



Universidade Federal  
do Rio de Janeiro  
Escola Politécnica

## DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO COMPLEXO LAGUNAR DE JACAREPAGUÁ DE 2001 A 2015

Lea Piumbim Rebelo

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientadora: Susana Beatriz Vinzon, D. Sc.

Co-orientador: Jonio Ferreira de Souza, M. Sc.

Rio de Janeiro

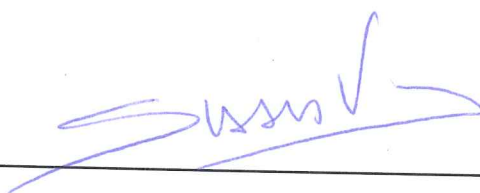
Abril de 2016

DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO COMPLEXO LAGUNAR DE JACAREPAGUÁ


Lea Piumbim Rebelo

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO AMBIENTAL.

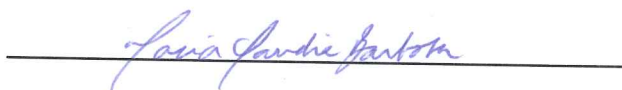
Examinada por:



Prof. Susana Beatriz Vinzon, D. Sc.



Prof. Jonio Ferreira de Souza, M. Sc.



Prof. Maria Claudia Barbosa, D. Sc.



Prof. Josimar Ribeiro de Almeida, PD. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

ABRIL de 2016

Rebelo, Lea Piumbim

Diagnóstico da Qualidade da Água do Complexo Lagunar de Jacarepaguá de 2001 a 2015 / Lea Piumbim

Rebelo. - Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica - 2016

XIV, 115 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadora: Susana Beatriz Vinzon

Co-orientador: Jonio Ferreira de Souza

Projeto de Graduação - UFRJ/Escola Politécnica/Curso de Engenharia Ambiental, 2016.

Referências Bibliográficas: p. 75-80.

1. Qualidade da água. 2. Parâmetros físico-químicos e biológicos. 3. Complexo Lagunar de Jacarepaguá. I. Vinzon, Susana Beatriz. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Ambiental. III. Título.

## AGRADECIMENTO

Agradeço aos funcionários do Inea, especialmente aos do GEAG por terem me fornecido os dados necessários pelos quais esse trabalho não poderia ter sido realizado e pela disposição em sanar minhas dúvidas.

Agradeço à minha orientadora Susana Beatriz Vinzon por ter aceitado esse projeto já em andamento e por ter me ajudado até o final e ao meu co-orientador Jonio Ferreira de Souza por ter estado comigo desde o início, me fornecer ótimas sugestões, tirar minhas dúvidas até de madrugada e por ter uma enorme paciência ao me ouvir reclamar tantas vezes.

Agradeço aos professores Josimar Ribeiro de Almeida e Maria Claudia Barbosa por aceitarem participar da banca e terem me dado feedbacks tão importantes.

Agradeço ao meu pai Antonio, minha mãe Mariangela e meu irmão Igor por todo tipo de suporte que me deram desde o momento que nasci e por serem tão compreensivos nesse período especial no qual houve momentos de choro, riso, frustração e irritação; às vezes tudo em um só dia.

Agradeço aos meus amigos Aline Lessa, Bruna Camila da Silva, Carolina Peleteiro, Gabriela Felix, Hugo Azevedo, Maria Alice Rocha, Renata Ruiz e Vivian Fexas por todo o apoio fornecido durante essa caminhada que foi a graduação, todos os momentos de diversão e alegria compartilhados.

Agradeço a todos os amigos e colegas que direta ou indiretamente me ajudaram em toda essa caminhada.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica / UFRJ como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

Diagnóstico da Qualidade da Água do Complexo Lagunar de Jacarepaguá de 2001 a 2015

Lea Piumbim Rebelo

Abril/2016

Orientadora: Prof. Susana Beatriz Vinzon, D. Sc.

Co-orientador: Prof. Jonio Ferreira de Souza, M. Sc.

Curso: Engenharia Ambiental

As lagoas constituintes do Complexo Lagunar de Jacarepaguá são utilizadas pelo ser humano como ambiente de lazer, rota alternativa para deslocamento dentro da região, área de pesca e de apreciação. No entanto, vem sofrendo ao longo dos anos uma intensa agressão devido à ocupação antrópica sem infraestrutura urbana adequada e ao lançamento de rejeitos industriais e domésticos. O presente trabalho visa determinar como tem sido a evolução histórica da qualidade hídrica dessa região juntamente com o quadro atual em que se encontra, tais interpretações serão a base para determinar o grau de impacto no corpo hídrico do complexo e nos seres que são expostos direta e indiretamente a eles. Através das análises realizadas nos dados fornecidos pelo Inea foi possível determinar que a qualidade da água do Complexo Lagunar de Jacarepaguá vem decaindo ao longo de 15 anos, período abordado nesse trabalho, chegando ao ponto de haver anaerobiose nas coletas de água superficial em todas as estações de monitoramento e de haver uma concentração de coliformes termotolerantes 500 vezes acima do determinado como máximo pela legislação federal em algumas delas. Com base nas interpretações realizadas averiguou-se que dentre as quatro lagoas constituintes desse complexo, a Lagoa da Tijuca foi diagnosticada como a mais impactada e a de Camorim a menos.

**Palavras-chave:** Qualidade da água, Parâmetros físico-químicos e biológicos, Sistema Lagunar de Jacarepaguá.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

Diagnosis of the Water Quality of the Lagoon Complex of Jacarepaguá from 2001 to 2015

Lea Piumbim Rebelo

April/2016

Advisor: Susana Beatriz Vinzon, D. Sc.

Co-advisor: Jonio Ferreira de Souza, M. Sc.

Course: Environmental Engineering

The ponds that form the Lagoon Complex of Jacarepaguá are used by the human being as a recreation environment, a displacement alternative route inside the region, a fishing and enjoyment area. Even so, they are suffering an intense aggression along the years due to the human occupation without the adequate urban infrastructure and to the release of the industrial and domestic wastes. The present paper aims to determine how the water historical evolution has been on this region alongside with its current frame, such interpretations are the basis for determining the degree of impact on the water body of the complex and on the beings that are exposed directly and indirectly to it. Through the interpretations of the data provided by Inea, it was possible to determine that the water quality of the Complex Lacustrine of Jacarepaguá has been declining over the 15 years evaluated on the paper, to the point of having anaerobic processes on the samples of superficial water in every monitoring station and a thermotolerant coliform concentration 500 times over the maximum established by federal law. Based on these interpretations it can be verified that, among the four ponds composing the Complex, the Tijuca Lagoon was diagnosed as the most impacted one and the Camorim Lagoon was the least one.

**Keywords:** Water quality, Physicochemical and Biological Parameters, Lagoon System of Jacarepaguá.

## SUMÁRIO

1	Introdução .....	1
1.1	Apresentação do Tema .....	1
1.2	Objetivos .....	4
1.3	Justificativa .....	4
1.4	Metodologia .....	5
1.5	Estrutura do Trabalho .....	7
1.6	Legislação Brasileira Pertinente .....	7
2	Descrição da Área de Estudo .....	9
2.1	Sistema Lagunar de Jacarepaguá .....	9
2.1.1	Localização .....	9
2.1.2	Características .....	11
2.2	Lagoa de Jacarepaguá .....	21
2.2.1	Localização .....	21
2.2.2	Características .....	21
2.3	Lagoa de Camorim .....	23
2.3.1	Localização .....	23
2.3.2	Características .....	23
2.4	Lagoa da Tijuca .....	25
2.4.1	Localização .....	25
2.4.2	Características .....	25
2.5	Lagoa de Marapendi .....	27
2.5.1	Localização .....	27
2.5.2	Características .....	27
3	Resultados e Discussões .....	30
3.1	Aspectos Quantitativos do Monitoramento .....	30
3.2	Diagnóstico da Água .....	36
3.2.1	Grupo dos Metais .....	36
3.2.1.1	Arsênio .....	36
3.2.1.2	Cádmio .....	38
3.2.1.3	Chumbo .....	39
3.2.1.4	Cobre .....	41
3.2.1.5	Cromo .....	43
3.2.1.6	Ferro .....	44
3.2.1.7	Mercúrio .....	45

3.2.1.8 Níquel .....	46
3.2.1.9 Zinco .....	47
3.2.2 Grupo dos Parâmetros Físicos.....	48
3.2.2.1 Condutividade Elétrica .....	48
3.2.2.2 Sólidos totais .....	49
3.2.2.3 Temperatura da água .....	51
3.2.2.4 Turbidez.....	53
3.2.3 Grupo dos Parâmetros Químicos .....	55
3.2.3.1 DBO .....	55
3.2.3.2 OD.....	56
3.2.3.3 pH .....	59
3.2.3.4 Fósforo .....	61
3.2.3.5 Nitrato .....	63
3.2.3.6 Nitrogênio Kjeldahl.....	65
3.2.4 Grupo dos Parâmetros Biológicos .....	67
3.2.4.1 Cianotoxinas/Microcistinas .....	67
3.2.4.2 Coliformes Termotolerantes .....	68
4 Conclusões.....	70
Referências Bibliográficas .....	75
ANEXO A .....	81
ANEXO B .....	105



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANA - Agência Nacional de Águas

C2 - Classe 2

C3 - Classe 3

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CM - Camorim

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde

GEAG - Gerência de Avaliação de Qualidade das Águas

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INEA - Instituto Estadual do Ambiente

JC – Jacarepaguá

LD - Limite de Detecção

MR - Marapendi

MS - Ministério da Saúde

NBR - Norma Brasileira

NMP - Número Mais Provável

SEA – Secretaria de Estado do Ambiente

SMAC - Secretaria Municipal de Meio Ambiente

TJ - Tijuca

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estações de monitoramento em águas interiores (INEA, 2016). .....	3
Figura 2: Mapa das bacias hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro (INEA, 2016). .....	9
Figura 3: Mapa da bacia hidrográfica da região da Baía de Guanabara (INEA, 2016). .....	10
Figura 4: Mapa da região hidrográfica do Complexo Lagunar de Jacarepaguá. IPP, Imagem Google. ....	11
Figura 5: Localização aproximada dos rios contribuintes. Adaptado do Google Earth. ....	13
Figura 6: Principais bairros localizados na Bacia Hidrográfica de Jacarepaguá (AMORIM, 2015) .....	17
Figura 7: Caracterização do entorno do complexo com as principais referências geográficas. Instituto Terrazul. ....	19
Figura 8: Localização aproximada das estações de monitoramento e dos principais rios contribuintes. Adaptado de (INEA,2016) e do (GOOGLE EARTH). ....	20
Figura 9: Lagoa de Jacarepaguá. Google Earth. ....	21
Figura 10: Lagoa de Camorim. Google Earth.....	24
Figura 11: Lagoa da Tijuca. Editado do Google Earth.....	26
Figura 12: Lagoa de Marapendi. Editado do Google Earth .....	28
Figura 13: Quantidade de análises dos metais ao longo dos anos. Autoria própria.....	33
Figura 14: Quantidade de análises dos parâmetros físicos ao longo dos anos. Autoria própria.	33
Figura 15: Quantidade de análises dos parâmetros químicos ao longo dos anos. Autoria própria.....	35
Figura 16: Quantidade de análises dos parâmetros microbiológicos ao longo dos anos. Autoria própria.....	35
Figura 17: Médias das concentrações de arsênio por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.....	37
Figura 18: Médias das concentrações de cádmio por estação de tratamento nos diferentes períodos. Autoria própria.....	38
Figura 19: Médias das concentrações encontradas de chumbo por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.....	40
Figura 20: Médias das concentrações de cobre por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.....	42
Figura 21: Médias das concentrações de cromo por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.....	43
Figura 22: Médias das concentrações de ferro por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.....	44
Figura 23: Médias das concentrações de mercúrio por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria. ....	45
Figura 24: Médias das concentrações de níquel por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.....	46
Figura 25: Médias das concentrações de zinco por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.....	47
Figura 26: Médias das condutividades por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria. ....	49
Figura 27: Médias das concentrações dos sólidos totais por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria. ....	50
Figura 28: Médias da temperatura por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.....	52

Figura 29: Médias das concentrações de turbidez por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.....	53
Figura 30: Médias da DBO por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.....	55
Figura 31: Médias das concentrações de OD por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.....	57
Figura 32: Médias do pH por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.....	60
Figura 33: Médias das concentrações do fósforo por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.....	62
Figura 34: Médias das concentrações do nitrato por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.....	64
Figura 35: Médias das concentrações do nitrogênio Kjeldahl por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.....	65
Figura 36: Médias das concentrações do fósforo por estação de monitoramento em dois períodos. Autoria própria.....	66
Figura 37: Médias das concentrações de Microcistinas por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.....	67
Figura 38: Médias das concentrações dos coliformes termotolerantes por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.....	69
Figura 39: Concentrações do arsênio por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.....	105
Figura 40: Concentrações do cádmio por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.....	105
Figura 41 Concentrações do chumbo por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.....	106
Figura 42: Concentrações do cobre por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.....	106
Figura 43: Concentrações do cromo por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.....	107
Figura 44: Concentrações do ferro por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.....	107
Figura 45: Concentrações do mercúrio por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.....	108
Figura 46: Concentrações de níquel por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.....	108
Figura 47: Concentrações de zinco por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.....	109
Figura 48: Medidas de condutividade elétrica por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.....	109
Figura 49: Concentrações do sólido total por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.....	110
Figura 50: Valores de temperatura por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.....	110
Figura 51: Concentrações da turbidez por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.....	111
Figura 52: Concentrações da DBO por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.....	111

Figura 53: Concentrações do OD por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.....	112
Figura 54: Valores do pH por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.....	112
Figura 55: Concentrações do fósforo por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.....	113
Figura 56: Concentrações do nitrato por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.....	113
Figura 57: Concentrações do nitrogênio Kjeldahl por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.....	114
Figura 58: Concentrações dos coliformes termotolerantes por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria. ....	114
Figura 59: Concentrações das cianotoxinas/microcistinas por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria. ....	115

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Número de resultados por ano de monitoramento. Autoria própria. ....	31
Tabela 2: Lagoas com piores resultados. Autoria própria.....	71
Tabela 3: Lagoas que extrapolaram o limite máximo permitido e o ano que ocorreu. Autoria própria.....	72
Tabela 4: Lagoas que extrapolaram limite máximo ou mínimo e o ano que ocorre. Autoria própria.....	73
Tabela 5: Lagoas que apresentaram maior média em relação às outras; não há limite estabelecido. Autoria própria. ....	73

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Estrutura da rede de monitoramento da qualidade da água e sedimento. Autoria própria.....	3
Quadro 2: Parâmetros selecionados para análise da qualidade da água. Autoria própria. ....	6
Quadro 3: Características físicas das lagoas. Adaptado de (SANTOS, 2014). ....	11
Quadro 4: Principais rios que se conectam às lagoas. Autoria própria. ....	12
Quadro 5: Regiões administrativas e principais bairros localizados na Bacia Hidrográfica de Jacarepaguá. Adaptado de (AMORIM, 2015).....	15
Quadro 6: Censo demográfico de 2000 e 2010. População residente e estimada por região administrativa. Adaptado do IBGE, Censo demográfico de 2010. ....	18
Quadro 7: Códigos e coordenadas geográficas das estações de monitoramento. Adaptado de (INEA, 2016). ....	18
Quadro 8: Cursos d'água que contribuem para a formação da Lagoa de Jacarepaguá. Adaptado de (SONDOTÉCNICA, 1998). ....	22
Quadro 9: Estações de amostragem na Lagoa de Jacarepaguá. Adaptado de (INEA, 2016). ....	22
Quadro 10: Cursos d'água que contribuem para a formação da Lagoa de Camorim. Adaptado de (SONDOTÉCNICA, 1998). ....	24
Quadro 11: Estação de amostragem na Lagoa de Camorim. Adaptado de (INEA, 2016). ....	25
Quadro 12: Cursos d'água que contribuem para a formação da Lagoa da Tijuca. Adaptado de (SONDOTÉCNICA, 1998). ....	26
Quadro 13: Estações de amostragem na Lagoa da Tijuca. Adaptado de (INEA, 2016).....	27
Quadro 14: Cursos d'água que contribuem para a formação da Lagoa de Marapendi. Adaptado de (SONDOTÉCNICA, 1998). ....	28
Quadro 15: Estações de amostragem na Lagoa de Marapendi. Adaptado de (INEA, 2016). ....	28
Quadro 16: Sinais e sintomas de acordo com o nível de intoxicação. Adaptado de (CETESB, 2012) e (MACEDO, 2010). ....	82
Quadro 17: Sinais e sintomas de acordo com o nível de intoxicação. Adaptado de TAVARES (2010). ....	85
Quadro 18: Sinais e sintomas de acordo com o nível de intoxicação. Adaptado de OLIVEIRA (2011). ....	89

# 1 Introdução

## 1.1 Apresentação do Tema

O Complexo Lagunar de Jacarepaguá está inserido na Região Hidrográfica da Baía de Guanabara e possui um subcomitê próprio. De acordo com o subcomitê de Jacarepaguá a baixada de Jacarepaguá é um ambiente costeiro formado por uma planície litorânea situada na zona oeste da cidade do Rio de Janeiro, sendo sua sub-região hidrográfica limitada pelas encostas atlânticas do Maciço da Pedra Branca à oeste, pelo Maciço da Tijuca à leste, pelo Oceano Atlântico ao sul e pela Serra do Valqueire ao norte. A bacia hidrográfica de Jacarepaguá é formada por rios que nascem nas vertentes dos Maciços da Tijuca e da Pedra Branca e seguem em direção ao mar pela planície costeira até o momento que desaguam nas lagoas da região, que por sua vez, conduzem as águas para o oceano (AMORIM, 2015). O Complexo Lagunar de Jacarepaguá possui uma área de drenagem de aproximadamente 280 Km<sup>2</sup> e um espelho d'água de aproximadamente 12,8 Km<sup>2</sup> e possui como principais lagoas a Lagoa de Jacarepaguá, Lagoa de Camorim, Lagoa da Tijuca e Lagoa de Marapendi.

De acordo com o IBGE, a baixada de Jacarepaguá equivale à Área de Planejamento 4 e é formada por três regiões administrativas, que são a Barra da Tijuca, Jacarepaguá e Cidade de Deus, havendo um total de dezoito bairros inseridos nessa área de planejamento, que, segundo o Censo de 2010, possui uma população residente de 909.955 habitantes e uma população estimada de 1.011.946 habitantes para 2015.

Segundo RENEULT (2012), em linhas gerais, no quadro de ocupação da área da baixada de Jacarepaguá há um somatório à ocupação pela elite, o crescimento das populações precariamente incluídas. Na vida da cidade pode-se ver que historicamente segue-se à cidade formal (onde minimamente foram instalados equipamentos urbanos como ruas, saneamento, regras construtivas, etc), o crescimento lateral da cidade informal (representada pelas comunidades, invasões e construções precárias em áreas de risco). Praticamente todas as comunidades existentes no maciço da Pedra Branca acompanharam os movimentos de crescimento da cidade formal. A necessidade de

serviços desta, aliada à precária rede de transporte público leva forçosamente à geração de novas ocupações irregulares.

CYPRIANO (2009) relata que o Complexo Lagunar de Jacarepaguá vem sofrendo uma intensa agressão ao seu ecossistema natural, em função da ocupação antrópica sem infraestrutura urbana adequada e do lançamento de rejeitos industriais e domésticos em seus corpos hídricos. CRUZ *et al.* (2012) acrescentam que os problemas ambientais têm ocasionado um crescente processo de eutrofização das águas, o que produz mudanças na qualidade da água, mortes extensivas de peixes e maior incidência de florações de microalgas, particularmente de cianobactérias.

As lagoas constituintes do Complexo Lagunar de Jacarepaguá são utilizadas pelos moradores e visitantes como ambiente de lazer, rota alternativa para o trânsito, área de pesca e de apreciação. Esse trabalho consiste em avaliar como se encontra a qualidade da água das lagoas de Jacarepaguá, Camorim, Tijuca e Marapendi e determinar a evolução histórica da sua qualidade hídrica. Com essa análise é possível determinar a evolução do grau do impacto negativo no corpo hídrico do complexo e nos seres nos seres que são expostos direta e indiretamente à essa água ao longo dos anos.

No âmbito municipal, a ação de monitoramento referente à qualidade de água em lagoa é dedicada integralmente à Lagoa Rodrigo de Freitas, os canais e rios a ela ligados. Esse serviço executado pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMAC) visa acompanhar as alterações físicas, químicas e biológicas decorrentes de atividades antrópicas e de fenômenos naturais, não abordando, entretanto, o Complexo Lagunar de Jacarepaguá.

Na esfera Estadual, o Instituto Estadual do Ambiente (Inea), por meio da Gerência de Avaliação de Qualidade das Águas (GEAG), disponibilizou dados que fazem parte de uma rede de monitoramento sistemático dos parâmetros físicos, químicos e biológicos da qualidade da água e do sedimento. Essa rede é composta por um total de



607 estações de amostragem distribuídas em 360 corpos hídricos em todo o Estado, cuja divisão entre praias e águas interiores<sup>1</sup> é visualizada no Quadro 1.

Quadro 1 - Estrutura da rede de monitoramento da qualidade da água e sedimento. Autoria própria.

	Praias	Águas interiores	Total
Número de estações de amostragem	290	317	607
Número de corpos hídricos	201	159	360

Das 317 estações de monitoramento de águas interiores indicados no Quadro 1 e especializadas na Figura 1, 191 (60%) estão localizadas em rios e canais, 62 (19,6%) em lagoas, 57 (18%) em baías e o restante em reservatórios, espacializadas na Figura 1.

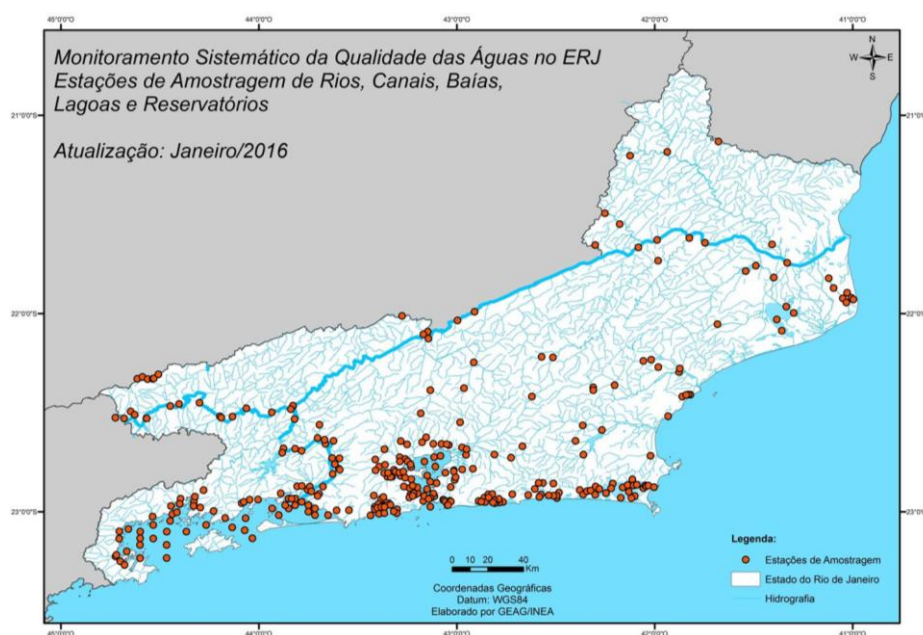


Figura 1 - Estações de monitoramento em águas interiores (INEA, 2016).

<sup>1</sup> Águas interiores são aquelas compreendidas entre a costa e a linha de base reta, a partir de onde se tem o mar territorial; as águas dos portos e as águas das baías, rios, lagoas, lagoas e canais (INEA,2016).

Das quinze lagoas que são contempladas nessa rede de monitoramento, quatro são constituintes do Complexo Lagunar de Jacarepaguá e juntas possuem oito estações de amostragem distribuídas.

Para o complexo lagunar de Jacarepaguá verifica-se a existência do monitoramento de 34 parâmetros de qualidade da água e 22 para o sedimento, que é realizado mensalmente, podendo ser intensificado em função de ocorrências eventuais que alterem a qualidade de suas águas, em especial durante o verão, relata INEA (2016).

Foram selecionados os dados relativos ao período compreendido entre 2001 a 2015 para avaliação de 21 parâmetros de monitoramento da água, considerando as características de biomagnificação, bioacumulação, toxicidade, indicação de aporte de esgoto e da presença de aspectos microbiológicos

O tratamento desses dados pelo Excel segundo a metodologia utilizada gera uma informação processada para subsidiar, com argumento técnico-científico, uma discussão a respeito do comportamento histórico da qualidade da água das lagoas com relação a metais, nutrientes, carga orgânica, aspectos microbiológicos e outros aspectos de prevenção e controle da poluição.

## 1.2 Objetivos

Os objetivos desse trabalho consistem em avaliar a qualidade da água do Complexo Lagunar de Jacarepaguá atualmente, estabelecer uma série histórica ao longo de 15 anos e interpretar a representatividade quantitativa dos dados.

## 1.3 justificativa

O Sistema Lagunar de Jacarepaguá é responsável por drenar as águas provenientes dos maciços, do escoamento superficial devido à precipitação e das águas de sub-superfícies (caracterizadas pelos lençóis freáticos).

As lagoas constituintes desse sistema é de grande importância para a cidade, principalmente para os moradores da região, sendo utilizadas pelo ser humano como ambiente de lazer, rota alternativa para deslocamento dentro da área, ambiente de

pesca e apreciação, no entanto, vem sofrendo ao longo dos anos uma intensa agressão devido à ocupação antrópica sem infraestrutura urbana adequada e ao lançamento de rejeitos industriais e domésticos. Saber como tem sido a evolução histórica da qualidade hídrica dessa região juntamente com o quadro atual em que se encontra são de suma importância para determinar a evolução da qualidade desses recursos hídricos e o grau de impacto nos seres que são expostos direta e indiretamente à essa água ao longo dos anos.

#### 1.4 Metodologia

A busca de informações sobre o Complexo Lagunar de Jacarepaguá contemplou a verificação de monografias, teses, dissertações, artigos científicos e demais documentos científicos sobre a região, possibilitando a descrição da área com relação a aspectos hídricos, sanitários e de uso e parcelamento do solo. O refinamento da busca foi realizado através do uso de palavras chaves que abordassem cada um dos parâmetros, as lagoas desse complexo e sua hidrodinâmica; todos em um espaço temporal de 15 anos, sendo dada preferência para informações mais recentes.

Para obtenção de dados específicos, necessários à avaliação do histórico da qualidade da água desse sistema, foram consultados os órgãos estadual e municipal de meio ambiente acerca das ações de monitoramento desse complexo hídrico.

No âmbito municipal, a SMAC é responsável pela ação de monitoramento referente à qualidade da água em lagoa, no entanto, é dedicada integralmente à Lagoa Rodrigo de Freitas, os canais e rios a ela ligados, não abordando o Complexo Lagunar de Jacarepaguá.

Na esfera Estadual, o Inea, por meio do GEAG, disponibilizou dados que fazem parte de uma rede de monitoramento sistemático dos parâmetros físicos, químicos e biológicos da qualidade da água e do sedimento.

Para o Complexo Lagunar de Jacarepaguá verifica-se a existência do monitoramento de 34 parâmetros de qualidade da água e 22 para o sedimento, que, segundo o INEA (2016) é realizado mensalmente, podendo ser intensificado em função

de ocorrências eventuais que alterem a qualidade de suas águas, em especial durante o verão.

Considerando a capacidade de biomagnificar, bioacumular, de toxicidade, de indicativo de carga de nutrientes presentes no meio e da existência de aspectos microbiológicos foram selecionados 21 parâmetros de monitoramento da água, conforme indicados no Quadro 2, relativos ao período compreendido entre 2001 a 2015.

Quadro 2: Parâmetros selecionados para análise da qualidade da água. Autoria própria.

Parâmetros para a água	
Parâmetros metálicos	Arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, mercúrio, níquel e zinco
Parâmetros físicos	Condutividade elétrica, sólidos totais, temperatura e turbidez
Parâmetros químicos	DBO, fósforo, nitrato, nitrogênio Kjeldahl, OD e pH
Parâmetros biológicos	Coliformes termotolerantes e cianotoxinas

O método de avaliação qualitativa inicia com a organização desses parâmetros em grupos distintos, tais como: parâmetros metálicos, parâmetros físicos, parâmetros químicos e parâmetros biológicos. Em seguida, com auxílio do Excel, os dados são separados por quinquênios e passam por tratamento estatístico para definir médias, desvios padrões e porcentagem do grau de dispersão. O desvio padrão foi determinado através da fórmula DESVPADP, pois esta se baseia na população inteira dada como argumentos e não apenas parte da amostra da população. Por fim, são plotados gráficos de dispersão que facilitam a visualização e interpretação do desempenho histórico do parâmetro para cada estação, bem como sua correlação com outros parâmetros, fatores e limites designados pela legislação pertinente. Salientando que para toda análise comparativa a limite estabelecido, será utilizada a Resolução CONAMA 357 para águas salobras classe 2, quando houver mudança da resolução ou enquadramento, será informada essa mudança na própria análise.

Destaca-se aqui que nem todos os parâmetros possuem resultados com periodicidade regular ou não são monitorados em todas as estações. Portanto, algumas avaliações tornam-se frágeis e impossibilitam uma abordagem mais detalhada e conclusiva.

Seguindo esses passos metodológicos gera-se informação processada para subsidiar, com argumento técnico-científico, uma discussão a respeito do comportamento histórico da qualidade da água das lagoas com relação a metais, parâmetros físico, químicos e biológicos.

### 1.5 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho se divide em quatro capítulos com as seguintes abordagens:

Capítulo 1: desenvolve a introdução, na qual o tema de estudo é apresentado, assim como objetivos, justificativas, a metodologia empregada e as legislações pertinentes.

Capítulo 2: aborda o estudo de caso, apresentando o complexo lagunar e as suas lagoas constituintes, explicando sua localização e características físicas.

Capítulo 3: será apresentada a série histórica de cada parâmetro e serão expostos os resultados e as discussões.

Capítulo 4: aborda a conclusão do trabalho.

No Anexo A se encontra as definições dos termos e parâmetros utilizados e no Anexo B estão as figuras que representam os gráficos de concentração de cada parâmetro

### 1.6 Legislação Brasileira Pertinente

#### Legislações Federais

Resolução CONAMA nº 357 de 2005

Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e as diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências (CONAMA 357/2005). Esta Resolução foi alterada pela Resolução CONAMA 410/2009 e pela Resolução 430/11.

Resolução CONAMA nº 419 de 2009

Prorroga o prazo para complementação das condições e padrões de efluentes, previsto no art. 44 da Resolução nº 367, de 17 de março de 2005 (CONAMA 410/09)

Resolução CONAMA nº 430 de 2011

Complementa e altera a Resolução nº 357/05, dispondo sobre as condições e padrões de lançamento de efluente, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, segundo a Resolução CONAMA 430/2011.

Portaria nº 2914 de 2011

Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

## 2 Descrição da Área de Estudo

### 2.1 Sistema Lagunar de Jacarepaguá

#### 2.1.1 Localização

O Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos é composto por dez bacias hidrográficas, dentre elas a Bacia Hidrográfica da Baía de Guanabara e dos Sistemas Lagunares de Maricá e Jacarepaguá, visualizada na Figura 2, cujo comitê foi instituído por meio do Decreto Estadual nº 38.260/2005.

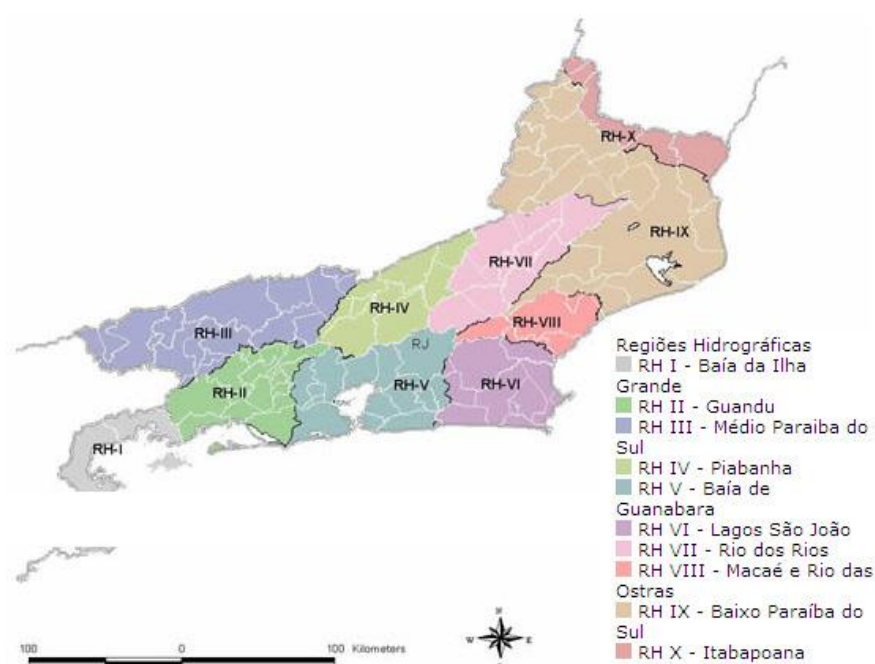


Figura 2: Mapa das bacias hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro (INEA, 2016).

A região hidrográfica da Baía de Guanabara é composta por dezessete sub-bacias, conforme pode ser observado na Figura 3. Dentre essas sub-bacias seis possuem subcomitês, entre eles se encontra o Comitê do Sistema Lagunar de Jacarepaguá que será abordado nesse estudo. Na Figura 3 está delimitada a bacia hidrográfica da Baía de Guanabara.

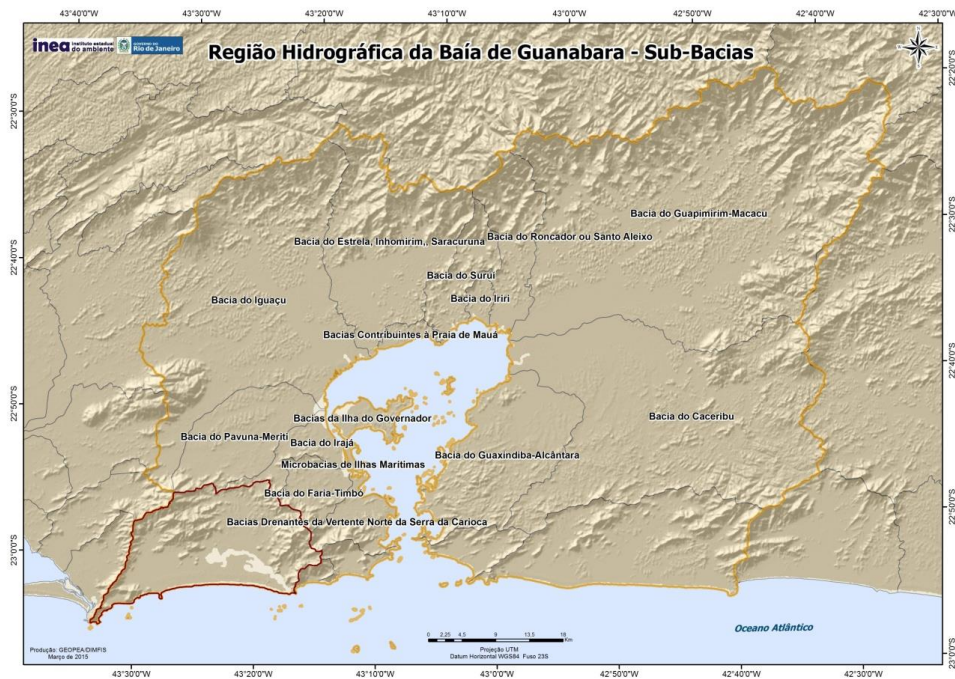


Figura 3: Mapa da bacia hidrográfica da região da Baía de Guanabara (INEA, 2016).

De acordo com o comitê de Bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, a baixada de Jacarepaguá é um ambiente costeiro formado por uma planície litorânea situada na zona oeste da cidade do Rio de Janeiro. A Sub-região hidrográfica do Sistema Lagunar de Jacarepaguá é limitada pelas encostas atlânticas do Maciço da Pedra Branca à oeste, pelo Maciço da Tijuca à leste, pelo Oceano Atlântico ao sul, e pela Serra do Valqueire ao norte, conforme é especializado na Figura 4. Se localiza entre os paralelos 22°55'S ao norte e 23°05'S ao sul e pelos meridianos 43°18'30"W a leste e 43°32'30" a oeste (Datum WGS-84).

A bacia hidrográfica de Jacarepaguá é formada por rios que nascem nas vertentes dos maciços da Tijuca e da Pedra Branca e seguem em direção ao mar pela planície costeira até o momento em que desaguam nas lagoas da região, que, por sua vez, conduzem as águas para o oceano através do Canal da Joatinga e pelo Canal da Taxas, de acordo com AMORIM (2015).



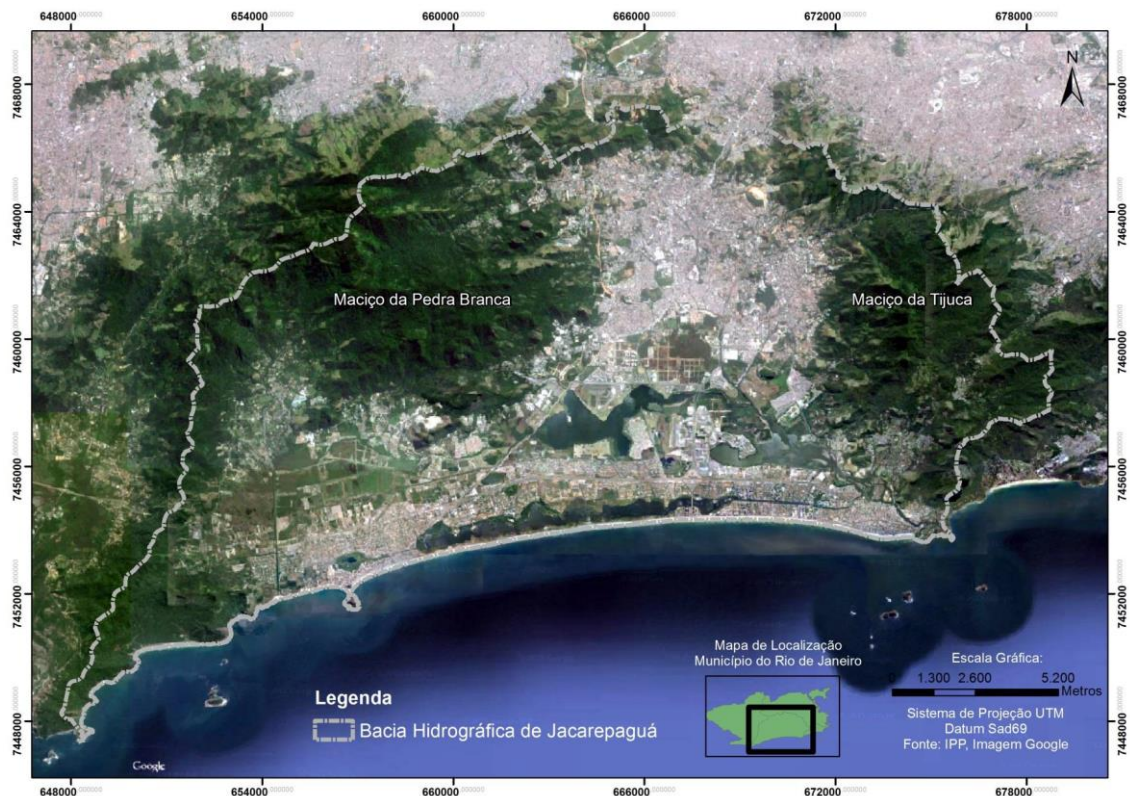


Figura 4: Mapa da região hidrográfica do Complexo Lagunar de Jacarepaguá. IPP, Imagem Google.

### 2.1.2 Características

O Complexo Lagunar de Jacarepaguá possui uma área de drenagem de aproximadamente 280 Km<sup>2</sup>, um espelho d'água de aproximadamente 12,8 Km<sup>2</sup> e possui como principais lagoas a Lagoa de Jacarepaguá, Lagoa de Camorim, Lagoa da Tijuca e Lagoa de Marapendi, relata (AMORIM, 2015) e as características das lagoas se encontram no Quadro 3.

Quadro 3: Características físicas das lagoas. Adaptado de (SANTOS, 2014).

Lagoa	Espelho d'água (Km <sup>2</sup> )	Largura média (Km)	Comprimento médio (Km)	Profundidade média (m)	Perímetro (Km)	Volume médio (m <sup>3</sup> )
Jacarepaguá	3,7	0,93	4	3,3	15	12.276.000
Camorim	0,8	0,49	3,5	1,3	8	2.229.500
Tijuca	4,8	0,88	6	2,1	21	11.088.000
Marapendi	3,5	0,35	10	1,8	23	6.300.000

Segundo o Comitê do Sistema Lagunar de Jacarepaguá, a Lagoa de Jacarepaguá é a mais interiorizada do conjunto, sendo conectada à Lagoa da Tijuca via Lagoa de Camorim, e a Lagoa de Marapendi se conecta à Lagoa da Tijuca através do Canal de Marapendi. Esse complexo se conecta ao mar por dois pontos: via Canal da Joatinga à leste e via Canal de Sernambetiba à oeste, como pode ser visto na Figura 5. De acordo com SONDOTÉCNICA (1998), a entrada da água do mar é feita pelo Canal da Joatinga, passando então para a Lagoa da Tijuca e desta para a Lagoa de Marapendi, através do Canal de Marapendi, sendo que na Lagoa da Tijuca a penetração da maré é atenuada atingindo valores desprezíveis na altura da Lagoa de Camorim.

Esse sistema lagunar recebe água de diversas origens: precipitação e escoamento superficial, águas fluviais, águas de sub-superfícies (provenientes de lençóis freáticos das encostas e do mar) e águas do mar (penetram nas lagunas de acordo com o movimento das marés), relata SANTOS (2014). No Quadro 4 são mostrados os principais rios contribuintes de cada lagoa e na Figura 5 é possível ver especialmente a localização desses rios dentro do complexo lagunar.

Quadro 4: Principais rios que se conectam às lagoas. Autoria própria.

Lagoa	Curso d'água contribuinte
Jacarepaguá	Canal do cortado
	Rio Camorim
	Rio Caçambê
	Rio Arroio Pavuna
	Rio Marinho
Camorim	Canal do Anil
	Rio Arroio Fundo
Tijuca	Rio das Pedras
	Rio Cachoeira
Marapendi	Canal das Taxas



Figura 5: Localização aproximada dos rios contribuintes. Adaptado do Google Earth.

Como informado preteritamente, a interação do sistema lagunar com o Oceano Atlântico se faz através de canais de ligação, que são o da Joatinga e das Taxas. O Canal da Joatinga tem um papel fundamental nas trocas entre as lagoas da Tijuca e Marapendi e o mar. Devido ao grande volume de água que passa pelo canal a cada ciclo de maré, é certo que a água proveniente das lagoas atinja a região litorânea adjacente, alterando as condições naturais e prejudicando a balneabilidade das mesmas. O Canal das Taxas para desaguar no mar, passa pelo Canal de Sernambetiba – que atualmente é fechado por enrocamento-, o que atenua a ação da maré, praticamente impedindo a sua penetração e dificultando a renovação das suas águas, ressaltando que este canal tem um papel fundamental no escoamento das águas provenientes do Maciço da Pedra Branca, informa RENEULT (2012).

Segundo RENEULT (2012), o Maciço da Pedra Branca vive atualmente um acelerado processo de desenvolvimento das atividades urbanas em seu entorno e de expansão da degradação do ecossistema florestal. O crescimento da malha urbana, o desmatamento e a expansão das atividades agrícolas em suas encostas imprimem hoje, na paisagem, grandes modificações no arranjo espacial de seus elementos, e definem, assim, sua nova paisagem. Dados do Instituto Municipal de Planejamento (IPLAN) dão, para os bairros localizados em seu sopé, elevadas taxas de crescimento populacional ao longo das décadas de 1990 e 2000. Estas se deram pelo crescimento da chamada cidade informal, com proliferação de comunidades e loteamentos irregulares, avançando pela mata atlântica do Parque Estadual da Pedra Branca. Como resultante desse processo, cresceram exponencialmente problemas ligados ao saneamento básico.

Com a ocupação de São Conrado pela classe alta nos anos 70 e com a Zona Sul demonstrando claros sinais de saturação em termos populacionais, a indústria da construção civil voltou-se para o bairro da Barra da Tijuca, seguindo o caminho da orla marítima. Essa ocupação foi caracterizada pelo surgimento dos grandes condomínios fechados, horizontais e verticais, definindo uma nova forma de consumo do espaço urbano. O tipo de ocupação desse espaço urbano acarretou um problema que fica cada dia mais evidente na área: o aparecimento de bolsões de pobreza. As diversas construções que surgiram no bairro atraíram um sem-número de operários em busca de trabalho, que, devido às dificuldades de transporte existentes na época, acabaram

por se fixar nas proximidades das obras; foi assim que surgiu, por exemplo, a comunidade do Rio das Pedras, próxima ao Itanhangá. Alguns desses trabalhadores foram morar no interior da Baixada de Jacarepaguá, mais especificadamente na Cidade de Deus, para onde foram transferidos os desabrigados da enchente de 1996 que assolou a cidade, relata RENEULT (2012).

O Portal do Governo do Rio de Janeiro (2016), informa que em 2009 foi inaugurada a Estação de Tratamento de Esgoto da Barra da Tijuca, relatando que em quatro anos 85% do esgoto produzido do bairro estava sendo tratado e seus resíduos lançados em alto mar, por meio do emissário submarino. Foi construída uma Unidade de Tratamento de Rio na desembocadura do Rio Arroio Fundo, junto à Lagoa de Jacarepaguá e que a CEDAE permanece implantando a rede de esgotamento sanitário e troncos coletores além da construção de novas elevatórias de recalque de esgoto. Segundo a CEDAE, cerca de 80% dos condomínios e residências da Barra já contam com rede de esgoto em suas portas, sedo, portanto, obrigadas a se conectar. No Recreio, 70% já tem redes para se conectar e em Jacarepaguá 20%.

O município do Rio de Janeiro é dividido em áreas de planejamento, que, por sua vez, se dividem em regiões administrativas. A baixada de Jacarepaguá equivale à Área de planejamento 4 e é formada por três regiões administrativas, que são: Barra da Tijuca, Jacarepaguá e Cidade de Deus, explica AMORIM (2015). No Quadro 5 estão relacionadas as regiões administrativas e seus respectivos bairros constituintes, já na Figura 6 é espacializada a delimitação da bacia hidrográfica e a localização desses bairros indicados pelos seus respectivos códigos.

Quadro 5: Regiões administrativas e principais bairros localizados na Bacia Hidrográfica de Jacarepaguá. Adaptado de (AMORIM, 2015).

Região administrativa	#	Bairro
Barra da Tijuca	1	Barra da Tijuca
	2	Joá
	3	Itanhangá
	4	Recreio dos Bandeirantes
	5	Camorim
	6	Vargem Pequena
	7	Vargem Grande

	8	Grumari
Jacarepaguá	9	Jacarepaguá
	10	Anil
	11	Gardênia Azul
	12	Curicica
	13	Freguesia
	14	Pechincha
	15	Taquara
	16	Praça Seca
	17	Tanque
Cidade de Deus	18	Cidade de Deus

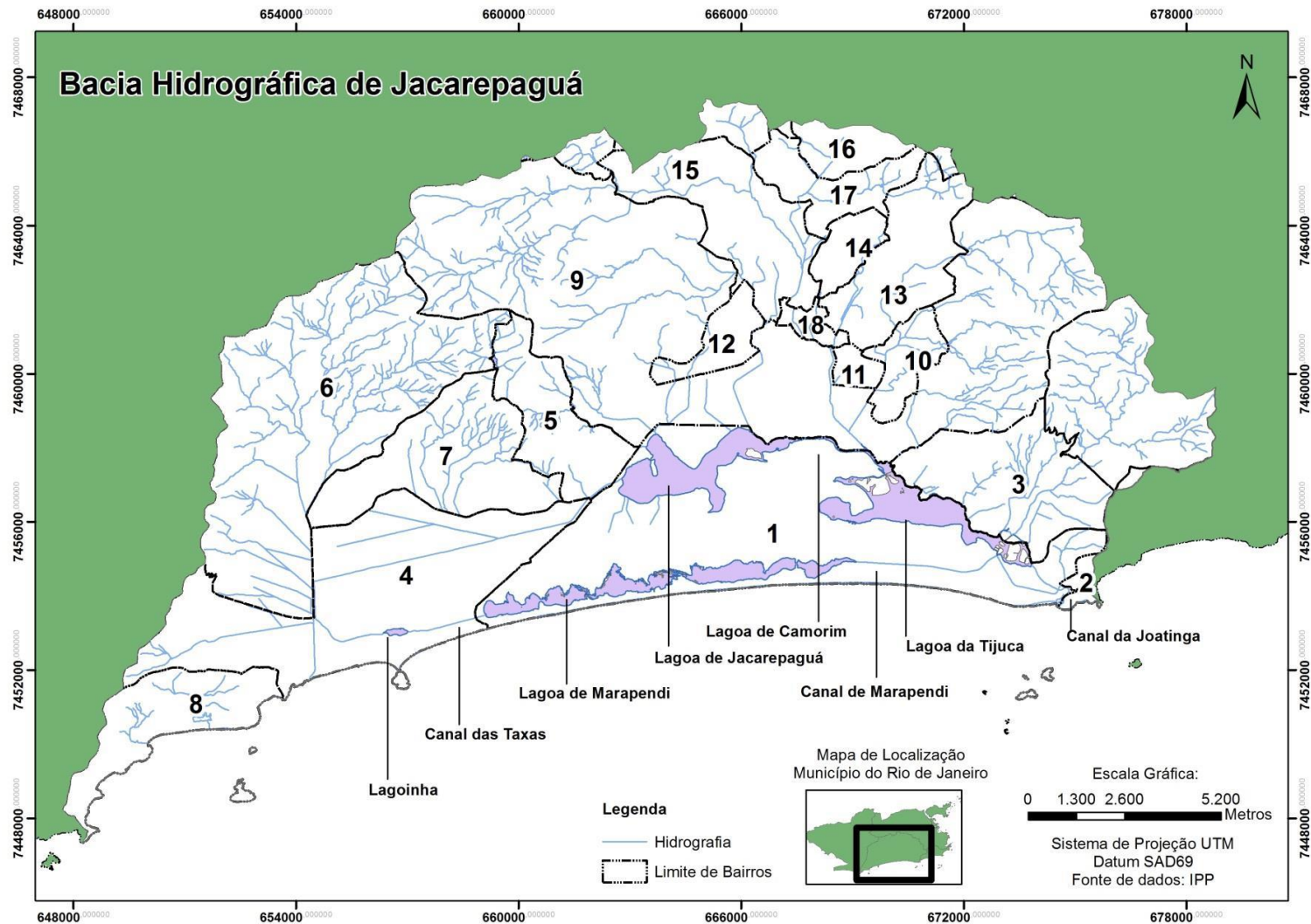


Figura 6: Principais bairros localizados na Bacia Hidrográfica de Jacarepaguá (AMORIM, 2015)

Como já explicado anteriormente, a Baixada de Jacarepaguá é constituída por três regiões administrativas: Barra da Tijuca, Jacarepaguá e Cidade de Deus. O Quadro 6 apresenta os dados populacionais da área de planejamento em questão e de suas regiões administrativas constituintes.

Quadro 6: Censo demográfico de 2000 e 2010. População residente e estimada por região administrativa. Adaptado do IBGE, Censo demográfico de 2010.

Área de planejamento e região administrativa	População residente		População estimada	
	2000	2010	2015	2016
Área de planejamento 4	682.051	909.955	1.011.946	1.077.930
Jacarepaguá	469.682	572.617	618.682	625.047
Barra da Tijuca	174.353	300.823	357.420	365.241
Cidade de Deus	38.016	36.515	35.843	35.750

Na Figura 7 é possível ver espacialmente como se encontra o grau ocupacional da região do entorno do complexo lagunar bem como suas principais referências.

O Inea informa que atualmente o complexo lagunar de Jacarepaguá possui 8 estações de amostragem, sendo duas na Lagoa de Jacarepaguá, uma na de Camorim, duas na da Tijuca e três na de Marapendi, como pode ser visto espacialmente na Figura 8. O Quadro 7 apresenta as coordenadas geográficas de cada uma dessas estações de monitoramento bem como o código que as representam e o Quadro 3 apresenta as características físicas de cada lagoa.

Quadro 7: Códigos e coordenadas geográficas das estações de monitoramento. Adaptado de (INEA, 2016).

Código	Localização	Coordenadas Geográficas	
		Latitude	Longitude
1	Lagoa de Jacarepaguá	22° 58' 47.48"	43° 24' 05.97"
2	Lagoa de Jacarepaguá	22° 58' 34.59"	43° 22' 52.85"
3	Lagoa de Camorim	22° 58' 33.86"	43° 21' 54.60"
4	Lagoa da Tijuca	22° 59' 55.02"	43° 19' 06.78"
5	Lagoa da Tijuca	23° 00' 26.92"	43° 18' 11.06"
6	Lagoa de Marapendi	23° 01' 06.00"	43° 26' 08.00"
7	Lagoa de Marapendi	23° 00' 36.48"	43° 23' 32.65"
8	Lagoa de Marapendi	23° 00' 23.78"	43° 21' 57.00"





Figura 7: Caracterização do entorno do complexo com as principais referências geográficas. Instituto Terrazul.



Figura 8: Localização aproximada das estações de monitoramento e dos principais rios contribuintes. Adaptado de (INEA,2016) e do (GOOGLE EARTH).

## 2.2 Lagoa de Jacarepaguá

### 2.2.1 Localização

Conforme já foi mencionado, está localizada na baixada de Jacarepaguá e pertence à sub-bacia do sistema lagunar de Jacarepaguá e é a lagoa mais interiorizada do sistema, se encontrando ao norte da Lagoa de Marapendi e à oeste da Lagoa de Camorim.

### 2.2.2 Características

A Lagoa de Jacarepaguá, espacializada na Figura 9, possui como tributários os rios provenientes do Maciço da Pedra Branca e, segundo SANTOS (2014), possui uma área de drenagem de 102,8 Km<sup>2</sup>. Pode se conectar com o mar por dois pontos, um à oeste, atravessando o Canal do Cortado, depois pelo Canal de Sernambetiba; o outro à leste, fazendo o trajeto Lagoa de Camorim, Lagoa da Tijuca e, então, Canal da Joatinga, como pode ser visto na Figura 5.

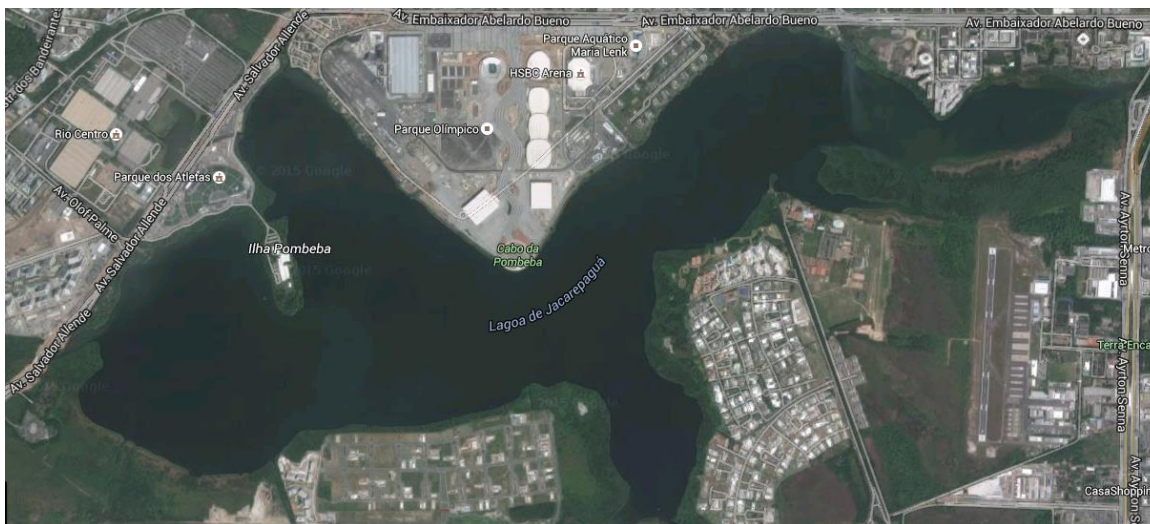


Figura 9: Lagoa de Jacarepaguá. Google Earth.

No Quadro 3 é possível ver as características físicas dessa lagoa e no Quadro 8 há um certo nível de detalhamento de cada um de seus afluentes, assim como mostra por quantos bairros passam as águas que vão desaguar na Lagoa de Jacarepaguá.

Quadro 8: Cursos d'água que contribuem para a formação da Lagoa de Jacarepaguá. Adaptado de (SONDOTÉCNICA, 1998).

Nome do curso d'água	Bairros por onde passam	Extensão (Km)
Rio Guerenguê	Taquara	3,5
Rio Monjolo	Taquara	1,8
Arroio Pavuna	Curicica	1,5
Rio Areal	Curicica	4,5
Córrego Engenho Novo	Curicica	4,0
Rio Pavuninha	Jacarepaguá e Curicica	2,2
Rio Passarinhos	Jacarepaguá	2,0
Rio Caçambê	Jacarepaguá	2,5
Rio Camorim	Camorim e Vargem Pequena	6,5
Rio Marinho	Vargem Pequena	3,5
Rio Ubaeté	Vargem Pequena	1,0
Rio Firmino	Vargem Pequena	1,5
Rio Calembá	Vargem Pequena	3,5
Rio Cancela	Vargem Pequena	3,5
Rio Vargem Pequena	Vargem Pequena	3,8
Canal do Portelo	Vargem Pequena	4,5
Rio Canudo	Vargem Pequena	3,0
Canal do Cortado	Vargem Pequena	2,5

Como foi informado preteritamente, essa lagoa possui dois pontos de monitoramento, que são referenciados no Quadro 9 e espacializados na Figura 8.

Quadro 9: Estações de amostragem na Lagoa de Jacarepaguá. Adaptado de (INEA, 2016).

Lagoa	Estação	Localização
Jacarepaguá	1	Atrás do autódromo
	2	Próximo ao rio Arroio Pavuna

Caracterizando as imediações da lagoa encontram-se ruas de fluxo moderado a intenso como a Rua Salvador Allende, Rua Embaixador Abelardo Bueno, Avenida Ayrton Senna, o Corredor BRT Transcarioca e a Avenida das Américas. Possui pequenas áreas de proteção ambiental em algumas localidades de seu entorno. No interior da lagoa se encontra a Ilha Pombeba, onde foi construído o Hospital SARA de reabilitação infantil. Foram construídos estabelecimentos como pousadas, restaurantes, academias, supermercados, shoppings, hotéis, colégios, igrejas, o HSBC Arena, o Parque Olímpico, o Parque dos Atletas, a Arena Carioca, o Parque Aquático Maria Lenk, o Centro

Internacional SARAH e o aeroporto de Jacarepaguá. Apresenta inclusive áreas de alto adensamento populacional e áreas de crescimento desordenado.

No entorno dos corpos d'água contribuintes se encontram alto adensamento populacional, comunidades e indústrias.

## 2.3 Lagoa de Camorim

### 2.3.1 Localização

Conforme já mencionado, está localizada na baixada de Jacarepaguá e se situa entre as lagoas de Jacarepaguá e Tijuca.

### 2.3.2 Características

A Lagoa de Camorim, Figura 10, de acordo com RENEULT (2012), na prática se comporta mais como um canal de ligação entre as lagoas de Jacarepaguá e a Lagoa da Tijuca, como pode ser vista espacialmente na Figura 5. Segundo SANTOS (2014), possui área de drenagem de 91,7 Km<sup>2</sup>, apesar de possuir o menor espelho d'água dentre todas as lagoas do complexo.

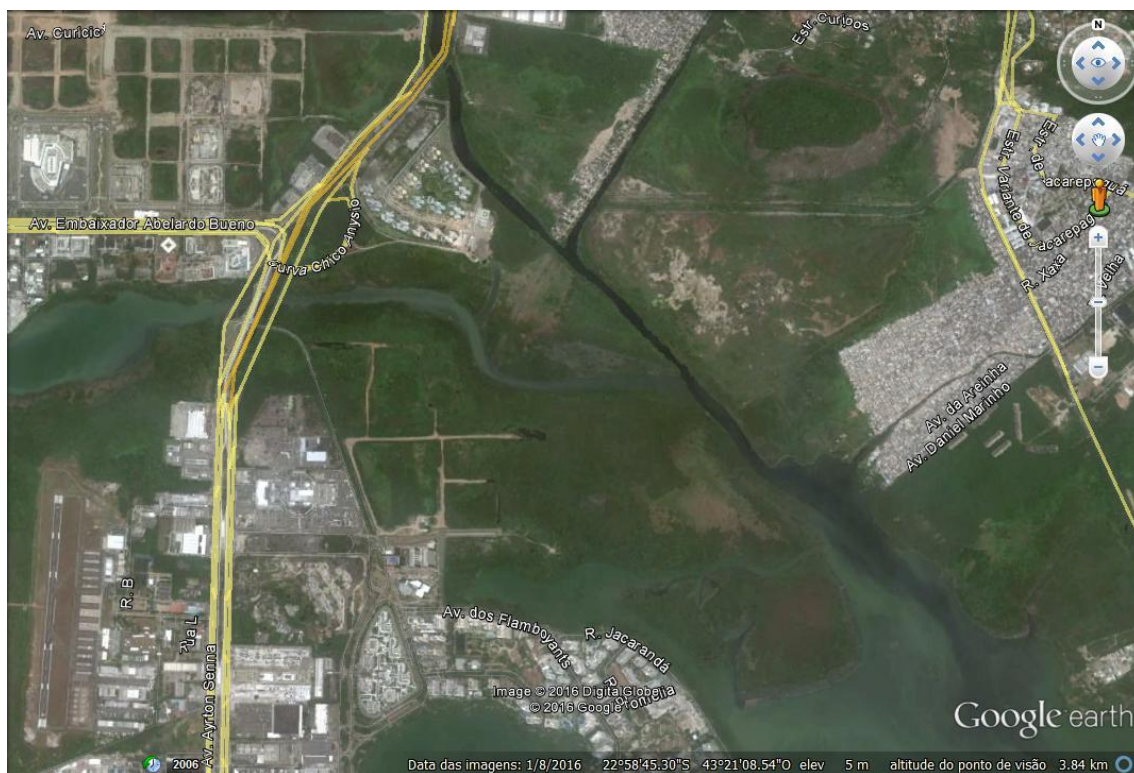


Figura 10: Lagoa de Camorim. Google Earth

É possível ver no Quadro 3 as características físicas dessa lagoa e no Quadro 10 estão parcialmente caracterizados seus tributários e os bairros por onde passam.

Quadro 10: Cursos d'água que contribuem para a formação da Lagoa de Camorim. Adaptado de (SONDOTÉCNICA, 1998).

Nome do curso d'água	Bairros por onde passam	Extensão (Km)
Arroio Fundo	Cidade de Deus e outros	3,0
Rio Banca da Velha	Cidade de Deus e Freguesia	4,0
Rio Tindiba	Tanque	5,2
Rio Pechincha	Pechincha e Tanque	2,2
Riacho Palmital	Pechincha	1,0
Rio Covanca	Pechincha	5,5
Rio Grande	Cidade de Deus e Taquara	16,3
Rio Pequeno	Taquara	6,2
Rio Anil	Freguesia e outros	8,0
Rio Sangrador	Freguesia	9,0
Rio Panela	Freguesia	2,0
Rio São Francisco	Freguesia	3,5
Rio Quitite	Freguesia	3,8
Rio Papagaio	Anil e Jacarepaguá	-

Essa lagoa possui uma estação de monitoramento, que está referenciada no Quadro 11 e espacializada na Figura 8.

Quadro 11: Estação de amostragem na Lagoa de Camorim. Adaptado de (INEA, 2016).

Lagoa	Estação	Localização
Camorim	3	Embaixo da ponte (Ayrton Senna)

Caracterizando as imediações da lagoa encontram-se ruas de fluxo moderado a intenso como a Avenida Governador Carlos Lacerda, Avenida Ayrton Senna, Linha Amarela e Avenida Engenheiro Souza Filho. Apresenta áreas maiores de proteção ambiental comparativamente com a de Jacarepaguá. Há presença de shoppings, igrejas e hospitais.

No entorno dos corpos d'água constituintes se encontra alto adensamento populacional, comunidades e indústrias.

## 2.4 Lagoa da Tijuca

### 2.4.1 Localização

A Lagoa da Tijuca está localizada na porção mais a leste do complexo lagunar, é a que mais perto se encontra do Canal da Joatinga, que é a principal entrada do mar no sistema. Possui ao norte a Lagoa de Camorim e ao sul a Lagoa de Marapendi.

### 2.4.2 Características

A Lagoa da Tijuca, mostrada na Figura 11, possui rios provenientes do Maciço da Tijuca como tributários e, segundo SANTOS (2014), 26,0 Km<sup>2</sup> de área de drenagem. Essa Lagoa é a ligação das lagoas de Jacarepaguá, Camorim e Marapendi com o mar (Figura 5) e, segundo RENEULT (2012) é nela que ocorre a atenuação da entrada da maré, a ponto de atingir valores desprezíveis na altura da Lagoa de Camorim.

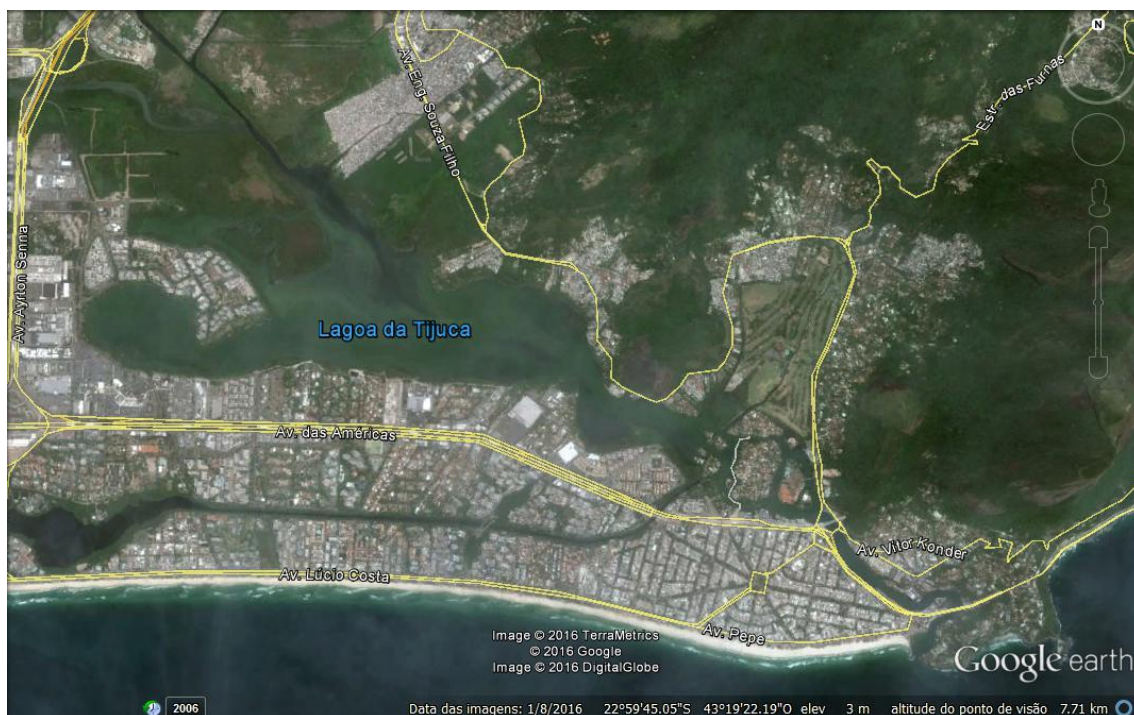


Figura 11: Lagoa da Tijuca. Editado do Google Earth.

Observando o Quadro 3 é possível ver as características físicas dessa lagoa e no Quadro 12 certo detalhamento de cada um dos seus afluentes e bairros por onde passam até desaguar na lagoa.

Quadro 12: Cursos d'água que contribuem para a formação da Lagoa da Tijuca. Adaptado de (SONDOTÉCNICA, 1998).

Nome do curso d'água	Bairros por onde passam	Extensão (Km)
Rio das Pedras	Barra da Tijuca	2,5
Rio Retiro	Barra da Tijuca	2,5
Rio Carioca	Barra da Tijuca	1,7
Rio Muzema	Barra da Tijuca	1,5
Rio Itanhangá	Barra da Tijuca	3,5
Rio Leandro	Barra da Tijuca	1,2
Rio Cachoeira	Itanhangá	4,0
Rio Tijuca	Itanhangá	2,5
Rio da Barra	Barra da Tijuca	-
Rio Gávea Pequena	Itanhangá	2,0
Rio Jacaré	Itanhangá	2,0
Córrego Santo Antônio	Itanhangá	3,5

De acordo com o Inea, a Lagoa da Tijuca possui dois pontos de monitoramento, como mostrados na Figura 8 e referenciados no Quadro 13.



Quadro 13: Estações de amostragem na Lagoa da Tijuca. Adaptado de (INEA, 2016).

Lagoa	Estação de coleta	Localização
Tijuca	4	Ponto atrás do Hard Rock, em frente ao Rancho das Morangas
	5	Próxima ao quebra-mar (embaixo do elevado do Joá)

Caracterizando as imediações da lagoa encontram-se ruas de fluxos moderados a intensos, como a Avenida Ayrton Senna, a Avenida Engenheiro Souza Filho, a Estrada do Itanhangá, a Estrada do Joá, Avenida Ministro Ivan Lins, Avenida Armando Lombardi e Avenida das Américas. Possui área de preservação menor que a da Lagoa de Camorim e da Tijuca. São encontrados empreendimentos como o Itanhangá Golf Club, academias, igrejas e hospitais. No interior dessa lagoa são encontradas a Ilha Primeira, Ilha da Jiboia, Ilha de Gigoia e Ilha dos Pescadores. Apresenta trechos de alto adensamento populacional e comunidades.

## 2.5 Lagoa de Marapendi

### 2.5.1 Localização

A Lagoa de Marapendi estende-se ao longo do cordão litorâneo do Oceano Atlântico e do cordão litorâneo que separa as outras lagoas mais interiores, relata CYPRIANO (2009). À oeste se encontra o Canal das Taxas e à leste o Canal de Marapendi e, por conseguinte, a Lagoa da Tijuca.

### 2.5.2 Características

A Lagoa de Marapendi, espacializada na Figura 12, possui duas conexões com o mar, uma à oeste pelo Canal das Taxas e outra à leste pelo Canal de Marapendi (Figura 5). Por possuir um formato alongado e ser dividida morfologicamente em 7 compartimentos semelhantes a bolsões, há redução da capacidade de renovação do seu corpo hídrico. Situação piorada devido ao fato da ligação pelo Canal das Taxas se encontrar em avançado processo de assoreamento e estar quase totalmente coberto por macrófitas, dificultando a ligação da Lagoa de Marapendi e o Canal de Sernambetiba (SONDOTÉCNICA, 1998).

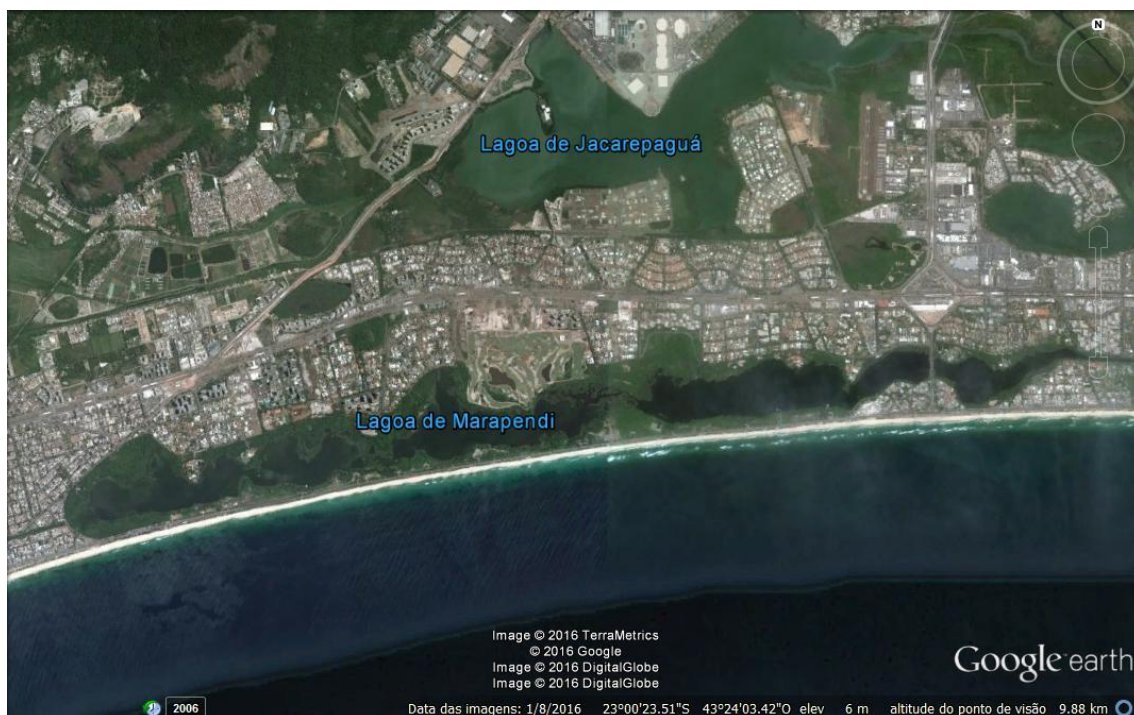


Figura 12: Lagoa de Marapendi. Editado do Google Earth

No Quadro 3 se encontram as características físicas da lagoa e no Quadro 14 são mostrados os seus afluentes, suas respectivas extensões e bairros por onde passam.

Quadro 14: Cursos d'água que contribuem para a formação da Lagoa de Marapendi. Adaptado de (SONDOTÉCNICA, 1998).

Nome do curso d'água	Bairros por onde passam	Extensão (Km)
Rio das Piabas	Recreio dos Bandeirantes	1,5
Canal das Taxas	Recreio dos Bandeirantes	1,8

Essa lagoa possui três pontos de monitoramento que são espacializados na Figura 8 e referenciados no Quadro 15.

Quadro 15: Estações de amostragem na Lagoa de Marapendi. Adaptado de (INEA, 2016).

Lagoa	Estação	Localização
Marapendi	6	Parque Chico Mendes
	7	Em frente ao Novo Leblon
	8	Atrás do Barra Bali, em frente ao Pier's

Caracterizando as imediações da lagoa encontram-se ruas de fluxo moderado a intenso, como a Avenida Lúcio Costa e Avenida das Américas. No seu entorno

encontram-se igrejas, universidade, academias, a Maternidade Leila Diniz e condomínios. Possui áreas de preservação como o Parque Natural Municipal de Marapendi ao seu redor e um adensamento populacional com melhor infraestrutura.

## 3 Resultados e Discussões

### 3.1 Aspectos Quantitativos do Monitoramento

A Tabela 1 sintetiza como foi o monitoramento histórico do Complexo Lagunar de Jacarepaguá ao longo de 15 anos para os 21 parâmetros analisados nesse trabalho. O objetivo é analisar a representatividade dos dados e avaliar a quantidade gerada dos mesmos.

Da Tabela 1 pode-se inferir que os anos de menor monitoramento foram 2001, 2002 e 2006 e os de maior foram 2012, 2013 e 2014. Com relação a número de análises, o arsênio, o cádmio, o cromo, o ferro e o níquel foram os menos monitorados, enquanto que a condutividade elétrica, o fósforo, o OD e o pH foram os mais monitorados.

Tabela 1: Número de resultados por ano de monitoramento. Autoria própria.

Parâmetros	Número de resultados por anos de monitoramento															Total em 15 anos
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
Arsênio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	8	16
Cádmio	5	4	8	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33
Chumbo	5	4	8	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	41
Cianotoxinas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	44	58	51	188
Cobre	7	4	8	16	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59
Coliformes termo.	5	0	37	20	17	2	30	36	30	42	66	10	73	71	60	499
Condutividade E.	7	0	41	50	53	1	47	42	30	54	66	72	73	71	60	667
Cromo	2	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26
DBO	7	4	0	24	0	0	18	42	30	54	66	71	73	71	60	520
Ferro	5	4	8	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33
Fósforo	7	4	47	56	53	1	48	42	30	54	63	71	49	46	39	610
Mercúrio	7	4	8	16	16	0	0	0	0	0	0	0	0	8	8	67
Níquel	5	4	8	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33
Nitrato	7	4	47	56	53	1	48	42	30	24	42	71	67	71	12	575
Nitrogênio Kj.	2	4	47	48	53	1	48	42	30	0	0	0	0	0	0	275
OD	7	0	40	56	53	1	48	42	30	48	66	71	67	70	57	656
pH	7	0	39	56	45	1	49	42	30	54	66	72	73	98	60	692
Sólidos totais	0	0	0	0	0	0	0	6	0	18	6	0	0	0	0	30
Temperatura	0	0	49	56	46	4	49	42	30	56	66	39	67	70	60	634
Turbidez	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	48	72	73	71	60	336
Zinco	5	4	8	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	41
Total por ano	90	44	403	534	437	12	385	378	270	416	555	584	659	729	535	6031

Na Figura 13 é possível observar que de 2006 a 2013 não houve análise de metais e que 2014 e 2015 possuem menos apurações que 2004 e 2005. Com o auxílio da Tabela 1 é possível identificar que os parâmetros arsênio, cádmio, cromo, ferro e níquel foram os que tiveram o menor monitoramento, ressaltando que o cádmio e o cobre apresentaram concentrações acima do limite estabelecido pela CONAMA 357 e, mesmo assim, não continuaram a ser monitorados. Dos 9 metais abordados nesse trabalho, apenas 4 foram monitorados em 2014 e 2015.

Na Figura 14 pode-se notar que no ano 2002 não houve análise de parâmetros físicos e no ano 2006 muito poucos dados foram gerados, e que no ano de 2001 só houve análise da condutividade elétrica. Com a ajuda da Tabela 1 é possível observar que o parâmetro sólido total foi o menos monitorado. Pode-se perceber que 2012, 2013 e 2014 foram os anos com maior número de análises.

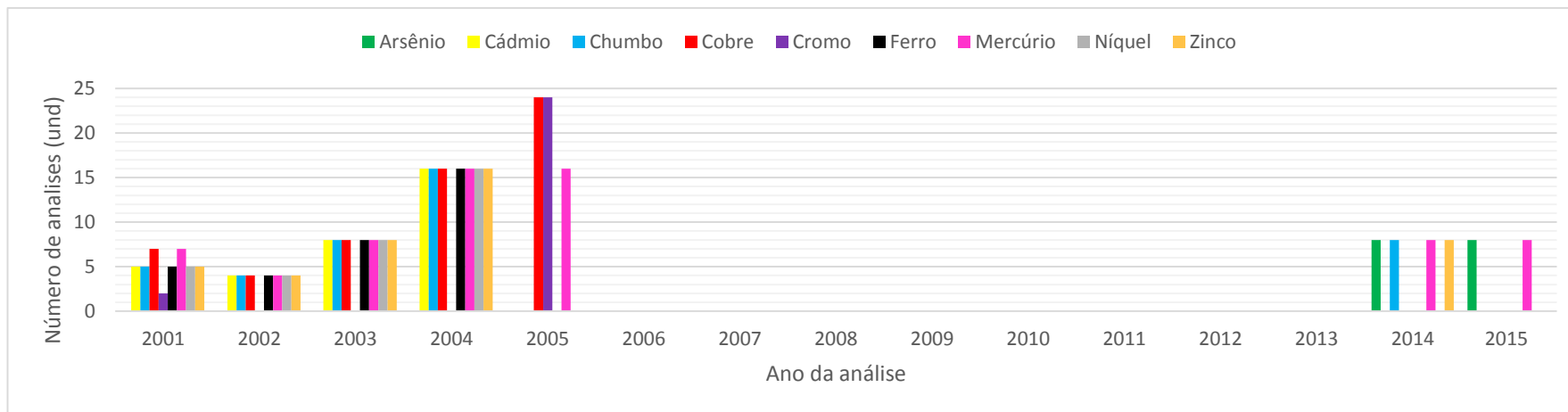


Figura 13: Quantidade de análises dos metais ao longo dos anos. Autoria própria.

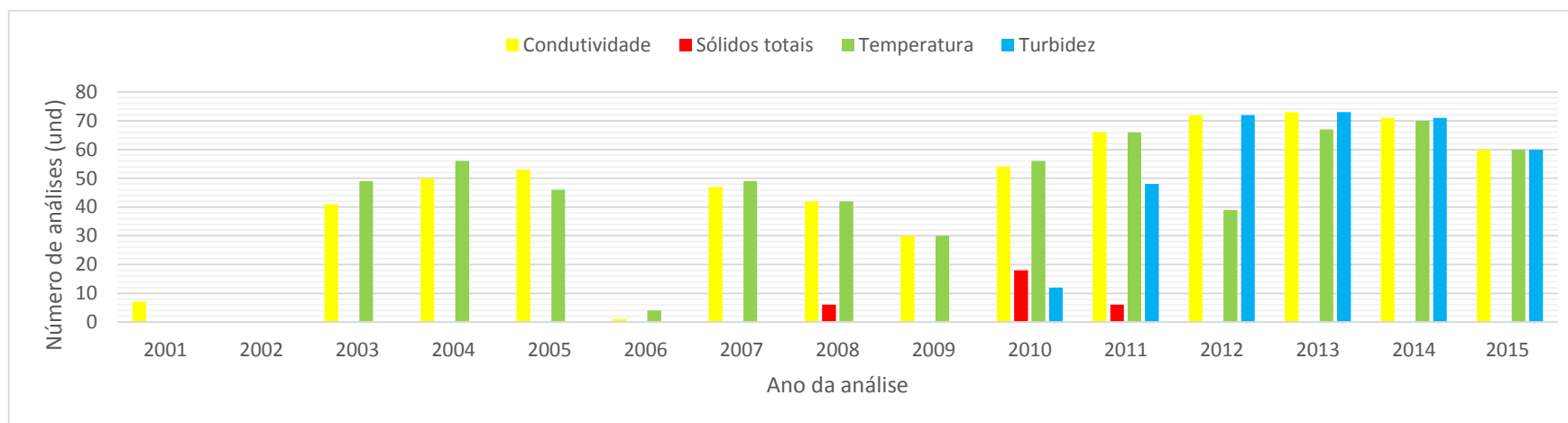


Figura 14: Quantidade de análises dos parâmetros físicos ao longo dos anos. Autoria própria.

Na Figura 15 infere-se que os anos 2001, 2002 e 2006 tiveram baixo monitoramento dos parâmetros químicos em relação aos demais anos, sendo os anos 2012, 2013 e 2014 os mais monitorados. Também é possível observar que o Nitrogênio Kjeldahl parou de ser monitorado de 2010 em diante e que o nitrato mesmo estando acima do limite, passou a ter um dos menores monitoramentos em 2015.

Na Figura 16 pode-se notar que o ano de 2014 foi o mais monitorado e que o parâmetro Cianotoxinas/Microcistinas passou a ser monitorado em 2012.



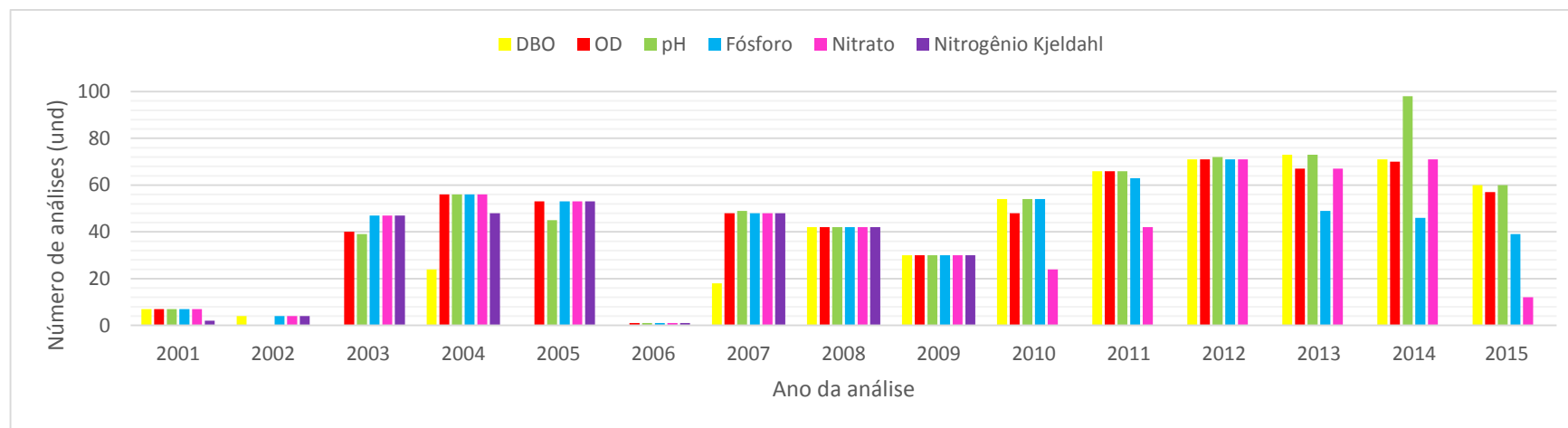


Figura 15: Quantidade de análises dos parâmetros químicos ao longo dos anos. Autoria própria.

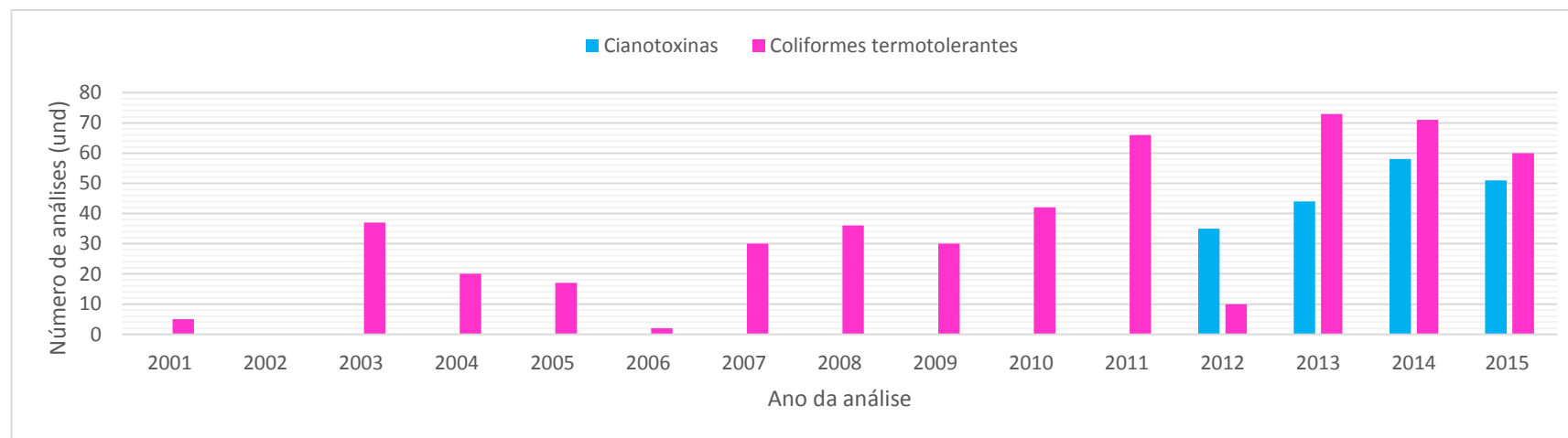


Figura 16: Quantidade de análises dos parâmetros microbiológicos ao longo dos anos. Autoria própria.

## 3.2 Diagnóstico da Água

Com os resultados do monitoramento dos parâmetros físico-químicos e biológicos da água das lagoas do complexo lagunar, será discutido o comportamento histórico com relação a metais, parâmetros físicos, parâmetros químicos e parâmetros biológicos, conforme descrito na metodologia. Todos os parâmetros abordados têm suas definições no Anexo A.

### 3.2.1 Grupo dos Metais

O Inea monitora nove metais nesse complexo, que são o arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, mercúrio, níquel e zinco; todos esses serão abordados nesse estudo, devido às suas características de toxicidade, bioacumulação e biomagnificação.

#### 3.2.1.1 Arsênio

O As é um elemento químico que é constituinte normal dos seres vivos, no entanto, em concentrações elevadas é carcinogênico. Pode ser inserido no meio através de erupções vulcânicas, lixiviação de rochas, rejeitos de mineração, lixiviação de solos que receberam tratamento com inseticidas e herbicidas.

Na Figura 17 é possível observar que nenhuma estação apresentou média acima do limite estipulado que é de 0,069 mg/L. O maior desvio padrão notado foi da estação 4, possuindo dispersão em relação à média de 55,6%. Como a maior dispersão existente não extrapola o limite estipulado, é possível afirmar que não existe nenhuma concentração acima de 0,069 mg/L em qualquer uma das estações.

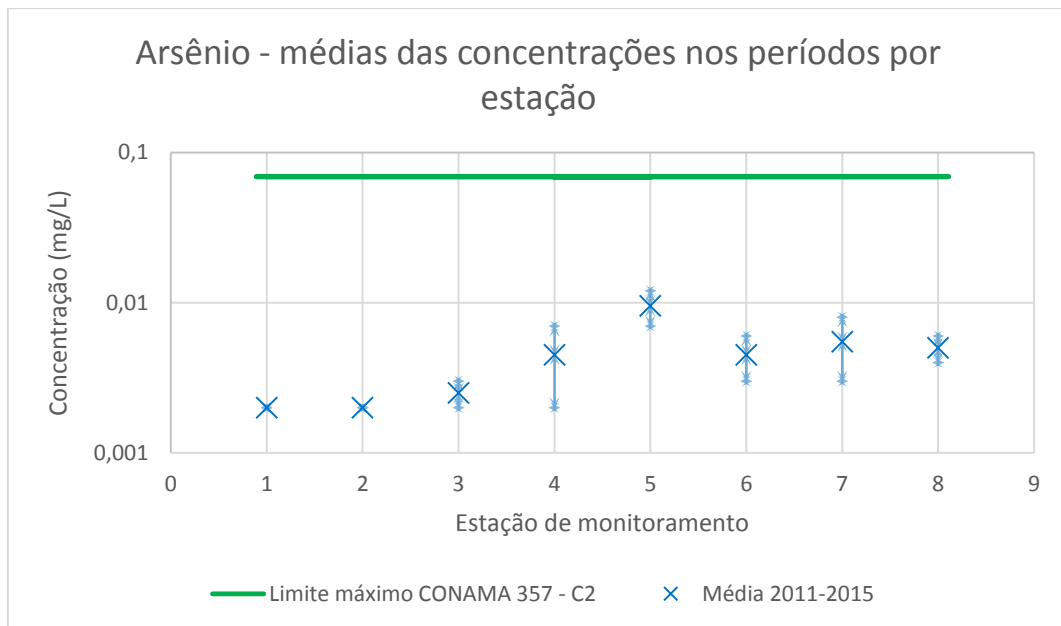


Figura 17: Médias das concentrações de arsênio por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.

Como os dados foram gerados a partir de 2014 se torna impossível a observação da sua variação ao longo de todo o período que é abordado nesse estudo, que é de 15 anos e não é possível inferir como está se comportando a variação da concentração do arsênio no corpo hídrico do complexo.

Como na bacia drenante do complexo lagunar não há mineração nem indústrias de eletrônicos, é normal encontrar esse parâmetro em baixas concentrações. Ressaltando que como há tributários provenientes de maciços, o As normalmente estará presente nesses corpos hídricos. Fato que pode ser observado na Figura 5 que nas estações que tem afluentes vindos do Maciço da Tijuca possuem média de concentração um pouco mais elevada devido a esse processo. Os demais rios que advêm do Maciço da Pedra Branca têm um longo percurso antes de chegar nesse sistema, acabando, possivelmente, por se depositar antes de desaguar na Lagoa de Jacarepaguá.

O possível motivo da estação 5 apresentar a maior média pode ser devido ao afluente a montante que possui, o Rio Cachoeira, que tem em seu entorno a existência de chácara, sítios e uma grande área pertencente ao Itanhangá Golf Club. Esse aporte pode ser corroborado pois a estação 4, que fica a montante do Rio Cachoeira apresenta

uma média menor que a estação 5. Ressaltando que tais locais podem estar inserindo o arsênio no corpo hídrico devido a utilização de herbicidas e inseticidas.

Um possível indicativo da Lagoa de Marapendi (estações 6, 7 e 8) estar com a média um pouco elevada é devido à troca de água que ocorre entre ela e a Lagoa da Tijuca, de acordo com o movimento da maré.

### 3.2.1.2 Cádmi

As fontes naturais de Cd no meio ambiente são de origem vulcânica, erosão de rochas sedimentares e fosfáticas e de incêndios florestais. A atividade antrópica insere esse metal no meio através dos resíduos de produtos como baterias de Ni-Cd, fertilizantes e esgotos industriais, descreve TAVARES (2010).

Na Figura 18 é possível constatar que apenas a média da estação 5 extrapolou o limite de 0,04 mg/L. Com o cálculo do desvio padrão das estações 4, 5, 7 e 8 foi averiguado um grau de dispersão acima de 133% em todas elas.

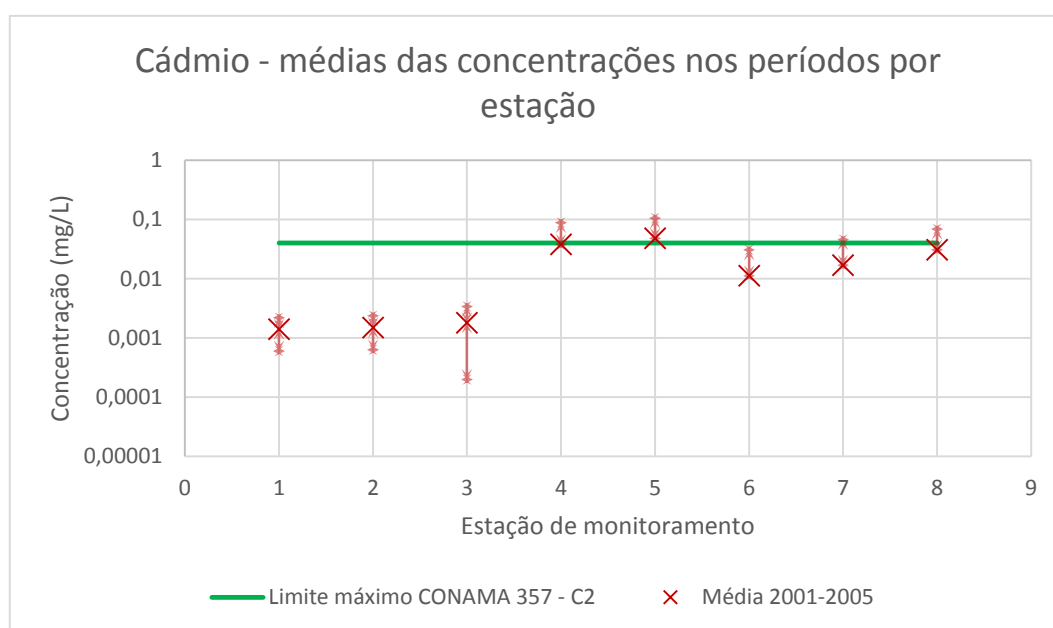


Figura 18: Médias das concentrações de cádmio por estação de tratamento nos diferentes períodos. Autoria própria.

Na Figura 40 é possível verificar que as estações 4, 5, 7 e 8 possuem dados de concentração no mínimo duas vezes acima do limite.

A Lagoa de Tijuca recebe contribuição das águas de seus rios afluentes e das lagoas de Jacarepaguá, Camorim e Marapendi. Como a concentração média das outras lagoas se encontram abaixo do limite estabelecido, pode-se concluir que o aporte de cádmio está vindo predominantemente dos arredores da Lagoa da Tijuca, que tem como afluentes principais o Rio das Pedras e o Rio Cachoeira. O Rio Cachoeira tem sua nascente no Parque Nacional da Tijuca, passando por adensamentos populacionais. Sítios, chácaras e pelo Itanhangá Golf Clube. O Rio das Pedras tem sua nascente no Maciço da Tijuca passando por adensamentos populacionais. Como já mencionado, as origens do cádmio podem ser da erosão de rochas sedimentares e fosfáticas, pelo descarte inadequado das baterias e pilhas Ni-Cd e pelo uso de fertilizantes agrícolas à base de fosfato. A concentração de Níquel não está acima da média estabelecida, portanto não é provável que o cádmio venha das pilhas e baterias Ni-Cd. Podendo-se concluir que a média que se encontra na estação 4 advém, em sua maioria, das rochas que compõem sua nascente e a média que compõe a estação 5 provém das rochas onde se encontram suas nascentes acrescida do uso de fertilizantes ao longo do seu curso.

Observando o gradiente que ocorre na Lagoa de Marapendi, onde a estação 8 (mais próxima da Lagoa da Tijuca) apresenta média superior à estação 6 (mais afastada) e o fato da Lagoa da Tijuca apresentar maiores médias, uma possível explicação desse evento é o movimento da maré realizando a troca de água entre a Lagoa da Tijuca e a Lagoa de Marapendi.

### 3.2.1.3 Chumbo

O Pb apesar de não ser um elemento comum nas águas naturais, é facilmente introduzido no meio ambiente por uma série de processos e produtos humanos, tais como fabricação de baterias, tintas, vidros e inseticidas. A presença do metal na água ocorre por deposição atmosférica, lixiviação do solo ou via descarte inadequado dos produtos que contêm tal metal, conforme ROCHA (2009).

Na Figura 19 é possível observar que nenhuma média ultrapassou o limite de 0,21 mg/L e é possível notar que as médias do segundo período são inferiores ao primeiro, o que caracteriza redução da média de concentração.

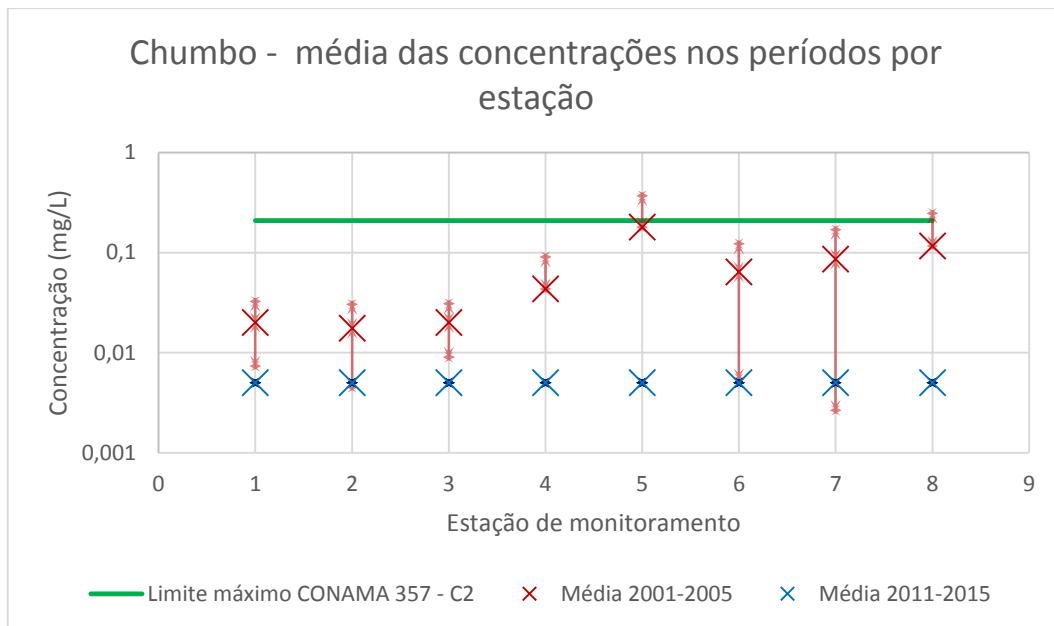


Figura 19: Médias das concentrações encontradas de chumbo por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.

O desvio padrão do primeiro intervalo apresentou maiores porcentagens de dispersão para as estações 5, 7 e 8 todas com mais de 96% de grau de dispersão e essas mesmas estações apresentaram concentrações que superaram o limite. A estação 5 chegou a apresentar mais que o dobro do designado como máximo.

Devido à característica do chumbo não aparecer normalmente em corpos d'água, pode-se concluir que tais medidas apresentadas entre 2001 e 2005 foram introduzidas de forma antrópica. Através da observação da Figura 8 pode-se inferir que o aporte do Pb adentrava no corpo hídrico preferencialmente após a estação 4. A jusante dessa estação se encontram o Rio Cachoeira e o Canal de Marapendi. Como as estações da Lagoa de Marapendi apresentam aumento gradativo da média da concentração à medida que se aproximam do Canal de Marapendi, e o fato da estação 5 também se encontrar com médias de concentrações mais elevadas podemos deduzir que o aporte provém preferencialmente pelo Rio Cachoeira. Um possível indicativo da Lagoa de Camorim (estação 3) não apresentar médias mais elevadas é porque a água do mar não adentra muito na Lagoa da Tijuca, sendo o fluxo preferencial entre essas lagoas de Camorim para Tijuca.

Como de 2001 - 2005 a 2011 - 2015 houve redução da média, provavelmente é devido ao fato de a população estar substituindo os encanamentos e conexões por materiais que não contêm o chumbo e provavelmente estar havendo uma melhor destinação para os resíduos que contém esse elemento.

O período de 2011 a 2015 apresentou médias menores, onde provavelmente o valor observado é o LD do equipamento e por haver somente uma análise em cada estação a representatividade dos dados fica baixa, comprometendo uma interpretação mais aprofundada.

#### 3.2.1.4 Cobre

O cobre está naturalmente presente na atmosfera devido à dispersão pelo vento e erupções vulcânicas. Algumas das principais fontes antropogênicas são a mineração, os esgotos domésticos e incineração de resíduos municipais (CETESB, 2012). O cobre é usado para fabricação de moedas, fios, cabos e inclusive utilizado na agricultura como adubo e controle preventivo de doenças.

Na Figura 20 pode ser percebido as estações 5, 6 e 8 apresentaram médias que superaram o limite de 0,0078 mg/L. O maior desvio padrão observado foi o da estação 5 com 179% de dispersão.

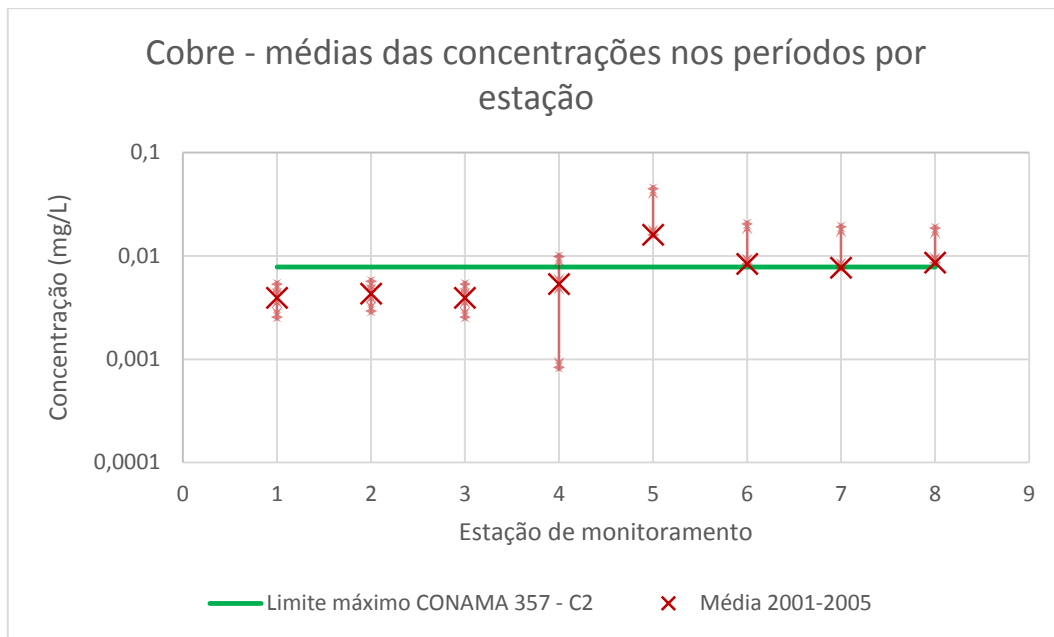


Figura 20: Médias das concentrações de cobre por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.

Examinando a Figura 42 pode ser notado que as estações 4, 5, 6, 7 e 8 apresentaram concentrações acima do definido pela CONAMA 357, e que as estações 5, 6, 7 e 8 apresentaram concentrações três vezes acima do determinado.

Como já foi mencionado, a Lagoa de Jacarepaguá tem a maioria dos seus afluentes vindos do Maciço da Pedra Branca, enquanto que os da Tijuca vem do Maciço da Tijuca. Entre as estações da Tijuca (4 e 5) existe o afluente Rio Cachoeira podendo ser um dos motivos da concentração mais elevada da estação 5, haja visto que a estação 4 fica mais a montante e possui média de concentração três vezes mais baixa.

Nível de cobre mais elevado pode ser indicativo de maior aporte de esgoto doméstico devido ao crescimento populacional da região, que pode estar havendo mau gerenciamento dos resíduos urbanos e utilização demasiada do cobre na manutenção de jardins e chácaras (estes se encontram às margens do Rio Cachoeira).

A falta de informações posteriores a esse quinquênio compromete o estabelecimento da evolução histórica desse elemento.



### 3.2.1.5 Cromo

Os compostos de cromo são encontrados naturalmente nos animais, plantas, rochas, poeiras e névoa vulcânica. A maior parte das emissões de Cr para o ambiente é de origem antropogênica, sendo inserido principalmente através dos efluentes industriais. O cromo é usado na fabricação de ligas metálicas, estruturas da construção civil, na fabricação de tintas e pigmentos.

Na Figura 21 pode ser apreendido que nenhuma estação apresentou média acima do determinado pela CONAMA 357. Com relação ao desvio padrão, apenas as estações 5 e 6 apresentaram, ambas com 8,83% de grau de dispersão.

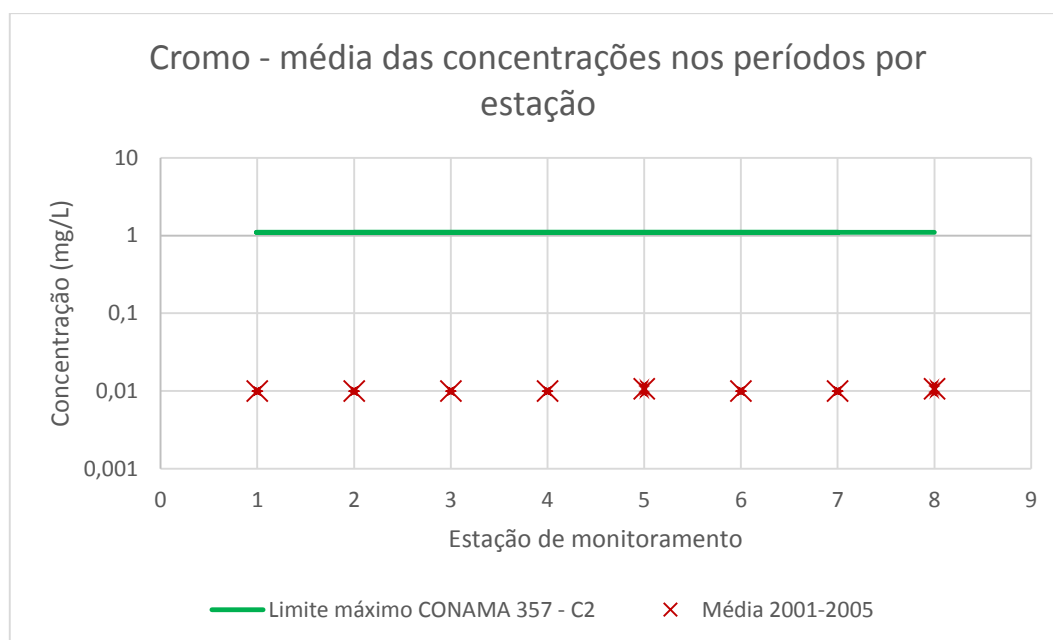


Figura 21: Médias das concentrações de cromo por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.

Observando a Figura 43 nota-se que apenas as estações 5 e 8 apresentaram duas análises e as demais possuindo apenas uma, o que caracteriza uma baixa representatividade dos dados. E o fato de não haver informações posteriores a esse quinquênio, prejudica a análise histórica.

Provavelmente o valor de 0,01 mg/L encontrado em todas as estações é o LD do equipamento.

### 3.2.1.6 Ferro

O Fe é normalmente encontrado no meio ambiente, estando presente nos seres vivos e no solo. O ferro é utilizado extensivamente na produção de aço, ferramentas, máquinas, veículos de transporte e como elemento estrutural de pontes e edifícios (SILVA, 2008). Esse metal pode chegar ao corpo hídrico devido ao carreamento de solos, erosão das margens e através de destinação inadequadas de produtos que o tem na composição.

Nota-se que os desvios padrões das estações 1, 5, 6, 7 e 8 são os mais significativos, apresentando dispersões maiores que 75%.

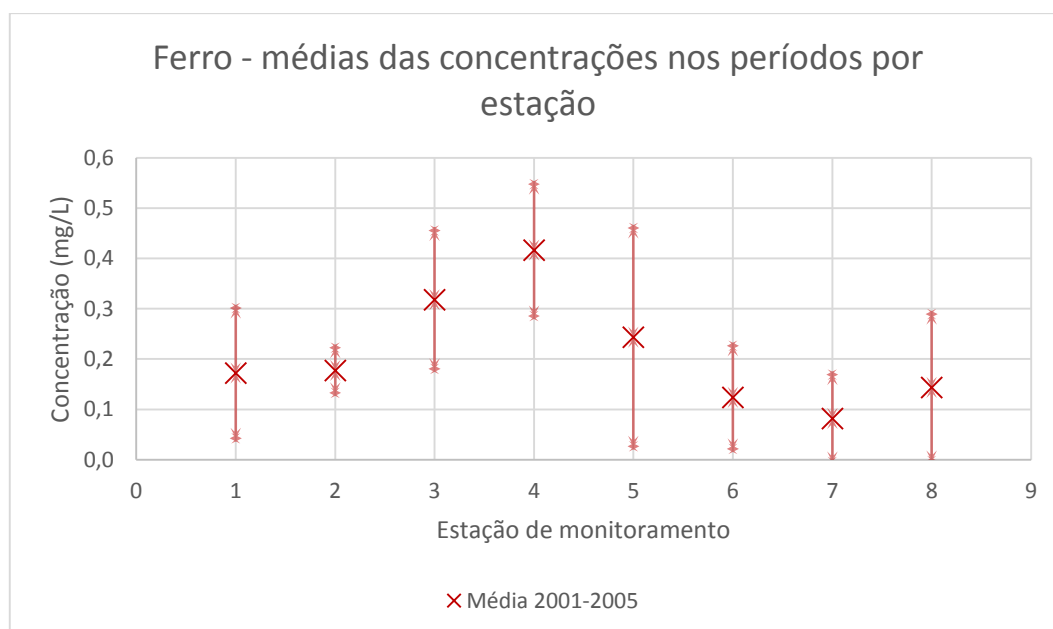


Figura 22: Médias das concentrações de ferro por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.

Na Figura 44 pode-se notar que as maiores concentrações são as das lagoas de Camorim (3) e da Tijuca (4 e 5).

Provavelmente a estação 4 está recebendo grande aporte proveniente do Rio das Pedras e, devido à hidrodinâmica, parte desse elemento é carreado para a Lagoa de Camorim e parte para a estação 5. Essa inserção mais elevada pode ser indicativa de maior intemperismo das rochas proveniente do Maciço da Tijuca, maior lixiviação do solo e descarte inadequado de resíduos que contêm esse elemento.

Devido à ausência de dados mais atualizados fica difícil estabelecer a evolução da concentração do ferro no meio hídrico ao longo de 2006 a 2015 e como se encontram as concentrações atualmente.

### 3.2.1.7 Mercúrio

O Hg é um metal naturalmente encontrado na crosta terrestre, ocorrendo no ar, solo e na água, pode estar associado com hidrocarbonetos gasoso e líquidos e também em jazidas de carvão mineral. Sendo a fonte desse metal antrópica, a principal forma de inserção desse elemento num corpo hídrico é através de produtos mal acondicionados ou que foram carregados para os corpos receptores. Tem-se como exemplo termômetros, lâmpadas fluorescentes, termostatos e latas de tinta.

Na Figura 23 é possível observar que nenhuma estação, nos dois intervalos de tempo, ultrapassou o limite de 0,0018 mg/L determinado pela CONAMA 357. Os desvios padrão possuem máxima dispersão de  $1,36 \times 10^{-14}$  no primeiro quinquênio e de zero no segundo quinquênio.

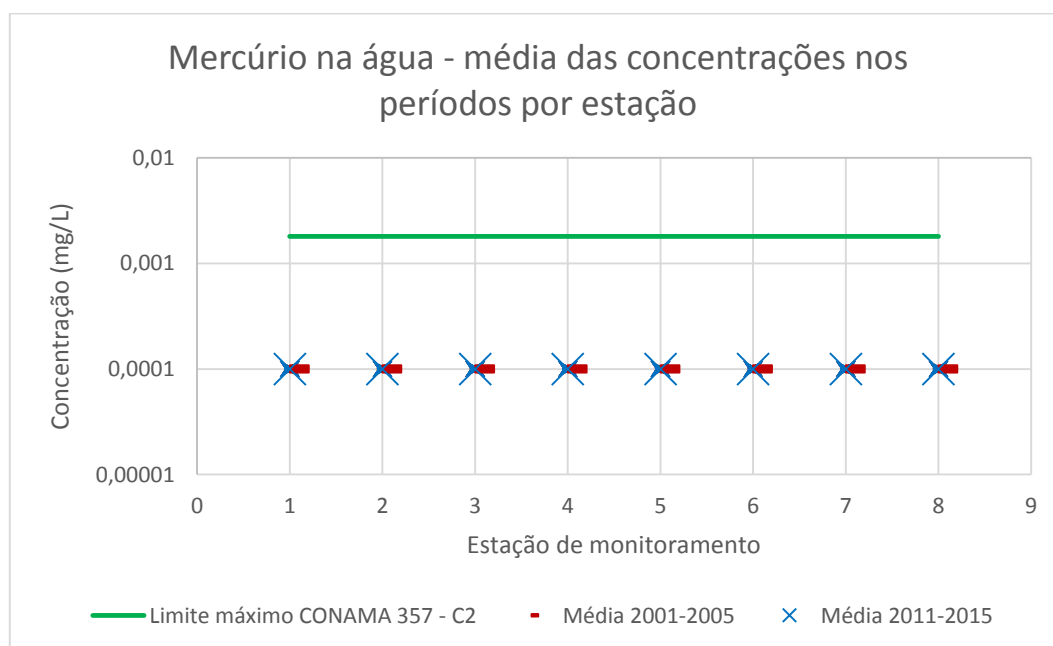


Figura 23: Médias das concentrações de mercúrio por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.

Observando a Figura 45 é possível perceber que em ambos os quinquênios e para todas as estações foram realizadas apenas duas análises, uma em cada período; esse

fato caracteriza uma baixa representatividade dos dados. Pode ser inferido que o valor de 0,0001 mg/L que parece em todas as estações é provavelmente o LD.

Como a média se encontra com mesmo valor em todas as estações, provavelmente não está havendo aporte de origem antrópica nesse corpo hídrico.

### 3.2.1.8 Níquel

Esse elemento pode ser encontrado no solo, em fumaças vulcânicas e no fundo dos oceanos. Sua inserção no meio ambiente através de uma fonte antrópica é pelos efluentes e resíduos industriais, sendo utilizado na fabricação de moedas, baterias de Ni-Cd, material bélico e na área da construção civil.

Na Figura 24 é possível inferir que nenhuma média nesse quinquênio extrapolou o limite de 0,074 mg/L, ficando todas três vezes abaixo do limite. O maior desvio padrão observado foi o da estação 2 com 74% de dispersão.

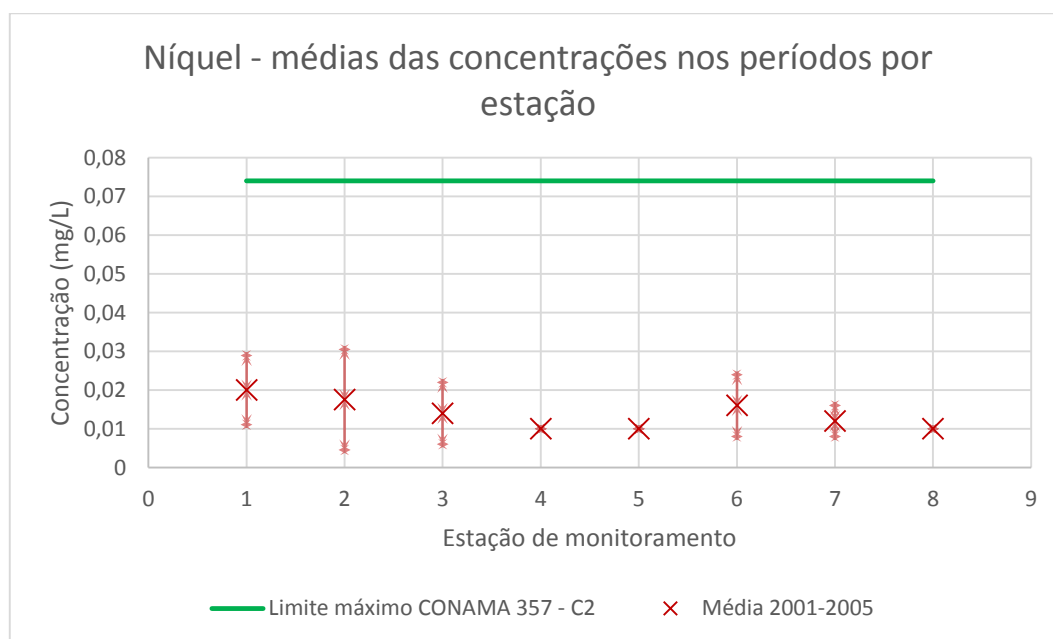


Figura 24: Médias das concentrações de níquel por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.

Devido à ausência de dados posteriores a esse quinquênio, fica impossibilitada a análise histórica e a determinação de sua concentração atualmente.

### 3.2.1.9 Zinco

O zinco ocorre no solo de maneira natural podendo ser encontrado em praticamente todos os ambientes. A atividade antropogênica contribui para o aumento de sua concentração no meio através de resíduos e produtos de processos industriais, uso de agroquímicos e fertilizantes (ASSUNÇÃO, 2012).

Na Figura 25 é possível observar que nenhuma média excedeu o limite determinado pela CONAMA 357 de 0,12 mg/L. Constata-se que foi o primeiro quinquênio quem apresentou as maiores médias, que ocorreram nas estações 1, 5 e 8. Já no segundo quinquênio foram as estações 4, 5 e 6 quem apresentaram maiores médias. Os desvios padrão de 2001 a 2005 foram maiores nas estações 1, 2 e 7, com mais de 110% de dispersão, já no período de 2011 a 2015 não há desvio padrão.

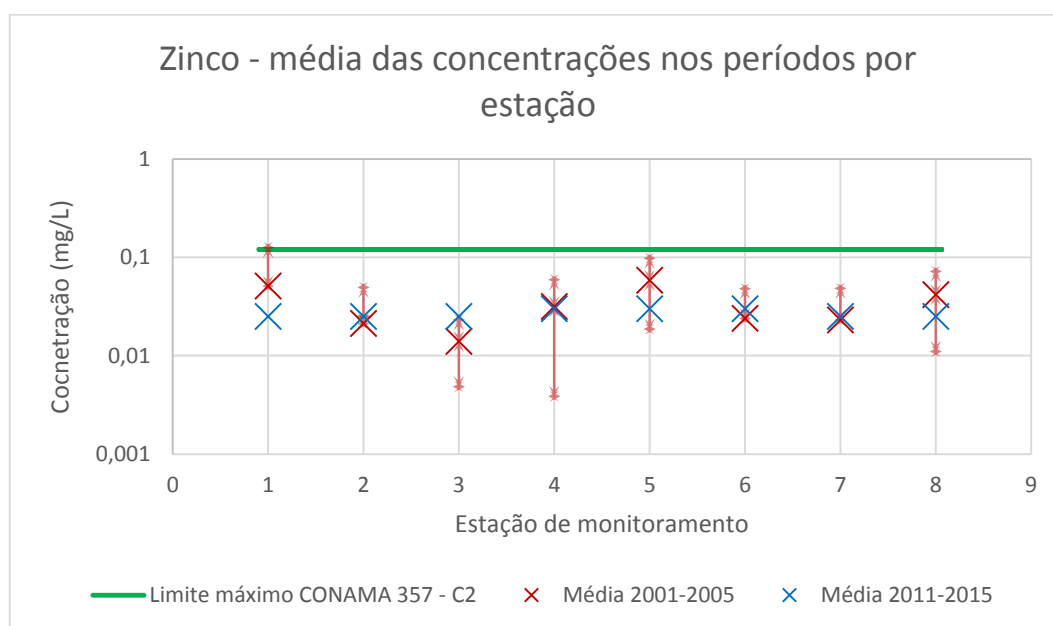


Figura 25: Médias das concentrações de zinco por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.

Analisando a Figura 47 é possível ver que apenas a estação 1, no primeiro quinquênio, apresentou concentração acima do estipulado como limite.

A baixa representatividade dos dados de 2011 a 2015, caracterizada por haver somente uma análise em cada estação, impossibilita uma interpretação mais refinada,

aparentemente houve redução dos níveis de concentração em todas as estações de 2001 a 2015, o que pode ser indicativo de uma possível melhora na gestão de resíduos.

### 3.2.2 Grupo dos Parâmetros Físicos

Dentre os oito parâmetros físicos monitorados pelo órgão estadual de meio ambiente, foram selecionados quatro: condutividade elétrica, sólidos totais, temperatura da água e turbidez.

#### 3.2.2.1 Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica específica indica a quantidade de sais na água, sendo então, utilizada como o método mais atual de medir salinidade. Quanto maior a condutividade elétrica, maior é a presença de íons e maior é o teor salino da água.

Na Resolução CONAMA 357 para águas salobras classe 2 não há indicativo de limite.

Na Figura 26 é possível inferir as estações que exibiram maiores médias em todos os períodos foram a 5, 7 e 8. As menores observadas nesse mesmo intervalo foram a 1, 2 e 3. Do primeiro para o segundo quinquênio quase todas as estações mostraram redução da condutividade elétrica, exceto a estação 4 que aumentou. Do segundo quinquênio para o terceiro, a condutividade elétrica específica elevou em todas as estações.

De 2001 a 2005 os maiores desvios padrões foram das estações 2 e 4, com 50 e 59% de grau de dispersão, respectivamente. De 2006 a 2010 os maiores desvios foram das estações 2 e 6, com 71 e 56% de grau de dispersão, respectivamente. De 2011 a 2015 os maiores desvios foram das estações 2 e 3, com 80 e 63% de grau de dispersão, respectivamente.

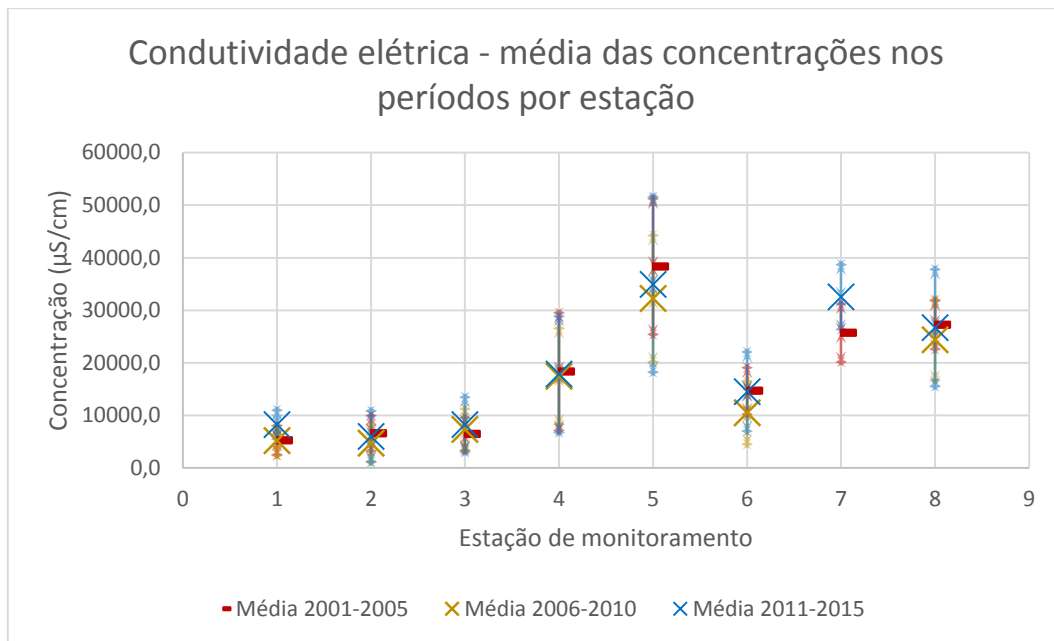


Figura 26: Médias das condutividades por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.

Na Figura 48 é possível observar que as maiores concentrações encontradas de 2001 a 2015 foram das estações 4 com 46400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , 5 com 64200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e a 8 com 43700  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . As estações que apresentaram concentração abaixo de 5000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  podem ter sido obtidas quando a coleta da água ocorreu no período de vazante.

Como a condutividade também indica o grau de salinidade, pode-se constatar que a salinidade das estações 4, 5 e 8 são as maiores, fato que pode ser explicado devido à entrada da água do mar no período de cheia. Nesse evento o mar chega na Lagoa da Tijuca através do Canal da Joatinga, da Lagoa da Tijuca vai para a Lagoa de Marapendi, mas sua intrusão não chega a alcançar a Lagoa de Camorim (estação 3), por isso a condutividade nela é menor. Os baixos valores de condutividade encontrados em todas as estações podem ser indicativos de medição no período da vazante, o que caracteriza a saída das águas do complexo para o mar.

### 3.2.2.2 Sólidos totais

Os sólidos podem entrar naturalmente no corpo hídrico através da erosão das rochas e lixiviação do solo, sendo este processo intensificado devido às atividades humanas como mau uso e ocupação do solo. Como fonte antrópica também pode ser

citado o esgoto doméstico que aporta nas lagoas. Sendo utilizado atualmente como indicador de aporte de esgoto.

A Resolução CONAMA 357 para águas salobras classe 2 determina que os sólidos devem ser virtualmente ausentes, ou seja, não devem ser perceptíveis pela visão, olfato ou paladar.

Repara-se que na Figura 27 que a estação 5 demonstrou nos dois quinquênios as maiores médias, sendo a do segundo período maior, o que caracteriza aumento da média da concentração ao longo do tempo. A estação 8 foi a segunda com maior média nos dois períodos, no entanto houve uma redução do primeiro para o segundo quinquênio, as estações 2, 3 e 4 também apresentaram redução da média.

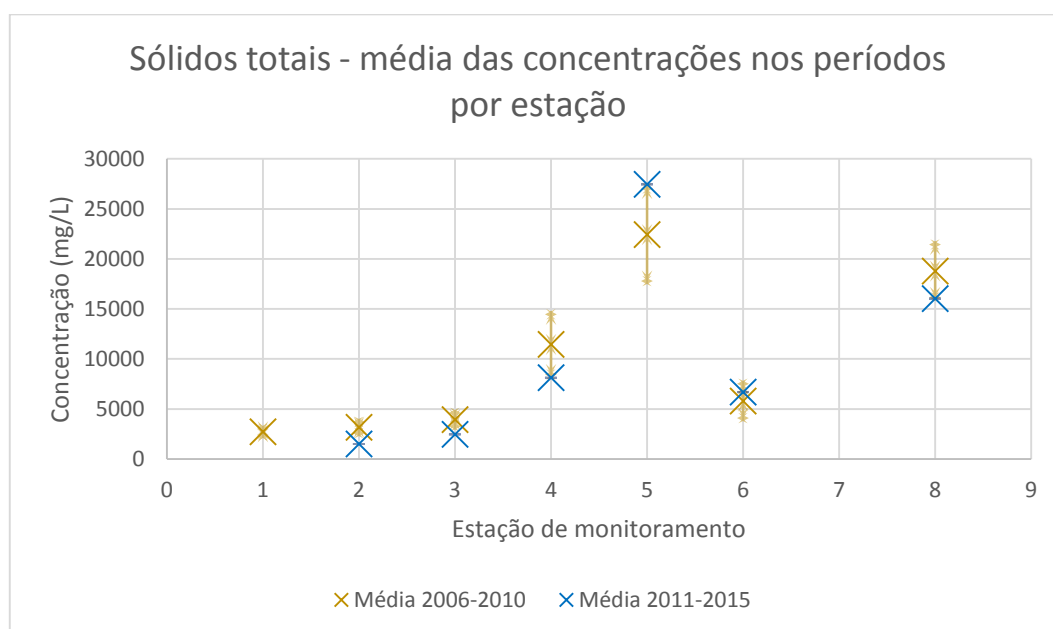


Figura 27: Médias das concentrações dos sólidos totais por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.

Pode-se apreender da Figura 49 que comparando o primeiro período com o segundo, a estação 5 exibiu níveis de concentrações acima de 27000 mg/L, enquanto que as menores foram das estações 2 com 1499 mg/L no segundo período e a estação 1 com 2400 mg/L no primeiro período.

Como já mencionado, os sólidos podem entrar naturalmente no corpo hídrico através da erosão das rochas e lixiviação do solo, sendo este processo intensificado



devido às atividades humanas como mau uso e ocupação do solo. Como fonte antrópica também pode ser citado o esgoto doméstico que aporta nas lagoas. Verifica-se que apenas a estação 5 da Lagoa da Tijuca possui médias mais altas que a estação mais a montante, que é a 4, com isso pode-se dizer que a maior parte dos sólidos dessa região é inserido após a estação 4. Espacialmente, entre essas estações se encontra o Canal de Marapendi e o Rio Cachoeira. Devido ao fato de a média da Lagoa de Marapendi aumentar à medida que se aproxima do Canal de Marapendi, é possível dizer que os sólidos estão entrando nessa lagoa via esse canal. Tendo observado tal fato na Lagoa de Marapendi, é possível dizer que os sólidos estão entrando na Lagoa da Tijuca preferencialmente pelo Rio Cachoeira.

A concentração de sólidos também está diretamente ligada à condutividade elétrica específica, pois quanto maior a quantidade de sólidos dissolvidos maior é a condutividade, como pode ser inferido avaliando a Figura 26. Pode-se constatar que as estações que apresentaram maiores médias de sólidos totais nos períodos analisados também foram as que exibiram maiores médias de condutividade, que foram as 4, 5 e 8. A mesma análise pode ser feita com as estações com menores médias de sólidos totais com as menores médias de condutividade, que são as 1, 2 e 3.

### 3.2.2.3 Temperatura da água

Temperatura expressa a energia de um corpo, sendo seu gradiente o fenômeno responsável pela transferência de calor em um meio (FUNASA, 2014). Se a origem do calor é natural, a sua transferência é realizada pela radiação, condução e convecção. Quando a origem é antropogênica, o empréstimo provém das águas de torres de resfriamento e despejos industriais.

Na Figura 28 é possível concluir que nos dois primeiros quinquênios a estação de amostragem da Lagoa de Marapendi de número 4 foi a única que esteve alta em ambos os períodos, enquanto que as estações da Lagoa da Tijuca foram as que tiveram menor média. Entre 2006 e 2015 a estação 7 foi a única que teve maior média em ambos os quinquênios, enquanto que nenhuma estação se repetiu nesses dois períodos.

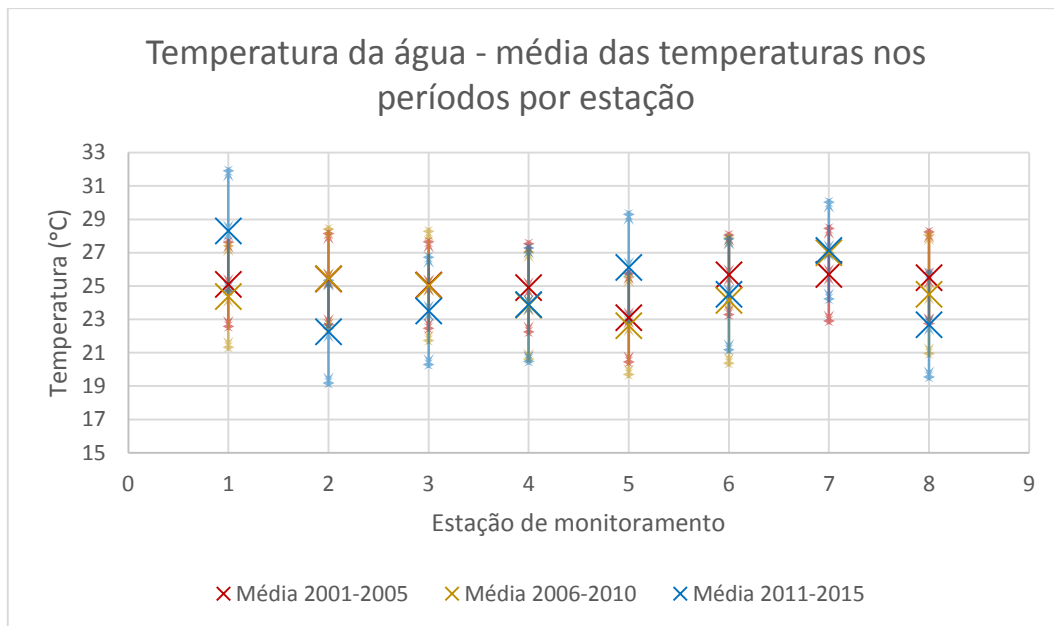


Figura 28: Médias da temperatura por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.

Os desvios padrão foram relativamente pequenos em todos os períodos, sendo o maior do primeiro quinquênio de 10,7%, do segundo foi de 15,6% e do terceiro de 14,0%, todos caracterizando baixo grau de dispersão.

Pela análise das variações das médias podemos inferir que estão dentro da faixa tolerável para o crescimento dos microrganismos, que é de 10 a 45 °C (NASCIMENTO, 2010) e estão próximas à faixa ótima de crescimento dos peixes brasileiros que é de 26 a 32 °C (EMBRAPA, 2013).

Na Figura 50 é possível reparar que a menor temperatura determinada em todo o período estudado foi a da estação 5 com 16 °C e as maiores nas estações 2, 3 e 4, com 32 °C nas três. Abordando sobre um amplo espectro, foi possível determinar que a variação da temperatura não é a principal razão da alteração dos demais parâmetros.

Essa amplitude de variação pode ser devido a fatores como horário de coleta, estação do ano, condição de tempo e se a estação se encontrava embaixo de alguma cobertura.

### 3.2.2.4 Turbidez

Turbidez é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessa a água, essa redução é devido à absorção e espalhamento provocado pelas partículas em suspensão. A origem natural da turbidez provém das partículas de rochas, argila, silte, algas e outros microrganismos, enquanto que a origem antrópica é devido aos despejos domésticos e industriais. Atualmente esse parâmetro é utilizado como indicador de aporte de esgoto sanitário.

A Resolução CONAMA 357 estabelece que para águas salobras classe 2 a turbidez deve ser virtualmente ausente, ou seja, não devem ser perceptíveis pela visão, olfato ou paladar.

Ao examinar a Figura 29 sobre um amplo espectro percebe-se que todas as estações tiveram acréscimo na média da turbidez, exceto a estação 6. No primeiro período as estações com maiores médias de turbidez foram das estações 1, 2 e 6 e as de menores foram as 4, 5 e 8. No segundo período as maiores médias continuaram sendo das estações 1 e 2, já as menores foram das estações 5, 7 e 8.

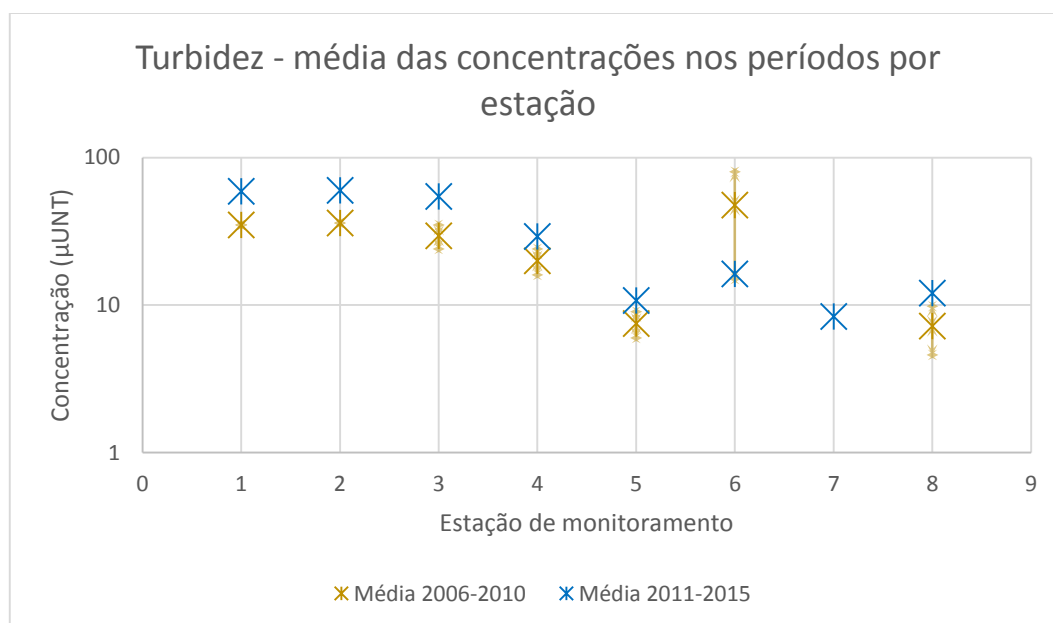


Figura 29: Médias das concentrações de turbidez por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.

Os desvios padrão observados foram um pouco significativos, apresentando grau de dispersão relativamente maior. No primeiro quinquênio o maior foi de 68% enquanto que no segundo foi de 94%.

Na Figura 51 é possível notar que as concentrações têm um amplo espectro de distribuição, variando de 0,45  $\mu$ UNT na estação 5 até 183  $\mu$ UNT na estação 2, ambas no período de 2011 a 2015. As maiores concentrações encontradas também foram desse mesmo intervalo, sendo das estações 1, 2 e 3.

SPERLING (2005) explica que níveis de turbidez mais elevados são indicativos de esgoto mais fresco ou mais concentrado, como também pode ser indicativo de solos mais erodidos.

Conforme já descrito, a Lagoa de Jacarepaguá possui 5 rios principais que passam por bairros como Taquara, Curicica, Jacarepaguá, Vargem Pequena e Camorim. Já a Lagoa da Tijuca possui 2 rios principais, cruzando bairros como Barra da Tijuca e Itanhangá. Um provável motivo da turbidez mais elevada na Lagoa de Jacarepaguá pode ser devido ao fato de que ela recebe no corpo hídrico uma carga de poluentes gerados por cinco bairros com elevado adensamento populacional o que caracteriza, conforme SPERLING (2005) como indicativo de esgoto mais concentrado ou fresco. Um indicativo da Lagoa da Tijuca possuir menor turbidez pode ser devido ao fato de um dos dois principais rios contribuintes cruzam toda a extensão do Itanhangá Golf Club, não recebendo, portanto, aporte de esgoto nessa extensão, o que não eleva a turbidez.

Como essas lagoas são classificadas como ambiente lântico, é esperado esses níveis de concentrações mais baixos, entretanto, é possível estabelecer uma relação devido à hidrodinâmica da região: que parte dos sólidos dissolvidos estão adentrando na Lagoa de Marapendi provenientes da Lagoa de Jacarepaguá, fato que, de acordo com o movimento da maré, pode ser observado pois há uma ligação estabelecida entre essas lagoas via o Canal do Cortado (Lagoa de Jacarepaguá), por conseguinte o Canal de Sernambetiba, seguido pelo Canal da Taxas, até desagua na Lagoa de Marapendi, por isso que a estação 6 está apresentando maior média dentro dessa lagoa.

### 3.2.3 Grupo dos Parâmetros Químicos

O Inea faz o monitoramento de onze parâmetros, dos quais foram selecionados seis: DBO, OD, pH, fósforo total, nitrato e nitrogênio Kjeldahl.

#### 3.2.3.1 DBO

ALMEIDA *et al.* (2008) conceituam DBO como a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica biodegradável sob condições aeróbicas.

Para esse parâmetro não há limites estabelecidos pela CONAMA 357 para água salobra classe 2.

Observa-se na Figura 30 que nas estações 1, 2, 3 e 4 a média da DBO vem aumentando a cada quinquênio. No período de 2001 a 2005 as maiores médias foram das estações 7 e 8 enquanto que as menores foram das estações 1 e 2. No segundo período a estação 3 juntamente com a 6 exibiram os maiores valores, em contrapartida as menores foram das estações 5 e novamente da 8. No terceiro período a estação 3 se manteve com maior média e a 5 se manteve como menor.

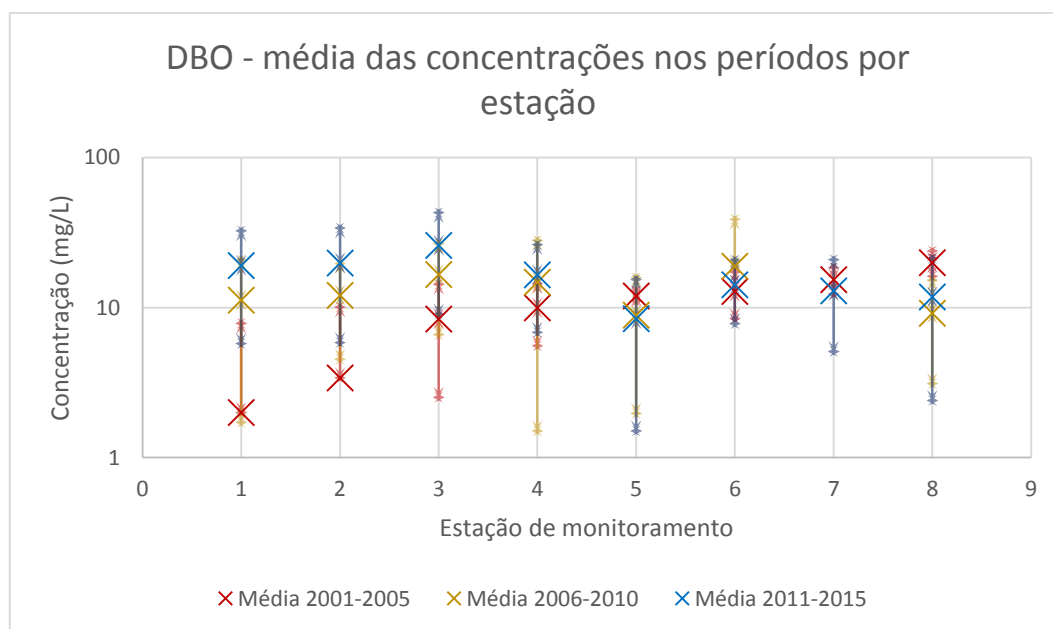


Figura 30: Médias da DBO por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.

Os desvios padrão foram relativamente pequenos, o primeiro quinquênio apresentou um maior grau de dispersão de 54% na estação 4, o segundo 87% também na 4 e o terceiro 81% na estação 5.

Na Figura 52 ao se comparar o primeiro quinquênio com o segundo, pode se inferir que as concentrações apresentaram valores cada vez maiores ao longo do tempo, sendo isso constatado pois no primeiro período a maior concentração encontrada foi de 20 mg/L e no terceiro foi de 116 mg/L.

As estações de Jacarepaguá, Camorim e Tijuca têm uma série de afluentes que recebem aporte de esgoto doméstico. Se está havendo aumento da concentração, significa que a vazão dos esgotos gerados está aumentando devido ao crescimento populacional e com isso a carga de matéria orgânica. Pode-se notar que o crescimento populacional está sendo diferenciado de acordo com a região, pois as médias das estações não estão todas aumentando.

A DBO é a demanda por oxigênio, portanto, uma relação com o OD pode ser estabelecida. DBO alta pode ser indicativo de baixo OD, pois este está sendo consumido para degradar a matéria orgânica. Comparando a Figura 30 com a Figura 31 pode ser constatado que está havendo um deplecionamento no OD devido à essa demanda.

Como a DBO é utilizada para indicação de aporte de esgoto assim como a turbidez, uma relação entre elas pode ser estabelecida, comparando a Figura 30 com a Figura 29 pode ser observado que as estações 1, 2 e 3 apresentaram maiores médias em ambas, assim como um aumento a, que majoritariamente está havendo aumento da média em ambas as figuras.

### 3.2.3.2 OD

O oxigênio dissolvido é de vital importância para os seres aquáticos pois é utilizado na manutenção da atividade metabólica necessária para o crescimento e reprodução. Sendo também utilizado pelos microrganismos na oxidação de compostos orgânicos. Uma fonte importante de geração de OD na água é a fotossíntese das algas, também sendo fonte natural a turbulência da água e a dissolução do oxigênio atmosférico.

A Resolução CONAMA 357 estabelece que para águas salobras classe 2 a concentração de OD mínima é de 4 mg/L e o limite para classe 3 é de no mínimo 3,0 mg/L

Na Figura 31 é notado que a média da concentração de OD no período de 2001 a 2005 era a maior de todas, inclusive passava do limite conhecido como supersaturação que é de 10 mg/L (ANA, 2016) que é condição característica de ambiente eutrofizado. No primeiro quinquênio é notado que apenas as estações das lagoas de Camorim (3) e Tijuca (4 e 5) não ultrapassam a concentração de supersaturação, no entanto permanecendo acima do limite mínimo estabelecido. No segundo quinquênio a média do OD de todas as estações caem, ficando todas abaixo de 10 mg/L. No terceiro quinquênio a estação 3 apresentou média de OD abaixo do limite mínimo para classe 2, mas acima do limite mínimo para classe 3. As estações 2, 4 e 6 tiveram diminuição da média de OD. A estação 7 do primeiro quinquênio para o terceiro apresentou diminuição da média, mas permaneceu acima do mínimo estipulado para classe 2.

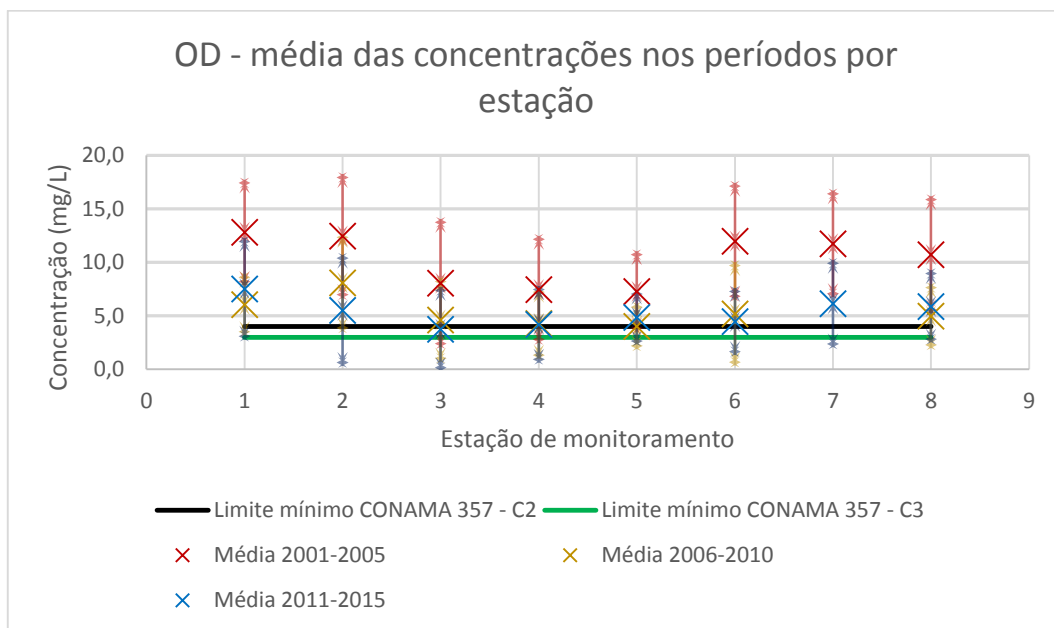


Figura 31: Médias das concentrações de OD por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.

Na Figura 31 ainda pode ser observado que o desvio padrão no primeiro período tinha a estação 3 com maior grau de dispersão, com 70%, no segundo período a estação

6 apresenta maior dispersão de 87%, por fim, o último período tem a estação 3 com o maior grau de dispersão, com 94%.

Pode ser observado que as estações 1 e 2 apresentaram um certo aumento da média, pode ser devido ao fato de serem as estações mais próximas ao Canal do Cortado e ao Canal de Marapendi, respectivamente, provavelmente devido à uma maior facilidade para renovação de suas águas. No entanto, pode ser visto que a estação 6, mais próxima do Canal das Taxas, não apresenta esse aumento, pode ser devido ao fato de o Canal das Taxas estar com um alto grau de assoreamento.

A diminuição ao longo dos 15 anos pode ser devido à característica dessas lagoas de serem um ambiente lântico, o que dificulta a renovação das suas águas, sendo ainda mais prejudicada devido à existência do alto assoreamento do Canal das Taxas e ao fato que tanto esse canal como o Canal do Cortado desaguam no Canal de Sernambetiba, que é fechado por enrocamento.

Na Figura 53 pode ser inferido que no período de 2001 a 2005 as maiores concentrações encontradas foram as das estações 1, 2 e 7, todas com mais de 20 mg/L, e as menores foram as das estações 3, 4 e 6, todas com menos de 1,4 mg/L. Apenas a estação 7 não apresentou concentração abaixo de 3,0 mg/L. No período de 2006 a 2010 a maior concentração foi a da estação 6 com 16,8 mg/L. Todas as demais exibiram concentrações abaixo de 3,0 mg/L, chegando a alcançar a 0,0 mg/L na estação 3 e 0,1 mg/L nas estações 6 e 8. No último período analisado, a máxima concentração encontrada foi a da estação 2 com 19,2 mg/L e a mínima de 0,0 mg/L sendo encontrada em todas as estações.

Baixas concentrações de OD pode ser indicativo de alta DBO, se for analisado sob o ponto de que está havendo uma progressão na condição de anaerobiose, é de se esperar uma DBO elevada, no entanto, não é o que pode ser observado na Figura 30 em que há existência de diminuição da média em algumas estações. Como a DBO não é o principal motivo desse déficit de OD, de todos os parâmetros abordados nesse trabalho, o que mais influenciou foram os Coliformes Termotolerantes. Esses microrganismos consomem o oxigênio dissolvido para realizar a decomposição da matéria orgânica que vem junto com os esgotos. Tal fato pode ser observado na Figura 38 pois está havendo



aumento das médias das concentrações dos coliformes termotolerantes ao longo dos anos. No primeiro quinquênio as médias dos coliformes estavam abaixo do limite e as médias do OD eram mais altas, pois estava havendo menos fermentação. No segundo quinquênio houve aumento da média dos coliformes e com isso, houve diminuição do OD. No terceiro quinquênio há as maiores médias de coliformes, com isso, os níveis de OD devem ser menores do que no período anterior, o que de fato é constatada pois todas as estações passaram a apresentar concentração de 0,0 mg/L de OD.

### 3.2.3.3 pH

O potencial hidrogeniônico representa a concentração de íons hidrogênio  $H^+$ , fornecendo uma indicação sobre a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água. O pH pode ser alterado naturalmente devido à dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera e oxidação da matéria orgânica. Sendo a fonte da alteração antrópica, é modificado devido aos despejos doméstico e industriais, segundo SPERLING (2005). Valores de pH acima de 9,0 são prejudiciais para os fungos, que toleram pH entre 2 e 9 e são prejudiciais para as bactérias, pois estas apresentam tolerância entre 4 e 8 (NASCIMENTO, 2010). pH ideal está entre 6,5 e 7,5 pois pH próximo da neutralidade proporciona um ecossistema mais diversificado (CETESB, 2009).

A Resolução CONAMA 357 estabelece uma faixa de pH de 6,5 a 8,5.

Na Figura 32 percebe-se que apenas o período de 2001 a 2005 apresentou médias de medição acima do limite máximo estabelecido, com as estações 6 e 7 com médias acima de 8,64 pH. Se compararmos as médias do primeiro período com o segundo notamos que todas as estações diminuíram. Do segundo período para o terceiro houve aumento da média das estações 1, 2, 3, 4 e 8. Comparando o primeiro quinquênio com o terceiro, é observado que apenas a estação 1 teve aumento da média de pH.

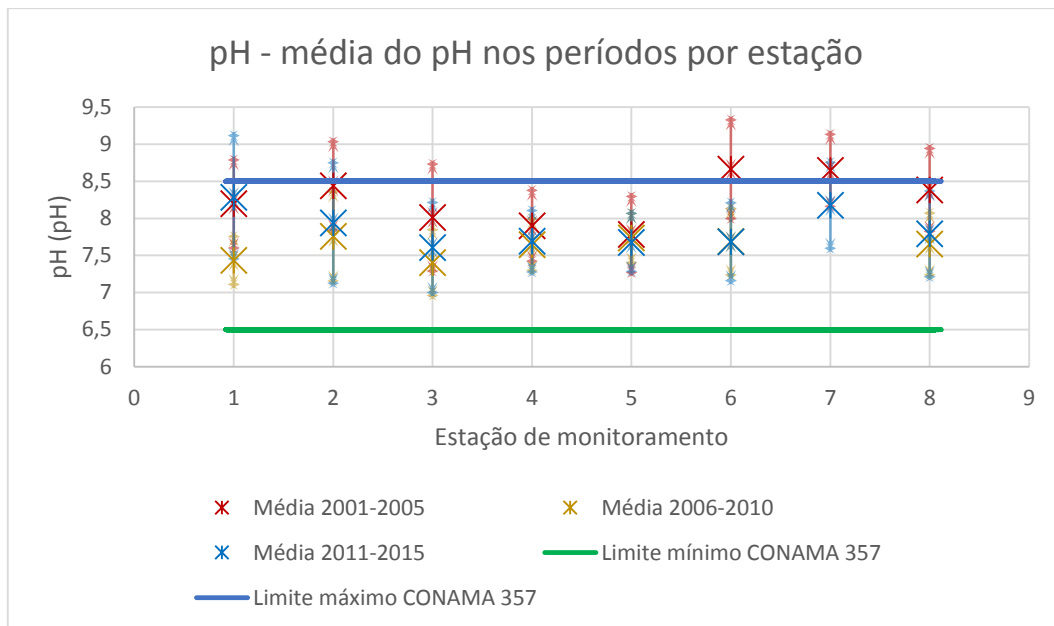


Figura 32: Médias do pH por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.

Nos três quinquênios os desvios padrão foram relativamente pequenos, sendo os maiores de 9,0% no primeiro período, de 7,7 no segundo e de 10,1% no terceiro. O que caracteriza uma predominância de baixo grau de dispersão.

Na Figura 54 é notado que todos os períodos mostraram pontos além do limite estabelecido de 8,5 de pH, caracterizando condições alcalinas. No primeiro quinquênio apenas a estação 5 não apresentou valores de pH acima de 8,2, sendo as maiores medidas encontradas nas estações 3 e 6, ambas com pH acima 9,4. No período de 2006 a 2010 apenas as estações 1 e 8 não extrapolaram o limite máximo determinado, sendo as maiores medições encontradas nas estações 2 e 6, ambas com mais de 8,9 de pH, ressaltando que a estação 3 apresentou pH inferior ao mínimo, atingindo uma condição ácida de 6,3 de pH. No último período os maiores foram da estação 2 e 3, ambas apresentando características básicas com valores de 10,5 e 10 e nenhuma estação apresentou pH abaixo do mínimo estabelecido.

A flutuação nos valores de pH observada nos gráficos pode ser devido ao horário em que as coletas foram realizadas, pois a taxa fotossintetizante varia ao longo do dia. Quanto maior a incidência solar, maior a taxa de fotossíntese das algas presentes no corpo hídrico, como essa atividade insere CO<sub>2</sub> na água torna-a ácida. Como somente a

estação 3 no período de 2006 a 2010 foi a que apresentou condição ácida abaixo do limite estabelecido, não é a taxa fotossintética quem está influenciando a alteração do pH, fato que também pode ser corroborado pois há predominância de concentrações cada vez mais alcalinas.

A existência de condições alcalinas pode ser devido à sobrecarga de material orgânico, baixa concentração de OD e presença de nitrato. Já foi visto que a DBO não se encontra muito elevada, portanto, não é ela o principal motivo de alcalinizar o meio. Já foi visto que o OD se encontra, inclusive, em condições anaeróbias, logo, pode ser um dos fatores que está deixando a água do complexo alcalina. Analisando a Figura 34, que mostra a variação das médias do nitrato, pode ser notado que está havendo uma concentração cada vez maior desse elemento, portanto, possivelmente também é um dos motivos da alcalinidade do corpo hídrico.

#### 3.2.3.4 Fósforo

O fósforo é essencial para o crescimento dos organismos, podendo ser o nutriente que tanto estimula quanto limita a produtividade de um corpo d'água. Esse elemento aparece em águas naturais principalmente devido às descargas de esgotos sanitários, também sendo fonte efluentes industriais, como a de fertilizantes, pesticidas, laticínios, entre outras. É utilizado atualmente como indicador de aporte de esgoto.

A Resolução CONAMA 357 estabelece que para águas salobras classe 2 o limite de concentração do fósforo é de 0,186 mg/L.

Nota-se que na Figura 33 nos três períodos todas as estações apresentaram médias acima do limite estipulado de 0,186 mg/L. No período de 2001 a 2005 as estações 1, 2, 3, 4, 5 e 6 apresentaram médias pelo menos cinco vezes mais altas que o estipulado. No período de 2006 a 2010 as estações 1, 2, 3, 4, 6 e 8 apresentaram médias cinco vezes acima da pré-determinada pela CONAMA. No período de 2011 a 2015 as estações 1, 2, 3, 4 e 6 apresentaram média cinco vezes acima do limite. Percebe-se que as estações 1, 2, 3 e 4 estão, nos três períodos, muito acima do estipulado e a estação 5 é a que apresenta a menor média nesse mesmo intervalo.

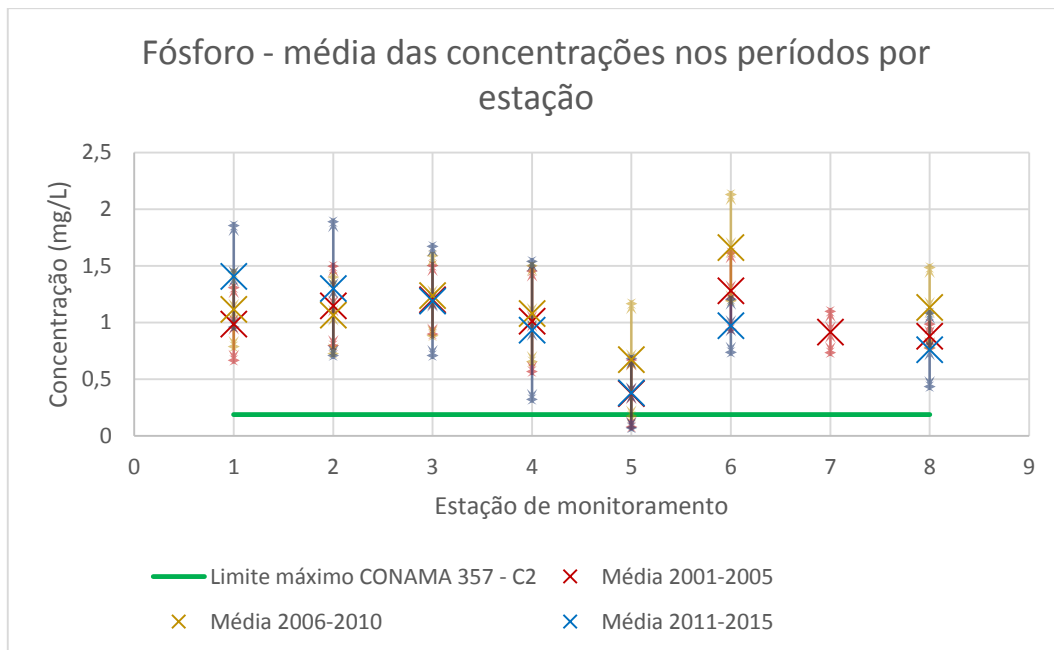


Figura 33: Médias das concentrações do fósforo por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.

As maiores dispersões nos desvios padrão foram observadas na estação 5 em todos os períodos, sendo de 79% no primeiro, 74% no segundo quinquênio e 81% no terceiro.

A estação 5 apresenta médias bem inferiores às demais estações, como já foi informado, essa estação fica a jusante do Rio Cacheira, que possui ao seu redor sítios, chácaras e um Golf Club, devido à essa característica há um menor adensamento populacional nessa região logo, menor aporte de esgoto, o que pode ser o motivo dessa estação apresentar menores médias.

Na Figura 55 é possível notar que no período de 2001 a 2005 apenas a estação 5 apresentou concentrações abaixo de 0,186 mg/L, sendo as maiores encontradas nas estações 2, 4 e 6, com valores onze vezes maiores que o limite. No período de 2006 a 2010 a estação 5 continua sendo a única a exibir concentração abaixo do limite, sendo as maiores encontradas nas estações 4 e 6 com valores treze vezes maior que o limite. No período de 2011 a 2015 a estação 5 permanece sendo a única a apresentar concentração abaixo do limite, sendo as maiores encontradas nas estações 2 e 4 com valores dezessete vezes maior que o limite.

Como o fósforo aparece em águas naturais devido, principalmente, às descargas de esgotos sanitários, relações com a turbidez, nitrogênio Kjeldahl e coliformes termotolerantes podem ser estabelecidas. Foi visto na Figura 29 que para o período de 2006 a 2015 está havendo uma elevação na turbidez em algumas estações, assim como o fósforo. Com relação ao nitrogênio Kjeldahl (Figura 35) há uma diminuição da média entre os dois primeiros quinquênios, o que não é observado no fósforo. Com relação aos coliformes termotolerantes (Figura 38) é esperado um grande aumento pois está havendo grande inserção de fosforo no meio e, como pode ser visto, há uma grande concentração dos mesmos.

### 3.2.3.5 Nitrato

O nitrato é a forma oxidada do nitrogênio podendo ser inserido em um corpo hídrico através da lixiviação de chorume, despejo de esgoto *in natura* e em condições de anaerobiose.

A Resolução CONAMA 357 estabelece que para águas salobras classe 2 o limite de concentração de nitrato é de 0,7 mg/L.

Nota-se na Figura 34 que apenas no quinquênio mais recente o limite máximo de 0,7 mg/L é ultrapassado, no caso pela estação 1 e pela estação 6. Observa-se também que as médias das estações vêm aumentando ao longo dos quinquênios.

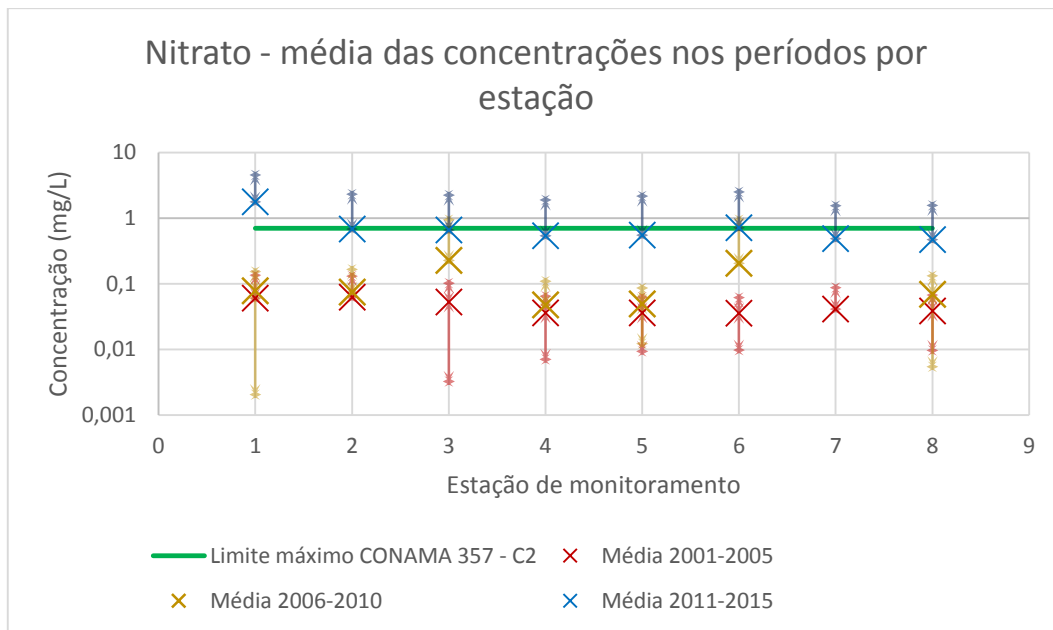


Figura 34: Médias das concentrações do nitrato por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.

Nos três períodos os desvios padrão tiveram alto grau de dispersão, no primeiro quinquênio a maior dispersão foi de 122% na estação 1, no segundo quinquênio foi de 357% na estação 6 e no terceiro foi de 293% na estação 5.

Na Figura 56 é possível constatar que apenas a partir de 2006 que o limite estabelecido pela CONAMA foi extrapolado. No período de 2006 a 2010 apenas as estações 3 e 6 apresentaram concentração acima do determinado como máximo, chegando a exibir concentração cinco vezes mais alta. No período de 2011 a 2015 todas as estações excederam o limite, encontrando-se concentrações nove vezes maior que 0,7 mg/L (limite), que são os casos das estações 2, 3, 4, 5 e 6.

Como já foi determinado em interpretações anteriores, está havendo maior aporte de esgoto nas lagoas, entretanto, esse não é o único motivo de haver nitrato na água, pois ao examinar a Figura 31 pode-se notar que as concentrações de OD vem diminuindo ao longo dos períodos inclusive apresentando concentrações de 0,0 mg/L em algumas estações, o que caracteriza condição de anaerobiose e, é nessa situação que ocorre a nitrificação pela bactérias anaeróbias.

Outra relação que pode ser estabelecida com o nitrato, é com os coliformes termotolerantes, pois ambos são indicativos de esgoto *in natura*. Como já foi retratado,

os coliformes termotolerantes estão apresentando concentração cada vez mais elevadas, indicando maior aporte de esgoto, o que também foi observado pela análise do nitrato.

### 3.2.3.6 Nitrogênio Kjeldahl

Os compostos nitrogenados são indispensáveis para o crescimento de organismos em geral. O nitrogênio Kjeldahl é o nitrogênio total calculado pelo método Kjeldahl. A principal fonte de inserção de nitrogênio num corpo hídrico é via despejos domésticos e industriais.

A Resolução CONAMA 357 não estabelece limite para esse parâmetro.

É possível observar na Figura 35 que de um quinquênio para outro as estações 1, 2, 3 e 6 tiveram aumento das médias de concentração. No período de 2001 a 2005 as maiores médias foram das estações 3 e 6, e as menores foram das estações 5 e 7. No período de 2006 a 2010 as estações que apresentaram as maiores médias foram novamente a 3 e a 6 e as que exibiram as menores foram as 2 e 5.

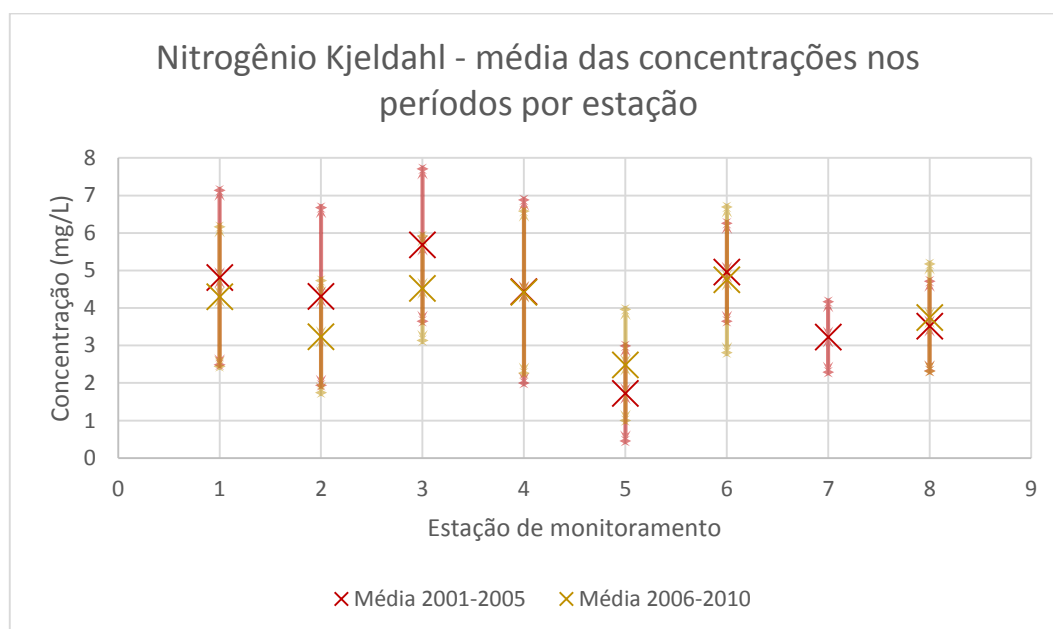


Figura 35: Médias das concentrações do nitrogênio Kjeldahl por estação de monitoramento nos diferentes períodos. A autoria é própria.

A estação 5 apresentou as menores médias, que como já foi retratado na análise do fósforo, a montante dessa estação se encontra o Rio Cachoeira, que devido à sua

característica de relativo baixo adensamento populacional, está aportando menos esgoto nesse tributário, o que acarreta em menores concentrações do mesmo a jusante.

Na Figura 57 pode-se inferir que no período de 2001 a 2005 as maiores concentrações foram de 10 mg/L nas estações 1 e 3 e de 11 mg/L na estação 2, sendo a menor encontrada na 1 com 0,03 mg/L. No período de 2006 a 2010 as maiores concentrações foram das estações 4 com 11 mg/L, 6 e 8, ambas com 8,0 mg/L.

Como já explicado anteriormente, a principal fonte de nitrogênio no meio é através de despejos domésticos e industriais, assim como o fósforo, logo, pode-se fazer a mesma interpretação para ambos nutrientes. Fato corroborado na Figura 36, onde pode ser visto que as variações das médias e as estações com maiores e menores médias correspondem com as da Figura 35. Logo, a análise feita para o fósforo também pode ser aplicada para o nitrogênio Kjeldahl.

Devido à ausência de dados para o terceiro quinquênio, fica comprometida a avaliação sobre as condições atuais em que se encontra esse parâmetro.

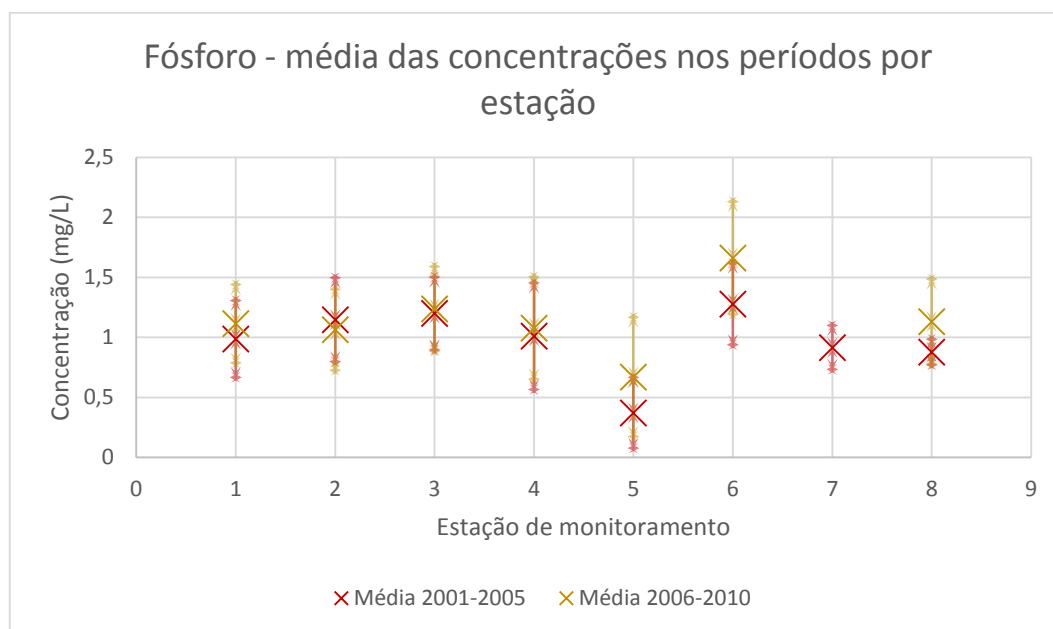


Figura 36: Médias das concentrações do fósforo por estação de monitoramento em dois períodos. Autoria própria



### 3.2.4 Grupo dos Parâmetros Biológicos

O Inea monitora dois parâmetros que foram classificados como biológicos, que são os coliformes termotolerantes e as cianotoxinas.

#### 3.2.4.1 Cianotoxinas/Microcistinas

As cianotoxinas são toxinas liberadas pelas cianobactérias, sendo a microcistina uma dessas toxinas. Essa toxina é altamente solúvel em ambiente aquoso e somente são liberadas quando ocorrem mudanças na permeabilidade da parede celular das cianobactérias ou quando ocorre a morte desses organismos (SAMPAIO, 2008).

A Resolução CONAMA 357 não estabelece limites para esse parâmetro, no entanto, será utilizada a Portaria 2914/11 para se ter alguma noção de limite.

Percebe-se na Figura 37 que as estações 1, 2 e 3 são as que apresentam maiores médias, sendo a maior a da estação 2. As menores médias são das estações 6, 7 e 8, com a estação 7 com a menor.

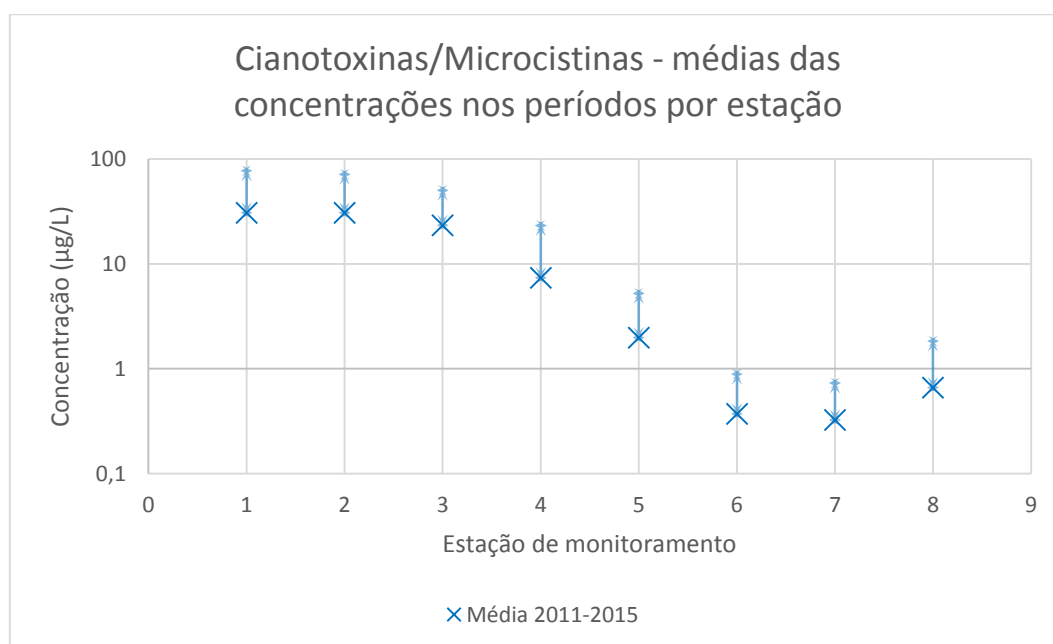


Figura 37: Médias das concentrações de Microcistinas por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.

Os graus de dispersão dos valores foram elevados, com as estações 4 e 8 com as maiores, 213 e 178%, respectivamente.

Nota-se na Figura 59 que as maiores concentrações encontradas foram as das estações 1, com 159,48 µg/mL e 2 com 190,283 µg/mL e as menores encontradas nas estações 3, 5, 6, 7 e 8, todas com 0,1 µg/mL. Comparando esses valores com o estabelecido pela Portaria 2914/11 onde o limite para potabilidade é de 1 µg/mL, pode ser observado que as lagoas estão apresentando uma concentração até 100 vezes superiores ao padrão estabelecido para abastecimento humano.

Com relação aos dados pretéritos a esse quinquênio, nada pode ser afirmado, o que prejudica a análise histórica desse parâmetro.

#### 3.2.4.2 Coliformes Termotolerantes

Os coliformes termotolerantes são microrganismos que por si só não apresentam perigo à saúde, mas indicam presença de outros organismos patogênicos, segundo MIZUTORI (2009). Esses microrganismos são principalmente inseridos em um corpo hídrico através de despejos de esgotos *in natura*. Os coliformes não são exclusivamente de origem fecal, sendo somente a bactéria *Escherichia coli* (*E. coli*) origem exclusivamente fecal.

A Resolução CONAMA 357 estabelece que para águas salobras classe 2 o limite máximo permitido de coliformes termotolerantes é de 2500 NMP/100mL.

Nota-se na Figura 38 que no período de 2001 a 2005 a média das concentrações ficaram abaixo do limite máximo estabelecido, no entanto, nos outros dois períodos, as médias de todas as estações ficaram acima do limite para classe 2 e inclusive acima do limite da classe 3, sendo que o enquadramento das lagoas é classe 2. Sendo o quinquênio mais recente que apresentou as maiores médias. De 2006 a 2010 as estações 3, 4 e 6 apresentaram as maiores médias, com valores 12 vezes maior que o determinado como máximo para a classe 2. No período de 2011 a 2015 as maiores médias foram das estações 3, 4 e 7, todas com valores 85 vezes maior que o limite para classe 2.

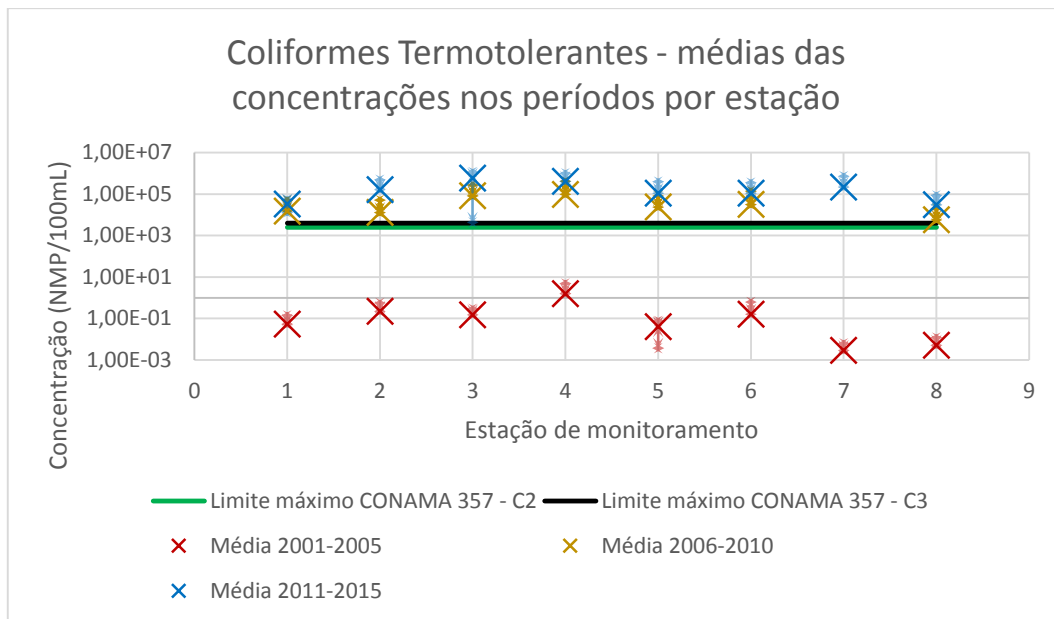


Figura 38: Médias das concentrações dos coliformes termotolerantes por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.

O grau de dispersão desses dados é grande, sendo o maior no primeiro quinquênio de 281% na estação 6, no segundo quinquênio é de 351% na mesma estação e no terceiro é de 252% na estação 5.

As máximas concentrações encontradas na Figura 58 são quase todas do terceiro quinquênio, exceto na estação 1, na qual a maior concentração pertenceu ao segundo quinquênio. Nota-se que no período de 2001 a 2005 a maior concentração encontrada foi de 9,0 NMP/100 mL na estação 4. No período de 2006 a 2010 a maior foi de 1600000 NMP/100 mL ainda na estação 4 e no último período foi de 1600000 NMP/100 mL nas estações 2, 3, 4, 5, 6 e 7., ressaltando que o máximo para classe 2 é de 2500 NMP/100 mL e de 4000 NMP/100 mL para a classe 3.

O aumento do número desses microrganismos gera vários impactos, como depressão do nível de OD, superconcentração de micropoluentes e presença de bactérias e patógenos. Na Figura 31 pode ser inferido que de fato está havendo depleção do OD, pois ao longo dos anos as concentrações desse elemento estão caindo. Na Figura 33 pode ser constatado que de fato está havendo superconcentração de fósforo no corpo hídrico das lagoas.

## 4 Conclusões

Nesse capítulo serão apresentadas as conclusões desse trabalho e, além disso, alguns comentários e sugestões estarão expostos ao final do texto.

O presente trabalho interpretou 6031 dados, o que permitiu inferir os seguintes aspectos: que os anos que foram feitas mais análises dos parâmetros abordados nesse projeto, foram: 2004, 2011, 2012, 2013, 2014 e 2015, o que caracteriza um maior acompanhamento da qualidade da água levando-se em conta esses 15 anos; que não há uma constância no monitoramento da maioria dos parâmetros, o que dificulta a análise histórica da qualidade da água de cada lagoa do complexo. Os parâmetros arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, mercúrio, níquel, sólidos totais e zinco não apresentaram nem 70 dados nos 15 anos que esse trabalho abordou, enquanto que os parâmetros coliformes termotolerantes, condutividade elétrica, DBO, fósforo, nitrato, OD, pH e temperatura apresentaram mais de 400 dados para o mesmo período.

A Tabela 2 é um comparativo entre as lagoas, sendo o termo "pior" utilizado para indicar a lagoa com média de concentração e concentração mais alta, no caso de o limite estabelecido ser máximo, e a de média ou concentração mais baixa, no caso de o limite ser mínimo. Não havendo limite estipulado, como é o caso dos parâmetros DBO, nitrogênio Kjeldahl, sólidos totais, turbidez e cianotoxinas/microcistinas, o "pior" é utilizado para a lagoa com maior média ou concentração em relação às outras, lembrando que esses parâmetros são indicativos de aporte de esgoto e toxicidade. O símbolo " \* " significa que não houve análise do parâmetro no período e o termo "nenhuma" indica que todas apresentaram o mesmo valor e este é inferior ao limite estabelecido.

Tabela 2: Lagoas com piores resultados. Autoria própria.

Parâmetro	Pior média 2001-2005	Pior média 2006-2010	Pior média 2011-2015	Pior concentração 2001-2005	Pior concentração 2006-2010	Pior concentração 2011-2015
Arsênio	*	*	TJ	*	*	TJ
Cádmio	TJ	*	*	TJ	*	*
Chumbo	TJ	*	Nenhuma	TJ	*	Nenhuma
Cobre	TJ	*	*	TJ	*	*
Cromo	TJ, MR	*	*	TJ, MR	*	*
Ferro	TJ	*	*	TJ	*	*
Mercúrio	Nenhuma	*	Nenhuma	Nenhuma	*	Nenhuma
Níquel	JC	*	*	JC	*	*
Zinco	TJ	*	TJ, MR	JC	*	TJ, MR
Condutividade	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ
OD	JC	JC	JC	MR	MR	JC
DBO	MR	MR	CM	JC, CM	MR	CM
pH	MR	JC	JC	MR	JC	JC
Fósforo	MR	MR	JC	MR	TJ, MR	TJ
Nitrato	JC	CM	JC	JC	MR	TJ
Nitrogênio K.	CM	MR	*	JC	TJ	*
Sólidos totais	*	TJ	TJ	*	TJ	TJ
Temperatura	MR	MR	JC	TJ	MR	JC, CM, TJ
Turbidez	*	MR	JC	*	MR	JC
Coliformes Termo.	TJ	TJ	CM	TJ	TJ	JC, CM, TJ, MR
Cianotoxinas/M.	*	*	JC	*	*	JC

Com relação à qualidade da água das lagoas, pode ser observado da Tabela 2 que a Lagoa de Jacarepaguá e a Lagoa da Tijuca foram as que apresentaram mais vezes a pior situação, significando que são as mais impactadas do Complexo Lagunar de Jacarepaguá, sendo a Lagoa da Tijuca a pior de todas, baseado no número de vezes que aparece na tabela. A Lagoa da Tijuca se destacou mais nas concentrações de metais e coliformes termotolerantes enquanto que a de Jacarepaguá foi dos parâmetros físico-químicos e cianotoxinas/microcistinas. A menos impactada, foi a Lagoa de Camorim.

A Tabela 3 discrimina para cada lagoa quais parâmetros extrapolaram o limite máximo estabelecido pela CONAMA 357 e em que quinquênio ocorreu. As cores mais claras são para destacar onde e em que ano ocorreu. Pode-se observar que o período de 2011 a 2015 foi o que apresentou o maior número de parâmetros destacados, sendo seguido pelo período de 2001 a 2005. Observando que tanto o fósforo como o pH foram destacados em todos os momentos. A Lagoa de Marapendi foi a que mais destaques apresentou, seguida pela Lagoa da Tijuca.

Tabela 3: Lagoas que extrapolaram o limite máximo permitido e o ano que ocorreu. Autoria própria.

Lagoa	Lagoas que excederam o limite máximo											
	Jacarepaguá			Camorim			Tijuca			Marapendi		
Quinquênio	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°
Arsênio	*	*		*	*		*	*		*	*	
Cádmio		*	*		*	*		*	*		*	*
Chumbo		*			*			*			*	
Cobre		*	*		*	*		*	*		*	*
Coliformes Termo.												
Cromo		*	*		*	*		*	*		*	*
Fósforo												
Mercúrio		*			*			*			*	
Níquel		*	*		*	*		*	*		*	*
Nitrato												
pH												
Zinco		*			*			*			*	

A Tabela 4 mostra as lagoas que apresentaram parâmetros que ultrapassaram o limite mínimo determinado. Nota-se que o OD foi destacado em todos os momentos e o pH apenas na Lagoa de Jacarepaguá no período de 2006-2010.

Tabela 4: Lagoas que extrapolaram limite máximo ou mínimo e o ano que ocorre.

Autoria própria.

Lagoa	Lagoas que excederam o limite mínimo											
	Jacarepaguá			Camorim			Tijuca			Marapendi		
Quinquênio	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°
OD												
pH												

A Tabela 5 é dos parâmetros que não possuem limite estabelecido na CONAMA, sendo então mostrada a lagoa que apresentou maior média relativa entre as outras lagoas e o ano que ocorreu. Pode-se perceber que o último quinquênio recebeu maior destaque, sendo a Lagoa da Tijuca a que mais destaques teve.

Tabela 5: Lagoas que apresentaram maior média em relação às outras; não há limite estabelecido. Autoria própria.

Lagoa	Lagoas que apresentaram maior concentração em relação às outras											
	Jacarepaguá			Camorim			Tijuca			Marapendi		
Quinquênio	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°
Cianotoxinas/M.	*	*		*	*		*	*		*	*	
Condutividade												
DBO												
Ferro		*	*		*	*		*	*		*	*
Nitrogênio Kj.			*			*		*	*			*
Sólidos totais	*			*			*	*		*		
Temperatura												
Turbidez	*			*			*			*	*	

Todas as Lagoas apresentam atualmente déficit de oxigênio a nível de coleta superficial, indicando anaerobiose tanto na superfície como na coluna d'água, fato confirmado pela crescente concentração de nitrato e a alta mortalidade de peixes da região.

Há um contraste sobre o aporte de esgoto, pois tanto a DBO quanto a turbidez, que são caracterizadoras, apresentam concentrações relativamente baixas em algumas estações enquanto que os parâmetros fósforo, nitrogênio Kjeldahl e coliformes termotolerante, que também são indicativos de aporte, se encontram com concentrações muito elevadas.

Com relação ao pH, pode-se inferir que as águas do complexo estão apresentando condições cada vez mais alcalinas e que isso é devido tanto à depleção do OD quanto da elevação da concentração do nitrato.

Conflitos acerca do enquadramento e a classificação dos corpos d'água do complexo: é informado pelo GEAG (2016) que esse sistema lagunar é de contato secundário sendo utilizado a Classe 2 para avaliação. Já no site do INEA (2016) é informado que o Complexo Lagunar de Jacarepaguá é enquadrado como Classe 1, que, de acordo com a Resolução CONAMA 357, significa que tal corpo hídrico além de poder ser utilizado para abastecimento humano após um tratamento simplificado, pode ser utilizado para recreação de contato primário.

Um dos objetivos do trabalho que era análise histórica ao longo de 15 anos, foi comprometido pois 7 parâmetros apresentaram dados em apenas 5 anos, mesmo alguns deles apresentando concentração acima do estipulado.

Sobre o objetivo de avaliar a real situação do complexo com relação aos 21 parâmetros, houve uma certa fragilidade, pois, 7 parâmetros não foram analisados entre 2011 a 2015.

Com respeito ao terceiro objetivo, que era sobre a comparação estatística junto ao plano de monitoramento do Inea, também foi fragilizado, pois, por eu não possuir o plano na íntegra, não foi possível verificar se está conforme o fato de alguns parâmetros possuírem análises em 5 anos ou não possuírem análises no terceiro quinquênio e se a frequência observada também está de acordo com o proposto pelo plano.

Como sugestão para um maior refinamento na interpretação dos resultados, englobar os dados das estações de monitoramento situadas nos tributários desse sistema lagunar e buscar na literatura dados de concentração que preencham as lacunas existentes nesse trabalho.

Outra proposta de melhoria é obter a metodologia utilizada laboratorialmente para análise de cada parâmetro.



## Referências Bibliográficas

ABNT. **NBR 10664, 1989, Determinação de Resíduos Sólidos - Método Gravimétrico.**

Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/69586402/NBR-10664-1989-Aguas-Determinacao-de-Residuos-Solidos-Metodo-Gravimetrico#scribd>>. Acesso em: 03 de fevereiro de 2016.

ALEXANDRE, J. R., OLIVEIRA, M. L. F., SANTOS, T. C. ET AL. Zinco e Ferro : de Micronutrientes a Contaminantes do Solo. In: **Natureza on line**, v. 10, n. 1, p. 23–28, 2012.

ALMEIDA, J. R., GUERRA, A. J. T., NETO, J. B. C., AGUIAR, L. A., RODRIGUES, M. G., COSTA, M. B. A., MATOS, R. M. B, **Ciências Ambientais**, 2ª ed., Rio de Janeiro/RJ, THEX Editora, 2008.

AMORIM, A. B. B. D, **Aplicação do Método de Valoração Contingente para Estimar o Valor Econômico do Sistema Lagunar de Jacarepaguá**, Monografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/RJ, 2015.

ANA. Portal da Qualidade das Águas. Indicadores de Qualidade - Índice de Qualidade das águas. Disponível em < <http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>>. Acesso em 07 de fevereiro de 2016.

ASSUNÇÃO, S. J. R, **Seleção de Plantas para Fitorremediação de Chumbo, Cádmio e Zinco de uma Área Contaminada na Bacia do Rio Subaé**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Programa de Pós-graduação em Solos e Qualidade de Ecossistemas, Cruz das Almas/BH, 2012.

CETESB. "Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem". In: **Série Relatórios/CETESB. Relatório de Qualidade das Águas Superficiais no Estado de São Paulo 2009**. 2ª ed., Apêndice A. São Paulo/SP, Brasil. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2010.

CETESB, **Arsênio**, Ficha de Informação Toxicológica, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2012.

CETESB, **Cádmio**, Ficha de Informação Toxicológica, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2012.

CETESB, **Cobre**, Ficha de Informação Toxicológica, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2012.

CETESB, **Cromo**, Ficha de Informação Toxicológica, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2012.

COMITÊ DE BACIA DA BAÍA DE GUANABARA. Subcomitê Jacarepaguá. Disponível em <<http://www.comitebaiadeguanabara.org.br/sc-jacarepagua/>>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2016.

CONAMA. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamentos de efluentes e dá outras providências.** Brasília/DF. Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2005.

CRUZ, F. S., OLIVEIRA, A. C. P., GÔMARA, G. A., Monitoramento da Comunidade de Cianobactérias no Complexo Lagunar de Jacarepaguá no Período de 2011 a 2012. In: **Revista Eletrônica Novo Enfoque**, Rio de Janeiro, v.15, pp. 90-95, ano 2012.

CYPRIANO, E. F., **Distribuição Espacial de Mercúrio nos Sedimentos do Complexo Lagunar da Baixada de Jacarepaguá (RJ)**. Monografia de Bacharelado. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Geociências. Rio de Janeiro/RJ, 2009.

EMBRAPA, **Parâmetros Ambientais e Qualidade da Água na Piscicultura**, Recomendações Técnicas, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, Belém/PA, 2000.

EMBRAPA, **Qualidade da Água. Piscicultura Familiar.**, Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2013.

FERREIRA, F. A. G., **Toxicidade e Remoção de Arsênio pela Cianobactéria *Microcystis novacekii***, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-graduação em Ecologia, Belo Horizonte/MG, 2013.

FIGUEIREDO, N. M. D. E., **Tratamento de Efluente Sintético Contendo Níquel e Zinco por Bissorção Utilizando *Sargassum filipendula***. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Processos Químicos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/RJ, 2013.

FILHO, R. F. A., **Ocorrência de Arsênio, Cádmio e Chumbo em Tecidos de Aves, Suínos, Bovinos de Corte e Equinos no Brasil**, Tese de doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte/MG, 2011.

FUNASA. Manual de Controle da Qualidade da Água para Técnicos que Trabalham em ETAs, 2014. Disponível em: <[www.saude.gov.br/bvs](http://www.saude.gov.br/bvs)>. Acesso em: 28 de fevereiro de 2016.

GOVERNO DO RIO DE JANEIRO. Ambiente. Recuperação das Lagoas da Barra. Disponível em: <<http://rj.gov.br/web/sea/exibeconteudo?article-id=744901>>. Acesso em: 30 de fevereiro de 2016.

GENUÁRIO, D. B., **Cianobactérias em Ecossistemas de Manguezais: Isolamento, Morfologia e Diversidade Genética**, Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Piracicaba/SP, 2010.

HOMRICH, B. S., FERNANDES, C. R. P., VIERA, J. R. G. **O Potencial Tóxico do Mercúrio e os Impactos da Gestão Inadequada de seus Resíduos ao Meio Ambiente e à Saúde**. In V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Belo Horizonte/MG, 2014.

IBGE. Censo demográfico de 2010. Disponível em <[http://portalgeo.rio.rj.gov.br/\\_pcontrole/content/out/dados\\_censo.asp?cod=1](http://portalgeo.rio.rj.gov.br/_pcontrole/content/out/dados_censo.asp?cod=1)> Acesso em 13 de fevereiro de 2016.

INEA. Complexo Lagunar de Jacarepaguá. Disponível em: <<http://www.inea.antigo.rj.gov.br/fma/complexo-lagunar-jpa.asp?cat=75&subcat=80>>. Acesso em: 03 de março de 2016.

INEA. Localização das Estações de Amostragem no Complexo Lagunar de Jacarepaguá Disponível em: <<http://www.inea.antigo.rj.gov.br/fma/popup-amostragem-lagunar->

jpa.asp>. Acesso em 03 de março de 2016.

INSTITUTO TERRAZUL, Balanço Social 2011. Disponível em: <<http://www.institutoterrazul.org.br/site/index.html>>. Acessado em: 02 de fevereiro de 2016.

JARDIM, B. F. M., **Variação dos Parâmetros Físicos e Químicos das Águas Superficiais da Bacia do Rio das Velhas - MG e sua Associação com Florações de Cianobactérias**, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Belo Horizonte/MG, 2011.

MACEDO, L. F. L., **Remoção de Mercúrio e Arsênio em Cação-azul, *Prionace glauca***, Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Programa de Pós-graduação em Ciência dos Alimentos, São Paulo/SP, 2010.

MIZUTORI, I. S., **Caracterização da Qualidade das Águas Fluviais em Meios Peri-urbanos: O Caso da Bacia Hidrográfica do Rio Morto - RJ**, Dissertação de mestrado, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Rio de Janeiro/RJ. PPEA/UERJ, 2009.

MUNIZ, D. H. F., OLIVEIRA-FILHO, E. C. Metais pesados provenientes de rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente. In: **Universitas: Ciências da Saúde**, v. 4, n. 1/2, pp. 83–100, 2006.

NASCIMENTO, J. S. **Biologia de Microrganismos**. Unidade 1. Introdução à Microbiologia, 2010.

OLIVEIRA, S. S., Mercúrio e Meio Ambiente: Contaminação e Gerenciamento, In: **Painel Técnico: Mercúrio e Seus Riscos no Contexto da Vigilância Sanitária**, ANVISA, 2011.

PARRON, L. M., FERNANDES, C. R. P., VIEIRA, J. R. G. **Manual de Procedimentos de Amostragem e Análise Físico-química de Água**, EMBRAPA - Documento 232, Empresa Brasileira de Agropecuária, Embrapa Florestas, Colombo/PR, 2011.

PEREIRA, R. S., Poluição Hídrica: Causas e Consequências, **Revista Eletrônica de Recursos**

**Hídricos**, v.1, pp. 20-36, 2004.

PINTO, M. C. F., **Manual Medição *in loco*: Temperatura, pH, Condutividade Elétrica e Oxigênio Dissolvido**, CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Rio de Janeiro/RJ, 2007.

RENEAULT, F. S., **O Sistema Lagunar de Jacarepaguá**, Pós-graduação *Lato Sensu*, Universidade Candido Mendes, Especialização em Gestão Ambiental, Rio de Janeiro/RJ, 2012.

RIBEIRO, M. A. C., **Contaminação do Solo por Metais Pesados**. Dissertação de Mestrado, Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, Engenharia do Ambiente, Lisboa/Portugal, 2013.

ROCHA, A. F., "**Cádmio, Chumbo, Mercúrio - A Problemática Destes Metais Pesados na Saúde Pública?**", Monografia, Universidade do Porto, Faculdade de Ciências da Nutrição e Alimentação, Porto/Portugal, 2009.

RODRIGUES, M. A., SILVA, P. P., GUERRA, W. Cobre. In: **Química Nova na Escola**, v. 34, n. 3, pp. 161–162, 2012.

RUPPENTHAL, J. E., Toxicologia. In: **Rede E-Tec Brasil**, Colégio Técnico Industrial, Santa Maria/RS, 2013.

SAMPAIO, G. F. **Cianobactérias Como Parâmetro De Qualidade Ambiental: Um Estudo Do Complexo Lagunar De Jacarepaguá**. Dissertação de Mestrado, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Rio de Janeiro/RJ, 2008.

SANTOS, M. R., **Evolução Temporal da Eutrofização do Complexo Lagunar de Jacarepaguá**, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/RJ, 2014.

SCURACCHIO, P. A., Qualidade da Água Utilizada Para Consumo em Escolas no Município de São Carlos - SP, Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição, Araraquara/SP, 2010.

SILVA, L. B. C., **Avaliação Espaço-temporal de Metais Pesados no Rio Paraíba do Sul e Rio Imbé por Meio de Plantas de *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms (AGUAPÉ), Séston e Sedimento**. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campo dos Goytacazes/RJ, 2008.

SILVA, J. M. B., BARRIO R. J., MOREIRA, J. C. Arsênico - Saúde: Uma Relação que Exige Vigilância. In: **Vigilância Sanitária em Debate**, v. 2, n. 1, pp. 57–63, 2014.

SONDOTÉCNICA. **Estudo de Impacto Ambiental para o Projeto de Recuperação Ambiental da Macrobacia de Jacarepaguá**. Volume Dois, Diagnóstico do Meio Físico, Rio de Janeiro/RJ, 1998.

SOUSA, E. R., **Noções Sobre Qualidade da Água: Parâmetros de Caracterização de uma Massa de Água**. Licenciatura em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa/Portugal, 2001.

SPERLING, M. V., **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. v.1, 3ª ad. Belo Horizonte/MG. Editora UFMG. 2005.

TAVARES, A. D., **Determinação de Cádmi e Chumbo em Alimentos e Bebidas Industrializados por Espectometria de Absorção Atômica com Atomização Eletrotérmica**, Tese de Doutorado, Universidade Federal da Paraíba, Programa de Pós-graduação em Química, João Pessoa/PB, 2010.

WEINBERG, A., **Uso de Índices de Qualidade de Água Para a Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Guandu**, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/RJ, 2013.

## ANEXO A

### Definição dos Termos que Foram Utilizados

#### A.1 Parâmetros Metálicos

##### Metais pesados:

Existem determinados elementos e compostos químicos que, mesmo em baixas concentrações, conferem à água características de toxicidade, acabando por torná-la imprópria para grande parte dos usos. Tais substâncias são denominadas micropoluentes, sendo o de maior destaque, neste caso, os metais pesados, que são frequentemente encontrados em águas residuárias industriais (FUNASA, 2014).

A origem natural desses micropoluentes é de menor importância, pois são derivados do intemperismo natural das rochas, quando a fonte é antrópica, tais poluentes provêm de despejos industriais, atividades mineradoras, atividades de garimpo e agricultura, relata SPERLING (2005).

Alguns elementos e compostos, em baixas concentrações, são nutrientes para seres vivos, entretanto, a maior preocupação com os metais é a bioacumulação destes pela flora e fauna aquática, a biomagnificação pela cadeia trófica e a difícil biodegradabilidade.

No ser humano, tais metais podem apresentar características carcinogênicas, mutagênicas e até mesmo teratogênicas (geração de fetos com graves deficiências físicas). Os sinais e sintomas de intoxicação por metal pesado variam de acordo com o nível de intoxicação, podendo ser aguda ou crônica. A intoxicação aguda é aquela na qual a exposição é excessiva e os sintomas surgem rapidamente após algumas horas, já na crônica, a exposição é pequena ou moderada e os sintomas podem levar meses a anos até surgir.

##### Arsênio:

O As é relativamente comum no ambiente em baixas concentrações, podendo ser encontrado nas águas, no solo e quase em todos os tecidos vivos (SILVA, J. M. B., BARRIO R. J. *et al.*, 2014), sendo que o arsênio metálico não ocorre naturalmente no meio. Na crosta terrestre, esse semimetal na forma elementar é pouco abundante e raros metais deste elemento são encontrados sob a forma inorgânica de arsenitos ( $As^{+3}$ ), arsenatos ( $As^{+5}$ ) e alguns óxidos que podem estar associados a outros metais e a sulfetos como, por exemplo, na arsenopirita que é o mineral arsênio mais comumente encontrado em áreas de mineração, segundo informa FERREIRA (2013).

Sob o ponto de vista biológico, o arsênio é um elemento químico que possui uma característica contraditória, pois é um constituinte normal dos seres vivos e, por outro lado, é considerado um elemento reconhecidamente carcinogênico para humanos (SILVA, J. M. B., BARRIO R. J. *et al.*, 2014) e FERREIRA (2013) acrescenta que está sendo utilizado na medicina para tratamento de leucemia priomielocítica.

Parte do As liberado no meio ambiente é de origem natural, destacando-se as erupções vulcânicas e lixiviação de rochas ricas em arsênio, a outra parte advém dos rejeitos de mineração, visto que esse metaloide é encontrado associado a minérios de ouro, prata, cobalto, níquel, chumbo, cobre e antimônio. Sendo também utilizados na produção de vidros, ligas não ferrosas, produtos eletrônicos, conservação de madeira, pesticidas, herbicidas e inseticidas. Acarretando com que muitos organismos sejam expostos diretamente à contaminação.

O transporte e distribuição do As na água depende da sua forma química e de interações com outros metais presentes no meio. Esse semimetal é insolúvel na água, mas muitos compostos são solúveis e podem contaminar a água tanto superficial como subterrânea (CETESB, 2012), sem mencionar que sua presença na água faz com que a flora e a fauna marinha contenham resíduos desse metaloide bioacumulado, devido à função de nas vias metabólicas o nitrogênio e o fósforo poderem ser facilmente trocados por ele (FERREIRA, 2013). No Quadro 16 estão listados os sinais e sintomas que podem ocorrer no ser humano de acordo com o nível de intoxicação.

Quadro 16: Sinais e sintomas de acordo com o nível de intoxicação. Adaptado de (CETESB, 2012) e (MACEDO, 2010).



Intoxicação aguda	Intoxicação crônica
Dor abdominal	Lesão cutânea
Vômito	Gangrena
Diarreia	Doença arterial periférica
Vermelhidão na pele	Doença cerebral
Dor muscular	Doença coronariana
Fraqueza	Aterosclerose da carótida
Dormência das extremidades	Microcirculação anormal
Cãibras	Encefalopatia
Lesões na pele	Cirrose
Dano gastrointestinal	Anemia
Dano renal	Depressão da medula óssea
Dano hepático	Diabetes mellitus
Dano cardiovascular	Distúrbio renais
Dano respiratório	Necrose papilar
Choque	Necrose cortical
Convulsão	Câncer de pele
Coma	Câncer de pulmão
Morte	Câncer de bexiga

Cádmio:

O Cd é um metal encontrado na natureza associado a sulfetos de minérios de zinco, cobre e chumbo (CETESB, 2012). As fontes naturais de cádmio na atmosfera são de origem vulcânica, de erosão de rochas sedimentares e fosfáticas e dos incêndios florestais. TAVARES (2010) informa que esse elemento puro é usado em diversos processos industriais tais como componente de coberturas anticorrosivas, ligas metálicas, componentes metálicos, pigmentos, estabilizantes, na manufatura do PVC e em baterias níquel-cádmio (Ni-Cd). Esse metal ainda pode ser encontrado em fertilizantes agrícolas à base de fosfato, resíduos de fabricação de cimentos e em esgotos industriais.

Determinados sais e complexos de Cd são solúveis e apresentam significativa mobilidade na água, já as formas não solúveis ou adsorvidas ao sedimento apresentam pouca mobilidade (CETESB, 2012).

Esse metal entra no organismo essencialmente por duas vias: a inalatória e a digestiva. Na primeira ocorre essencialmente em ambiente industrial enquanto que pela

segunda acontece através da ingestão de ostras, mariscos, carnes, peixes e frutas (ROCHA, 2009). Esse amplo espectro de alimentos potencialmente contaminados é devido à característica do cádmio de bioacumular e biomagnificar. CETESB (2009) relata que a principal via de exposição para a população não exposta ocupacionalmente ao cádmio e não fumante é oral (fumantes têm exposição maior devido às folhas de tabaco acumularem naturalmente altas quantidades desse elemento).

Para doses baixas, o Cd apenas se acumula nos rins, no entanto, para doses de contaminação elevadas tem sido encontrado em vários órgãos tais como pâncreas, testículos, tireoide, glândulas salivares, coração, entre outros, sendo o córtex renal a região onde o cádmio está mais concentrado. A intoxicação é caracterizada por dano renal com proteinúria, que, se o envenenamento for contínuo, a mesma se torna irreversível. O Cd também tem efeito no sistema nervoso, tendo repercussões no sistema visual, no olfato, ou provocando alterações neurológicas diversas, de acordo com ROCHA (2009). CETESB (2012) também informa que a inalação de fumos ou de material aquecido contendo cádmio pode levar à pneumonite química, traqueobronquite, edema pulmonar e ao câncer.

Chumbo:

O Pb é um metal tóxico, pesado, pobre condutor de eletricidade, possuindo coloração acinzentada quando exposto ao ar (ROCHA, 2009).

ROCHA (2009) informa que o chumbo, apesar de não ser um elemento comum nas águas naturais é facilmente introduzido no meio ambiente por uma série de processos e produtos humanos. A presença desse elemento na água ocorre por deposição atmosférica, lixiviação do solo ou como decorrência das atividades exercidas pelo homem. O chumbo raramente é encontrado na água de torneira, exceto quando os encanamentos são à base de chumbo, ou soldas, acessórios ou outras conexões, segundo CETESB (2009).

O Pb ocorre como contaminante ambiental em consequência da sua ampla aplicação industrial, como na fabricação de baterias, tintas, esmaltes, inseticidas, vidros,

ligas metálicas, entre outros, explica CETESB (2009). Sendo adicionado por FILHO (2011) aplicações na indústria extrativa, petrolífera, cerâmica, gráfica e bélica.

Com relação às quantidades diárias de chumbo introduzidas no organismo humano, correspondem fundamentalmente aos alimentos, água e ar urbano (FILHO, 2011). No Quadro 17 estão listados os sinais e sintomas que podem ocorrer no ser humano e nos animais de acordo com o nível de intoxicação.

Quadro 17: Sinais e sintomas de acordo com o nível de intoxicação. Adaptado de TAVARES (2010).

Efeitos sobre a saúde	Órgãos críticos	Efeitos adversos
Neurológicos	Sistema nervoso central, periférico e autônomo	Encefalopatia aguda e crônica; neuropatia periférica
Hematológicos	Sangue	Anemia
Endócrino	Tecidos ósseos e soro	Prejuízo aos rins e ao desenvolvimento das células, dentes e ossos. Possíveis danos à tireoide
Renais	Rins	Nefropatia e gota saturnínica
Reprodutivos e de desenvolvimento	Sistema reprodutor masculino e feminino	Fertilidade reduzida, grande possibilidade de abortos espontâneos, contagem reduzida de esperma e mobilidade; teratogênico em animais
Carcinogênicos	Rins	Carcinogênico para os animais
Cardiovasculares	Sistema cardiovascular	Provável aumento na pressão sanguínea e lesões cardíacas
Hepático	Fígado	Capacidade funcional reduzida

Cobre:

O Cu é um elemento amplamente distribuído na natureza. Trata-se, no seu estado puro, de um metal dúctil, maleável e de coloração avermelhada, de acordo com CETESB (2012).

Esse metal é abundante na natureza na forma de sulfetos, arsenitos, cloretos e carbonatos, estando naturalmente presente na atmosfera por dispersão pelo vento e erupções vulcânicas. O cobre elementar não se degrada no ambiente. As principais

fontes antropogênicas são: mineração, fundição, queima de carvão como fonte de energia, efluente de estação de tratamento de esgoto e incineração de resíduos municipais (CETESB, 2012).

O Cu é um elemento extremamente útil e tem sido muito empregado em equipamentos e sistemas elétricos, tais como geradores, transformadores, fios, cabos condutores, tubulações, moedas, fogos de artifício, entre outros. Sua vasta utilização deve-se às suas propriedades, por exemplo do cobre metálico, que é excelente condutor elétrico e térmico, flexível, relativamente barato e muito resistente à corrosão (RODRIGUES, *et al.*, 2012). Sendo adicionado por CETESB (2012) que os compostos desse elemento são usados na agricultura, no tratamento da água para controle de algas, na preservação de madeira, couro e tecido e como aditivo em alimentos.

Para os seres vivos, o íon cobre ( $\text{Cu}^{+2}$ ) é um elemento traço essencial, sendo, depois do zinco e do ferro, o metal traço mais abundante em humanos, sendo necessária uma ingestão diária pois ele previne anemia, doenças ósseas, danos celulares, entre outros, sendo atualmente empregado como antitumoral, conforme RODRIGUES, *et al.* (2012). No entanto, grandes doses por ingestão oral de sais de cobre ocasionam vômito, dor abdominal, letargia, anemia hemolítica aguda, dano renal e hepático e, em alguns casos, morte. A ingestão de água contendo altas concentrações do metal pode produzir náusea, vômito, dor abdominal e diarreia (CETESB, 2012). Doses elevadas desse elemento são extremamente nocivas para várias espécies de peixes e, no caso dos microrganismos, é letal, relata CETESB (2009).

Cromo:

O Cr é um metal de transição, duro, pouco tenaz, de coloração cinza semelhante ao aço e é muito resistente à corrosão (SILVA, 2008). Possui diferentes estados de oxidação e os mais comuns são cromo (II), (III) e (VI), também denominados bi, tri e hexavalente, respectivamente. As formas tri e hexavalente são mais estáveis e aparecem na composição de óxidos, sulfatos, cromatos, dicromatos e sais básicos. A forma metálica não é encontrada livre na natureza, mas obtida após o processamento industrial do minério de cromo (CETESB, 2012).

Esse elemento é usado principalmente na fabricação de ligas metálicas e estruturas da construção civil, pois confere resistência à oxidação, ao desgaste e ao atrito. Os compostos de cromo possuem diversos usos industriais, como tratamento de couro (curtume), fabricação de tintas e pigmentos, preservante de madeira e na galvanoplastia (CETESB, 2012).

Os compostos de Cr são encontrados naturalmente em rochas, solo, poeiras, névoas vulcânicas, água, animais e plantas. A maior parte das emissões desse metal para o ambiente é de origem antropogênica, principalmente pelas emissões industriais, como produção da liga ferrocromo, refino de minério e seu tratamento químico (CETESB, 2012). O cromo hexavalente é derivado da oxidação industrial do Cr obtido da mineração e possivelmente da queima de combustíveis fósseis, madeira e papel. É relativamente estável no ar, mas é reduzido ao estado trivalente em contato com a matéria orgânica do solo e da água (CETESB, 2012). É encontrado na decapagem de metais, explosivos, águas de refrigeração, fotografia, cerâmica entre outros, conforme FUNASA (2014).

A população geral pode estar exposta ao cromo por alimentação ou contato com produtos fabricados com o metal. A forma trivalente do metal é um nutriente essencial para o ser humano, atuando na manutenção do metabolismo da glicose, lipídeos e proteínas, e a deficiência do cátion acarreta prejuízo na ação da insulina. A exposição ocupacional ocorre por inalação de ar contaminado com partículas de poeira contendo as formas tri e hexavalente, principalmente em atividades de mineração, soldagem, galvanização e fabricação de cimento. O Cr, especialmente na forma de cromato, é um importante agente causador de dermatites de contato em trabalhadores. Por ser corrosivo, pode causar ulcerações crônicas na pele e perfurações no septo nasal. A ingestão acidental de altas doses de compostos de cromo hexavalente pode causar falência renal aguda caracterizada por perda de proteínas e sangue na urina, conforme relata CETESB (2012).

Em plantas já foram descritos efeitos mutagênicos, inibição de germinação de sementes e crescimento de plântulas (SILVA, 2008). O cromo pode deixar os peixes mais suscetíveis a infecções em decorrência de alterações no sistema imunológico, e as

concentrações elevadas podem danificar e ou se acumular em vários tecidos desses animais (MUNIZ, D. H. F., OLIVEIRA-FILHO E. D., 2006).

Ferro:

O Fe é extraído da natureza sob a forma de minério. É o quarto elemento mais abundante da crosta terrestre e, entre os metais, somente o alumínio é o mais abundante (SILVA, 2008).

Atualmente é utilizado extensivamente na produção de aço, liga metálica para produção de ferramentas, máquinas, veículos de transporte (automóveis, navios, entre outros), como elemento estrutural de pontes, edifícios, e uma infinidade de outras aplicações (SILVA, 2008).

A concentração de ferro nas águas superficiais aumenta nas estações chuvosas devido ao carreamento de solos e erosão das margens. Sendo também elevada devido a atividades antropogênicas, como a metalúrgica (MIZUTORI, 2009). As altas concentrações desse metal são encontradas em situações de ausência de oxigênio dissolvido, como, por exemplo, em águas subterrâneas ou nas camadas mais profundas dos lagos, descreve FUNASA (2014).

Em águas tratadas para abastecimento público, uma concentração elevada de Fe, apesar de não ser tóxico, confere sabor à mesma, mancha roupas e utensílios e propicia desenvolvimento de depósitos de ferro-bactérias, provocando contaminação biológica (MIZUTORI, 2009).

Merúrio:

Esse metal tem como características ser pesado, branco prateado que à temperatura ambiente se comporta como um metal líquido, volátil, oferecendo altos riscos de contaminação para o meio ambiente. Pode ser encontrado sob a forma elementar ou metálica ( $\text{Hg}^0$ ), iônica ( $\text{Hg}^{+1}$  ou  $\text{Hg}^{+2}$ ) ou ainda como organometálico (metil ou dimetilmercúrio, por exemplo), de acordo com CYPRIANO (2009).

A utilização do mercúrio em suas formas elementar, iônica e organometálica ocorre em grande escala e de forma global na indústria e nos serviços de saúde, embora seja considerada uma das substâncias mais tóxicas encontradas na natureza (HOMRICH, B. S., FERNANDES, C. R. P. *et al.*, 2014). O Hg metálico é utilizado na indústria de cloro-álcali, em aparelhos de uso doméstico, clínico e industrial (tem-se como exemplos os termômetros, barômetros e esfigmomanômetros), nas lâmpadas fluorescentes, interruptores elétricos e eletrônicos, nos instrumentos de controle industrial (como termostatos e pressostatos), nas amálgamas de uso odontológico e mineradora. O mercúrio inorgânico é utilizado em biocidas na indústria de papel, tintas e solventes, como reagente químico e nas tintas protetoras de cascos de navio (OLIVEIRA, 2011).

Essas apresentações do mercúrio diferem em suas propriedades físico-químicas e principalmente as toxicológicas. A forma orgânica desse elemento é extremamente tóxica, tanto para a biota quanto para os seres humanos, devido à sua solubilidade lipídica, estabilidade e propriedade iônica que lhe permite atravessar a membrana plasmática. Seu vapor é estável na atmosfera e sua volatilização é lenta à temperatura ambiente, afetando áreas remotas naturais longe de fontes pontuais de contaminação (HOMRICH, B. S., FERNANDES, C. R. P. *et al.*, 2014).

O Hg se destaca dentre os metais pesados por possuir características únicas, devido às suas propriedades químicas e físico-químicas e se diferencia devido ao seu caráter acumulativo, mantendo-se na biota e na cadeia alimentar sob diversas espécies químicas de reatividade diferente, possibilitando assim seu transporte ou migração para áreas adjacentes, relata CYPRIANO (2009).

No Quadro 18 estão listados os sinais e sintomas que podem ocorrer no ser humano de acordo com o nível de intoxicação.

Quadro 18: Sinais e sintomas de acordo com o nível de intoxicação. Adaptado de OLIVEIRA (2011).

Intoxicação aguda	Intoxicação crônica
Aspecto cinza escuro na boca e faringe	Transtornos digestivos
Dor intensa	Transtornos nervosos
Vômitos (podem ser até sanguinolentos)	Estomatite
Sangramento das gengivas	Salivação

Ardência no aparelho digestivo	Inapetência
Estomatite	Anemia
Queda dos dentes ou dentes frouxos	Hipertensão
Diarréia grave ou sanguinolenta	Afrouxamento dos dentes
Nefrose nos rins	Problemas no sistema nervoso central
Problemas hepáticos graves	Transtornos renais leves
Pode causar morte rápida (1 ou 2 dias)	Possibilidade de alteração cromossômica

#### Níquel:

Na sua forma elementar, o Ni é um metal de transição que apresenta as características de dureza e brilho e possui uma cor branco prateado, também possuindo a característica de ser fortemente reativo com o ar ambiente, podendo mesmo espontaneamente inflamar (RIBEIRO, 2013).

Este elemento é natural e muito abundante, na natureza pode ser encontrado no solo, em fumaças vulcânicas, no fundo dos oceanos e, até mesmo, em meteoritos. Além disso, ele pode ser lançado no meio ambiente através dos resíduos gerados pelas indústrias de papel, metais não ferrosos, refinarias de petróleo, usinas siderúrgicas e galvanoplastia (FIGUEIREDO, 2013).

Esse elemento é usado sob sua forma pura para produção de protetores de peças metálicas, devido à sua resistência à oxidação, sendo aplicado principalmente em ligas ferrosas e não-ferrosas para consumo no setor industrial, em material bélico, moedas, na área de transporte, em aeronaves, na área de construção civil e ainda na produção do ímã artificial. O sulfato de níquel é adequado para galvanoplastia e banhos de sais de níquel (niquelagem), conforme informa RUPPENTHAL (2013).

O Ni e seus sais solúveis em água são potencialmente sensibilizadores da pele, podendo causar reações alérgicas, sendo encontrado em, por exemplo, joias, relógios e botões. Acrescentando que esses sais solúveis são cancerígenos para o homem, podendo afetar o pulmão e os tecidos nasais e, devido ao seu potencial de toxicidade, pode ter como efeitos, após inalação, bronquite crônica, asma, redução da capacidade vital e enfisema pulmonar, relata RIBEIRO (2013).

#### Zinco:



O Zn é um dos elementos mais comuns da crosta terrestre, sendo encontrado em praticamente todos os ambientes. É um dos metais mais móveis, superado pelo cádmio e pelo níquel, podendo ser distribuído e redistribuído em todas as frações do solo, informa ASSUNÇÃO (2012). É caracterizado como um metal brilhante, de coloração branco-azulada e de ampla aplicação na indústria e no comércio (FIGUEIREDO, 2013).

Ocorre no solo de maneira natural, como mineral sulfatado, puro e de fontes antropogênicas, como atividades de mineração, resíduos e subprodutos de processos industriais, uso de agroquímicos e fertilizantes (ASSUNÇÃO, 2012).

É um micronutriente essencial para os organismos, por ser um componente estrutural de muitas proteínas, além de ser indispensável para o crescimento de plantas (ASSUNÇÃO, 2012), sendo assim, a deficiência de Zn pode reduzir a produtividade de grãos e debilitar a resistência dos cereais a doenças, causar retardo e redução no crescimento, entre outros danos à flora, explica (ALEXANDRE, *et al.*, 2012), em altas concentrações esse metal é potencialmente tóxico para as plantas, acarretando na diminuição da biomassa, necrose das raízes, inibição do crescimento e até a morte (ALEXANDRE, *et al.*, 2012).

É considerado um elemento essencial para a vida humana pois é componente de inúmeras enzimas e participa de vários processos como por exemplo: divisão celular, expressão genética, transcrição genética, entre outros. Contudo, altas concentrações podem causar danos à saúde humana com enjoos, vômitos e irritação na pele e a exposição a grandes quantidades deste metal por períodos prolongados pode provocar a ocorrência de anemia e esterilidade (FIGUEIREDO, 2013).

## A.2 Parâmetros Físicos

Condutividade elétrica específica:

É uma medida da capacidade de uma solução aquosa de conduzir uma corrente elétrica devido à presença de íons. Conforme menciona FUNASA (2014), quanto maior a concentração iônica da solução, maior é a oportunidade para ação eletrolítica e, portanto, maior a capacidade em conduzir corrente elétrica. Como a condutividade está

relacionada com a presença de íons, pode-se dizer que também está relacionada à quantidade de sólidos dissolvidos.

Essa capacidade depende basicamente da presença de íons, da concentração total e relativa, mobilidade dos íons, valência e medidas de temperatura. Soluções da maior parte dos ácidos, bases e sais inorgânicos são relativamente boas condutoras. Em contrapartida, as moléculas de compostos orgânicos que não dissociam em solução aquosa, em sua maioria, conduzem pouca corrente elétrica (PARRON, L. M., FERNANDES, C. R. P., VIEIRA, 2011).

Como a condutividade elétrica indica a quantidade de sais presentes na água, a sua medição é utilizada atualmente como método para medir a salinidade, esta é um indicativo da intensidade da troca de água de lagoa costeira com a água do mar. A salinidade afeta a capacidade de dissolução do oxigênio atmosférico na água e, como salinidade tem uma relação direta com a condutividade, pode-se dizer que condutividade alta também afeta a dissolução do oxigênio.

Em ambientes naturais a condutividade elétrica específica ocorre entre 10 e 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e em ambientes poluídos por esgotos pode chegar a 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (FUNASA, 2014).

#### Série de Sólidos

Com rigor, toda matéria, com exceção da água contida em líquidos, é classificada como material sólido (SOUSA, 2001). Em saneamento, sólidos na água correspondem a toda matéria que permanece como resíduo após a evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma temperatura pré-estabelecida durante um tempo fixado. Em linhas gerais, as operações de secagem, calcinação e filtração são as que definem as diversas frações de sólidos presentes na água (sólidos totais, em suspensão, dissolvidos, fixos e voláteis) (CETESB, 2009).

Nos estudos de controle de poluição das águas naturais, principalmente nos estudos de caracterização de esgotos sanitários e de efluentes industriais, as determinações dos níveis de concentração das diversas frações de sólidos resultam em um quadro geral da distribuição das partículas com relação ao tamanho (sólidos em

suspensão e dissolvidos) e com relação à natureza (fixos ou minerais e voláteis ou orgânicos). Este quadro constitui uma importante informação preliminar (CETESB, 2009).

Para o recurso hídrico, os sólidos podem causar danos aos peixes e à vida aquática. Eles podem sedimentar no leito dos rios destruindo organismos que fornecem alimentos ou, também, danificar os leitos de desova de peixes. Os sólidos podem reter bactérias e resíduos orgânicos no fundo dos rios, promovendo decomposição anaeróbia (CETESB, 2009). Além disso, SPERLING (2005) menciona que quanto maior a concentração de sólidos, maior a turbidez, acarretando em uma menor penetração de luz, conseqüentemente menor a taxa fotossintética.

Sólidos totais: analiticamente a concentração total de sólidos numa água é definida como a matéria que permanece como resíduo após evaporação de 103 a 105 °C. Os sólidos totais, ou o resíduo após a evaporação, podem ser divididos em sólidos em suspensão e sólidos filtráveis (SOUSA, 2001).

Sólidos dissolvidos: são as partículas de menores dimensões possuindo diâmetro inferior a  $10^{-3}$   $\mu\text{m}$  (SPERLING, 2005), capazes de passar por um papel de filtro de porosidade de 1,2  $\mu\text{m}$  (ABNT, 1989). Os sólidos dissolvidos incluem moléculas orgânicas e inorgânicas que estão em solução na água (SOUSA, 2001).

Sólidos em suspensão: são as partículas de maiores dimensões possuindo um diâmetro superior a 100  $\mu\text{m}$  (SPERLING, 2005) que são retidas pelos filtros de porosidade de 1,2  $\mu\text{m}$  (ABNT, 1989).

Temperatura:

Representa a medição da intensidade de calor (SPERLING, 2005). Também podendo ser expressada como a energia cinética de um corpo, sendo seu gradiente o fenômeno responsável pela transferência de calor em um meio (FUNASA, 2014).

Variações de temperatura são parte do regime climático normal, e corpos de água naturais apresentam variações sazonais e diurnas, bem como estratificação vertical

(CETESB, 2009). Os ambientes aquáticos brasileiros apresentam, em geral, temperaturas na faixa de 20 a 30 °C (FUNASA, 2014).

Sendo a origem do calor natural, a sua transferência é realizada pela radiação, condução e convecção. Quando a origem é antropogênica, o calor provém das águas de torres de resfriamento e despejos industriais (SPERLING, 2005).

A temperatura desempenha um papel crucial no meio aquático, pois, em geral, à medida que aumenta, de 0 a 30 °C, viscosidade, tensão superficial, compressibilidade, calor específico, constante de ionização e calor latente de vapor diminuem, enquanto a condutividade térmica e a pressão de vapor aumentam (CETESB, 2009). Além disso, elevações da temperatura aumentam a taxa das reações químicas, físicas e biológicas, diminuem a solubilidade dos gases e aumentam a sua taxa de transferência (SPERLING, 2005).

Organismos aquáticos possuem limites de tolerância térmica superior e inferior, temperaturas ótimas para crescimento assim como limitações para migração, desova e incubação do ovo (CETESB, 2009). Sem mencionar que com a elevação da transferência dos gases há maior liberação de gases com odores desagradáveis, ocasionando mau cheiro (SPERLING, 2005). Acrescentando que a elevação da temperatura aumenta a taxa de crescimento de organismos aquáticos e aumenta a velocidade de degradação da matéria orgânica, o que pode gerar déficit de OD na coluna d'água.

Turbidez:

É o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessar a água. Esta redução se dá por absorção e espalhamento, uma vez que as partículas que provocam a turbidez nas águas são maiores do que o comprimento de onda da luz branca (CETESB, 2009). A alteração à penetração da luz na água decorre de haver em suspensão as partículas anteriormente mencionadas, sendo essa alteração expressa por meio de unidades de turbidez (também denominadas unidades nefelométricas) (FUNASA, 2014).

A origem natural da turbidez provém das partículas de rocha, argila, silte, algas e outros microrganismos, enquanto que a origem antropogênica advém de despejos domésticos e industriais, microrganismos e erosão (SPERLING, 2005).

A turbidez dos corpos d'água é particularmente alta em regiões com solos erosivos, onde a precipitação pluviométrica pode carrear partículas de argila, silte, areia, fragmentos de rocha e óxidos metálicos do solo. Grande parte das águas de rios brasileiros é naturalmente turva em decorrência das características geológicas das bacias de drenagem, da ocorrência de altos índices pluviométricos e uso de práticas agrícolas, muitas vezes inadequadas, podendo concluir que a erosão das margens juntamente com um mau uso do solo, resultam num grande aumento da turbidez. Este aporte excessivo tem provocado formação de grandes bancos de lodos em rios e alterações no ecossistema aquático, além disso, reduz a fotossíntese da vegetação enraizada submersa e das algas. Esse desenvolvimento reduzido de plantas pode, por sua vez, suprimir a produtividade de peixes, influenciando as comunidades aquáticas. Em lagos e represas, onde a velocidade de escoamento da água é menor, a turbidez pode ser bastante baixa, devido à sedimentação (FUNASA, 2014).

### A.3 Parâmetros químicos

Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO):

A matéria orgânica da água é necessária aos seres heterótrofos, na sua nutrição, e aos autótrofos, como fonte de sais nutrientes e gás carbônico (FUNASA, 2014).

SPERLING (2005) conceitua que DBO é a quantidade de oxigênio requerida para estabilizar, através de processos bioquímicos, a matéria orgânica carbonácea, sendo, portanto, uma indicação indireta do carbono orgânico biodegradável. Também sendo explicada pela CETESB (2009) como a quantidade de oxigênio necessário para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável ou mineralizada, tais como água, gás carbônico, sulfatos, fosfatos, amônia, nitratos, entre outros.

Matéria biodegradável é definida como aquela que pode ser consumida e assimilada como alimento e fonte de energia pela população de microrganismos decompositores do ambiente aquático (ALMEIDA, *et al.*, 2008).

Medir a DBO de um ambiente aquático permite a indicação aproximada da fração biodegradável da água, a indicação da taxa de consumo de oxigênio em função do tempo e a determinação aproximada da quantidade de oxigênio requerido para a estabilização biológica da matéria orgânica presente, segundo SPERLING (2005).

Os maiores aumentos em termos dessa demanda, num corpo d'água, são provocados por despejos de origem predominantemente orgânica, e um elevado valor pode indicar um incremento da microflora presente e interferir no equilíbrio da vida aquática, além de produzir odores e sabores desagradáveis (CETESB, 2009).

A matéria orgânica é responsável pelo principal problema de poluição das águas, que é a redução na concentração de oxigênio dissolvido, acarretando em desequilíbrios ecológicos e, conseqüentemente, podendo causar a extinção dos organismos aeróbios (FUNASA, 2014).

Portanto, a DBO é uma variável de qualidade de água que quantifica a poluição orgânica e cujo efeito é a depressão do oxigênio, que poderá conferir condição anaeróbia ao ecossistema aquático (ALMEIDA, J. R., GUERRA, A. J. T. *et al.*, 2008).

Oxigênio Dissolvido (OD):

O oxigênio dissolvido refere-se ao oxigênio molecular ( $O_2$ ) dissolvido na água (PINTO, 2007).

Todos os organismos vivos estão dependentes, de uma forma ou de outra, do oxigênio para manter a atividade metabólica que produz energia para crescimento e para a reprodução (SOUSA, 2001). Para organismos aeróbios, o oxigênio dissolvido é de vital importância pois é utilizado na respiração, na qual ocorre oxidação de compostos orgânicos gerando energia para formação de ATP, que é a fonte de energia para todas as reações metabólicas (MIZUTORI, 2009).

Nas massas de água, a solubilidade do oxigênio depende de diversos fatores, entre os quais se salientam a pressão atmosférica, a temperatura e a salinidade. À medida que a temperatura e a salinidade aumentam, a solubilidade do oxigênio diminui. A baixa solubilidade do oxigênio na água limita a capacidade de autodepuração das águas naturais, o que torna necessário o tratamento das águas residuais antes da sua descarga nos meios receptores (SOUSA, 2001). A concentração de OD nos cursos d'água também depende das atividades biológicas, das características hidráulicas (existência de corredeiras ou cachoeiras) e, de forma indireta, de interferências antrópicas, como lançamento de efluentes nos corpos receptores (PINTO, 2007).

Uma fonte importante de oxigênio nas águas é a fotossíntese de algas, sendo esta fonte não muito significativa nos trechos de rios a jusante de fortes lançamentos de esgotos. A turbidez e os sólidos dissolvidos dificultam a penetração dos raios solares e apenas poucas espécies resistentes às condições severas de poluição conseguem sobreviver. A contribuição fotossintética de oxigênio só é expressiva após grande parte da atividade bacteriana na decomposição de matéria orgânica ter ocorrido, bem como após terem se desenvolvido também os protozoários que, além de decompositores, consomem bactérias, clarificando as águas e permitindo a penetração da luz (CETESB, 2009).

Uma adequada provisão de oxigênio dissolvido é essencial para a manutenção de processos de autodepuração em sistemas aquáticos. Através da medição da concentração do OD, os efeitos de resíduos oxidáveis sobre águas receptoras e a eficiência do tratamento dos esgotos podem ser avaliados. Os níveis de oxigênio dissolvido também indicam a capacidade de um corpo d'água natural em manter a vida aquática (CETESB, 2009).

As variações dos teores de oxigênio dissolvido são de grande importância, principalmente nos casos de diminuição, que ocorre com o aumento da temperatura, pois esta diminui a solubilidade e aumenta o número de microrganismos consumidores de oxigênio (SOUSA, 2001).

As águas poluídas por esgotos apresentam baixa concentração de oxigênio dissolvido pois o mesmo é consumido no processo de decomposição da matéria

orgânica. As águas eutrofizadas podem apresentar concentrações de oxigênio superiores a 10 mg/L, situação conhecida como supersaturação. Isto ocorre principalmente em lagos e represas em que o excessivo crescimento das algas faz com que durante o dia, devido à fotossíntese, os valores de oxigênio fiquem elevados. Por outro lado, durante a noite não ocorre fotossíntese, e a respiração dos organismos faz com que as concentrações de oxigênio diminuam bastante, podendo causar mortandade de peixes (ANA, 2016).

pH:

O Potencial Hidrogeniônico (pH) representa a concentração de íons hidrogênio  $H^+$ , fornecendo uma indicação sobre a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água. A faixa de pH varia de 0 a 14 (inferior a 7: condições ácidas; superior a 7: condições alcalinas), dependendo da quantidade de sólidos e gases dissolvidos, de acordo com SPERLING (2005). Pode-se dizer, também, que o pH é uma medida da intensidade do caráter ácido de uma solução, sendo dada pela atividade do íon hidrogênio (PINTO, 2007).

O Potencial Hidrogeniônico se altera devido à dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica; quando a origem desses mecanismos é natural. Sendo a fonte antrópica, o pH varia devido a despejos domésticos e industriais (SPERLING, 2005).

A importância do monitoramento do Potencial Hidrogeniônico é devido ao fato que valores afastados da neutralidade podem afetar a vida aquática, a taxa de crescimento dos microrganismos e ser indicativo da presença de efluentes industriais. Quando o valor é elevado pode estar associado à proliferação de algas enquanto que a variação influencia o equilíbrio de compostos químicos. Já em termos de saúde pública, não há grande implicação, a menos que os valores sejam extremamente baixos ou elevados (SPERLING, 2005). FUNASA (2014) informa que em águas de abastecimento, baixos valores de pH podem contribuir para sua corrosividade e agressividade, enquanto que valores elevados aumentam a possibilidade de incrustações. Ressalta, também, que o valor do pH influi na distribuição das formas livre e ionizada de diversos compostos



químicos, além de contribuir para um maior ou menor grau de solubilidade das substâncias e de definir o potencial de toxicidade de vários elementos.

Série Fosforada:

O fósforo é essencial para o crescimento dos organismos, podendo ser o nutriente que limita a produtividade de um corpo d'água (PARRON, L. M., FERNANDES, C. R. P., VIEIRA, 2011).

O fósforo aparece em águas naturais devido, principalmente, às descargas de esgotos sanitários. A matéria orgânica fecal e os detergentes em pó empregados em larga escala domesticamente, constituem a principal fonte. Alguns efluentes industriais como os de indústria de fertilizantes, pesticidas, químicas em geral, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios, apresentam fósforo em quantidade excessiva (CETESB, 2009).

O fósforo se apresenta principalmente nas formas de ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico. Os ortofosfatos, exemplo o  $\text{PO}_4^{-3}$ ,  $\text{HPO}_4^{-2}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , são diretamente disponíveis para o metabolismo biológico, não havendo necessidade de conversões a formas mais simples. Os polifosfatos são moléculas mais complexas com dois ou mais átomos de fósforo (SPERLING, 2005), não sendo de muita importância nos estudos de controle de qualidade das águas porque sofrem hidrólise, convertendo-se rapidamente em ortofosfatos nas águas naturais. Os fosfatos orgânicos são a forma em que o fósforo compõe moléculas orgânicas, como, por exemplo, a de um detergente (CETESB, 2009).

Conforme mencionado anteriormente, o fósforo é um dos principais nutrientes para os processos biológicos sendo também demandado em grandes quantidades pelas células, devido a isso, é um dos chamados macro nutrientes (CETESB, 2009). No entanto a descarga de fosfatos provenientes de esgoto bruto ou tratado, drenagem agrícola ou de determinados resíduos industriais podem estimular o crescimento de micro e macro organismos aquáticos fotossintéticos em grandes quantidades, desencadeando processos de eutrofização (PARRON, L. M., FERNANDES, C. R. P., VIEIRA, 2011).

## Série Nitrogenada:

Os compostos nitrogenados são indispensáveis para o crescimento de vegetais e organismos em geral, pois são utilizados para síntese de aminoácidos (PEREIRA, 2004).

No meio aquático, o elemento químico nitrogênio pode ser encontrado sob as formas de nitrogênio molecular ( $N_2$ ), gás biologicamente não utilizável pela maioria dos seres vivos; nitrogênio orgânico, constituído por nitrogênio na forma dissolvida (compostos nitrogenados orgânicos) ou particulada (biomassa de organismos); íon amônio ( $NH_4^+$ ), forma reduzida do nitrogênio, sendo encontrado em condições de anaerobiose; íon nitrito ( $NO_2^-$ ), forma intermediária do processo de oxidação, apresentando uma forte instabilidade no meio aquoso; íon nitrato ( $NO_3^-$ ), forma oxidada de nitrogênio, encontrado em condições de anaerobiose (FUNASA, 2014).

A determinação do Nitrogênio total, que é o nitrogênio orgânico juntamente com a amônia, é comumente verificada em laboratório pelo método Kjeldahl. O resultado dessa soma pelo referido método é conhecido como Nitrogênio Kjeldahl.

A origem natural do nitrogênio é daquele encontrado na composição celular de microrganismos, nos constituintes de proteínas e vários outros compostos biológicos. Sendo a origem antrópica, provém de despejos domésticos e industriais, excremento de animais e fertilizantes (SPERLING, 2005).

A maior parte do nitrogênio é absorvida pelas plantas na forma inorgânica, como amônio ( $NH_4^+$ ) e, principalmente, nitrato (PARRON, L. M., FERNANDES, C. R. P., VIEIRA, 2011). O ciclo do nitrogênio conta com a intensa participação de bactérias, tanto no processo de nitrificação (oxidação bacteriana do amônio a nitrito e deste a nitrato), quanto no de desnitrificação (redução bacteriana do nitrato ao gás nitrogênio). O nitrogênio é um dos mais importantes nutrientes para o crescimento de algas macrófitas (plantas aquáticas superiores), sendo facilmente assimilável nas formas de amônio e nitrato. Em condições fortemente alcalinas, ocorre o predomínio da amônia livre (ou não ionizável), que é bastante tóxica a vários organismos aquáticos (FUNASA, 2014). Quantidades excessivas de nitrato em águas de abastecimento podem causar a

metahemoglobinemia (síndrome do bebê azul), que pode acometer crianças de até três meses de idade (PEREIRA, 2004).

Em um corpo d'água, a determinação da forma predominante do nitrogênio pode fornecer informações sobre o estágio da poluição pois, poluição recente está associada ao nitrogênio na forma orgânica ou de amônia, enquanto poluição mais remota está associada ao nitrogênio na forma de nitrato (SPERLING, 2005).

#### A.4 Parâmetros Biológicos e Microbiológicos

Cianobactérias e Cianotoxinas:

Cianobactérias são organismos procarióticos, aeróbios, fotoautotróficos, possuem distribuição cosmopolita, elevado número de espécies tóxicas e são capazes de formar florações (JARDIM, 2011). Sendo ressaltando por GENUÁRIO (2010), que seu aparato fotossintético é similar ao das plantas e algas, onde a água é o agente redutor e o oxigênio é o elemento liberado. Além da capacidade de redução do dióxido de carbono pelo processo da fotossíntese, algumas espécies de cianobactérias podem realizar a fixação biológica do nitrogênio molecular, contribuindo para a fertilidade dos solos e águas.

Em condições naturais as cianobactérias convivem de forma equilibrada com os demais grupos de organismos aquáticos, porém o aumento da carga de nutrientes no sistema pode resultar em um crescente aumento da dominância das cianobactérias. Dessa forma, associadas aos parâmetros físicos e químicos da água, tais seres passam a atuar como indicadoras de poluição do ambiente aquático (JARDIM, 2011).

A distribuição e a proliferação desses microrganismos são comumente influenciadas por diversos fatores, tais como concentração de nutrientes, relação estequiométrica entre as concentrações de nitrogênio/fósforo, intensidade de luz, temperatura, concentração de oxigênio dissolvido, pH e estabilidade da coluna d'água, podendo estes parâmetros agirem sinergicamente. Desta forma, as florações de cianobactérias são o resultado da interação de fatores físicos, químicos e biológicos, caracterizadas por um crescimento explosivo, que podem causar gosto e odor

desagradáveis na água, além de alterar o equilíbrio ecológico do ecossistema aquático, conforme informa JARDIM (2011).

A principal preocupação com o aumento da ocorrência de florações de cianobactérias em ambientes aquáticos é a capacidade que estes microrganismos têm de produzir e liberar toxinas para a água (SILVA, 2009). Quando ocorre um intenso crescimento das cianobactérias, danos diretos podem ocorrer ao meio aquático (bióticos e abióticos) e à saúde pública pela bioacumulação de toxinas nos organismos e pela perda das qualidades estéticas do ecossistema aquático, além de causarem mudança na coloração da água. De modo geral, todas as cianobactérias são consideradas potencialmente tóxicas e podem causar sérias implicações na saúde pública, inclusive representando risco potencial à biota aquática pela biomagnificação através da cadeia trófica (SAMPAIO, 2008).

As toxinas produzidas pelas cianobactérias, conhecidas como cianotoxinas, são altamente solúveis em meio aquoso. Essas toxinas são classificadas como endotoxinas e somente são liberadas para o ambiente quando ocorrem mudanças na permeabilidade da parede celular ou através da morte (lise) das células. As toxinas então são liberadas na água podendo ser transferidas para a cadeia biológica, de acordo com SAMPAIO (2008).

Essas substâncias químicas podem afetar a saúde humana, tanto pela ingestão de água, como por contato em atividades de recreação. As cianotoxinas são classificadas por sua ação sobre determinados tecidos-órgãos alvos e não pela sua composição química. Estas substâncias são agrupadas, de modo geral, como: neurotóxicas, dermatóxicas e hepatotóxicas (SILVA, 2009). Conforme nos informa SAMPAIO (2008), as neurotoxinas podem causar náuseas, vômitos, taquicardia, convulsões, parada respiratória e até a morte. As hepatotoxinas causam danos em células renais, pulmonares e cardíacas, podem ocasionar graves disfunções no fígado, estômago e intestino. As dermatotoxinas provocam alergias e irritações na pele.

Devido à essa característica de toxicidade, o controle de cianobactérias em mananciais torna-se medida fundamental. Assim, a Portaria MS 2914/2011 estabelece que os responsáveis por estações de tratamento de água para abastecimento público

devem realizar o monitoramento de cianobactérias e o controle das cianotoxinas nos mananciais. A partir de 2005, o Ministério do Meio Ambiente, por meio da Resolução CONAMA 357/2005, também exigiu o monitoramento das células desses microrganismos para enquadramento e classificação das águas (FUNASA, 2014).

Coliformes Termotolerantes:

Os coliformes termotolerantes, por si só, não apresentam um perigo à saúde, mas indicam presença de outros organismos patogênicos (Mizutori, 2009).

São definidos como microrganismos do grupo coliforme capazes de fermentar a lactose a 44 °C, sendo representados principalmente pela bactéria *Escherichia coli* e, também por algumas bactérias dos gêneros *Klebsiella*, *Enterobacter* e *Citrobacter*. Dentre esses microrganismos, somente a *E. coli* é de origem exclusivamente fecal, estando sempre presente em densidades elevadas nas fezes de humanos, mamíferos e pássaros, sendo raramente encontrada na água ou solo que não tenha recebido contaminação fecal (CETESB, 2009).

Os coliformes de origem fecal não se multiplicam facilmente no ambiente externo e são capazes de sobreviver de modo semelhante às bactérias patogênicas (SCURACCHIO, 2010).

De acordo com CETESB (2009), os coliformes termotolerantes não são indicadores de contaminação fecal tão eficientes quanto a *E. coli*, devido à presença de bactérias de origem não fecal dentro desse grupo, mas seu uso é aceitável para avaliação da qualidade da água.

O despejo de esgoto *in natura* nos sistemas aquáticos provoca vários tipos de poluição, sendo uma das principais alterações causadas pelo aumento dos níveis de coliformes termotolerantes. Esse aumento do número de microrganismo gera vários impactos no meio aquático como depressão dos níveis de oxigênio, superconcentração de micropoluentes e presença de bactérias e patógenos, conceitua MIZUTORI (2009).

Algumas cepas patogênicas da *E. coli* com endotoxinas potentes podem causar diarreias moderadas a severas, colite hemorrágica grave e a síndrome hemolítica urêmica em todos os grupos etários, podendo levar à morte (SCURACCHIO, 2010).

## ANEXO B

Figuras sobre as concentrações encontradas em cada parâmetro abordado nesse trabalho.

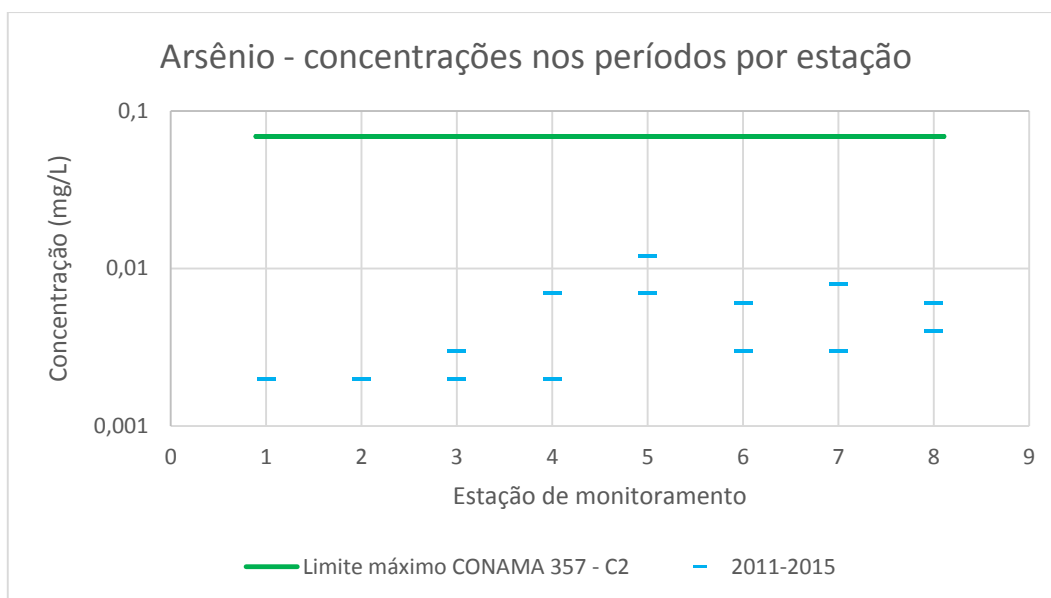


Figura 39: Concentrações do arsênio por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.

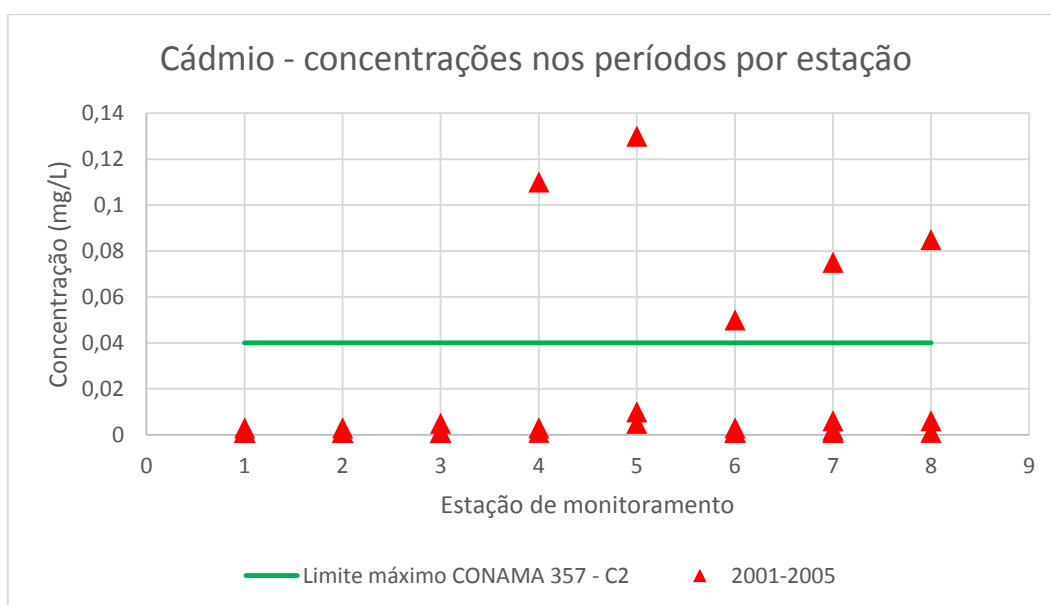


Figura 40: Concentrações do cádmio por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.

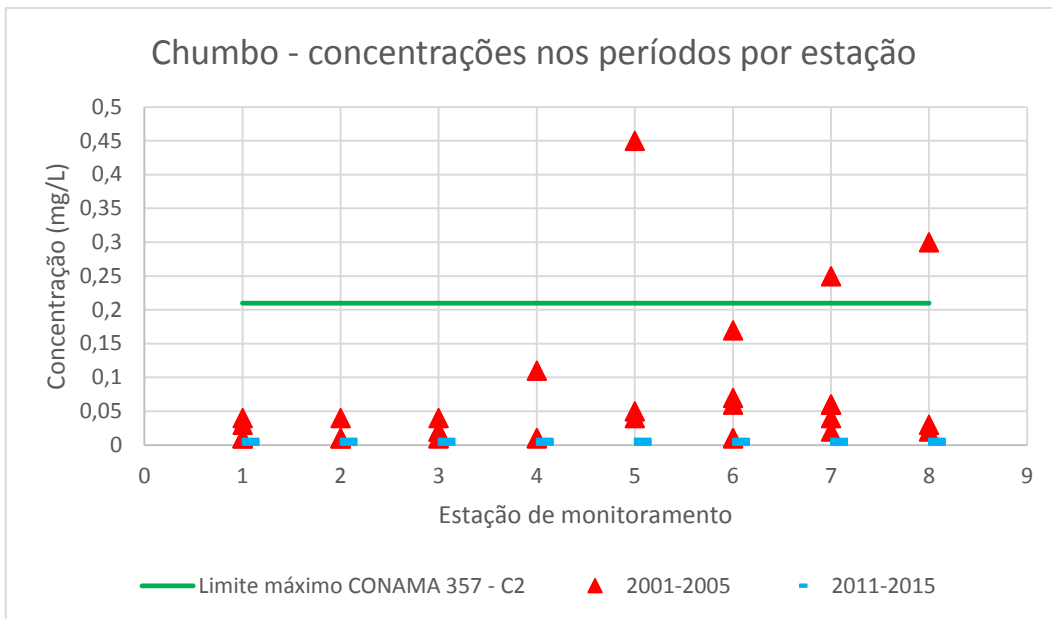


Figura 41 Concentrações do chumbo por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.

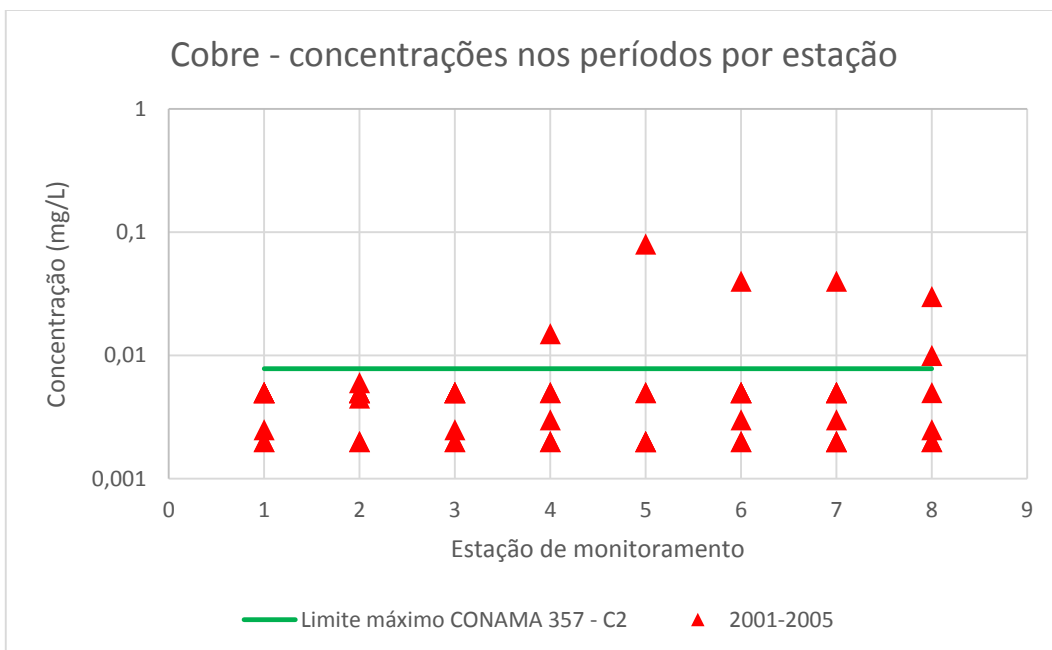


Figura 42: Concentrações do cobre por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.



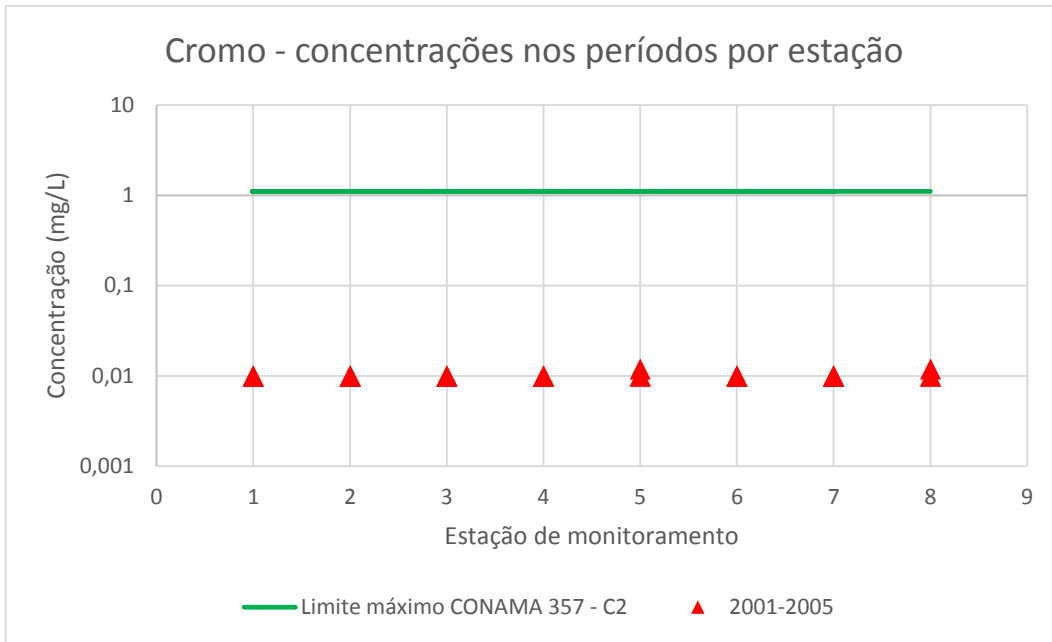


Figura 43: Concentrações do cromo por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.

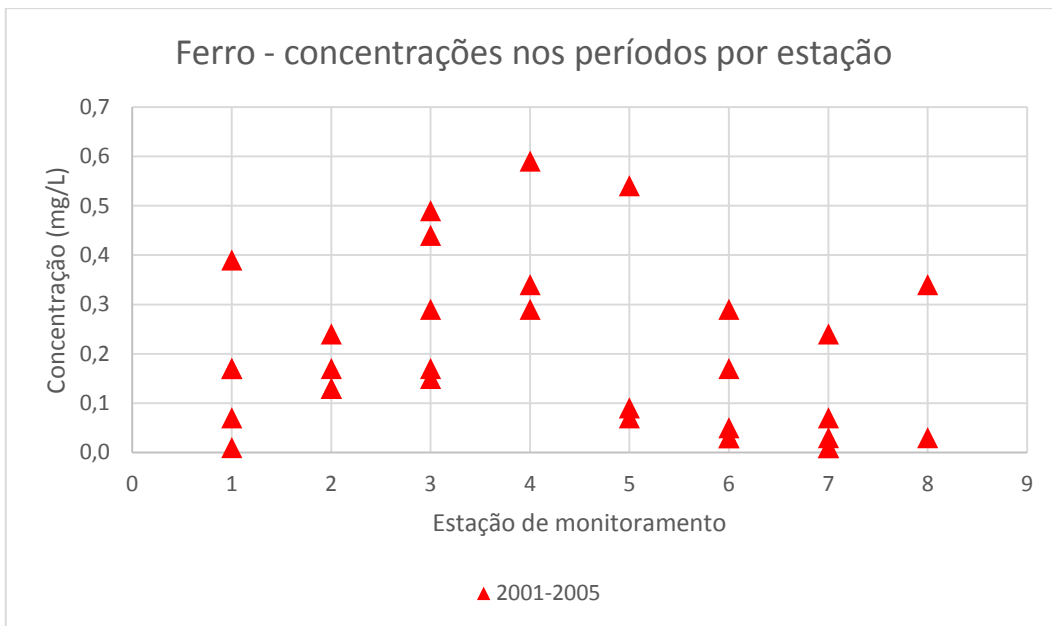


Figura 44: Concentrações do ferro por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.

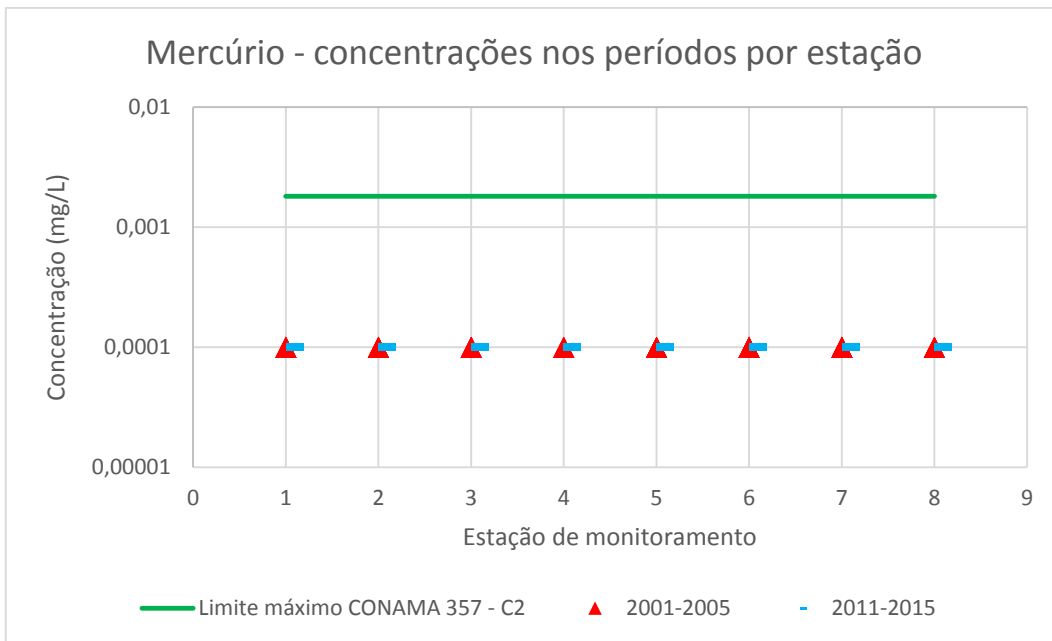


Figura 45: Concentrações do mercúrio por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.

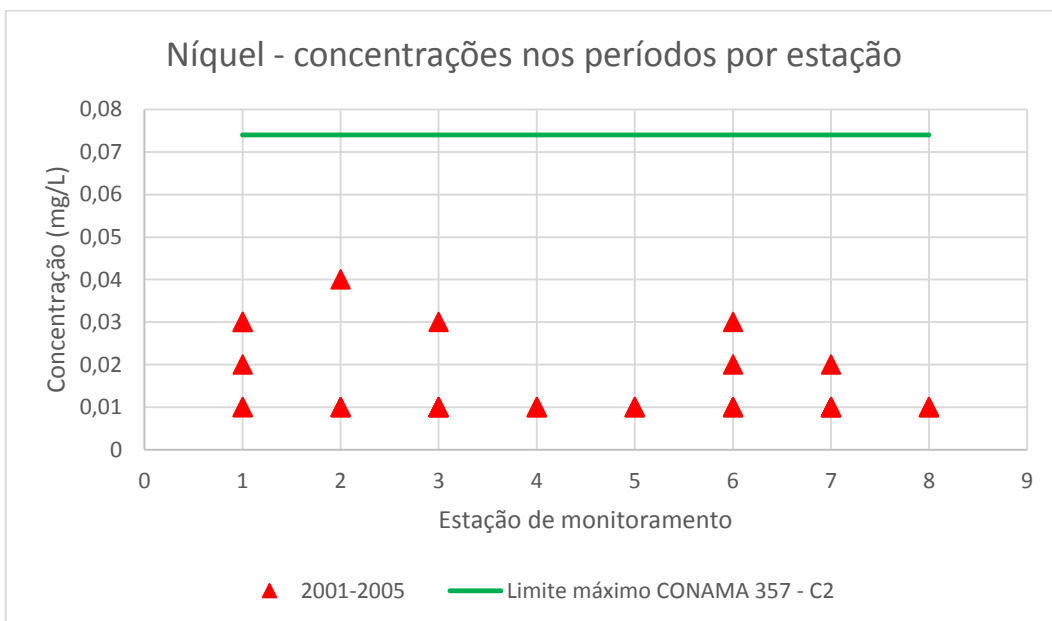


Figura 46: Concentrações de níquel por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.

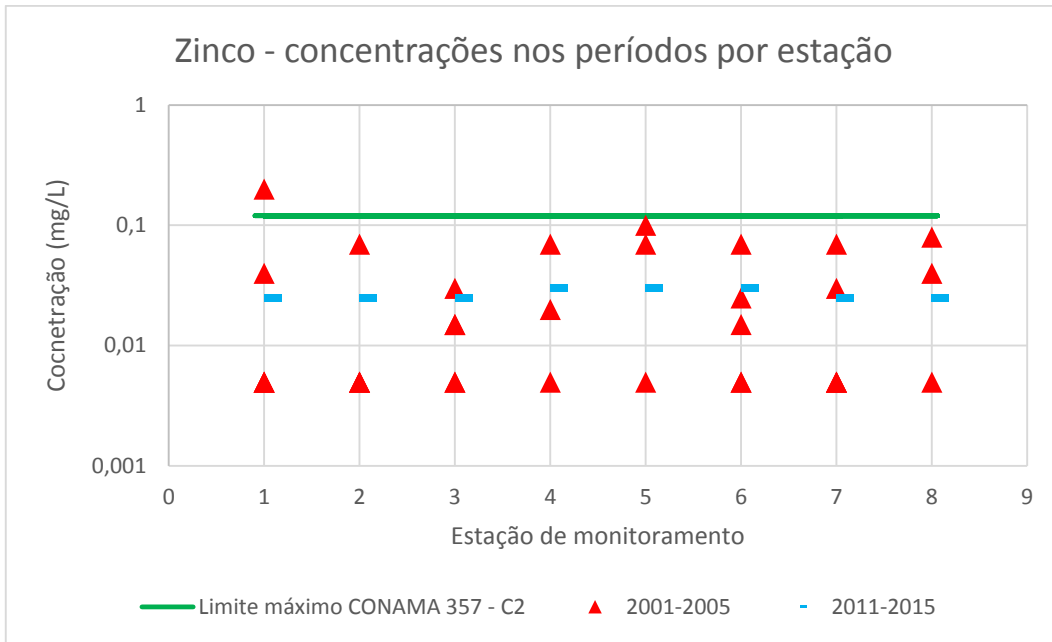


Figura 47: Concentrações de zinco por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.

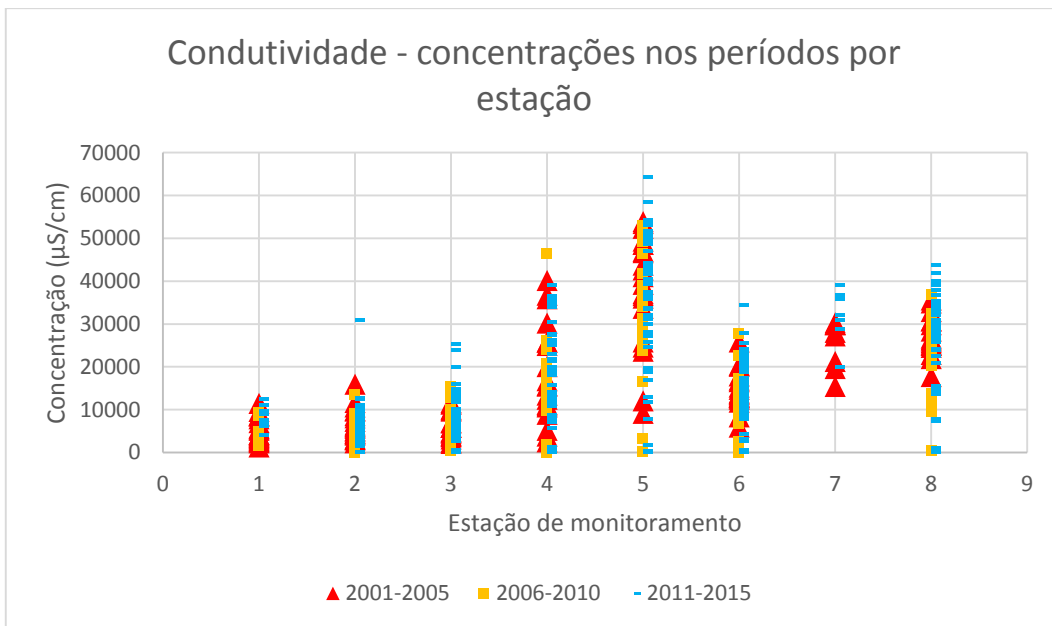


Figura 48: Medidas de condutividade elétrica por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.

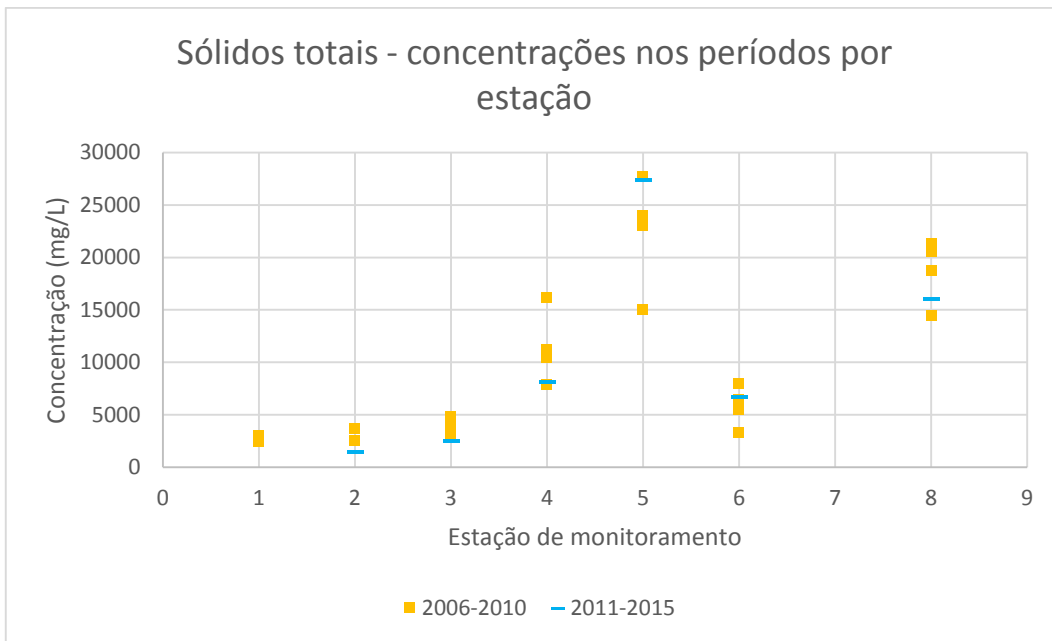


Figura 49: Concentrações do sólido total por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.

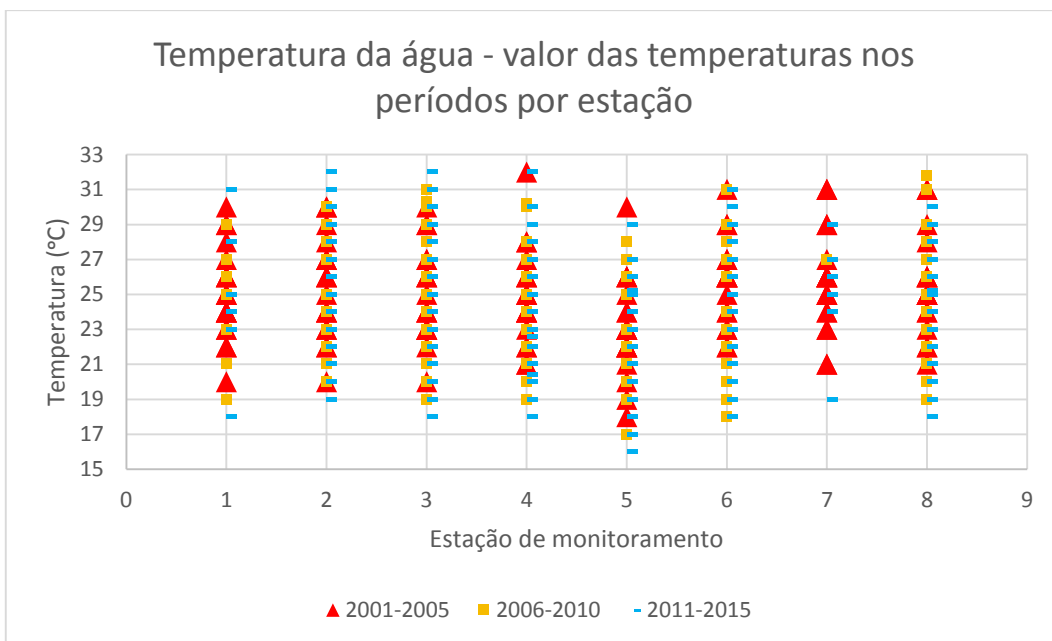


Figura 50: Valores de temperatura por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.

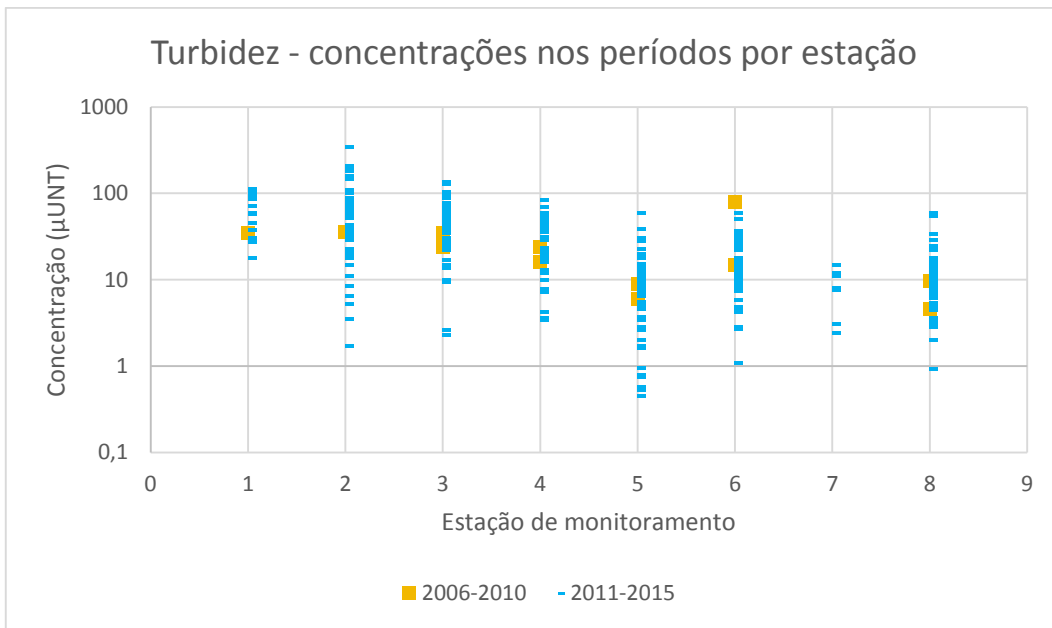


Figura 51: Concentrações da turbidez por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.

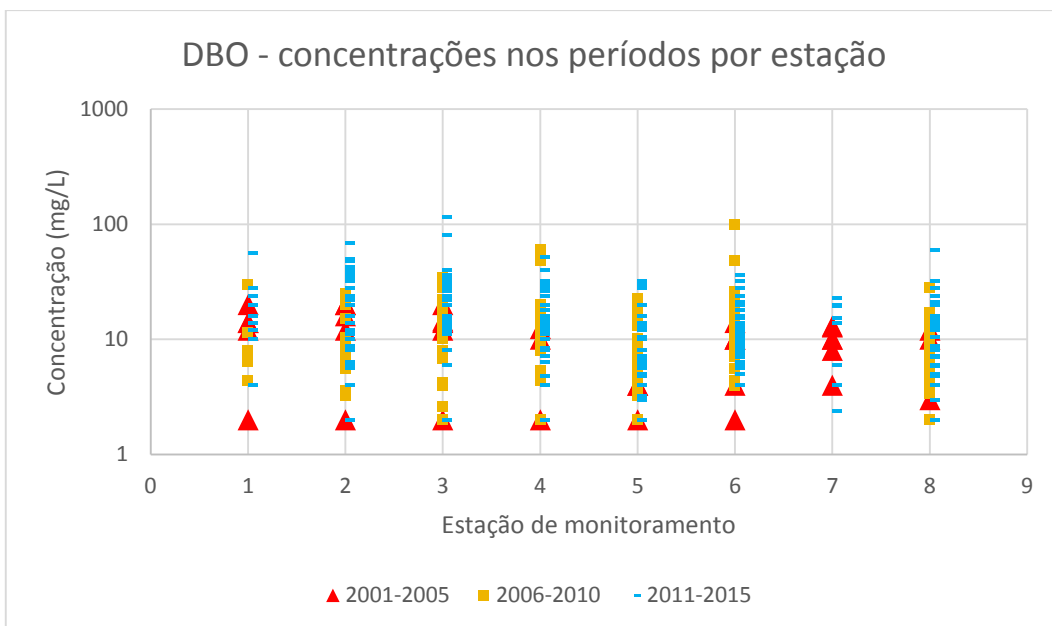


Figura 52: Concentrações da DBO por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.

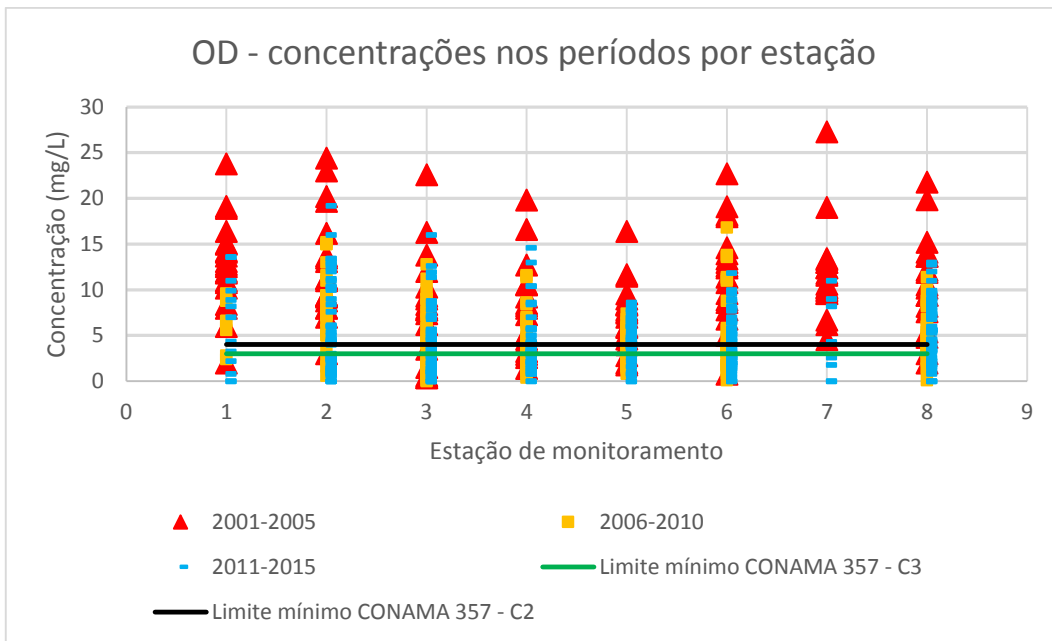


Figura 53: Concentrações do OD por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.

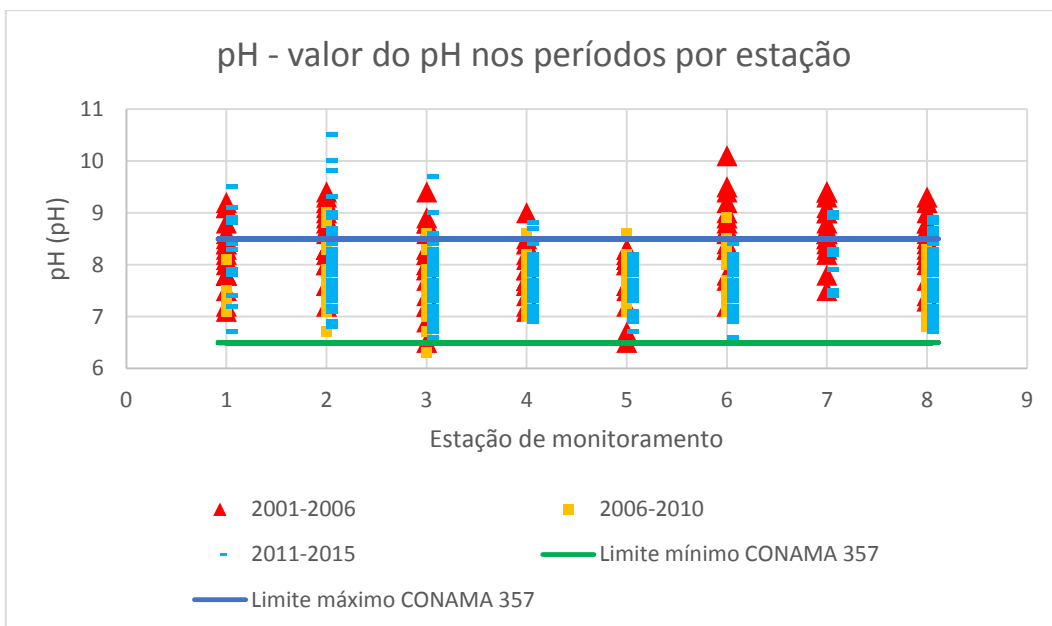


Figura 54: Valores do pH por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.

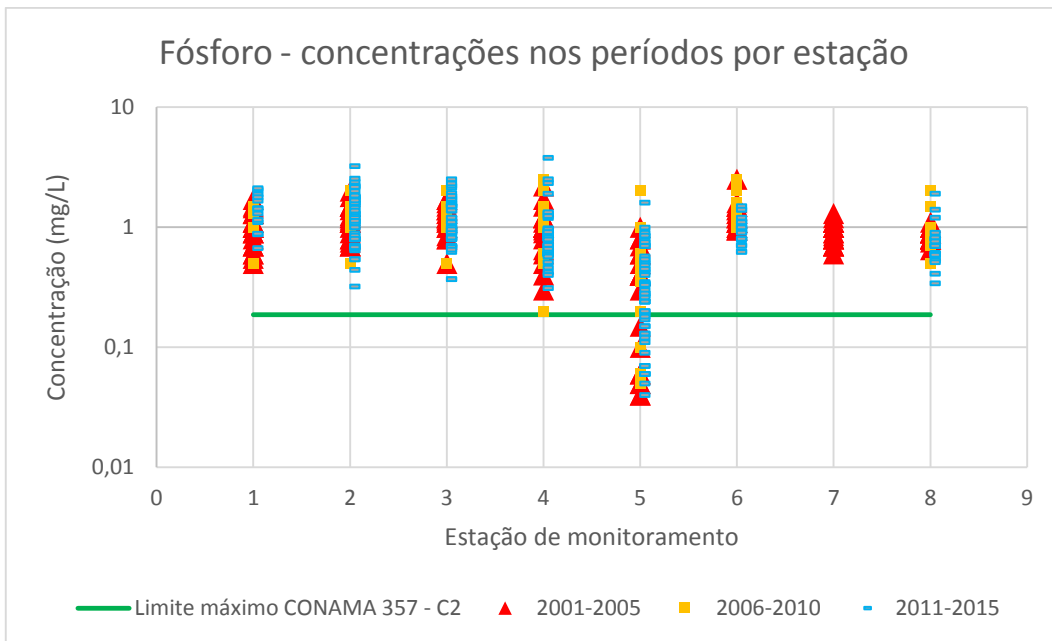


Figura 55: Concentrações do fósforo por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.

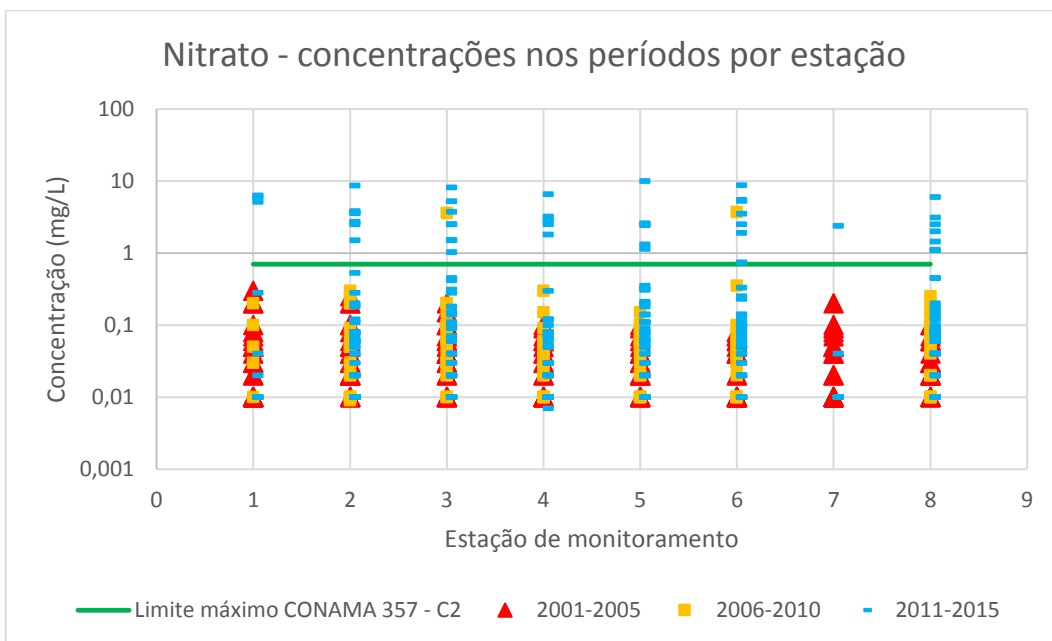


Figura 56: Concentrações do nitrato por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.

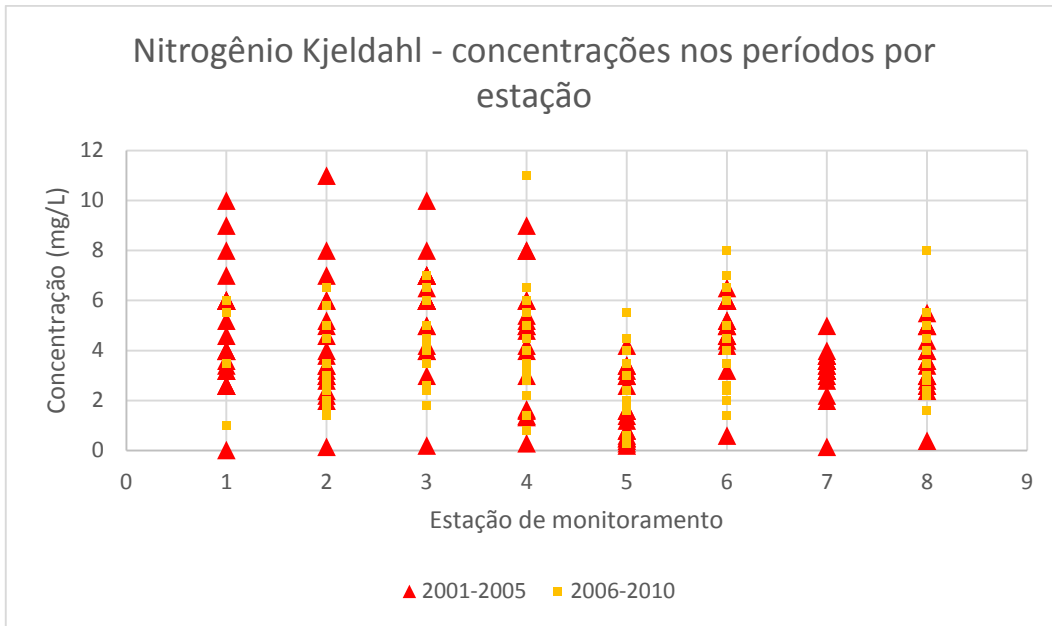


Figura 57: Concentrações do nitrogênio Kjeldahl por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.

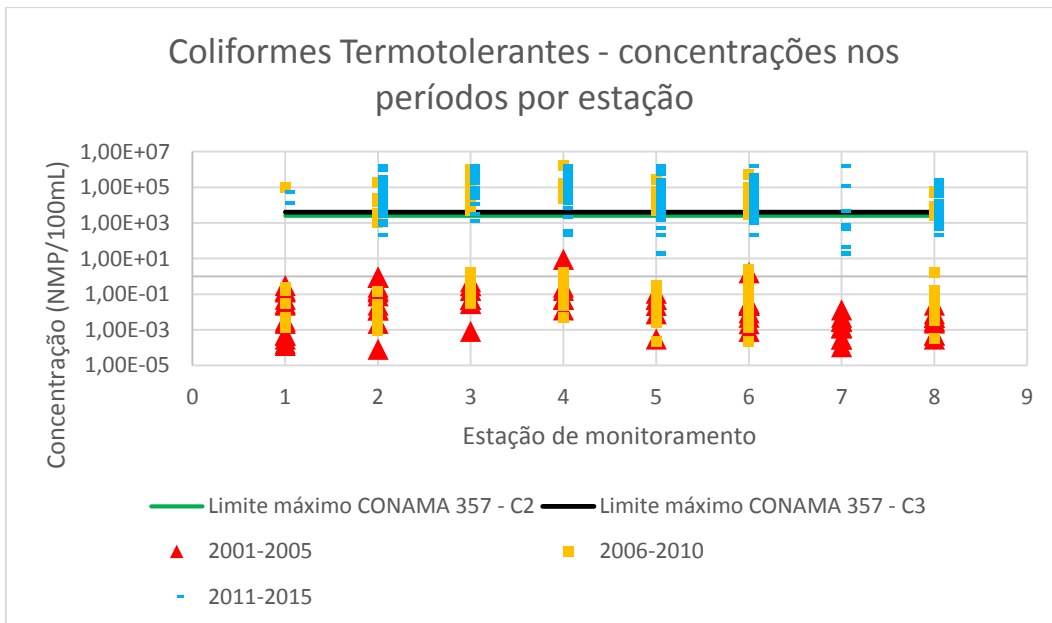


Figura 58: Concentrações dos coliformes termotolerantes por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.



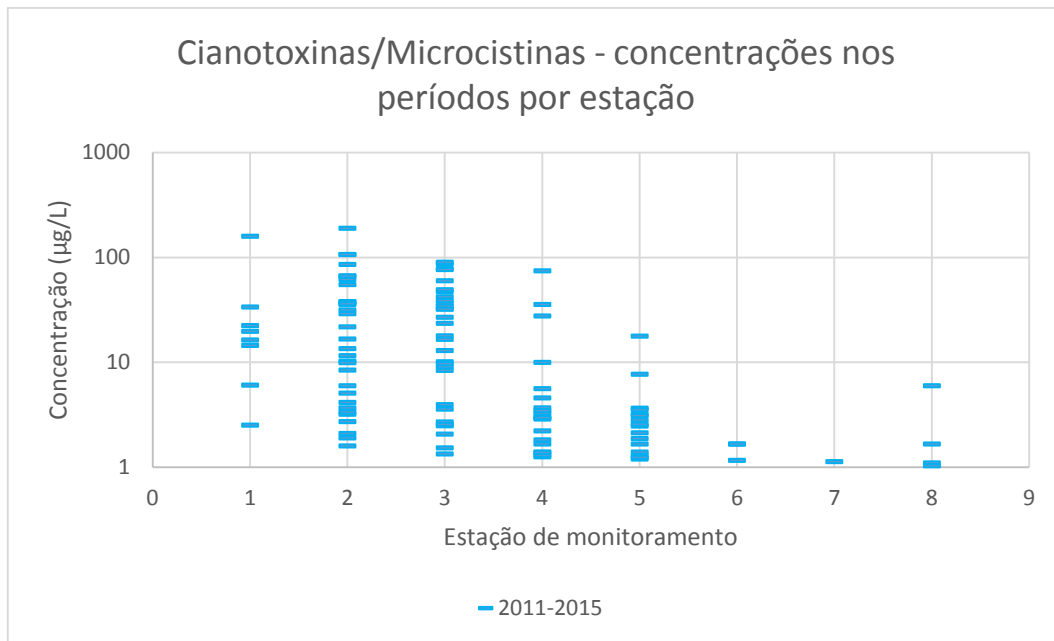


Figura 59: Concentrações das cianotoxinas/microcistinas por estação de monitoramento nos diferentes períodos. Autoria própria.