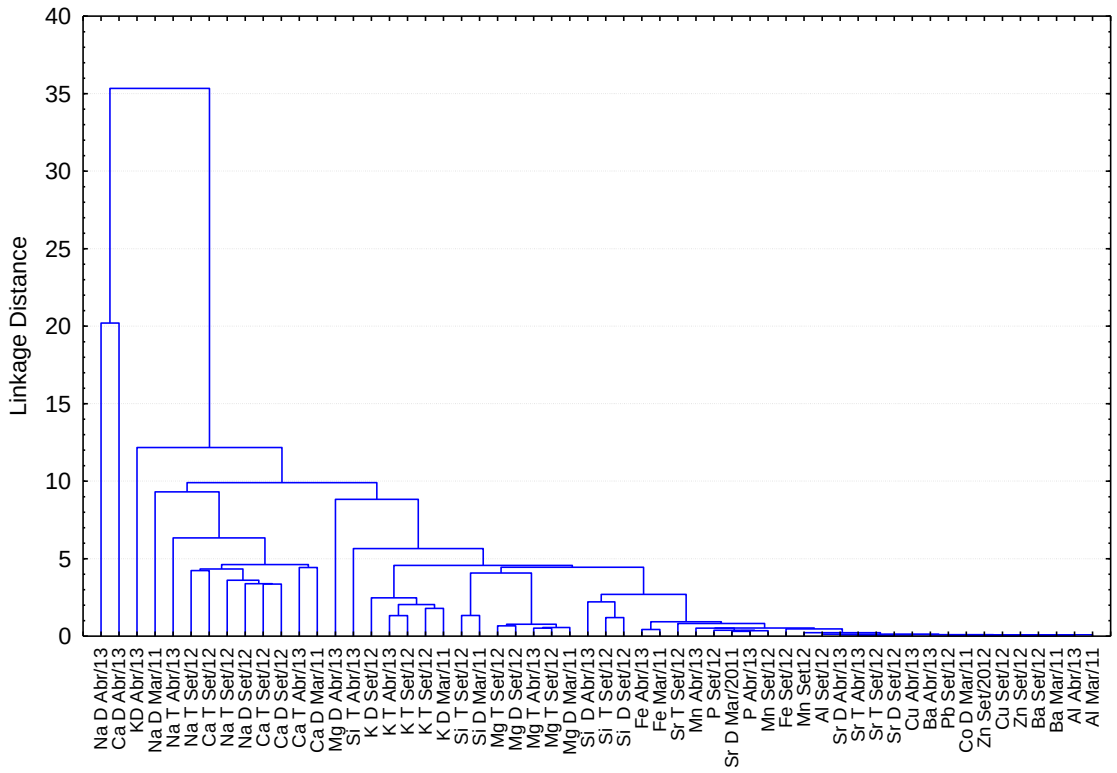


**FIGURA 62 -** Análise de Cluster realizada em 6 coletas nos 14 pontos com 56 parâmetros.

Após essa etapa de avaliação, a matriz de dados foi transporta e avaliada conforme a associação entre os pontos e coletas. Conforme a FIG. 63 observa-se um maior grau de similaridade entre os pontos 1F, 10F e 12F, uma vez que estes mostram dissimilaridade dos demais pontos de coleta.

Foi observado comportamento similar em um grupo aqui denominado Grupo 1, formado pelos pontos de coleta 02, 03 e 04 em todo o conjunto de coleta incluindo superfície, meio e fundo da coluna d'água e o ponto 01 superfície e meio.

Outro conjunto de dados associados foi denominado de Grupo 2 formado pelos pontos, 05, 06, 08, 09, 10, 11 e 14 em superfície, meio e fundo da coluna d'água. Os pontos 2M e 7M foram retirados da análise estatística, pois os elementos quantificados nesses pontos em sua maioria estiveram abaixo do limite de detecção. Desta forma, não permitiam sua inclusão na avaliação estatística, por não apresentar dispersão suficiente para o modelo matemático ser aplicável.

Ao final da avaliação estatística, observou-se que esses dois grupos representam regiões distintas da represa Guarapiranga. Um deles com maior influência antrópica (Grupo 2) e um mais preservado (Grupo 1). Sendo que os pontos 10 e 12 apresentam comportamentos distintos dos dois grupos identificados.

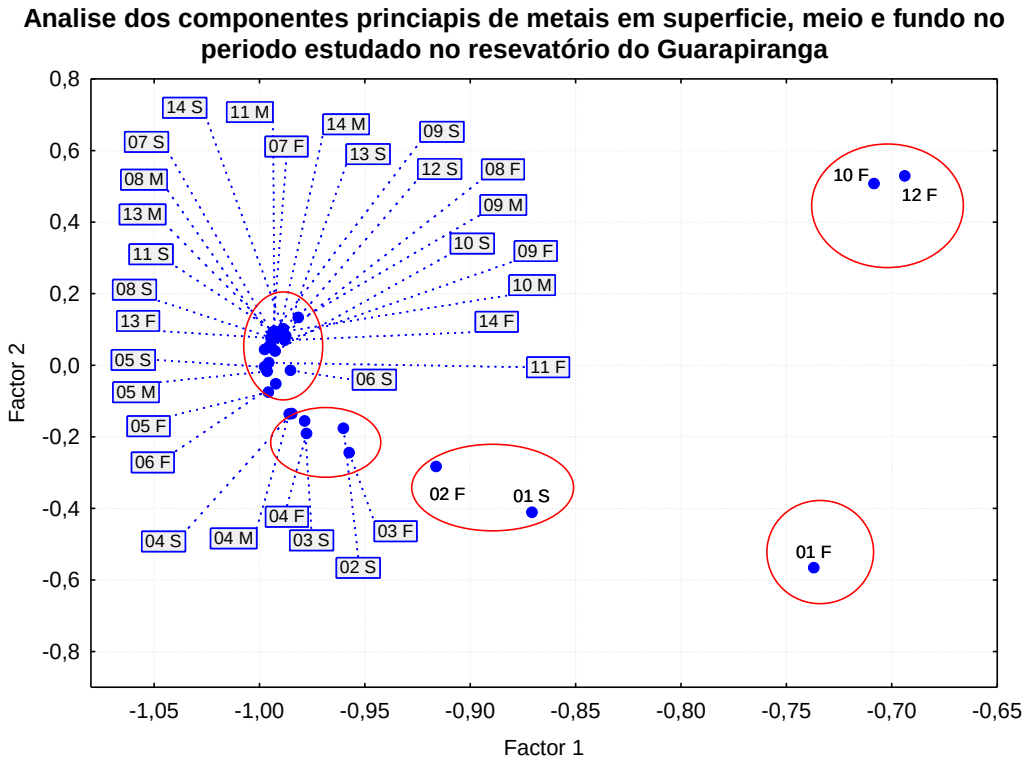


**FIGURA 63 -** Análise dos componentes principais com Fator 1 x Fator 2 por ponto.

## 14. Analise multivariada de metais em Sedimento

Os sedimentos do reservatório do Guarapiranga foram avaliados através de métodos numéricos de estatística multivariada para a identificação dos componentes principais, onde foram avaliados os metais e semi-metais nos sedimentos da coleta de 2011.

Entre os dados avaliados correspondentes aos pontos de coleta X parâmetros ensaiados referentes às amostras de sedimento foram identificadas pela estatística multivariada de componentes principais (PCA - Principal Component Analysis) três grupos que apresentam correlação entre si. Estes três grupos explicam cerca de 66% da variabilidade do sistema e correspondem os seguintes parâmetros investigados:

- Fator 1: V, Co, Ba, Al, Ti, Sc.
- Fator 2: Profundidade, Cu, Mn, P
- Fator 3: Pb, Mg, Zn

O fator 1 possivelmente relaciona elementos que tem origem natural associada a formação de rochas graníticas e a série de elementos usualmente presentes nas séries de feldspatos (U.S. Geological Survey 2000), como mostrado nas FIG. 64 e 65. Observando a TAB. 19 nota-se valores de correlação relativamente mais altos para outros elementos de origem natural, tais como Fe, Na, Mg e K.

O fator 2 parece corresponder a associação dos parâmetros relacionados com a disponibilidade do fósforo no reservatório do Guarapiranga (FIG. 64 e 66), pois a presença de fósforo, na porção mais profunda da represa, leva a ocorrência dos “blooms” de algas, que em geral se seguem ao uso de sulfato de cobre pela SABESP, assim com a utilização de peróxido de hidrogênio que pode solubilizar o Mn no sedimento, como já discutido anteriormente.

Os fatores 3 a 5 explicam pequena variabilidade do sistema, que pode estar associada ao elemento de origem natural, pois, Pb, Mg, K, Li, Se, As e B em água ficaram abaixo do LD e em sedimento ficaram abaixo do TEL e PEL, e ou não foi possível avaliar a distribuição devido à pequena faixa de dispersão de valores, quando comparadas com o desvio padrão das medidas.

Especificamente o fator 3 decorre da associação de elementos que são pouco solúveis em meio alcalino e/ou carbonatado (Mg, Pb, Zn e Ca) o que melhor explicaria seu efeito sobre a formação os sedimentos.

Já as concentrações de Cr em água ficaram abaixo do LD, no entanto, nos sedimentos a maioria dos pontos ficaram acima do TEL sugerindo que a uma contribuição deste elemento dentro do reservatório.

**TABELA 19 -** Componentes principais identificados na matriz de dados

| Variable | Factor 1 | Factor 2 | Factor 3 | Factor 4 | Factor 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| | Factor Loadings (Varimax normalized) (14sedimentos_agosto2011 in 14_sedimentos_agosto2011.stw) Extraction: Principal components (Marked loadings are >,700000) | | | | |
| Prof | -0,27097 | 0,87994 | 0,21797 | 0,11500 | 0,25991 |
| V | 0,85306 | 0,02963 | 0,29505 | 0,34280 | -0,06055 |
| Cr | 0,20070 | -0,08326 | 0,38408 | 0,83736 | -0,24718 |
| Co | 0,71119 | 0,19436 | -0,49800 | 0,15401 | 0,35780 |
| Cu | -0,17685 | 0,91661 | 0,14165 | -0,11362 | 0,18699 |
| Ba | 0,92534 | 0,03448 | 0,23650 | 0,02782 | -0,01751 |
| Pb | 0,09599 | 0,43977 | 0,81187 | -0,20572 | 0,06958 |
| Na | 0,65649 | 0,56071 | -0,12873 | 0,02722 | 0,04541 |
| Mg | 0,43009 | -0,03550 | 0,86463 | -0,21992 | 0,04833 |
| Al | 0,74814 | 0,27541 | 0,28878 | 0,29317 | 0,38247 |
| Ca | 0,42209 | 0,10274 | 0,65401 | 0,00375 | 0,39730 |
| Fe | 0,69501 | 0,20285 | -0,27064 | 0,51603 | 0,23519 |
| K | 0,44783 | -0,38622 | -0,33962 | 0,70534 | -0,03742 |
| Ti | 0,75268 | -0,46719 | 0,31938 | 0,11080 | 0,16615 |
| Zn | 0,04209 | 0,06384 | 0,91109 | 0,03138 | -0,25884 |
| Mn | 0,17520 | 0,93367 | -0,09291 | 0,21944 | -0,00128 |
| B | 0,37198 | 0,25002 | -0,29319 | 0,70061 | -0,02558 |
| Li | -0,12947 | 0,14497 | 0,11139 | 0,81554 | 0,47324 |
| P | 0,24100 | 0,85143 | 0,14259 | -0,05345 | 0,03511 |
| Sc | 0,84687 | -0,33172 | 0,35977 | 0,08051 | 0,12997 |
| As | 0,09587 | -0,00210 | -0,26364 | 0,78537 | -0,05650 |
| Se | 0,32347 | 0,26274 | -0,11194 | -0,07682 | 0,79813 |
| Expl.Var | 5,92459 | 4,52865 | 4,00000 | 3,65992 | 1,64323 |
| Prp.Totl | 0,26930 | 0,20585 | 0,18182 | 0,16636 | 0,07469 |

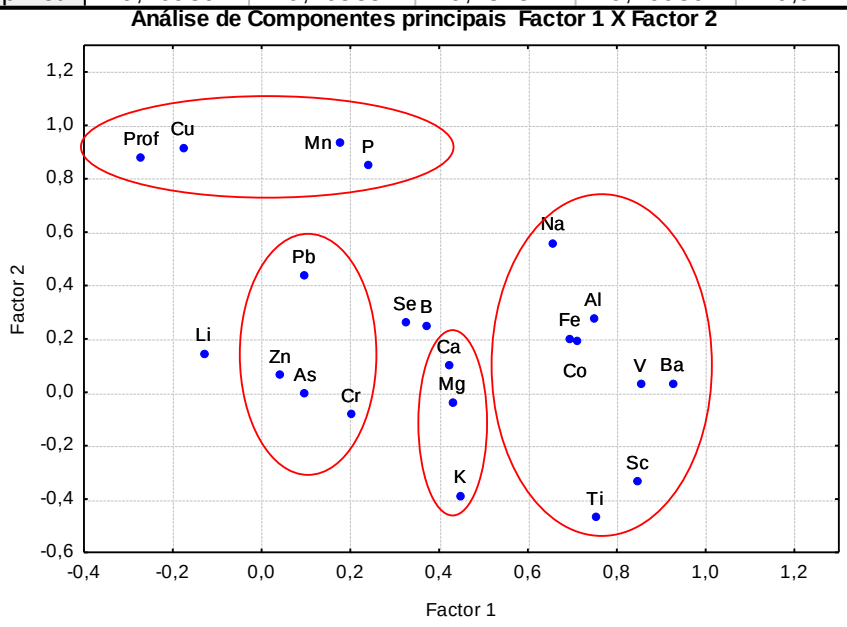


**FIGURA 64 -** Associações observadas entre o fator 1 e 2.

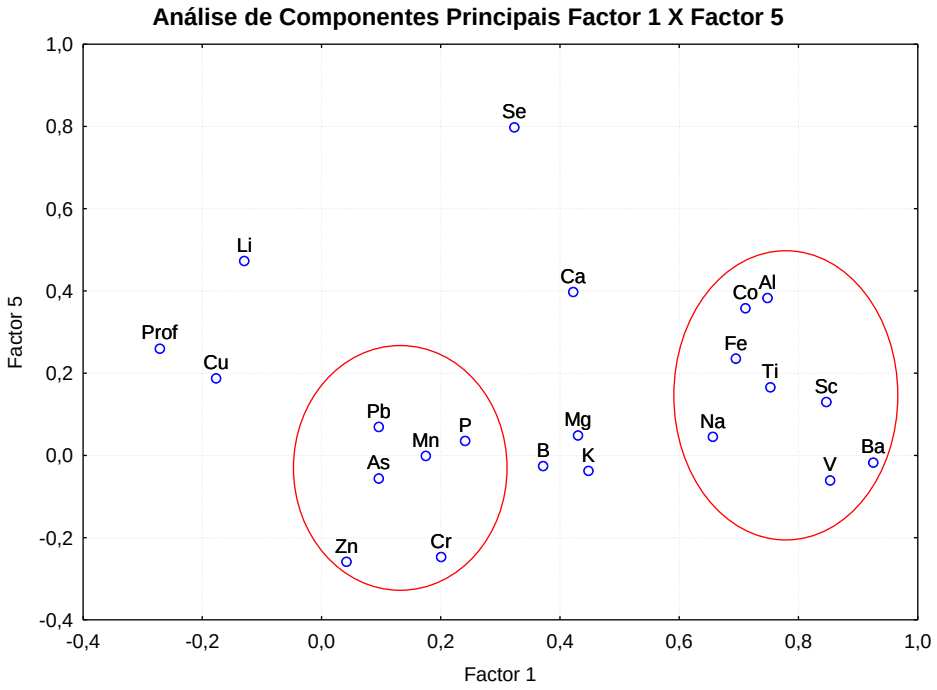


**FIGURA 65 -** Associações observadas entre o fator 1 e 5

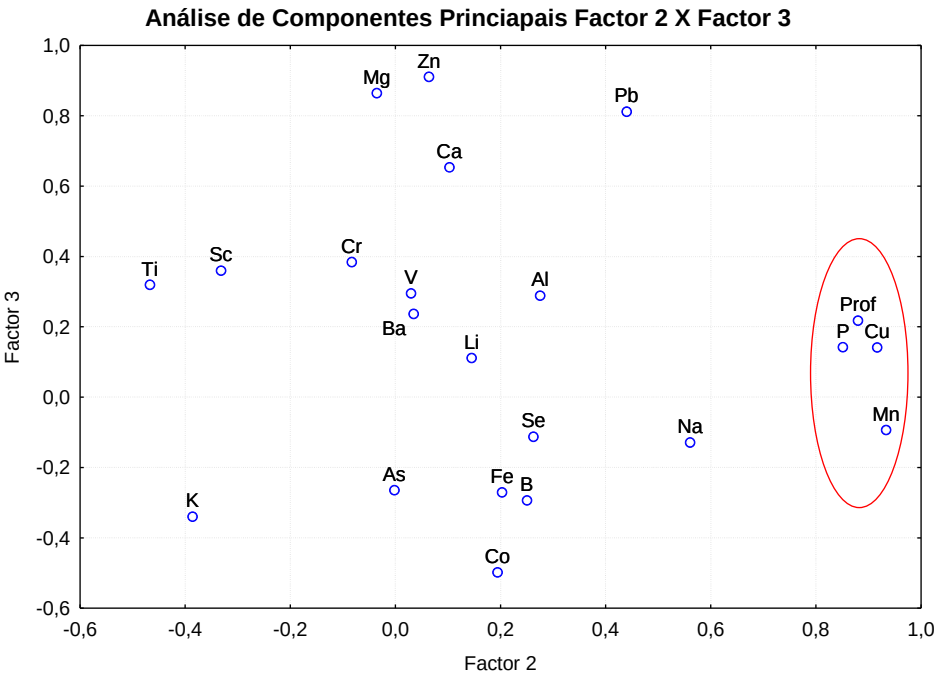


**FIGURA 66 -** Associações observadas entre o fator 2 e 3

## 15. Conclusões

Através do monitoramento das espécies analisadas neste trabalho é possível identificar que o reservatório do Guarapiranga assim com muitos reservatórios no Brasil tem problemas em comum: a ocupação do entorno do reservatório causando impactos relacionados à carga orgânica.

Com base nos valores das espécies iônicas, condutividade, bem como valores de OD, transparência e pH apresentaram desconformidades legais dos limites para corpos d'água Classe 1, sendo possível observar que o reservatório do Guarapiranga sofre pressões crescentes devido à ocupação desordenada. O índice de estado trófico da Represa Guarapiranga vem sendo identificado como eutrófico e supereutrófico afetando a qualidade, a disponibilidade e o tratamento de água de abastecimento.

A distribuição de nutrientes visa permitir avaliar se as ações de controle de eutrofização do sistema serão efetivas ou não. Atualmente os efeitos da presença de nutrientes como foi identificado neste trabalho, impacta no custo de tratamento da água na estação Alto da Boa Vista. Não só pela necessidade de uso de algicidas em quantidades cada vez maiores, mas também pelo uso de carvão ativo, polímeros e agentes oxidantes.

É possível a identificação das áreas do entorno do reservatório do Guarapiranga que são sensíveis à floração de algas, através das análises das espécies solúveis de nitrogênio e da relação de ferro e fósforo. A fim de assegurar a qualidade da água de abastecimento neste reservatório, além de se executar ações de controle nos aportes de nutrientes, e um controle dos contribuintes que compõe o sistema. A identificação desses compartimentos pode permitir as ações de remediação e saneamento, coordenadas junto às prefeituras e comunidades, no entorno do reservatório.

A qualidade química dos sedimentos do Guarapiranga apresenta características de contaminação em decorrência da alta concentração de Cu, Cr,

Mn e Zn. O cobre assim como outros elementos e compostos químicos, ocorreram acima da concentração cuja probabilidade de causar efeito deletério à biota é baixa.

Há variação da concentração na Coluna d'água acima dos padrões aceitáveis pela resolução do CONAMA 357/05, dos elementos Al, Cu e Mn, sugerindo um fator de contribuição dos impactos que o reservatório vem sofrendo com despejos inadequados de efluentes industriais e domésticos, além de contribuições atmosféricas e de uso e ocupação do solo.

É possível identificar que o reservatório do Guarapiranga apresenta dois compartimentos diferentes um que vai do ponto 07 até o ponto 14, região apresenta-se mais impactado, devido ao adensamento urbano e outro compartimento que vai do ponto 01 até o ponto 06 que ainda se mantem mais preservado com um menor adensamento urbano apesar de haver lançamento de efluentes sem tratamentos observados em coleta.

## 16. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


ANA. Agencia Nacional Água. CIA do Estado de São Paulo. ***Programa de Qualidade da Água do Brasil***. p. 179. Brasilia: s.n., 2005

—Portal da Qualidade das Águas. Agência Nacional de Águas, s.d. ***Indicadores de Qualidade - Índice de Qualidade das Águas (IQA)***. Disponivel em : <http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>. Acesso em 02 de fev, 2015.

Andrade, A. A. S. 2005. ***Análise da eficiência da várzea do ribeirão Parelheiros na melhoria de qualidade das águas que afluem à represa do Guarapiranga***. Disertação de Mestrado. São Paulo: Escola de Engenharia de São Carlos. p. 105, 2005.

Dantas, E. S. K, et al. ***Antimony Determination in River and Drinking Water by AAS and ICP-OES***. Seventh Rio Symposium on Atomic Spectrometry. p. 100. Florianópolis, SC: s.n., 2002.

AQUASED. ***Reconstrução paleolimnológica da represa Guarapiranga e diagnóstico da qualidade atual da água e dos sedimentos de mananciais da RMSP com vistas ao gerenciamento do abastecimento***. Insituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares/Instituto Botânico. São Paulo: s.n, 2013. Projeto Tematico FAPESP. Processo Número: 2009/53898-9.

Furusawa, Hélio. A, et al. ***Arsenic and Selenium Evaluation in Human Consumption destination Waters***. Seventh Rio Symposium on Atomic Spectrometry. p. 101. Florianópolis: s.n., 2002.

Baird, C. 2002. ***Química Ambiental.*** [trad.] Maria Angeles, Lobo Recio e Luiz Carlos Marques Carrera. 2. Porto Alegre: Bookman. p. 622, 2002.

BALTRUSIS, Nelson e ANCONA, Ana Lúcia. ***Recuperação Ambiental e Saúde Pública. O programa Guarapiranga***. São Paulo: Saúde e Sociedade. Vol. 15, p. 9 – 21, 2006.

Barban, V, at. all. ***Processo Ter'Águas – atores locais em negociação de conflitos no acesso e uso do solo e água em áreas de mananciais hídricos da RMSP***. p 20, 2006.

Barbosa, F. A. R. 1981. ***Variações diurnas (24 horas) de parâmetros limnológicos básicos e da produtividade primária do fitoplâncton na Lagoa Carioca, Parque Florestal do Rio Doce, MG, Brasil***. Tese Doutorado. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 1981.

Berkowitz, B., Dror, I e Yaron, B. ***Contaminant Geochemistry-Interactions and Transport in the Subsurface Environment*** . Springer-Verlag, Berlin: s.n., 2008.

Bettiol, C., et al. ***Evaluation of microwave-assisted acid extraction procedures for the determination of metal content and potential bioavailability in sediments***. Applied Geochemistry. 1140-1151, 2008.

Beyruth, Z. ***Periodic disturbance, trophic gradient and phytoplankton characteristcis related to cyanobacterial grownth and Guarapiranga Reservior***. São Paulo Hidrobiologia, 2000.

Beyruyh, Z. ***Comunidade fictoplanctânica da represa do Guarapiranga, 1991-92. Aspectos Ecológicos Sanitários e Subsidios para Reabilitação da Qualidade Ambiental***. Tese de Doutorado. São Paulo: Facudade de Saude Puliva, 1996. p. 276, 1996.

Bostrom, Bengt, et al. ***Exchange of phosphorus accross the sediment-water interface. Hidrobiologia***. Vol. 170, p. 229-244, 1988.

Brady, N.C. ***Natureza e Propriedades do Solo***. 7° Edição. São Paulo: Livraria Freitas Bastos. p. 898, 1989.

Braga, B., et al. ***Introdução a Engenharia Ambiental: O Desafio do Desenvolvimento Sustentavel***. 2°Edição. São Paulo, 2005.

BRASIL. ***Constituição da República Federativa do Brasil***. 5 de outubro de 1988. Contém as emendas constitucionais posteriores. Brasília, DF: Senado, 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/ConstituicaoCompilado.htm>. Acesso em:15 de out. 2015.

—. Lei n° 9433. ***Institui a Política Nacional de Recursos Hídircos e cria o Sistema Nacional de Recursos Hídricos***. 8 de Janeiro de 1997. Disponível em: < http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=370>. Acesso em: 22 de mai. 2014.

—. ***Vigilância e Controle da Qualidade das Águas para o Consumo Humano***., Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. Brasília. Ministério da Saúde, 2006. Disponível em :<http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_controle_qualidade_agua.pdf>. Acesso em 13 de ago. 2014.

—. ***Portaria MS n.º 518/2004***. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. Brasília, 2005. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/portaria_518_2004.pdf>. Acesso em 30 de jun. 2011.

Briand, F. J, et al. ***Health Hazerds for Terrestrial Vertabrats from Toxic Cyanobacteria in surface water ecosystem***. Disponível em: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00902752/document>. Acesso em: 31 de abr. 2015.

Brito, C. F. ***Avaliação dos efeitos da construção do rodoanel na qualidade da água e sedimento da represa do Parque Pedroso, Santo André-SP.***

***Estudo geoquímico de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), metais e elementos traço com vistas ao abastecimento público***. Tese Doutorado, São Paulo. IPEN/USP, 2014.

Bueno, L. f, Galbiatti, J. A e Borges, M. J. 2005***. Monitoramento de Variáveis de Qualidade da Água do Horto Ouro Verde***. [Online] set/dez de 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/eagri/v25n3/28070.pdf>. Acesso em: 23 de fev. 2015.

Câmara, F. M. M. ***Avaliação da Qualidade da Água do Rio Poti na Cidade de Teresina, Piauí***. Tese de Doutorado. Rio Claro: UNESP- Rio Claro, 2011.

Cardoso, S. S. ***Heterogeneidade Espacial e a Qualidade das Águas Superficiais do Reservatório Guarapiranga***. Dissertação de Mestrado. São Paulo: Instituto de Biociências/USP. p. 113, 2008.

CCME- ***Canadian Concil of Ministers of the Environment. 2012. Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. Protocol for the Derivation of Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life****.* 23 de jan. de 2012.

CETESB. 2015. **Alterações físico químicas. Potencial Hidrogeniônico**. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/mortandade/causas_ph.php>. Acesso em: 23 de fev. 2015.

CETESB & ANA. 2011. ***Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas*** . Brasilia, 2°Edição: s.n., 2011.

CETESB. **Alterações físico químicas. *Temperatura da água****.* São Paulo: s.n., s.d.

—. 1988. ***Avaliação da Qualidade das águas para comsumo Humano no Estado de São Paulo***. São Paulo. Secretaria de Meio Ambiente, Serie Relatórios, jun. de 1988. Vol. 48 n°151.

—. ***Condutividade*** .s.d. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/aguas-interiores/variaveis/aguas/variaveis_quimicas/condutividade.pdf>. Acesso em: 28 de fev. 2015.

—. ***Ficha de Informação Toxicológica - Crômio e seus compostos***. CETEB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. s.d. Disponivel em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/laboratorios/fit/cromio.pdf>. Acesso em : 16 de dez. 2014.

—. FIT - ***Ficha de Informação Toxicológica - Bário. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo, 2012***. *Disponivel em:* <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/laboratorios/fit/bario.pdf>. Acesso em :7 de dez de 2014.

—. FIT - ***Ficha de Informação Toxicológica - Manganês. Companhia Tecnoligica de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo***. Janeiro de 2012. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/laboratorios/fit/manganes.pdf>. Acesso em: 7 de jan. 2012.

—. s.d. ***Histórico da legislação hídrica no Brasil. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo***. s.d. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%81guas-Superficiais/38-Historico-da-Legisla%C3%A7%C3%A3o-H%C3%ADdrica-no-Brasil>. Acesso em : 19 de ago. 2014.

—. ***Histórico institucional da Compahia Ambiental do Estado de São Paulo.*** s.d. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/institucional/institucional/52-Hist%C3%B3rico/>. Acesso em: 12 de ago. 2014.

—. ***Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo***. 2012. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/35-publicacoes-/-relatorios>. Acesso em: 25 de fev. 2015.

—. ***Qualidades das Águas Superficiais no Estado de São Paulo***. 2013. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/relatorio-aguas-superficiais-2013-parte1.pdf>. Acesso em: 14 de ago. 2014.

—. ***Relatório de qualidade de águas interiores do Estado de São Paulo***. s.l., CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 2007.

Chapman, P. M., et al. ***Ecotoxicology of metals in aquatic sediments: Biding and release, bioavailability, risk assessment and remediation***. *Can. J. Fish. Aquat. Sci, 5522221-2243,* 1998.

Chaves, R. C de P. ***Avaliação do Teor de Metais Pesados da Água Tratada no Municipio de Lavras***. Dissertação de Mestrado. M G. Universidade Federal de Lavras, 2008. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/2473>. Acesso em :13 de ago. 2014.

Cornelis, Rita, et al. ***Handbook of Elemental Speciation II - Species i the Envitonment, Food, Medicine and Occupational Health***. West Sussex: Wiley, 2005.

Costa, M. P. 2005. ***A regularização dos recursos hídricos e a gestão da qualidade da água: o Caso da bacia de São Francisco***. Instituto de Biociências/USP. São Paulo. Tese de Doutorado. p. 176, 2005.

Cotrim, Marycel E.B. 2006. ***Avaliação da qualidade da água na Bacia Hidrográfica do Ribeira de Iguape com vistas ao abastecimento Público.*** Tese de Doutorado.IPEN/USP São Paulo, 2006.

Cotrim, Marycel Elena Barbosa. ***Foto ICP-OES***. São Paulo: s.n., 13 de Outubro de 2005.

Cutolo, Silvana Audrá. ***Comunidade Zooplanctônica na Represa de Guarapiranga- sp - Brasil***. São Paulo: Faculdade de Saude Publica, s.d.

Di Bernardo, L. ***Algas e suas Influências na Qualidade das Águas e nas Tecnologias de Tratamento***. Rio de Janeiro. ABES, 1995.

Diniz, L. T, et al. ***O Enquadramento de cursos d'água na Legislacao Brasileira.*** I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste, 2006. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/ARQS/RELATORIO/CRH/CTPLAN/1826/enquadram%20leg%20brasil%20diniz%202006.pdf>. Acesso em 15 de fev. 2015.

CANTO, E. L. ***Minerais, minérios, metais - De onde vêm?, Para onde vão?*** São Paulo. Moderna. 8516014118, 2006.

Dornfeld, C. B. ***Utilização de Aalise Liminolóicas Bioensaios de Toxidade e Macroinvertebrados Bêntonicos para diagnostico Ambiental do Reservatório de Salto Grande. São Paulo***: Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia da Universidade de São Carlos, 2002.

Ducrot, R., et al. ***Land and water management in the Metropolitan.*** NEGOWAT. Janeiro de 2005. Disponível em: <http://www.negowat.org/Docs4Web/Brazil_pdf/01_Brazil.pdf>. Acesso em: 19 de mar. 2011.

Espinola, E. L. G. ***Liminologia de represas: Alguns Fatoras Determinantes.*** São Carlos. s.n., 2001.

Esteves, F.A. ***Fundamento da limnologia***. Rio de Janeiro. Interciência/ FINEP. p. 575, 1988.

Ferreira, B. A, Pereira Filho, W e Rosa, R. ***Análise Comparativa de Variáveis Limnológicas em Três sub-Bacias Hidrográficas na Região Central do Rio Grande do Sul-Brasil***. v. 13, n 41, Março de 2012.

Figueiredo, F. N. ***Diagnóstico da Qualidade da Água dos Mananciais Abastecedores de São Bento do SUL/SC, com Ênfase nas Comunidades de***

***Cianobactérias e Algas. Florianópolis.*** Universidade Federal de Santa Catarina; Centro de Ciências Biológicas; Departamento de Botânica. Dissertação de Mestrado. , 2005.

Fiorillo, M. C. ***Reservatório do Rio Grande: Caracterização Liminologica da Água e Biodisponibilidade de Metais Traço no Sedimento***. São Paulo. Instituto de Biociencias/USP. Dissertação de Mestrado, 2006.

Fiorucci, R. A e Beneditti Filho, E*. **A Importância do Oxigênio Dissolvido em Ecositemas Aquâticos**.* QUÍMICA NOVA NA ESCOLA. 22 de Novembro de 2005.

Folha de São Paulo. ***Com Chuva o Nível dos Principais Reservatórios de São Paulo Sobe***. 07 de Fevereiro de 2015. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2015/02/1586741-com-chuva-nivel-dos-seis-principais-reservatorios-de-sao-paulo-sobe.shtml>. Acesso em: 11 de fev. 2015.

Freitas, V. P. S, et al. ***Padrão Físico-Químico da Água de Abastecimento Público da Região de Campinas***. Instituto Adolfo Lutz. Vol. 61, pp. 51-58, 2002.

Gabriela M. Simões, et al. ***Trends of MetaL Pollution Evaluated by Guarapiranga Sediment Testemonial***. São Paulo. XII Safety, Health and Environment World Congress, 2012.

GEOTEC. ***Plano de Gerenciamento Integrado do Sistema produtor Taquacetuba. Varzea de Parelheiros***. São Paulo. 2° Relatório, 2001.

Gonçalves, W.F.O., et al. ***Geochemistry of intertidal sediment pore waters from the industrialized Santos-Cubatão Estuarine System***, SE Brazil. *An Acad Bras Cien.* 2012, Vol. 84(2), pp. 427-441.

Guimarães, M. G. ***Avaliação da Concentração de Metais em Amostras de Sedimento no Reservatório do Guarapiranga***. São Paulo. IPEN/USP. Dissertação de Mestrado. p. 171, 2011.

Harper, D. ***Eutrophication of freshwaters: principles, problems and restoration***. London. Chapman & Hall. p. 322, 1992.

Helou, L. C & Silva, L. G. ***Estudo do Reservatório do Guarapiranga.*** São Paulo. DAAE. SABESP, 1987.

IBGE. 2015. ***Cidades.*** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponivel em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang=&coduf=35&searcch=sao-paulo>. .Acesso em : 17 de fev. 2015.

ISA. 2006. ***Seminário do Guarapiranga. Proposição de Ações Prioritarias para Garantir a Água de Boa Qualidade para Abatecimento Público. Legislação na Bacia Hidrográfica da Guarapiranga***, 2006. Disponível em: <http://site-antigo.socioambiental.org/inst/sem/guarapiranga2006/docs/legislacao.pdf>. Acesso em: 18 de ago. 2014.

Shiromoto. J; Leitão, J. C;.Tsutiya, M. T. ***Operação do Sistema Taquacetuba para a Transferência de Água do Reservatório Billings para Represa Guarapiranga – Região Metropolitana de São Paulo***. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/I-037.pdf>. Acesso em : 18 de abr. 2014.

Jensen, S. H. e Andresen,, O. F. ***Importance of temperature, nitrate and pH for phosphate release from aerobic sediments of four eutrophic lakes. Limnol.*** *Oceanogr.* 1992, Vols. 37 577-589, 1992.

Kellner,E. M; Moeirara, J. F. V e Pires, E. C. ***Influência da Estratificação Térmica no Volume Útil e no Comportamento Hidrodinâmico de Lagoa de Estabilização: Determinação Experimental e Teórica***. vol.14, n.1, pp.129-138, 2009. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522009000100014>. Acesso em 24 de abr. 2015.

Kleeberg, A. K, A e Hupfer. M. ***How effectively does a single or continuous iron supply affect the phosphorus budget of aerated lakes***. *J. Soils Sediments.* 2012, Vols. 12:1593-1603,2012.

Lemes, M.J.L. ***Avaliação de metais e elementos-traço em águas e sedimentos das bacias hidrográficas dos rios Mogi - Guaçu e Pardo***. Dissertação de Mestrado. São Paulo.IPEN/USP, 2001.

Loh, P. S, et al. ***Evaluating relationships between sediment chemistry and anoxic phosphurus and iron releases accross three different water bodies.*** Inland Waters. Vols. 3 pp. 105-118, 2013.

Macêdo. J, A, B. ***Introdução à Química Ambiental***: Química & Meio Ambiente & Sociedade. 2º Edição. Minas Gerais. p. 1025, 2006

Manaham, S. E. ***Química Ambiental***. 9. Porto Alegre. BOOKMAN EDITORA LTDA, 2013.

Marcolam, L, Bourotte, C e Bertolo, R. 2008. ***Estratificação das Concentrações de Cromo Hexavalente nas águas Subterrâneas do Aquífero Adamantina, Município de Urânia, SP, BRASIL***, 2008. XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas . Disponível em : <http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/viewFile/23697/15770>. Acesso em: 29 de nov. 2015.

Mariani, C. F. ***Reservatório de Rio Grande: Caracterização Limnologica da Água e Biodisponibilidade de Metais Traço no Sedimento.*** Dissertação de Mestrado. São Paulo. Instituto de Biociencias/USP, 2006.

Marotta, H, Prast, E. A e Santos, O. R. ***Monitoramento limnológico: um instrumento para a conservação dos recursos hídricos no planejamento e na gestão urbano-ambientais***. Campinas. v. XI, n. 1 p. 67-79. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/asoc/v11n1/05.pdf>. Acesso em: 25 de fev. 2015.

Matsuzaki, M. ***Tranposição das Águas do braço Taquacetuba da Represa Billings para Represa Guarapiranga. Aspectos Relacionados à qualidade de Água para Abastecimento***. Tese de Doutorado. São Paulo. Facudade de Saude Publica/USP. p. 183, 2007.

Melchor, A, et al. ***Preservação de Manaciais para Abastecimento. Guarapiranga um Modelo para Preservação***. DAE. Vol. 35. , 1975.

Mendes, Benilde e Oliveira, J. F. Santos. ***Qualidade de Água para consumo humano***. Lisboa. LIDEL, 2004.

Mozeto, A. A; Silvério, P. F. e Soares, A. ***Estimates of benthic fluxes of nutrients across the sediment -water interface (Guarapiranga reservoir, Sao Paulo, Brazil).*** The Science of the Total Environment. 2001, Vol. 266, pp. 135-142, 2001.

Mudroch, A. e Macknight, S.D. ***Handbook of Techniques for Aquatic Sediments Sampling***. Lewis Publishers. p. 236, 1994.

O Tabuanense. Noticia. ***SABESP promete resolver problema de odor desagradável na água***, 2011. Disponível em: <http://otaboanense.com.br/noticia/4410/termos>. Acesso em: 4 de abr. 2015.

Oliveira, R. C. B e Marins, R. V. ***Dinâmica de Metais-Traço em Solo e Ambiente Sedimentar Estuarino como um Fator Determinante no Aporte desses Contaminantes para o Ambiente Aquático***, 2011. Disponível em: <http://www.uff.br/RVQ/index.php/rvq/article/viewFile/171/174. 88-102>. Acesso em: 4 de abr. 2015.

PADIAL, P. R. 2008. ***Qualidade, heterogeneidade espacial e biodisponibilidade de metais no sedimento de um reservatório tropical urbano eutrofizado (Reservatório Guarapiranga, SP)***, 2008. [Citado em: 15 de Julho de 2015.] Dissertação de Mestrado. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/41/41134/tde-18022009-134528/>. Acesso em: 15 de jun. 2015.

PDPA. ***Atualização do Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Bacia Hidrográfica do Guarapiranga***. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de de São Paulo; Coordenadoria de Planejamento Ambiental Estratégico e Educação Ambiental e a Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos , 2007-2010.

PDPAG. ***Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Guarapiranga***, 2012. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/wp/pactodasaguas/files/2011/10/PDPA-Guarapiranga.pdf>. Acesso em: 13 de jun. 2012.

Pereira Filho, W. 2000. ***Influência dos Diferentes Tipos de Uso da Terra em Bacias Hidrográficas sobre Sistemas Aquáticos da Margem Esquerda do Reservatório de Tucuruí, Pará***. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria, 2000.

Piveli, R. P. ***Qualidade das Águas e Poluição: Aspectos Físico-Químicos***. São Paulo. ABES, 2005 .

Porto, R. L. L, et al. ***Hidrologia Ambiental***. 3º Edição. Edusp, 1991. p. 414,1991.

Prado, B. R. 2004. ***Geotecnologias Aplicadas à Análise Espaço Temporal do uso e Cobertura da Terra Equalidade da Água do Reservatório de Barrabonita, SP, COMO Suporte à Gestão Derecursos Hídricos***. Tese Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos/USP, 2004.. Disponível em: <ftp://200.144.6.21/_ftpcomitepcj/TeseRachel.pdf>. Acesso em:12 de mar. 2015.

Quináglia, G. A. ***Caracterização dos Níveis Basais de Concetração de Metais no Sedimento do Sistema Estuarioda Baixada Santista***. Tese Doutorado. IQ/USP, 2006.

Catani, D. B: Hugo, F. N, et al. ***Relação entre Níveis de Fluoreto na Água de Abasteciemnto Público e Fluorose Dental****.* 5º edição, São Paulo. Saude Pública. Vol. 41. 732-739, 2007.

Ribeiro, W.C. 2008. ***Geografia Política da Água***. São Paulo : Annablume. p. 162, 2008.

Ricardo, Beto. **O Risco da Escassez**. *ISA,* 2005. Disponível em: <http://www.socioambiental.org/esp/agua/pgn/otrechosulemananciais.html>. Acesso em: 14 de jan. 2016.

Richter, Eduardo M., et al. 2007. ***Avaliação da composição química de águas do sistema guarapiranga: estudo de casonos anos de 2002 e 2003***. *Química Nova.* 5° Edição. Vol. 30, pp. 1147-1152, 2007.

Rodrigues. ***Biodiversidade De Cianobactérias e algas da represa Billings (Braço Taquacetuba) e Guarapiranga***. São Paulo. Instituto de Biociências/USP, 2008.

Rodrigues, M. A, Silva, P. P e Guerra, W. ***Elemento Químico - Cobre***. Química Nova na Escola. 3º Edição. Vol. 34, 2012.

SABESP. ***Complexo Metropolitano***. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, s.d. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=36>. Acesso em : 10 de fev. 2015.

—. 2011. **Situação dos Mananciais.** ***índice de armazenamento e pluviometria das represas que abastecem a Região Metropolitana de São Paulo****.*2011. Companhia de Abastecimento do Estado de São Paulo, 2011. Disponível em: <http://www2.sabesp.com.br/mananciais/DivulgacaoSiteSABESP.aspx>. Acesso em: 12 de fev. 2015.

SABESP, ***Acervo Memória***. Fundação de Energia e Saneamento, 2008. Disponível em:

<http://www.energiaesaneamento.org.br/boletim_2012/edicao_02/imagens.html>. Acesso em: 07 de abr. 2014.

Sartor, B. C. S*. **Avaliação Temporal de Variáveis Limnológicas do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS, e o uso da Terra na Área de Captação***. Dissertação de Mestrado. Santa Maria, RS. UFSM. p. 94, 2008.

SEMA, ***Gestão Partipartiva das Águas***. Secretaria do Meio Ambiente. p. 96, 2004.

Silva, A. C. e Torrado, P.V. Abreu JR, J.S. ***Métodos de quantificação de matéria orgânica do solo.*** *R. Un. Alfenas, Alfenas, Vol. 5*. pp. 21-26, 1999.

Silva, H. M. 2008. ***Modelo de Procedimentos para Elaboração de Metodologia de Valoração Econômica de Impactos ambientais da Bacia Hidrográfica. Estudo de caso Guarapiranga Aplicação da Fução Dose-Resposta.*** Disertação de Metrado. São Paulo.POLI/USP, 2008.

Silva, R. C. A e Araújo, T. M. 2003. ***Qualidade da Água do Mancial Subterrânio em Areas Urbanas de Feira de Santana. Bahia***, 2003. Disponível em: <http://www.scielosp.org/pdf/csc/v8n4/a23v8n4.pdf>. Acesso em :12 de mar. 2015.

Silverio, P. F. ***Bases técnico - Científicas Para a Derivação de Valores-Guias de Qualidade de Sedimentos Para Metais : Experimentos de Campo e Laboratório***, Tese Doutorado, 2003. Disponível em: <file:///C:/Users/dbsilva/Downloads/Patricia_Silverio_.pdf>. Acesso em: 15 de jun. 2015.

Simões, Gabriela M. 2012. ***Trends of Metal Pollution Evaluated by Guarapiranga***, 2012. Disponível em: <http://proceedings.copec.org.br/index.php/shewc/article/view/50#.VjjPEflViko>. Acesso em: 03 de set. 2015.

SMA/CEA. ***Caderno Ambiental Guarapiranga***. Secretaria do Meio Ambiente / Secretaria da Educação, Governo do Estado de São Paulo. São Paulo :

Secretaria do Meio Ambiente/Coordenadoria de Educação Ambiental. São Paulo. São Paulo, 2008.

SMA/CPLA. ***Elaboração do Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Bacia Hidrográfica do Reservatório Billings***. São Paulo. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Coordenadoria de Planejamento Ambiental. p. 274, 2010.

Smith, V. H. e Schindler, D.W. ***Eutrophication Science: Where do we go from here? Trends in ecology and evolution***. Vol. 24, nº4, 201. 2009.

Soares, Viviane Martins. 2011. ***Aspectos Físicos e Químicos do Complexo de Represas do Paribuno Paritinga-São Pauo***. Dissetação de Mestrado. Isntituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares/USP, 2011.

Sondergaard, Martin, Jensen, Jens Peder e Jeppesen, Erik. ***Role of sediment and internal loading of phosphorous in shallow lakes***. Hidrobiologia. 506-509, pp. 135-145, 2003.

Sperling, M. V. ***Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.*** Belo Horizonte. UFMG, 3ª edição, Vol 1. p. 452, 2005.

Standard Methods. ***Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater***. APHA AWWA WPCF. 2005.

Theis, Thomas e McCabe, Peter J. ***Phosphorous dinamics in hypereutrophic lake sediments***. *Water research.* Vols. 12, 677-685, 1978.

Tundisi, J. G. ***Água no seculo XX: Enfrentando a Escassez.*** São Carlos, 2005.

Tucci, C. E. M; Mendes, A. C. 2006. ***Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica***. MMA, 2006. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/sqa_3.pdf>. Acesso em: 12 de fev. 2015.

U.S. Geological Survey. 2000. ***Reconstructing Historical Changes in the Environmental mental Health of Watersheds by Using Sediment Cores from Lakes and Reservoirs in Salt Lake Valley, Utah***, 2000. Disponível em:<http://ut.water.usgs.gov>.Acesso em: 27 de ago. 2012.

USEPA. ***United States Enviromental Protection Agency. Method 3051***. ***Microwave assisted acid digestion sludges, soils and oils***. 1994.

Vidal, F. T e Neto. C, J. 2013. ***Aporte de Nutrientes no Período Chuvoso em Reservatório de Abastecimento Humano no Estado do Ceará***. ABRH, 2013. Disponível : <https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/19406dfe4b2acd749d1fde00fd92b460_71c9f24f82b6d0f0294bf0a381c2bf19.pdf>. Acesso em: 10 de mar. 2015.

Whately. M e Cunha, P. M. ***Guarapiranga 2005 - Como e porque São Paulo está perdendo este manancial***. São Paulo. ISA, 2005.

Whately. M e Cunha, P. M. ***Proposição de ações prioritárias para garantir água de boa qualidade para abastecimento.*** Seminário Guarapiranga São Paulo. ISA. 85-85994-41-X, 2006.