



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
PROGRAMA REGIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE**



JOÃO CARLOS DE MIRANDA E SILVA

**ESTUDO COMPARATIVO DA QUALIDADE DA ÁGUA DOS RESERVATÓRIOS
FLUVIAIS DE MARÉS E GRAMAME-MAMUABA NA PARAÍBA**

João Pessoa
2018

JOÃO CARLOS DE MIRANDA E SILVA

**ESTUDO COMPARATIVO DA QUALIDADE DA ÁGUA DOS RESERVATÓRIOS
FLUVIAIS DE MARÉS E GRAMAME-MAMUABA NA PARAÍBA**

Dissertação apresentada ao Programa de Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA, da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientador: Dr. Williame Farias Ribeiro
Coorientadora: Dra. Maria Cristina Basílio Crispim

João Pessoa
2018

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S586e Silva, João Carlos de Miranda e.

Estudo Comparativo da Qualidade da Água dos Reservatórios Fluviais de Marés e Gramame-Mamuaba na Paraíba / João Carlos de Miranda e Silva. - João Pessoa, 2018.

95 f. : il.

Orientação: Williame Farias Ribeiro.

Coorientação: Maria Cristina Basílio Crispim.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCEN.

1. Reservatórios Fluviais. 2. Marés. 3. Gramame-Mamuaba. 4. Qualidade de Água. I. Ribeiro, Williame Farias. II. Crispim, Maria Cristina Basílio. III. Título.

UFPB/BC

JOÃO CARLOS DE MIRANDA E SILVA

ESTUDO COMPARATIVO DA QUALIDADE DA ÁGUA DOS RESERVATÓRIOS
FLUVIAIS DE MARÉS E GRAMAME-MAMUABA NA PARAÍBA

Aprovada em: 13 / 04 / 2018

Banca examinadora:




Prof. Dr. Willame Farias Ribeiro - PRODEMA /UFPB
Orientador

Prof. Dra. Maria Cristina Basílio Crispim - PRODEMA/UFPB
Coorientadora



Prof. Dr. Tarciso Cabral da Silva – PRODEMA/UFPB
Membro interno



Prof. Dra. Cristiane Francisca da Costa Sassi - CCEN/UFPB
Membro externo

Para os meus pais (*in memoriam*) João Alves e Maria do Socorro,
e meus filhos João Francisco e Maria Clara.

Agradecimentos

A Deus pelo dom da vida, a coragem para trabalhar e a oportunidade de ser pai de duas crianças maravilhosas.

Pela compreensão e o tempo ausente para a conclusão deste trabalho, meus mais profundos agradecimentos a minha esposa Monike Monteiro e aos meus filhos João Francisco e Maria Clara.

Pelo incentivo e insistência para que todos os seus filhos tivessem uma boa educação, agradeço a minha mainha Raquel de Lourdes de Miranda, aos meus irmãos Pablo Gomes e Marina Isabel, também pelo incentivo e companheirismo fraterno de sempre.

À Universidade Federal da Paraíba e ao Programa de Desenvolvimento e Meio Ambiente, pela oportunidade de concluir esse trabalho, cumprindo mais uma etapa na minha vida acadêmica.

Ao orientador Professor Dr. Williame Farias Ribeiro e a Coorientadora Professora Dra. Maria Cristina Basílio Crispim, pelo aceite da orientação e suas infinitas contribuições nesse trabalho, também pelo incentivo e paciência.

Aos professores e ex-professores do PRODEMA, em especial, as professoras Dra. Cristiane Francisca da Costa e Dra. Nathaly Albuquerque, também ao professor Dr. Tarciso Cabral.

A todos os amigos companheiros de turma do PRODEMA, e aos amigos Gilson Melo, Lauro Santos Filho e Ronilson da Paz, por dentre outras tantas contribuições, incentivarem para a realização dessa pós-graduação.

Aos companheiros da SUDEMA, em especial a equipe da Coordenadoria de Medições Ambientais - CMA: Samara Galvão, José Marcelino, Fátima Menezes e Joel Paulo. Também, a todos os que passaram por lá como voluntários, estagiários e bolsistas FAPESQ, a Diretora Técnica Cristiana Lima Cavalcanti e ao Superintendente João Vicente Machado Sobrinho, por sempre confiarem em meu trabalho.

Por fim, o meu reiterado agradecimento a todos aqueles que de forma direta ou indireta, mesmo aqui não citados nominalmente, contribuíram para a conclusão deste trabalho.

*Os gráficos nem sempre são o que parecem.
Pode haver mais neles do que aparentam
e pode haver muito menos.*

(Darryll Huff, Como mentir com estatísticas, 1954)

RESUMO

Os reservatórios de Marés e Gramame-Mamuaba são os mais importantes mananciais que abastecem João Pessoa e região metropolitana, além do abastecimento humano outros usos podem embora que assegurados legalmente (Lei nº 9.433/97), apresentar um risco potencial para a qualidade da água. O presente trabalho tem como objetivo realizar um comparativo entre a qualidade da água dos dois reservatórios, para isso, foram realizados levantamento em campo da situação dos mananciais, análise dos dados de monitoramento da qualidade da água realizado pela Superintendência de Administração do Meio Ambiente (SUDEMA), além de pesquisa em material publicado. Com referência aos dados de monitoramento, a primeira série analisada (2005-2008) foram avaliados 8 parâmetros físico-químicos (Temperatura, Cor, pH, Turbidez, Condutividade Elétrica, Oxigênio Dissolvido, Demanda Bioquímica de Oxigênio) e microbiológico (Coliformes Termotolerantes), com as amostragens mensais foi possível realizar inferências sobre as médias mensais e as diferenças entre os períodos sazonais (de maior e menor pluviosidade), além de verificar os limites legais quanto a legislação pertinente. E em um segundo período (2007-2017), quando houveram mudanças na metodologia da SUDEMA, como a amostragem passando a ser semestral, além de outras medições como: Resíduo total, Nitrogênio e Fósforo Total, compilando-os através do Índice de Qualidade das Águas (IQA). Os resultados apontaram variações mensais semelhante na primeira série de dados para os parâmetros de temperatura, Cor, pH, OD e Coliformes, já entre os períodos sazonais a semelhança estão presentes na temperatura, Cor, OD, DBO₅ e Coliformes. No mesmo período, foram constatadas não conformidades para Cor, OD, DBO₅ e para Coliformes Termotolerantes. O IQA apresentou a qualificação boa presente na maior parte do período monitorado para os dois reservatórios, por outro lado, dos parâmetros que compõem o IQA a Turbidez apresentou uma tendência negativa, enquanto o Fósforo Total e os Coliformes Termotolerantes apresentaram uma preocupante tendência positiva. Em Marés constatou-se uma maior quantidade de não conformidades com relação a legislação e com valores de IQA menores, os parâmetros físico-químicos também apresentaram maior variação. Outra constatação foram os inúmeros problemas encontrados no entorno dos reservatórios que podem apresentar risco de degradação da qualidade da água.

Palavras chave: Reservatórios Fluviais, Marés, Gramame-Mamuaba, Qualidade da água.

ABSTRACT

The Reservoirs of Marés and Gramame-Mamuaba are the most important water sources that supply João Pessoa and the metropolitan region. In addition to human supply, other uses may, although legally assured (Law N°. 9,433/97), present a potential risk to water quality. The present work aims to make a comparison between the water quality of the two reservoirs, for that, a field survey of the situation of the springs was carried out, analysis of the water quality monitoring data carried out by the Environmental Administration Superintendence (SUDEMA), as well as research on published material. With reference to monitoring data, the first series analyzed (2005-2008) evaluated 8 physicochemical parameters (Temperature, Color, pH, Turbidity, Electrical Conductivity, Dissolved Oxygen, Biochemical Oxygen Demand) and Microbiological (Thermotolerant Coliforms), With the monthly sampling it was possible to make inferences about the monthly averages and the differences between the seasonal periods (of higher and lower rainfall), besides verifying the legal limits as to the pertinent legislation. And in a second period (2007-2017), when there were changes in the methodology of SUDEMA, such as sampling to be semiannual, and other measurements such as: Total Residue, Nitrogen and Total Phosphorus, compiling them through the Quality Index of the SUDEMA. Waters (IQA). The results showed similar monthly variations in the first data series for temperature, Color, pH, OD and Coliform parameters, but between seasonal periods the similarity is present in temperature, color, OD, BOD and coliforms. In the same period, nonconformities were found for Color, OD, BOD and Thermotolerant Coliforms. The IQA presented the good qualification present in most of the monitored period for both reservoirs, on the other hand, the parameters that compose the IQA Turbidity presented a negative trend, while the Total Phosphorus and Thermotolerant Coliforms showed a worrying positive trend. In Marés it was found a greater number of non-conformities with the legislation and with lower WQI values, the physical-chemical parameters also showed greater variation. Another finding was the numerous problems found around the reservoirs that may present a risk of water quality degradation.

Key words: River Reservoirs, Marés, Gramame-Mamuaba, Water quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráficos de qualidade para cada parâmetro contidos no IQA.....	40
Figura 2 - Mapa da bacia de Marés, no qual podem ser observados os limites geográficos dos municípios de Bayeux, Santa Rita e João Pessoa.....	42
Figura 3 - Mapa de localização do reservatório de Marés, em escala 1:10.100, sendo a área azul referente ao reservatório e o ponto vermelho indicando o ponto de coleta	43
Figura 4 - Presença de animais e a ausência de mata ciliar	44
Figura 5 - Atividade de pesca artesanal e o contato primário da comunidade	44
Figura 6 - Rede de coletora as margens do reservatório com transbordo de efluente	45
Figura 7 - Lixo depositado nas margens do reservatório	45
Figura 8 - Mapa da bacia hidrográfica do Rio Gramame.....	46
Figura 9 - Mapa de localização do reservatório de Gramame-Mamuaba, em escala 1:55.000, com o local de coleta e limites municipais.....	48
Figura 10 - Ocupação das margens do reservatório por residência e um flagrante de aplicação de defensivo por parte de moradores.....	49
Figura 11 - Curral de peixe (piscicultura)	49
Figura 12 - Plantação de cana-de-açúcar às margens do reservatório.....	50
Figura 13 - Ocupação das margens por estabelecimento comercial (bar)	50
Figura 14 - Pesca artesanal na qual se vê na mão do pescador um exemplar de tucunaré (Cichla Ocellaris)	51
Figura 15 - Queimada as margens do Reservatório de Gramame-Mamuaba. Atividade proibida pela Lei n°. 6.678/98.....	51
Figura 16 - Precipitação da área	52
Figura 17 - Temperatura média mensal (°C) dos Reservatórios Marés e Gramame-Mamuaba, 2005 a 2008	57
Figura 18 - Cor média mensal (mg Pt/Co) dos Reservatórios Marés e Gramame-Mamuaba, 2005 a 2008	58
Figura 19 - Turbidez média mensal (UNT) dos Reservatórios Marés e Gramame-Mamuaba, 2005 a 2008	59

Figura 20 - Valores médios de condutividade elétrica (mS/cm) dos Reservatórios Marés e Gramame-Mamuaba, 2005 a 2008	60
Figura 21 - Valores médios de pH dos Reservatórios Marés e Gramame-Mamuaba, 2005 a 2008	61
Figura 22 - Valores médios do OD dos Reservatórios Marés e Gramame-Mamuaba, 2005 – 2008	62
Figura 23 - Valores médios da DBO dos Reservatórios Marés e Gramame-Mamuaba, 2005 – 2008	63
Figura 24 - Valores médios de Coliformes dos Reservatórios Marés e Gramame-Mamuaba, 2005- 2008	64
Figura 25 - Distribuição sazonal da temperatura, cor, turbidez e condutividade dos dois reservatórios durante os períodos de maior e menor pluviosidade, dos anos de 2005 a 2008 (C – estação chuvosa, S – estação seca)	65
Figura 26 - Distribuição sazonal da temperatura, cor, turbidez e condutividade dos dois reservatórios durante os períodos de maior e menor pluviosidade, dos anos de 2005 a 2008 (C – estação chuvosa, S – estação seca)	67
Figura 27 - Valores do IQA dos reservatórios de Marés e Gramame-Mamuaba.....	69
Figura 28 - Temperatura da água dos reservatórios de Marés e Gramame-Mamuaba	70
Figura 29 - Turbidez da água dos reservatórios de Marés e Gramame-Mamuaba...	71
Figura 30 - Valores do pH da água nos reservatórios de Marés e Gramame-Mamuaba	72
Figura 31 -Oxigênio Dissolvido nos reservatórios de Marés e Gramame-Mamuaba	73
Figura 32 - Valores de DBO5 dos reservatórios de Marés e Gramame-Mamuaba...	73
Figura 33 - Coliformes dos reservatórios de Marés e Gramame-Mamuaba.....	74
Figura 34 - –Resíduo Total dos reservatórios de Marés e Gramame-Mamuaba.....	74
Figura 35 - Fósforo Total dos reservatórios de Marés e Gramame-Mamuaba.....	75
Figura 36 - Nitrogênio Total dos reservatórios de Marés e Gramame-Mamuaba.....	76
Figura 37 - - Porcentagem das não conformidades dos parâmetros presentes no IQA de 2007 a 2017, com referência da Resolução CONAMA 357/05, para água doce Classe 2	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Condições e padrões de pH segundo a Resolução CONAMA 357/05.....	34
Tabela 2 - Condições e padrões de oxigênio dissolvido segundo a Resolução CONAMA 357/05.....	35
Tabela 3 - Condições e padrões da quantidade de coliformes termotolerantes para água doce segundo a Resolução CONAMA 357/05	37
Tabela 4 - Parâmetros de qualidade da água do IQA e respectivo peso	39
Tabela 5 - Classificação da qualidade das águas segundo o IQA	39
Tabela 6 - Parâmetros e metodologias utilizadas pela SUDEMA.....	54
Tabela 7 - - Resumo dos valores da Figura 25 (Q3 - terceiro quartil, Q1 - primeiro quartil)	66
Tabela 8 - Resumo dos valores da Figura x (Q3 - terceiro quartil, Q1 - primeiro quartil)	68

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Somatório (IQA)	38
Equação 2 – Produtório (WI).....	38

LISTA DE SIGLAS

AESA	Agência Executiva de Gestão das Águas
ANA	Agência Nacional de Águas
APP	Área de Proteção Permanente
CAGEPA	Companhia de águas e Esgotos da Paraíba
CMA	Coordenadoria de Medições Ambientais
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxigênio
ETAs	Estações de Tratamento de Água(s)
FQ	Físico-químico
FT	Fósforo Total
IQA	Índice de qualidade da água
NT	Nitrogênio Total
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
OD	Oxigênio Dissolvido
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNRH	Plano Nacional de Recursos Hídricos
PRODEMA	Programa de Desenvolvimento e Meio Ambiente
SEIRMACT	Secretária de Infraestrutura, dos Recursos Hídricos, do Meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia
SETGEO	Setor de Geoprocessamento
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SUDEMA	Superintendência de Administração do Meio Ambiente

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 HIPÓTESES	19
3 OBJETIVOS	20
3.1 Objetivos específicos	20
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
4.1 A água e o homem	21
4.2 A bacia hidrográfica	22
4.3 Reservatórios para o abastecimento humano	23
4.4 Legislação Brasileira Sobre os Recursos Hídricos	25
4.5 A importância da Qualidade da Água	27
4.5.1 Temperatura	30
4.5.2 Cor	31
4.5.3 Turbidez	32
4.5.4 Condutividade Elétrica	33
4.5.5 Potencial Hidrogeniônico (pH)	33
4.5.6 Oxigênio Dissolvido	34
4.5.7 Demanda Bioquímica de Oxigênio	35
4.5.8 Coliformes termotolerantes	36
4.6 Índice de Qualidade da Água (IQA)	37
5 METODOLOGIA	41
5.1 Área de Estudo	41
5.1.1 Marés	41
5.1.2 Gramame-Mamuaba	46
5.2 Pluviosidade	52
5.3 Séries de dados de qualidade da água	53
5.4 Métodos e Análises	54
5.5 Análises estatísticas	55
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
6.1 Qualidade da água dos reservatórios, 2005 a 2008	56

6.1.1 Parâmetros Físicos (Temperatura, Cor, Turbidez, CE)	56
6.1.2 Parâmetros Químicos (pH, OD e DBO520)	60
6.1.3 Coliformes Termotolerantes	63
6.2 Comportamento Sazonal	65
6.3 Qualidade da água de acordo com o IQA, 2007 a 2017	68
6.3.1 Componentes do IQA: Temperatura, turbidez, ph, OD, DBO520, Coliformes, Nitrogênio, Fósforo e Resíduo Total	70
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	78
REFERÊNCIAS	80
ANEXOS	88

1 INTRODUÇÃO

A distribuição da água no planeta nos diversos compartimentos da hidrosfera não é conhecida com exatidão, apesar do fluxo de evaporação e precipitação ser de conhecimento e debatida desde a Grécia Antiga. Sua disponibilidade, que depende inteiramente desse ciclo hidrológico, vem sendo alterado constantemente devido às diversas intervenções antrópicas (VON SPERLING, 2006).

Apenas 3% da totalidade dos recursos hídricos disponíveis em todo o planeta são constituídos de água doce, desse total apenas 0,06% é contabilizado como facilmente acessível isso explica por que mais de 80 países possuem déficit desse recurso e mais, a falta da acessibilidade de água limpa para beber atinge cerca de 1,2 bilhões de pessoas no mundo hoje em dia (AHUJA; LARSEN; EIMERS, 2014).

Com o crescimento populacional, a demanda por água vem aumentando sensivelmente, portanto, já está claro que a água se tornou uma mercadoria escassa e valiosa, de forma que para garantir a sustentabilidade desse recurso, devemos usá-la de forma criteriosa, preservando a sua qualidade e só assim, conseguiremos alcançar a tão almejada sustentabilidade, garantindo o atendimento das nossas necessidades sem comprometer a disponibilidade para as futuras gerações (BRUNDTLAND, 1987). Sendo que no Brasil, assim como na maior parte do mundo a tríade formada pelo consumo doméstico, o uso industrial e a irrigação, evidenciando que esse último é responsável pelo consumo de quase 63% da água disponível, condição que, por si só, já torna a água um recurso naturalmente cercado de conflitos (REBOUÇAS, 2003).

Os problemas de qualidade da água são causados por fontes de poluição pontuais, (despejo de efluentes industriais e domésticos) e difusas (agricultura e desenvolvimento urbano) (CAMPOS, 2010). Tais contaminantes de fontes difusas são mais difíceis de monitorar, avaliar e controlar, que aqueles provenientes de fontes pontuais (BRASIL/ANA, 2012). A qualidade da água também afeta diretamente comunidades tradicionais que a utilizam como fonte de subsistência (TURNELL e CRISPIM, 2014).

Os reservatórios de Marés (2.136.637m³) e Gramame-Mamuaba (56.937.000m³) são importantes mananciais que abastecem João Pessoa e região metropolitana, esses complexos sistemas são geridos pela empresa estadual de saneamento, a Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba - CAGEPA, que trata e

distribui água potável, além de operar as descargas e os níveis dos reservatórios. Nesse contexto, vale assinalar que as empresas brasileiras de saneamento acumulam perdas em suas redes de distribuição que variam de 40% a 60%, e mais, cerca de 11 milhões de brasileiros não possuem acesso à água de qualidade, sem falar dos quase 40 milhões que não possuem distribuição regular, ficando reféns dos maçantes racionamentos (REBOUÇAS, 2003).

Nesse viés, esse trabalho procura auxiliar de forma mais contundente no controle da qualidade da água dos reservatórios, progredir nos estudos comparativos e ampliar a base de dados permitindo a interação entre a pesquisa científica básica e o gerenciamento, bem como, compilar a maior quantidade de informações disponíveis sobre os dois reservatórios.

2 HIPÓTESES

H1 – Os reservatórios presentes na mesorregião da Zona da Mata paraibana apresentam dinâmicas semelhantes com relação à qualidade da água;

H2 – As mudanças do regime pluviométrico causam pouco impacto na qualidade da água nos reservatórios fluviais de Marés e Gramame-Mamuaba;

H3 – Marés e Gramame-Mamuaba apresentam água de boa qualidade de acordo com o índice de qualidade de água e em níveis previstos na legislação pertinente.

3 OBJETIVOS

Realizar um estudo comparativo entre a qualidade da água superficial dos reservatórios de Marés e Gramame-Mamuaba, através dos dados oficiais do Governo do Estado da Paraíba.

3.1 Objetivos específicos

1. Analisar a série dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos de 2005 a 2008, apresentando as tendências mensais e anuais da qualidade da água nos reservatórios;
2. Comparar os valores dos parâmetros de qualidade da água aferidos no monitoramento com os limites da legislação vigente;
3. Apresentar uma avaliação da qualidade das águas de Marés e Gramame-Mamuaba através do IQA no período de 2007 a 2017.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 A água e o homem

Desde as chamadas “civilizações hidráulicas”, que é um conceito marxista sobre o modo de produção das civilizações desenvolvidas nas margens dos grandes rios, na chamada Crescente Fértil: as sociedades Mesopotâmicas (nos rios Tigre e Eufrates) e o Egito (no Rio Nilo) é sabida a importância da água para a sobrevivência do homem. Tal aproximação com a água foi fator essencial para o crescimento e desenvolvimento das civilizações, bem como das cidades modernas, e a sua utilização dá-se para os fins mais variados, que vão desde o consumo vital, quando o homem satisfaz as suas necessidades mais básicas até a sua utilização para fins de produção econômica.

A água figura na história não somente como um bem essencial, material, ou patrimônio natural de importância maior para o homem, como também traz em seu arcabouço todo um conjunto simbólico e fenomenológico que lhe envolve e confere uma alma “mística”. Estudiosos das mais diversas ciências e campos disciplinares distintos, como Freud (1856-1939), Bachelard (1884-1962) e Jung (1875-1961), produziram obras nas quais a água está associada ao conjunto de arquétipos presentes no inconsciente do homem. Além desses outros, a religião, a filosofia, a literatura, a engenharia, dentre outras, além de todos esses saberes construídos pelo homem, discutem a importância da água e as suas especificidades, que vão desde as práticas ritualísticas religiosas primitivas, ao imaginário, à poesia etc.

Para Esteves (2011), a importância da água consiste, sobretudo, pela sua participação em todos os processos metabólicos, mesmo que indiretamente e suas propriedades anômalas se comparadas a outros líquidos que tornaram possíveis o surgimento e a manutenção da vida como conhecemos hoje. Além do mais, a demanda por água se faz necessária para qualquer comunidade humana, independente do seu grau evolutivo todas necessitam dela para suprir as necessidades básicas como alimentação e higiene, por exemplo. A falta de água além de sobrecarregar ecossistemas em todo o planeta são a causa de disputas entre nações que dispõem da mesma fonte de abastecimento (ROCHA *et al.*, 2009).

Os agentes causadores das alterações e desequilíbrios nos ecossistemas aquáticos são chamados de poluentes, essas alterações ou poluição geralmente

ocorrem devido à intervenção humana, que provocada pela falta de planejamento e gestão dos recursos naturais podem causar alterações permanentes e comprometer a disponibilidade desses recursos (ROCHA *et al.*, 2009).

A utilização de redes para sistemas de esgotos já eram conhecidos desde a antiga Babilônia, passando pelo Império Romano por volta do século VI a. C., porém com a revolução industrial e as mudanças no sistema de produção, além do conseqüente aumento do uso da água fomentado, somado, nesse contexto, pelo crescimento das cidades, foi necessário desenvolver medidas para a sua gestão e controle dos resíduos, naturalmente os rios acabaram por se tornar o destino final da maioria deles, que agora impactados, passaram a oferecer risco à saúde humana e transmitir uma série de doenças como cólera e hepatite, entre outras (BRANCO, 1972).

Azevedo (2012) chama a atenção para que devido ao aumento do consumo, a constante degradação dos recursos hídricos, ou ainda, em consequência da instabilidade climática, os conflitos que envolvem a água só aumentam e é urgente que se busquem soluções para melhor monitoramento e gerenciamento dos recursos hídricos, que devem ser priorizados pela gestão pública.

4.2 A bacia hidrográfica

Muito sucintamente há que se conceituar o que vem a ser uma bacia hidrográfica. Para tal, busca-se no estudo feito por Pires, Santos e Del Prette (2002, p.14), que a caracterizam segundo o ponto de vista do estudo hidrológico como o que:

[...] envolve explicitamente o conjunto de terras drenadas por um corpo d'água principal e seus afluentes e representa a unidade mais apropriada para o estudo qualitativo e quantitativo do recurso água e dos fluxos de sedimentos e nutrientes. Embora tecnicamente o conceito implícito no termo seja preciso, podendo existir variações no foco principal, conforme a percepção dos técnicos que o utilizam em seus estudos.

A Bacia Hidrográfica é, portanto, uma área definida topograficamente, drenada por um curso d'água ou por um sistema conectado de cursos d'água, tal

que toda a vazão efluente seja descarregada por uma simples saída (SILVA; CARVALHO, 2006). por ser considerada um solvente universal devido a sua grande capacidade de dissolução de substâncias e de grande parte de compostos naturais, como rochas e outros componentes do solo, além de sofrerem interferência da vegetação, dos ciclos hidrológicos, do clima e das atividades antrópicas, a gestão dos corpos d'água sempre devem levar em consideração toda a área da sua bacia hidrográfica (LIBÂNIO, 2010).

A utilização da bacia hidrográfica para a realização da gestão dos recursos hídricos e como forma de disciplinar os múltiplos usos ligados à potencialidade da mesma é o modelo atualmente utilizado pelo Brasil. Para Bordallo (1995), essa maneira de gerir, se bem estruturada, proporciona o desenvolvimento econômico e social, além da sustentabilidade da população que faz uso desse recurso. De acordo com o *Panorama das Águas da Qualidade das Águas Superficiais do Brasil de 2012*, as bacias hidrográficas que apresentam a maior quantidade de industriais sucroalcooleiras e as maiores áreas ocupadas pela monocultura da cana-de-açúcar, são as dos rios Gramame, Mamuaba e Mamanguape (BRASIL, 2012).

Assim, e com a perspectiva tão somente de delimitar a área do objeto de estudo, que fique claro, que a utilização das bacias de Marés e Gramame como unidades referenciais, nas quais serão analisadas as características do corpo de água em seu estado bruto, devemos levar em conta também o entorno destas e as suas características biogeofísicas. Ou seja, as bacias hidrográficas, e seus reservatórios, são basicamente unidades de gestão da água na qual se pretende um gerenciamento racional e eficiente dos recursos hídricos com práticas rigorosas que satisfaçam as condições mínimas para os múltiplos usos.

4.3 Reservatórios para o abastecimento humano

Armazenar água sempre foi uma preocupação da humanidade. Por volta de 9000 a. C. o homem já utilizava potes de barro e em 7000 a. C. reservatórios cerâmicos, a irrigação começou a ser utilizada em 5000 a. C. no Egito e na Mesopotâmia, bem como a primeira represa está datada por volta de 2900 a. C., também no Egito (ROCHA *et al.*, 2009).

Os reservatórios artificiais são construções que tem como finalidade o acúmulo da água em temporadas de chuvas para a utilização em períodos de baixas

pluviométricas. São geralmente, destinados ao abastecimento humano, ao controle das cheias, a geração de energia e a irrigação (FORD, 1990). Porém, outros usos como aquicultura, navegação e recreação, são comumente praticados no Brasil, inclusive na região Nordeste. Todos os múltiplos usos desses sistemas podem impactar negativamente na qualidade da água, acelerando processos naturais como a eutrofização e o assoreamento, podendo também, ocorrer a contaminação por xenobióticos, que corroboram com a perda da qualidade da água e prejudicam os usos mais nobres.

Os processos físico-químicos e ecológicos que ocorrem com a diminuição do fluxo natural dos rios, além da retenção de sedimentos e nutrientes que são naturalmente transportados para esses sistemas lênticos, exercem pressão sobre a qualidade dessas águas, além de reduzir o aporte à jusante (BRASIL, 2012). Porém, alguns efeitos positivos como o aumento da capacidade de autodepuração, a melhoria na sedimentação de sólidos em suspensão, o aumento da penetração da luz solar e a melhora na produção de plânctons, são consequências do aumento do nível e do tempo de retenção da água nesses sistemas (HERSCHY; FAIRBRIDGE, 2012). Como os reservatórios são projetados para atenderem a esses múltiplos usos, a avaliação dos futuros impactos e o monitoramento permanente, são fundamentais para a compreensão da problemática envolvendo os usos e ocupação das bacias hidrográficas e a conservação ou deterioração da qualidade da água (TUNDISI; MATSUMURA TUNDISI, 2008).

Diante do exposto, pode se remeter ao estudo da qualidade nos reservatórios Marés e Gramame-Mamuaba, que é o que aqui se pretende, não sem antes referenciar os muitos estudiosos que tratam a problemática da água, que formarão o arcabouço teórico desse estudo, sejam eles: Tundisi (2012, 2013, 2014); Matsumura Tundisi (2008); Esteves (2011); Von Sperling (1996); Libâneo (2012), Manahan (2013); Silva; Mello (2015) Turnell; Crispim (2014) dentre outros, que por sua vez dialogam entre si, no que diz respeito aos estudos da água, do meio ambiente, bem como no que se refere aos impactos ambientais e nos reservatórios, além dos estudos locais e das normativas que compõem alicerçam o sedimento acerca dos recursos hídricos.

Portanto, abre-se espaço aqui para a questão da gestão dos recursos hídricos na Paraíba, uma vez que é a complexidade envolvente desse uso que será determinante para este estudo. Enquanto recurso natural há quem a utilize como um

bem público, no entanto, com uma modalidade privada, que são aqueles que a utilizam de modo exploratório e indiscriminado, daí a relevância do trabalho desenvolvido aqui, uma vez que são as bacias de Maré e Gramame-Mamuaba aquelas que respondem por boa parte do abastecimento de João Pessoa e região metropolitana.

4.4 Legislação Brasileira Sobre os Recursos Hídricos

A legislação brasileira que rege os recursos hídricos é extensa e complexa. A partir da década de 30, o Código de Águas – Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934, já disciplinava sobre alguns tipos de usos, principalmente o uso industrial. Na Constituição Federal de 1988, no Título III - Da Organização do Estado, no art. 22, inciso IV, que trata da competência privativa da União em legislar sobre as águas, no Capítulo VI - Do Meio Ambiente, em seu art. 225 está assinalado que:

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (BRASIL,1988).

Assim como na Constituição Federal, a Constituição do Estado da Paraíba de 1989, também legisla sobre recursos hídricos em seu art. 7, dispõe das competências sobre os recursos naturais, o art. 227 e o art. 233, sobre o papel do Estado na defesa do meio ambiente, além do capítulo VI, que está destinado aos recursos hídricos e minerais. Com o aumento da demanda dos mais variados tipos de uso e seus problemas relacionados, tornou-se necessário uma legislação específica com mecanismos apropriados para gerenciar os recursos hídricos de forma mais contundente. Assim, com a sanção da Lei das Águas – Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos, e a da criação da ANA através Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, criaram efetivamente um arcabouço para esse novo panorama dos recursos hídricos brasileiros.

Além das principais Leis Federais, outros Diplomas Legais em vigor, também disciplinam sobre usos específicos da água em todo território nacional, uma das mais importantes é a Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da

qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, posteriormente unificada junto a outras normas do Sistema Único de Saúde (SUS) pela Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de Setembro de 2017, além dela, muitas outras normas, portarias e resoluções específicas, da área de saneamento, e da exploração e comercialização da água mineral e água adicionada de sais, entre outras, pertencente às muitas instituições subordinadas ao Ministério da Saúde, como Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA e Fundação Nacional de Saúde - FUNASA.

As Legislações Ambientais do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA, como a Resolução nº 274, de 29 de novembro de 2000, que define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras; a nº 357, de 17 de março de 2005, na qual trata da classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento; a nº 396, de 3 de abril de 2008, sobre o enquadramento das águas subterrâneas e a Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011, que define os padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos, tem um papel primordial para na preservação e ordenamento do uso da água bruta.

Outras Leis na esfera Estadual tratam de temas específicos sobre a água, como a Lei nº 6.308, de 20 de julho de 2006, que instituiu a Política Estadual de Recursos Hídricos; a Lei nº 6.678, de 19 de novembro de 1998, proíbe as queimadas as margens das rodovias e mananciais na Paraíba; a Lei nº 7.033, de 27 de dezembro de 2001, que criou a Agência de Águas, Irrigação e Saneamento do Estado da Paraíba - AAGISA e a Lei nº 7.779, de 07 de julho de 2005 que dissolveu a AAGISA e criou a AESA. Além da Lei nº 8.042, de 27 de junho de 2006, que reordenou a AESA e o Plano Estadual de Recursos Hídricos.

Além desse extenso rol de Leis Federais e Estaduais, ainda temos as normas específicas sancionadas pela Superintendência de Administração do Meio Ambiente - SUDEMA, que na época em 1988 ainda desenvolvia o papel que hoje é atribuição da AESA, sancionadas pelo Conselho de Proteção Ambiental - COPAM são as chamadas Normas do Sistema Estadual de Licenciamento de Atividades Poluidoras - SELAP, sendo elas:

- NTS 301/1988: Critérios e padrões para lançamento de efluentes líquidos;
- NTS 106/1988: Programa de Autocontrole – PROCON – frequência de medições, coleta de amostras e análises;

- DZS 201/1988: classificação das águas interiores do Estado;
- DZS 202/1998: divisão do estado da Paraíba em bacias hidrográficas;
- DZS 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210/1988: enquadramento de corpos d'água das bacias hidrográficas do Rio Piranhas, Rio Paraíba, Rio Mamanguape, Rio Curimataú, Litoral e Zona da Mata, Rio Jacú e Rio Trairi.

Toda essa legislação do SELAP elaborada pela SUDEMA teve como arcabouço a Resolução CONAMA nº 20 de 18 de junho de 1986, portanto, o enquadramento dos corpos hídricos do Estado da Paraíba deve ser atualizado de acordo com a nova classificação da legislação atual que é a Resolução CONAMA nº 357/05, de forma que atendam aos usos preponderantes e definam metas progressivas para a recuperação dos ambientes degradados.

4.5 A importância da Qualidade da Água

Segundo a organização Mundial de Saúde (OMS), doenças de veiculação hídrica são a causa de 25 milhões de mortes em todo mundo, e em países em desenvolvimento como o Brasil quase 70% da população rural não possuem disponibilidade de água em condições adequadas (BRAGA *et al.*, 2005). Já Turnell e Crispim (2014), assinalam acerca do seu uso pelas comunidades que dela dependem. Nesse entendimento, é também a qualidade da água tão importante quanto à presença dela, ou seja, não basta ter água, mas qual a qualidade da água que se tem. Entendendo o conceito de potabilidade, há de chamar atenção que:

É importante compreender a diferença entre critérios e padrões de qualidade das águas potáveis. Os critérios de qualidade de água potável são baseados em informações científicas, como os dados toxicológicos obtidos através de experimentos, estudos epidemiológicos e cenários genéricos de exposição, ou seja, são produtos do processo de avaliação de risco. Os padrões de qualidade constantes das regulamentações dos diferentes países podem levar em consideração, além dos critérios que foram cientificamente estabelecidos, a disponibilidade de métodos analíticos para sua quantificação na água, de tecnologia de tratamento para remoção dos toxicantes aos níveis desejados, fatores políticos, econômicos e sociais do país, que são definidos por processos denominados gerenciamento do risco (UMBUZEIRO *et al.*, 2010).

Ou seja, é essencial que a água apresente condições para todos os usos necessários, contendo substâncias essenciais à vida e ausência de contaminantes que causem efeitos nocivos aos organismos que compõem as teias alimentares entre eles o homem, sendo assim, a disponibilidade não está apenas ligada ao volume da água, mas também a qualidade da água disponível (BRAGA *et al.*, 2005).

Para melhor entendimento é necessário reafirmar que a água destinada ao consumo humano deve ser isenta de cor, sabor e odor, mas apenas essas características nem sempre são suficientes para garantir que a água consumida não traga prejuízos à saúde das pessoas, é necessário um olhar mais amplo sobre a qualidade da água, na verdade as características citadas são apenas algumas das muitas outras que a água possui o que existe na verdade é o que chamamos de padrão de potabilidade. Devemos esclarecer que a “qualidade da água” é diferente de “potabilidade”, voltando à questão do uso que se faz, a qualidade pode ser satisfatória para uma atividade como navegação ou uso industrial, mas não para o consumo humano, uso recreacional ou preservação da biota aquática (CAMPOS, 2010; BRASIL, 2012).

O padrão de potabilidade segundo a Portaria nº 2.914/11 é o conjunto de valores permitidos como parâmetro de qualidade da água para o consumo humano, o Ministério da Saúde obteve a atribuição para legislar sobre água potável a partir do Decreto Federal nº 79.367 de 1977, quando foi determinado que órgãos e entidades dos estados, municípios e Distrito Federal, que são responsáveis pela operação dos sistemas de abastecimento público, deveriam obrigatoriamente adotar padrões de potabilidade estabelecidos por essa entidade (BRASIL, 2005).

A degradação da qualidade da água também reflete na economia de uma forma imensurável, como a elevação dos custos de tratamento para o consumo e para o uso industrial, os impactos na qualidade de vida de moradores próximos ou que utilizam o manancial para subsistência, aumento dos custos relacionados à saúde, perda da produtividade agrícola, diminuição da biodiversidade e da pesca (BRASIL, 2012). Além de todos esses problemas, a cadeia turística, que envolve lazer, esportes e outras atividades relacionadas é bastante afetada, principalmente em regiões costeiras que apresentam praias, que são continuamente contaminadas por rios também poluídos e problemas de saneamento básico.

Nesse contexto diversas doenças têm sua veiculação ligada à água, principalmente desencadeadas por microrganismos patogênicos, Amaral *et al.*,

(2003) expõem o risco do consumo de águas contaminadas e sua dispersão em comunidades rurais onde a falta de tratamento adequado colabora para que determinados patógenos proliferem e causem transtornos, estudos envolvendo bactérias como *pseudomonas*, *flavobacterium*, *gallionella*, aeromonas, vibrio, *achromobacter*, alcaligenes, entre outros, foram revisados por Riós-Tobón *et al.* (2017), Enquanto que Franco (2007) e Grott (2016), estudaram protozoários patogênicos de veiculação hídrica e a sua relação com os problemas de saúde, principalmente doenças gastrointestinais, demonstrando que a água de boa qualidade deve conter a ausência desses patógenos e que o tratamento deve ter uma atenção especial aos processos de desinfecção.

A potabilidade da água é uma questão de saúde pública e de saneamento básico, desempenhando um importante papel na segurança alimentar da população, os investimentos em serviços de coleta e tratamento de esgoto, tratamento e distribuição de água são uma das formas mais econômicas para evitar doenças e evitar maiores despesas com tratamento médico. Mas nem tudo são bactérias e microrganismos, sobretudo porque os compostos orgânicos e inorgânicos também são causadores de doenças e inutilizam a água não só para consumo humano, mas também para outras atividades. Compostos inorgânicos como antimônio, cianeto, fluoreto, nitrato e metais são limitados para consumo humano, segundo os padrões de potabilidade e são relacionados com uma série de doenças, podendo ser oriundos de contaminação ou de origem geológica. A água com dureza excessiva, ou seja, com a alta concentração dos íons Ca^{+} e Mg^{+} , atrapalha algumas atividades industriais e são indesejáveis para a lavagem de roupa, porque dificulta a ação do sabão. Braga *et al.*, (2005), reforçam que a degradação da qualidade e a noção de poluição tem muito mais haver com os usos dessa água do que aspectos estéticos.

Esses usos foram à base utilizada pelo CONAMA em sua Resolução nº 357/05 para classificar as águas de todo o território nacional de acordo com classes, que devem ser alcançadas ou mantidas em determinado trecho do corpo hídrico em função dos seus usos preponderantes, além dos usos a salinidade subdividiu essas classes em doce, salobra e salgada (ROCHA *et al.*, 2009), a classificação vai da especial até a classe 4, indo do menor ao mais impactado (CAMPOS, 2010).

Observando a Resolução nº 357/05 do CONAMA (2005) nos parágrafos 3º e 4º, que diz respeito à qualidade dos ambientes aquáticos, esta pode ser avaliada por indicadores biológicos, oportunamente, utilizando-se organismos e/ou comunidades

aquáticas. O uso de ensaios ecotoxicológicos, toxicológicos, ou outros métodos cientificamente reconhecidos são ferramentas com as quais se devem investigar as possíveis interações entre as substâncias e a presença de contaminantes passíveis de causar danos aos seres vivos.

Outra distinção que deve ser feita é em relação às “propriedades” e as “características” da água, sendo a primeira inerente ao que a distingue dos demais fluidos, e a segunda tem relação de como as águas naturais entre si, como características físicas, químicas e biológicas, essas características são mensuradas de acordo com métodos padronizados e consagrados e com uma amostragem representativa em volume adequado para o tipo de análise em questão (BRAGA *et al.*, 2005; LIBÂNIO, 2010).

Os parâmetros para avaliação da qualidade da água utilizados no estudo foram os físicos: temperatura, cor, turbidez e condutividade elétrica, os químicos: pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio e o coliforme termotolerante como indicador biológico. Além desses, outros parâmetros como o nitrogênio total, fósforo total e resíduo total foram medidos para a elaboração do IQA. É importante salientar que existe uma série de outras variáveis que podem ser medidas e utilizadas para determinar a característica e qualificar um corpo hídrico, de forma natural uma grande diversidade de cátions e ânions, além de indicadores biológicos como os plânctons, bentos, perifítons e outras comunidades aquáticas, microrganismos patogênicos ou não, em relação a contaminantes, destacamos os metais pesados, agrotóxicos, fármacos, poluentes orgânicos persistentes (POPs), Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs), corantes, óleos e graxas, entre outros.

4.5.1 Temperatura

A temperatura é um parâmetro essencial para a qualidade de vida dos organismos aquáticos, em geral, todos os corpos d'água apresentam variações de temperatura ao longo do dia e no decorrer das estações do ano, as variações de temperatura favorecem a dissolução dos gases, quando ocorrem situações de baixa a mesma favorece essa dissolução, enquanto a temperatura elevada diminui essa capacidade. Tais gases são essenciais para a vida aquática como é o caso do oxigênio (VON SPERLING, 1996; APHA, 2012).

A temperatura também afeta a cinética (movimento) dos átomos contidos na água, essa aceleração ou redução, provocam variações nos vários parâmetros físico-químicos da água, tais como a tensão superficial e a viscosidade, além de acelerar ou redução à taxa de oxirredução e outras reações químicas. Ela também afeta os organismos aquáticos, alguns mais sensíveis, são intolerantes a mudanças bruscas e fora de seus limites de tolerância.

A insolação tem um papel fundamental na temperatura da água, variando de acordo com a região, em zonas tropicais, ocorrem variações menores no decorrer do ano do que em zonas temperadas, por exemplo. Porém o lançamento de efluentes de determinadas atividades podem contribuir para o aumento ou diminuição da temperatura, causando a chamada poluição térmica, caldeiras e sistemas de refrigeração são as principais fontes (LIBÂNIO, 2010). A poluição térmica também afeta a viscosidade e conseqüentemente a força de atrito dos plânctons, que necessitam permanecer na zona iluminada (zona fótica), para suas atividades metabólicas, com isso, a falta desse produtor primário afeta diretamente a cadeia alimentar, causando danos a ecossistema aquático (BRAGA *et al.*, 2005).

De acordo com Libânio (2010), os países tropicais possuem vantagem em relação aos países temperados por conta da baixa variação de temperatura dos corpos hídricos, principalmente para fins de tratamento, por não demandar maiores ajustes em relação a essa variável. Obviamente não existe um limite de temperatura para classificação dos corpos hídricos, porém, para o lançamento em corpos receptores segundo a Resolução CONAMA nº 430/11, a mesma possui o limite de 40°C, não admitindo variação maior que 3°C na zona de mistura (ponto de lançamento do efluente no corpo receptor).

4.5.2 Cor

A cor da água é produzida pelo reflexo da luz nos constituintes do líquido, sendo material dissolvido ou, boa parte desses coloides são de origem orgânica com dimensão inferior a 10 µm, também podem indicar compostos de ferro e manganês ou corantes, no caso de efluentes industriais (LIBÂNIO, 2010). Naturalmente a coloração da água, na maioria dos casos, tem a ver com a quantidade de matéria orgânica dissolvida, mas a presença de algas, argila/barro e óxidos de ferro e manganês também contribuem para alteração em sua cor (APHA, 2012), além

desses, outras substâncias também contribuem para alterar a cor da água como: ácidos húmicos, fúlvidos e a clorofila, essas substâncias podem reagir com o cloro utilizado nas etapas de tratamento das ETAs, por exemplo, podendo favorecer a formação de compostos carcinogênicos (trihalometanos) (SILVA; MELO, 2014).

Podendo ser mensurada como cor real ou cor aparente, sendo a cor real associada apenas às substâncias dissolvidas, enquanto na segunda também são contabilizados os materiais em suspensão (BRAGA *et al.*, 2005). A cor verdadeira é medida nas amostras de água após as etapas de filtração, centrifugação ou qualquer outro método, o termo cor aparente é utilizado para designar a medida realizada com a presença de material em suspensão. A presença de cor na água causa rejeição para consumidores e em geral não é aconselhado para fins industriais.

A Resolução CONAMA n° 357/05 define sempre em relação à cor verdadeira o limite de até 75 mg Pt/L para água doce, classe 2 e 3, de nível de cor natural para água doce classe 1. Já a água residuária destinada aos corpos hídricos receptores para fins de diluição, de acordo com a Resolução CONAMA n° 430/11 devem ser ausentes de cor, devendo ser removida em etapas anteriores ao lançamento.

4.5.3 Turbidez

A Turbidez da água é a dificuldade da penetração da luz causada por dispersão ou absorção de partículas em suspensão ou por coloides e ainda a absorção por substâncias coloridas (BOYD, 2012), seja de origem natural como: partículas de argila, silte, presença de algas e outros microrganismos (VON SPERLING, 1996; BRAGA *et al.*, 2005; APHA, 2012), em menores proporções a precipitação de carbonato de cálcio em águas com dureza elevada e partículas de óxido de ferro e alumínio em águas tratadas em ETAs convencionais (LIBÂNIO, 2010). A claridade do corpo hídrico é um importante fator para determinar a condição de produtividade (APHA, 2012). De acordo com Esteves (2011), a turbidez afeta diretamente a produtividade dos organismos fotossintetizantes, que dependem diretamente da luz solar presente na zona fótica. A redução dos processos químicos como a fotossíntese de plantas e fitoplanctons contribuem para a escassez oxigênio e de alimento para determinadas espécies, os sedimentos responsáveis pela

turbidez também podem apresentar xenobióticos como pesticidas, prejudicando a biota aquática (BRAGA *et al.*, 2005).

A análise de turbidez se dá através da passagem de um feixe de luz pelas amostras, sendo expressa em unidade de turbidez (Ut), Unidade nefelométrica de turbidez (UNT) ou em Unidade Jackson (JTU) (LIBÂNIO, 2010; APHA 2012). De acordo com Libânio (2010), tecnicamente tem se relacionado à alta turbidez como empecilho para o processo de desinfecção, devido à proteção das partículas em suspensão aos microrganismos, também chamado de efeito-escudo. Os limites para a turbidez segundo a Resolução CONAMA n° 357/05 para os corpos hídricos de água doce são de 40 UNT para classe 1 e 100 UNT para classe 2 e 3. A Resolução CONAMA n° 430/11 não define valor específico para os valores de turbidez, porém, o mesmo deve ser ausente de materiais em suspensão e os sedimentáveis são limitados em 1ml/L em teste de 1 hora realizado em cone de *Inmhoff*.

4.5.4 Condutividade Elétrica

A condutividade é a característica da água para conduzir eletricidade, essa função depende exclusivamente da presença de íons dissolvidos, bem como a concentração e a temperatura aferida. Regra geral, os componentes inorgânicos conduzem melhor a eletricidade que os compostos orgânicos. A água do mar devido sua grande quantidade de íons dissolvidos conduz melhor a eletricidade que a água doce (APHA, 2012).

A condutividade elétrica também é bastante utilizada para fins de irrigação, sendo desejada água de baixa condutividade pela menor quantidade de sais dissolvidos presentes, o que implicaria em risco de salinização do solo, prejudicando o plantio de determinadas espécies (RIBEIRO *et al.*, 2004). A aquicultura e piscicultura também utilizam a condutividade elétrica para estimar o teor de salinidade da água.

4.5.5 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O parâmetro mais popular em termos de estudo da química da água é o pH, importante não só para os ambientes aquáticos, pois está diretamente relacionada com os níveis de acidez e alcalinidade da água, como também se faz presente em

todas as etapas de tratamento, seja para torná-la potável ou para o tratamento de águas residuais (LIBÂNIO, 2010). A água pura é neutra não sendo nem ácida nem básica, isso porque a quantidade de íons H^+ e OH^- é a mesma (BOYD, 2015).

Pode-se utilizar tanto o pH quando o pOH para expressar a concentração de ambos os íons, muito embora o pOH, não seja convencionalmente utilizado quando se trata de qualidade de água. A escala de pH foi elaborada pelo químico dinamarquês Søren Sørensen e vai de 0 a 14, sendo valores inferiores a 7 considerados ácidos e superiores básicos.

Em geral, os ecossistemas aquáticos são bastante sensíveis as alterações bruscas de pH, uma faixa ampla e confortável de pH entre 6,5 e 8,5 é o ideal para a preservação da biota. De maneira que as mudanças de pH podem ocorrer de eventos naturais como chuva e outros aportes naturais de substâncias como o escoamento superficial, ou de origem antrópica como o lançamento de esgoto e efluentes industriais (BRAGA *et al.*, 2005).

Em relação a limites para o lançamento de efluentes a Resolução CONAMA n° 430/11 define a faixa de 5 a 9, ou seja, o efluente pode ter no mínimo pH = 5, mas não pode conferir ao corpo receptor pH menor do que 6, em caso de corpo hídrico de água doce. As faixas de pH para e suas respectivas classificações de acordo com a Resolução CONAMA n° 357/05 estão na Tabela 1.

Tabela 1 - Condições e padrões de pH segundo a Resolução CONAMA 357/05

Enquadramento	Água doce	Água salobra	Água salina
Classe 1	Faixa de 6 a 9	Faixa de 6,5 a 8,5	Faixa de 6,5 a 8,5
Classe 2	Faixa de 6 a 9	Faixa de 6,5 a 8,5	Faixa de 6,5 a 8,5
Classe 3	Faixa de 6 a 9	Faixa de 5 a 9	Faixa de 6,5 a 8,5
Classe 4	Faixa de 6 a 9		

Fonte: Resolução CONAMA n° 357/05

4.5.6 Oxigênio Dissolvido

O oxigênio é importante para toda a vida no planeta, na água ele também é um dos principais constituinte, sendo um indicador importante para a determinação da qualidade ambiental, sua disponibilidade está ligada a quantidade de espécies podem sobreviver no ambiente aquático, assim sendo, quanto menor for o oxigênio

menor também é o número de espécies, com a ausência total uma série de processos anaeróbicos são desencadeados por bactérias desse tipo e que conseqüentemente liberam gases indesejáveis e tóxicos se disponíveis em grandes concentrações (LIBÂNIO, 2010; BRAGA *et al.*, 2005; VON SPERLING, 1996).

Segundo Campos (2010), o consumo de oxigênio realizado pelas bactérias anaeróbicas no processo de mineralização de matéria orgânica pode provocar a mortandade de peixes e outras formas de vida. O seu ciclo envolve o intercâmbio de oxigênio entre a forma elementar do O² gasoso, contido na atmosfera, e o oxigênio quimicamente ligado no CO², na água, nos minerais e na matéria orgânica, participa também auxiliando no ciclo de outras substâncias como o carbono. As plantas sejam elas aquáticas ou terrestres e também as algas são as principais fontes de renovação de oxigênio (MANAHAN, 2013).

Os limites de oxigênio dissolvido nos corpos hídricos e suas respectivas classes estão estabelecidos na Resolução CONAMA n° 357/05, apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Condições e padrões de oxigênio dissolvido segundo a Resolução CONAMA 357/05

Enquadramento	Água doce	Água salobra	Água salina
Classe 1	Não inferior a 6 mg/L O ₂	Não inferior a 5 mg/L O ₂	Não inferior a 6 mg/L O ₂
Classe 2	Não inferior a 5 mg/L O ₂	Não inferior a 4 mg/L O ₂	Não inferior a 5 mg/L O ₂
Classe 3	Não inferior a 4 mg/L O ₂	Não inferior a 3 mg/L O ₂	Não inferior a 4 mg/L O ₂
Classe 4	Superior a 2,0 mg/L O ₂		

Fonte: Resolução CONAMA n° 357/05

4.5.7 Demanda Bioquímica de Oxigênio

Um dos principais parâmetros para análise de poluição nas águas é a demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅), muito utilizada não só no monitoramento dos corpos hídricos, mas também em projetos de construção e avaliação da eficiência de sistemas de tratamento (LIBÂNIO, 2010). A DBO₅ é na verdade uma forma de se quantificar indireta a matéria orgânica, sendo ela a quantidade

equivalente de oxigênio necessária para total decomposição desse material transformando-a em matéria inorgânica (ROCHA *et al.*, 2009).

Os cálculos das estações de tratamento de água e esgoto, a quantificação de poluição orgânica dentre outras atividades ligadas à área de saneamento utilizam a DBO₅ no período de 5 dias e à temperatura de 20°C, esse período e temperatura são um consenso em muitas legislações ligadas ao setor de diversos países, permitindo determinar a carga orgânica dos diversos tipos de efluentes e também a comparação entre os diferentes tipos de ambientes aquáticos (CAMPOS, 2010; BRAGA *et al.*, 2005; VON SPERLING, 1996).

Os limites para DBO₅ são aplicados de acordo com a Resolução CONAMA n° 357/05, apenas as águas doces, sendo até 3mg/L de O₂ para classe 1, 5 mg/L de O₂ para classe 2 e 10 mg/L O₂ para classe 3. As águas salobras e salgadas utilizam o COT (Carbono orgânico total) como medida de quantificação de matéria orgânica. Já a Resolução CONAMA n° 430/11 estabelece o máximo de 120mg/L, podendo esse limite, ser excedido caso o sistema de tratamento comprove remoção mínima de 60% de DBO₅ ou fundamentado em estudo de capacidade de autodepuração. Vale salientar que a norma estadual NT 301, estabelece para DBO₅ o limite máximo de 60 mg/L, devendo nesses casos ser a norma aplicada por ser a mais restritiva.

4.5.8 Coliformes termotolerantes

As análises das bactérias do grupo coliforme são amplamente utilizadas para a constatação das águas contaminadas com agentes patogênicos que possam vir a prejudicar a saúde humana. Os coliformes são bactérias aeróbicas e anaeróbicas facultativas, gram-negativas, que fermentam lactose, e desenvolvem em período mínimo de 48h e em temperatura de até 35 °C. Alguns desses organismos podem ser encontrados no solo e na vegetação, mas coliformes fecais em especial a *Escherichia coli* são enterobactérias de animais de sangue quente (APHA, 2012).

O uso de organismos indicadores de contaminação fecal facilita a detecção através de exames laboratoriais, o que normalmente é uma tarefa difícil e demorada, tais organismos não são patogênicos, mas tem relação direta do grau de contaminação da água (VON SPERLING, 1998). A sua capacidade de resistir em ambientes fora de seu habitat, aliada a seletividade de não estarem presentes em fezes de animais de sangue frio como os peixes, por exemplo, além de serem

determinados por técnicas rápidas e baratas, fazem com que a escolha por esses indicadores seja muito favorável aos programas de monitoramento ambiental. A determinação de coliformes termotolerantes, a *Escherichia coli* e os Enterococos, sendo estes aplicados apenas a águas marinhas, de acordo com a Resolução CONAMA n° 274/00, que define critério para a recreação de contato primário.

Em relação aos limites da quantidade de coliformes termotolerantes nos corpos hídricos classificados pela Resolução CONAMA n° 357/05, no caso específico de coliformes termotolerantes, em um conjunto mínimo de 6 amostras bimestrais por ano, 80% não devem exceder a quantidade definida na Tabela 3.

Tabela 3 - Condições e padrões da quantidade de coliformes termotolerantes para água doce segundo a Resolução CONAMA 357/05

Enquadramento	Água doce
Classe 1	200 UFC/100 mL
Classe 2	1000 UFC/100 mL
Classe 3	2500 UFC/100 mL (recreacional)
	1000 UFC/100 mL (dessedentação animal)
	4000 UFC/100 mL (outros usos)
Classe 4	

Fonte: Resolução CONAMA n° 357/05

4.6 Índice de Qualidade da Água (IQA)

Qualitativamente a água pode ser definida por aspectos físicos, químicos e biológicos, e a apresentação dos dados e dos parâmetros referentes à qualidade da água, de forma que seja entendida pelo público em geral é uma tarefa bastante complicada. Os índices de qualidade da água visam compilar todas essas informações em um único valor, possibilitando assim uma fácil interpretação dos resultados, o que auxilia na disseminação dessa informação.

Desenvolvido na década de 1970 por pesquisadores e em parceria com o US National Sanitation Foundation, o *National Sanitation Foundation Water Quality Index*, tem como base a metodologia Delphi para realização da consulta (TAYLOR; RYDER, 2003). Tal índice foi elaborado com rigorosos critérios em relação à escolha dos seus parâmetros, consultando diversos especialistas de qualidade da água para

definição dos parâmetros mais importantes e seus respectivos pesos (BHARTI; KATYAL, 2011). As curvas que representam a variação da qualidade da água das várias possíveis medidas dos parâmetros para o cálculo do IQA são a média obtida das respostas de todos entrevistados (LOPES; LIBÂNIO, 2005).

O IQA utilizado na pesquisa foi uma adaptação que a Companhia Estadual de Meio ambiente de São Paulo (CETESB) fez do *National Sanitation Foundation Water Quality Index* e atualmente é o principal índice utilizado no país, sendo desenvolvido para avaliar a qualidade da água bruta (CETESB, 2005). Apesar das suas limitações referentes às questões sanitárias o IQA é uma importante ferramenta para controle de qualidade nos reservatórios. Para elaboração do Índice, foram realizados um somatório e um produtório, conforme as Equações (1) e (2) respectivamente ilustradas adiante:

Equação 1 – Somatório (IQA)

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (1)$$

Equação 2 – Produtório (WI)

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (2)$$

IQA = Índice de Qualidade das Águas. Um número entre 0 e 100;

q_i = qualidade do i -ésimo parâmetro. Um número entre 0 e 100, obtido do respectivo gráfico de qualidade, em função de sua concentração ou medida (resultado da análise);

w_i = peso correspondente ao i -ésimo parâmetro fixado em função da sua importância para a conformação global da qualidade, isto é, um número entre 0 e 1;

n = o número de parâmetros que entram no cálculo do IQA (9 parâmetros).

Tabela 4 - Parâmetros de qualidade da água do IQA e respectivo peso

Parâmetro de qualidade da água	Peso (w)
Oxigênio dissolvido	0,17
Coliformes termotolerantes	0,15
Potencial hidrogeniônico - pH	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO ₅	0,10
Temperatura da água	0,10
Nitrogênio total	0,10
Fósforo total	0,10
Turbidez	0,08
Resíduo total	0,08

Fonte: BRASIL/ANA, 2007

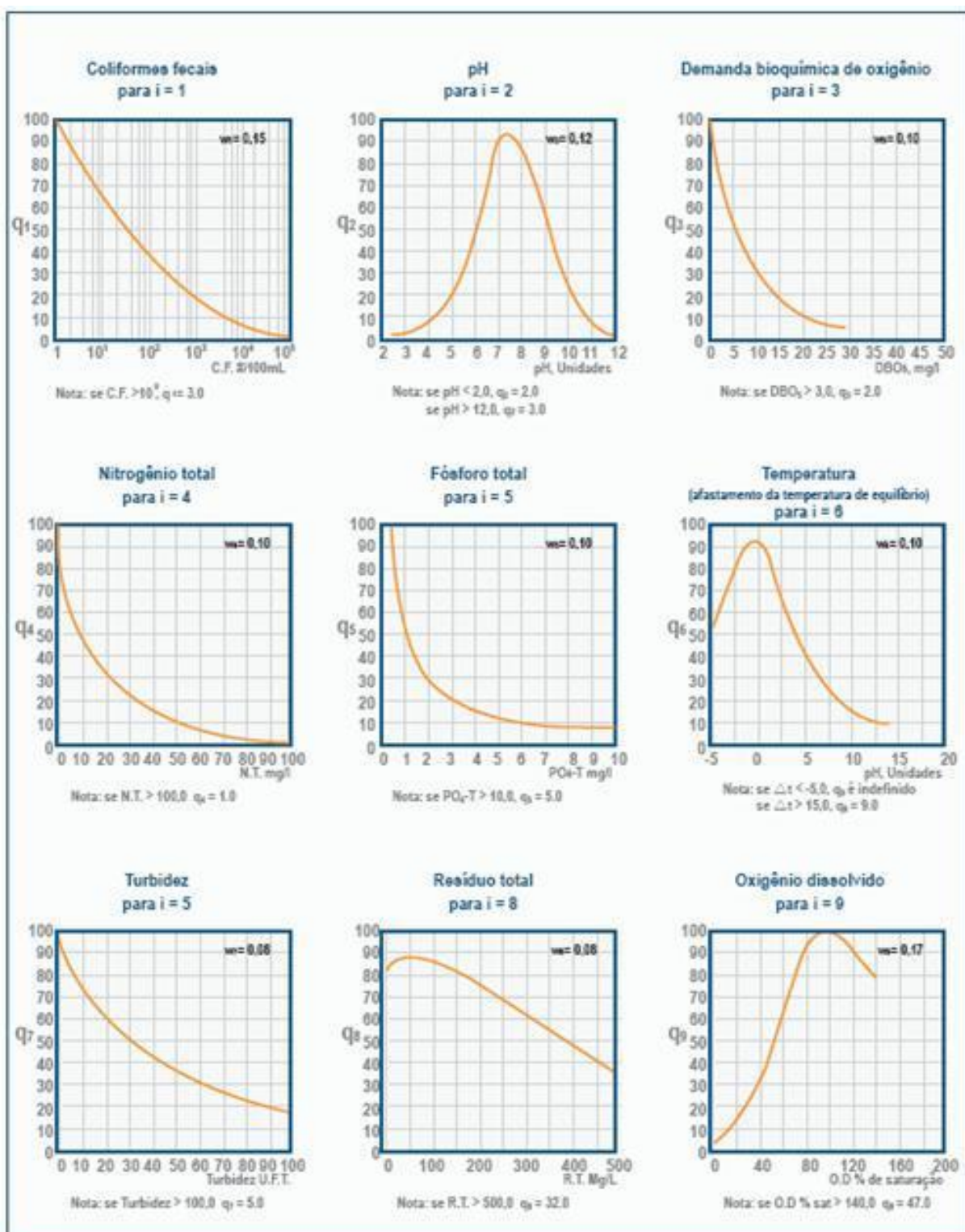
A SUDEMA classifica a qualidade das águas nas faixas apresentadas na Tabela 5, como pode ser visto abaixo:

Tabela 5 - Classificação da qualidade das águas segundo o IQA

Valor da faixa de IQA	Classificação da água
80 - 100	Ótima
52 - 79	Boa
37 - 51	Razoável
20 - 36	Ruim
0 - 19	Péssima

Fonte: ANA, 2017

Figura 1 - Gráficos de qualidade para cada parâmetro contidos no IQA



Fonte: BRASIL/ANA, 2007

5 METODOLOGIA

5.1 Área de Estudo

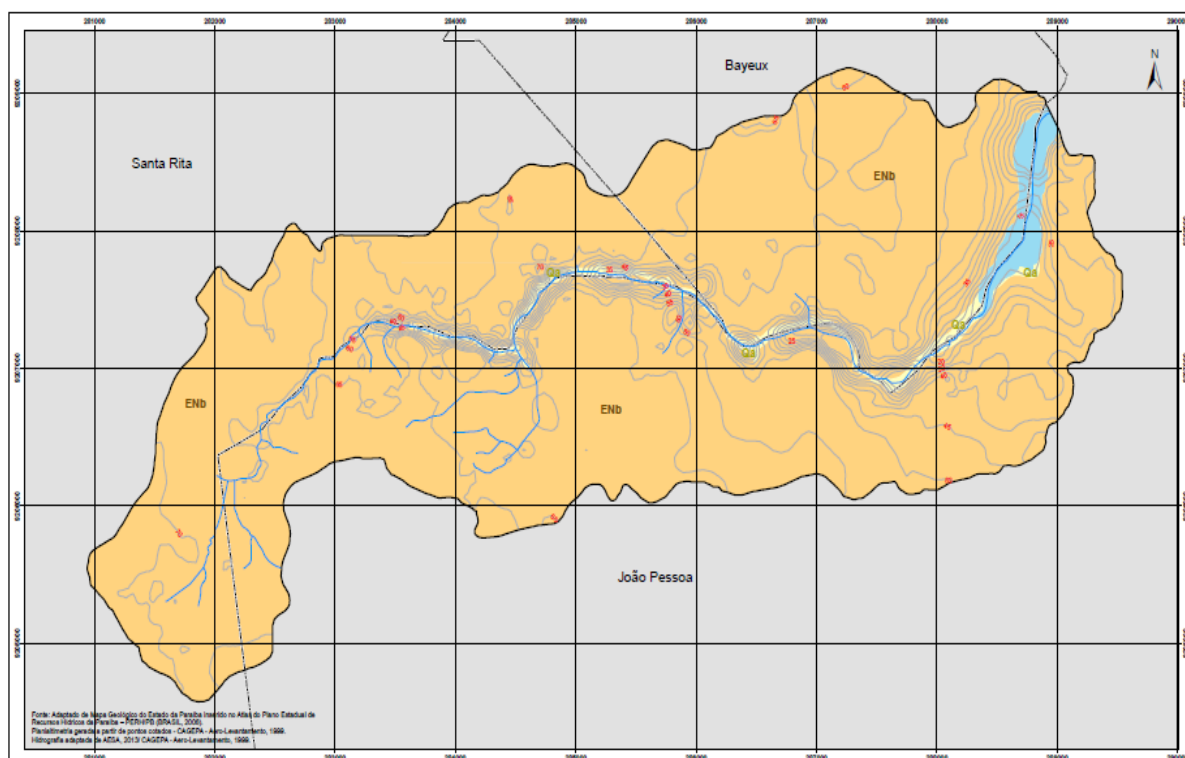
A área de estudo consiste nos reservatórios Marés e Gramame-Mamuaba, situados na Mesorregião da Mata Paraibana, na Microbacia de Marés e Bacia hidrográfica de Gramame respectivamente. Constituem atualmente, as mais importantes fontes de abastecimento de João Pessoa e sua região metropolitana, que também realiza captação de água na Bacia do Rio Abiaí. O reservatório de Marés possui capacidade de 2.136.637 m³ e Gramame-Mamuaba 56.937.000 m³.

A Gestão desses mananciais é compartilhada por diversas instituições, sendo todas ligadas a Secretária de Infraestrutura, dos Recursos Hídricos, do Meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia (SEIRMACT), que é responsável pela parte estrutural, como fiscalização das condições e reparos, a Agência Executiva de Águas da Paraíba (AESAP) é responsável pela parte fiscalizatória no que diz respeito à utilização do manancial (múltiplos usos) mediante expedição de outorgas para a captação, também realiza o controle hidrométrico de ambas as bacias (pluviosidade, medição do nível e vazão dos rios e reservatórios), a Companhia Águas e Esgoto da Paraíba (CAGEPA) realiza o monitoramento da qualidade da água para o tratamento e distribuição, conforme a Portaria do Ministério da Saúde 2.914/11 e finalmente a Superintendência de Administração do Meio Ambiente (SUDEMA) com a avaliação da qualidade da água bruta do manancial. No entanto, valem ressaltar as dificuldades entre o diálogo essas instituições, que necessitam de maior alinhamento para uma gestão compartilhada atuante e efetiva, bem como o planejamento das ações.

5.1.1 Marés

Segundo Cardoso (2013) a bacia hidrográfica do Rio Marés está situada a Oeste da cidade de João Pessoa, com área aproximada de 21 km²; a bacia do Rio Marés localiza-se entre as latitudes 7° 07' e 7° 15' Sul, e as longitudes 34° 52' e 34° 48' Oeste, onde limita-se com os municípios de Bayeux, João Pessoa e Santa Rita, como demonstrado na Figura 2. O Rio Marés possui 13 km da nascente em Santa Rita até o deságue no Rio Paraíba (Rio Sanhauá).

Figura 2 - Mapa da bacia de Marés, no qual podem ser observados os limites geográficos dos municípios de Bayeux, Santa Rita e João Pessoa

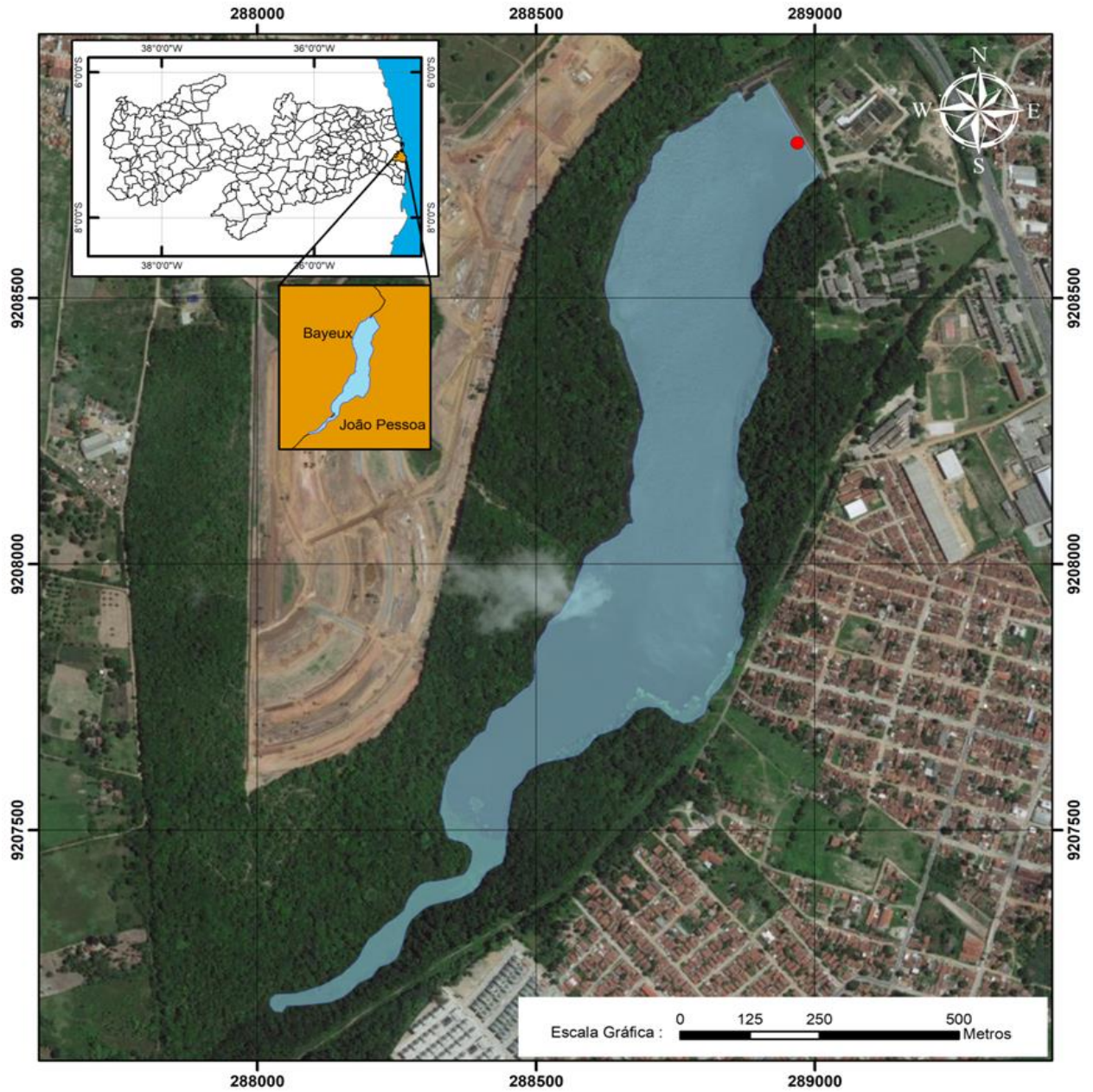


Fonte: Adaptado de SUDEMA, 2016

A barragem de Marés teve sua construção iniciada em 1948, na gestão do governador Osvaldo Trigueiro e concluída em 1952 no governo de José Américo de Almeida, foi viabilizado para complementar o sistema de abastecimento Buraquinho que fornecia água para a crescente população da capital através de poços. Sua capacidade é de aproximadamente 2 milhões de m³ e, atualmente abastece aproximadamente 30% de João Pessoa, além de alguns bairros de Santa Rita e Bayeux.

No reservatório de Marés, o principal uso é o abastecimento humano, seguido de recreação, pesca artesanal e dessedentação animal. O avanço dos bairros mais periféricos dos três municípios causa transtornos de ordem sanitária, na Figura 3, vê-se o mapa, no qual está à delimitação dos municípios de Bayeux e João Pessoa e a área do reservatório de Marés, com destaque na cor azul e um ponto vermelho que indica o local de amostragem. Mais adiante nas Figuras 4,5,6 e 7, foram apresentados alguns aspectos ambientais do entorno do reservatório.

Figura 3 - Mapa de localização do reservatório de Marés, em escala 1:10.100, sendo a área azul referente ao reservatório e o ponto vermelho indicando o ponto de coleta



Fonte:
Imagem de Alta Resolução (0,50m) GeoEye - 1 com passagem em 25/11/2016;

Especificações Técnicas:
Sistema de Coordenadas Cartesianas Universal Transversa de Mercator (UTM)
Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000)
Meridiano Central: -33°00 Fuso 25 S

Fonte: SETGEO/SUDEMA, 2017

Figura 4 - Presença de animais e a ausência de mata ciliar



Fonte: SILVA, J. C. M.,2017

Figura 5 - Atividade de pesca artesanal e o contato primário da comunidade



Fonte: SILVA, J. C. M.,2017

Figura 6 - Rede de coletora as margens do reservatório com transbordo de efluente



Fonte: SILVA, J. C. M.,2017

Figura 7 - Lixo depositado nas margens do reservatório

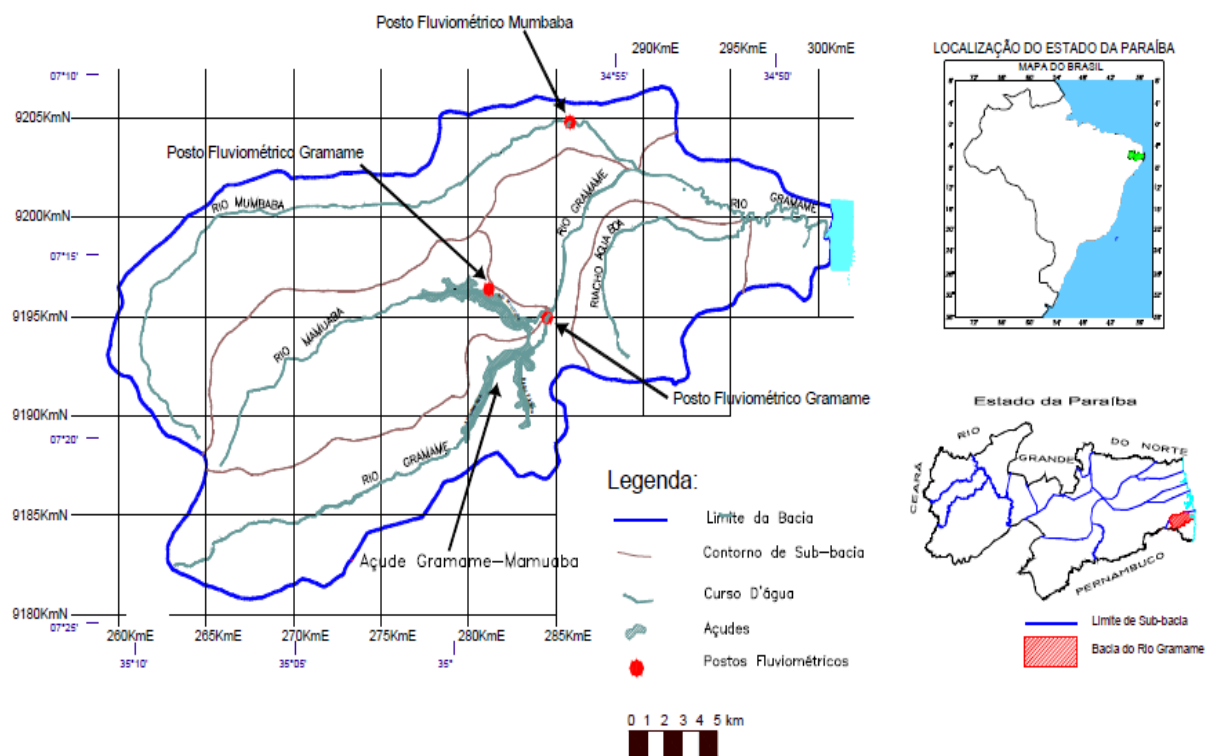


Fonte: SILVA, J. C. M.,2017

5.1.2 Gramame-Mamuaba

A Bacia do Rio Gramame localiza-se entre as latitudes 7° 11' e 7° 23' Sul e as longitudes 34° 48' e 35° 10' Oeste, no Litoral Sul do estado da Paraíba, apresentado na Figura 8. É composta pelos seguintes municípios: Alhandra, Conde, Cruz do Espírito Santo, João Pessoa, Santa Rita, São Miguel do Taipu e Pedras de Fogo, totalizando uma área de 589 km² (GOLDFARB et al., 2002).

Figura 8 - Mapa da bacia hidrográfica do Rio Gramame



Fonte: SILVA et al. (2002)

Nela estão construídas duas barragens interligadas por um canal de 750 m, sendo uma sobre o Rio Gramame e a outra sobre no Rio Mamuaba, com capacidade de aproximadamente 56,94 milhões de m³ na sua totalidade. Silva et al, (2016) ressalta a importância do manancial, sendo este a principal reserva de água para o abastecimento de boa parte da população da grande João Pessoa, algo em torno de 70% da água distribuída pela CAGEPA, a bacia também contribui para o complemento da vazão do rio Marés fornecendo água através de uma adutora no Rio Mamuaba, regularizando o abastecimento da barragem de Marés, tornando esse

sistema um dos mais importantes e complexos mananciais de superfície do estado (PARAIBA, 2000).

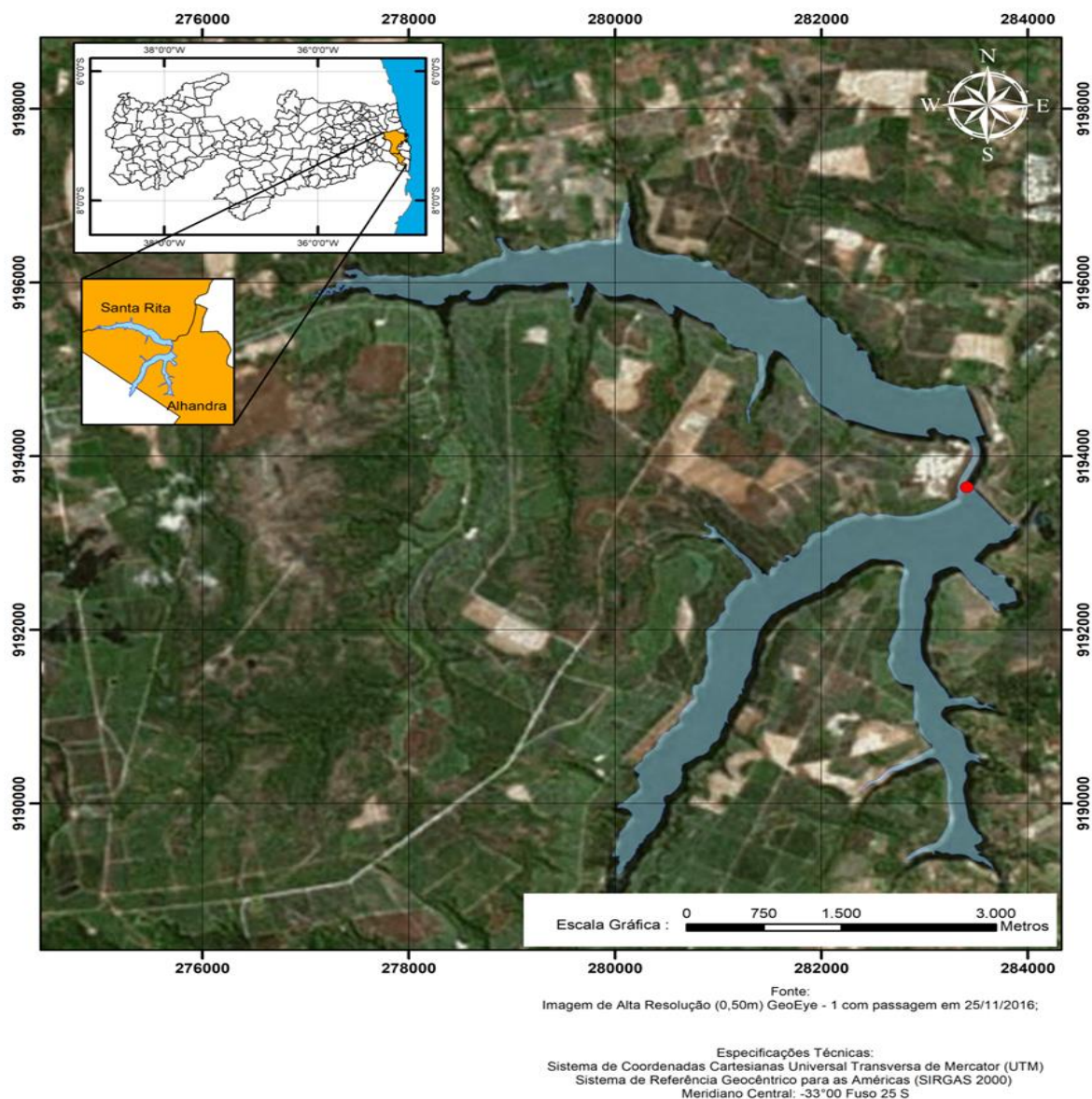
Entre os principais usos do reservatório de Gramame-Mamuaba podemos destacar: o abastecimento humano, a irrigação, a piscicultura, a pesca amadora e o lazer praticado pelas comunidades vizinhas, sendo fatores que respondem atualmente por boa parte dos principais conflitos existentes na área do reservatório, além do uso do entorno do reservatório por invasões e ocupações irregulares (do ponto de vista ambiental), que a princípio deveria ser destinado a sua mata ciliar.

Sua Área de Proteção Permanente (APP) é estimada em torno de 2,57 km², sendo a vegetação presente, em torno de 0,34km², boa parte dessa área destinada ao uso agrícola. Também foram constatadas edificações urbanas nessas áreas, que de certa forma, apresentam um risco potencial de destinação inadequada de efluentes e erosão do solo (SILVA *et al.*, 2016). Essas atividades praticadas próximo ao reservatório podem contribuir para a perda da qualidade da água do mesmo, significando que não sendo sanadas, podem aumentar os custos para a potabilização da água bruta feito pela CAGEPA e em casos extremos causar problemas de saúde pública.

Outro problema encontrado é que o reservatório precisa de regular a vazão do Rio Gramame a jusante para atender a diluição de efluentes do distrito industrial de João Pessoa, caso haja um desequilíbrio entre a vazão do rio e a quantidade/qualidade do efluente lançado podem impactar instantaneamente na qualidade da água e no ecossistema aquático, de forma que esses danos não são restritos apenas ao meio ambiente, pois, diversas comunidades residentes na jusante da barragem têm suas atividades prejudicadas, como por exemplo, a pesca de subsistência e outras tarefas desenvolvidas no rio (TURNELL; CRISPIM, 2014).

Na Figura 9 o mapa de localização do reservatório de Gramame-Mamuaba em escala 1:10.100, com o local de amostragem e os limites municipais, no qual as áreas demarcadas em azul são os dois reservatórios que compõem um todo, interligados por um canal, e o ponto vermelho assinala o local de amostragem.

Figura 9 - Mapa de localização do reservatório de Gramame-Mamuaba, em escala 1:55.000, com o local de coleta e limites municipais



Fonte: SETGEO/SUDEMA, 2017

Mais adiante nas Figuras 10, 11, 12, 13, 14 e 15 são apresentados alguns aspectos do reservatório de Gramame-Mamuaba, essas atividades podem contribuir para a degradação da qualidade do manancial causando impactos tanto ambientais como de saúde pública, alguns como a aplicação de defensivos, a ocupação de boa parte da mata ciliar por cana-de-açúcar e o manejo inadequado como às queimadas são hoje os maiores problemas encontrados no reservatório, carecendo uma atitude mais enérgica para a resolução desses problemas por parte das autoridades.

Figura 10 - Ocupação das margens do reservatório por residência e um flagrante de aplicação de defensivo por parte de moradores



Fonte: SILVA, J. C. M., 2018

Figura 11 - Curral de peixe (piscicultura)



Fonte: SILVA, J. C. M., 2018

Figura 12 - Plantação de cana-de-açúcar às margens do reservatório



Fonte: SILVA, J. C. M., 2018

Figura 13 - Ocupação das margens por estabelecimento comercial (bar)



Fonte: SILVA, J. C. M., 2018

Figura 14 - Pesca artesanal na qual se vê na mão do pescador um exemplar de tucunaré (*Cichla Ocellaris*)



Fonte: SILVA, J. C. M., 2018

Figura 15 - Queimada as margens do Reservatório de Gramame-Mamuaba. Atividade proibida pela Lei n°. 6.678/98

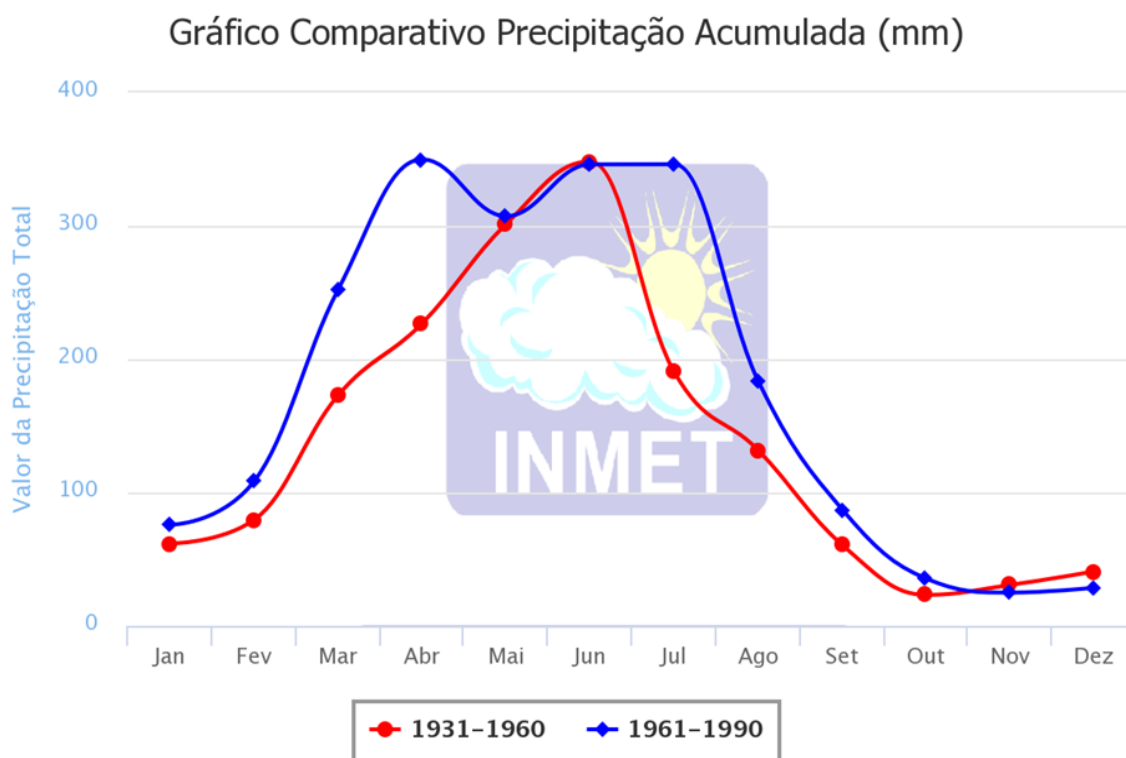


Fonte: SILVA, J. C. M., 2018

5.2 Pluviosidade

De acordo com a classificação de Köppen¹ a região é enquadrada como As² - Clima tropical quente úmido, com o período chuvoso de outono a inverno e com precipitação média em torno de 1800 mm/ano, a época chuvosa tem início nos meses de março e abril e dura até julho ou agosto, com período de menor pluviosidade de setembro a fevereiro. A temperatura do ar apresenta valores médios anuais compreendidos entre 22°C e 26°C (PARAIBA, 2011).

Figura 16 - Precipitação da área



Fonte: INMET, 2017

¹ Classificação climática de Köppen é o sistema de classificação global dos tipos climáticos mais utilizada em geografia, climatologia e ecologia.

² Clima tropical quente e úmido, com estação seca no inverno. Esse tipo de clima predomina no litoral oriental do Nordeste, desde o leste da Micro Região de Paulo Afonso, na Bahia (Mello, 1973), faixa costeira de Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba e partes do Rio Grande do Norte (Golfari et al., 1978). É caracterizado pela ausência de chuvas de verão e sua ocorrência no "inverno" (que corresponde à estação chuvosa e não ao inverno propriamente dito), com índices pluviométricos por volta de 1.600 mm anuais. Disponível em: < <http://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm> > Acesso em: 04 de dezembro de 2017.

5.3 Séries de dados de qualidade da água

Os dados utilizados no trabalho foram cedidos pela Coordenadoria de Medições Ambientais (CMA) da SUDEMA, que desenvolve o monitoramento da área de estudo desde o ano de 2004. Inicialmente, nesse processo, foram elencados 10 parâmetros de qualidade da água: salinidade, sólidos dissolvidos totais, temperatura, OD, pH, condutividade elétrica, cor, turbidez, DBO₅ e coliformes termotolerantes, sendo que para esse estudo, foram suprimidos 2: salinidade e sólidos dissolvidos totais, o primeiro por não apresentar variação e o segundo por ter seu cálculo relacionado com a condutividade elétrica.

As coletas foram realizadas em campanhas mensais para os dois reservatórios. Aqui, vale salientar, que a coleta sempre é empreendida no mesmo dia e em horários aproximados nas duas localidades. Tal procedimento seguiu com o mesmo *modus operandi* até o ano de 2008. Essa forma de realizar o monitoramento concorre para a geração de uma quantidade de dados bastante relevante, criando a necessidade do uso de indicadores formais para a qualidade da água, cujos resultados devem ser descritos de forma compreensível e significativa para a população.

A partir do ano de 2007, o trabalho desenvolvido pela CMA sofreu algumas alterações que visaram acompanhar as tendências de outros órgãos ambientais dos outros Estados, como o monitoramento semestral e a adoção do IQA. Tais mudanças visaram uma tentativa de padronização de procedimentos, bem como, a construção de uma base nacional de dados hidrológicos. O IQA apresenta uma grande vantagem em relação aos parâmetros analisados avulsos, pois permite um rápido diagnóstico, bem como, apresenta facilidade para reportar essa informação ao público mais leigo. De forma que de 2007 até a presente data, o trabalho vem sendo desenvolvido dessa forma. Nos anos de 2007 e 2008 o monitoramento foi realizado mensalmente e o IQA elaborado semestralmente, ou seja, os parâmetros utilizados para a elaboração do IQA foram coletados em um único mês por semestre.

Alguns trabalhos envolvendo qualidade da água utilizaram a base de dados da SUDEMA, tais como: Câmara (2003); Morosini *et al.* (2004); Abrahão (2006); Abrahão *et al.* (2007); Lucena *et al.* (2008; 2009); Vieira *et al.* (2012); Rodrigues (2013); Da Silva *et al.* (2014); Lima *et al.* (2015) e Carneiro *et al.* (2015), entre

outros. Porém essa é a primeira tentativa de se trabalhar uma longa série com dados oficiais disponíveis da qualidade da água dos reservatórios de Marés e Gramame-Mamuaba, sendo possível graças à disponibilidade da SUDEMA e do PRODEMA em tornar essas informações disponíveis para a sociedade.

5.4 Métodos e Análises

Segundo as informações cedidas pela SUDEMA, as coletas foram feitas em triplicata na camada superficial da água, com balde de aço inox, armazenadas em frascos de polietileno de 1000 ml, acondicionadas e refrigeradas a $4^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e protegidas contra a luz até a chegada ao laboratório. As amostras coletadas para análise bacteriológica, por sua vez, foram armazenadas em frascos esterilizados e armazenadas em caixas devidamente separadas, para evitar contaminação cruzada.

Para melhor entendimento, seguem na tabela 6, com um resumo das metodologias de análise de cada parâmetro utilizado nesse estudo.

Tabela 6 - Parâmetros e metodologias utilizadas pela SUDEMA

Parâmetro analisado	Metodologia
Temperatura	Medição in loco, termômetro
Oxigênio dissolvido*	4500-O Método de Winkler (APHA, 2012)
pH	Potenciométrico (e.r. prata-nitrato de prata)
Condutividade Elétrica	2510-B Método de laboratório (APHA, 2012)
Cor	2120-B Método de comparação visual (APHA, 2012)
Turbidez	2130-B Nefelométrico, (APHA, 2012)
DBO ₅	5210-B, Teste dos 5 dias (APHA, 2012)
Coliformes termotolerantes	9222-D Coliformes por membrana filtrante (APHA, 2012)
Fósforo total	4500-P E, (APHA, 2012)
Nitrogênio total	DIN ISO 11905-1
Resíduo total	2540-E, sólidos a 550°C (APHA, 2012)

Fonte: SUDEMA, 2017

* A partir de 2016 a metodologia passou a ser por sensor de luminescência, YSI Professional Plus.

Em campo, foram obtidos dados de temperatura, pH, condutividade elétrica e sólidos dissolvidos totais. As amostras destinadas a análise de nitrogênio e fósforo total, foram preservadas com ácido sulfúrico (H_2SO_4) 50% até $\text{pH} \leq 2,0$, medidos

com papel indicador de pH (0-14). No laboratório as amostras foram digeridas utilizando reagentes do *Crack Set 10* da MERCK® em um termoreator TR 420 da MERCK® por 1 hora a 120°C, posteriormente foram utilizados os *kits* Spectroquant da MERCK® com os respectivos limites de 0,5 -15,0 mg/L N ($\pm 0,3$) e 0,05 – 5,00 mg/L P ($\pm 0,06$) e a leitura realizada em um espectrofotômetro NOVA 60 e PHARO 300 da MERCK®.

5.5 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram analisados pelos métodos de estatística descritiva, gráficos de linha e barra para séries temporais e de caixa (*box-plot*) para diferenças entre os ciclos pluviométricos. As tendências foram calculadas utilizando a média móvel. Foram utilizados os *softwares* Microsoft Excel e R Project para elaboração dos gráficos.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

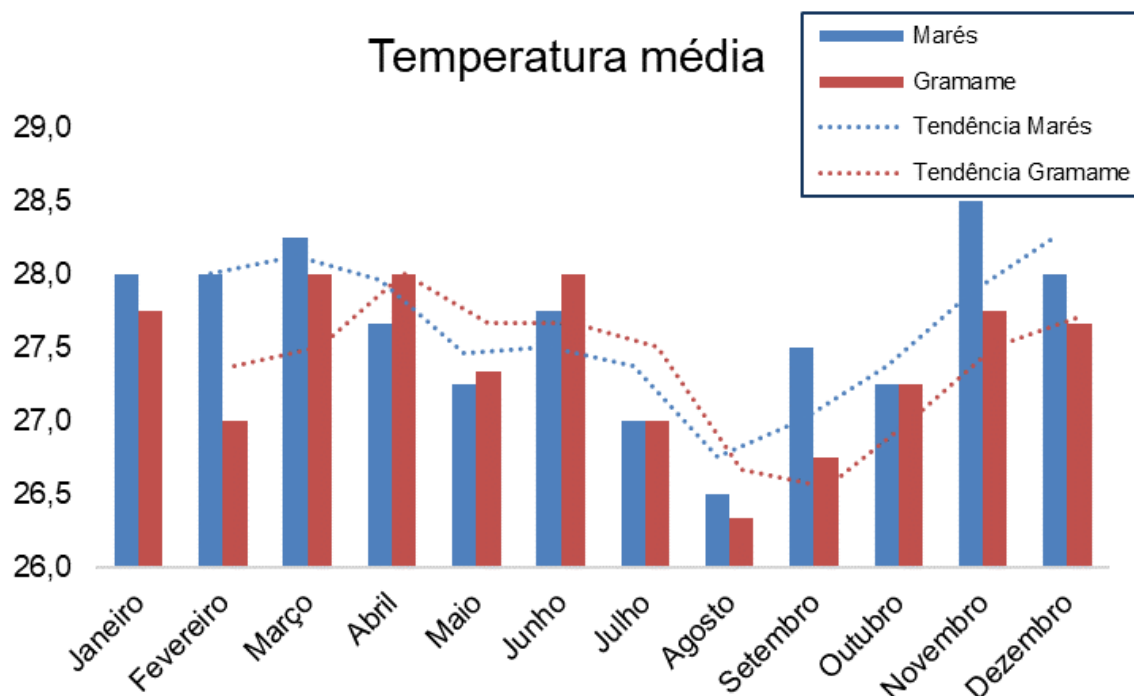
6.1 Qualidade da água dos reservatórios, 2005 a 2008

Durante esse período o monitoramento realizado nos dois reservatórios foi mensal, dos 10 parâmetros analisados pela SUDEMA, 8 foram selecionados devido a grau de importância, são eles: Temperatura, Cor, Turbidez, CE, pH, OD, DBO₅ e Coliformes termotolerantes, como os mais representativos e assim realizar inferência através da estatística descritiva sobre as dinâmicas dessas variáveis para os valores médios mensais e anuais. Os dados também foram agrupados em períodos sazonais de maior e menor pluviosidade para avaliar o comportamento dos parâmetros, ao final foram confrontados perante o limite legalmente definido na Resolução CONAMA n° 357/05 para água doce classe 2.

6.1.1 Parâmetros Físicos (Temperatura, Cor, Turbidez, CE)

A temperatura apresentou pouca variação nos dois reservatórios e baixas amplitudes de 26 - 30°C para Marés e 26 - 29°C em Gramame-Mamuaba, essas temperaturas são comuns na região tropical onde não há muita variação durante todo o ano (LUNA et al., 2010), avaliando a média mensal na Figura 17 constata-se que os reservatórios apresentaram temperaturas mais altas nos meses de novembro (28,5) em Marés e março (28,0), abril (28,0) e maio (28,0) em Gramame-Mamuaba, com o menor valor para agosto nos dois reservatórios (Marés = 26,5 e Gramame = 26,3). A tendência pela média móvel apresentou redução de abril-agosto e um aumento em setembro-dezembro para ambos, confirmando a semelhança em relação ao parâmetro analisado nos dois ambientes. O distanciamento da temperatura ideal para determinada época do ano deve ser acompanhado, pois podem indicar anomalias térmicas, como algum impacto causado por efluentes, emergências ambientais (CAMPOS, 2010).

Figura 17 - Temperatura média mensal (°C) dos Reservatórios Marés e Gramame-Mamuaba, 2005 a 2008

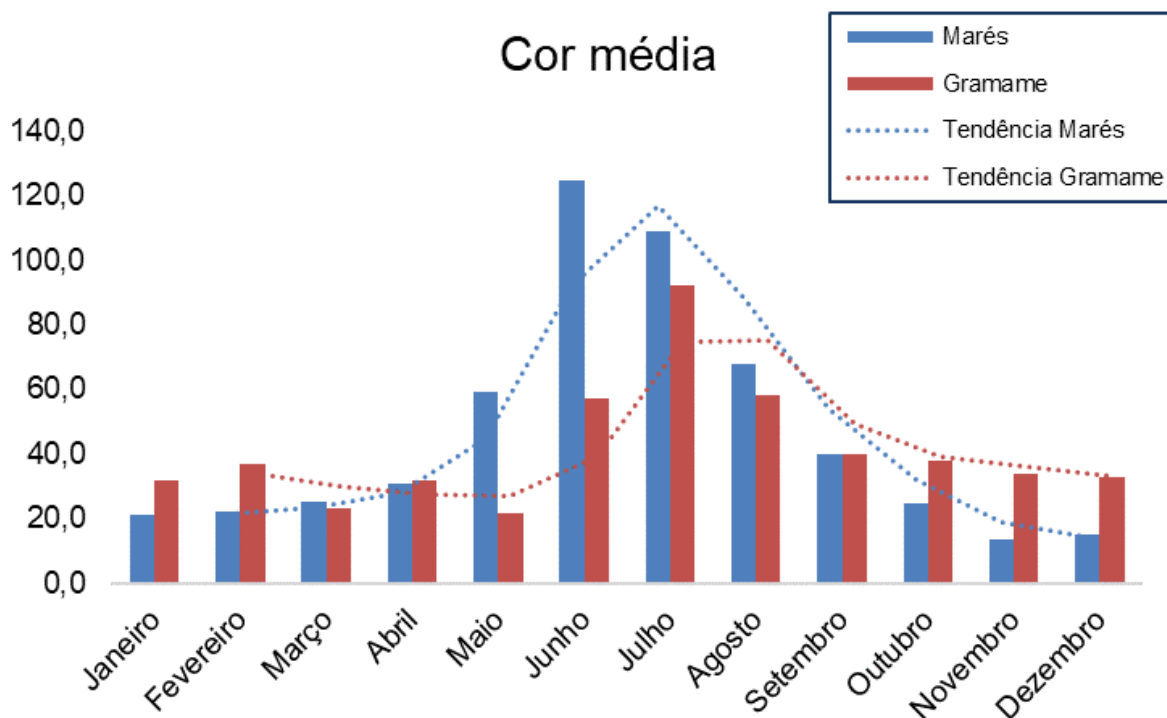


Fonte: SUDEMA, 2017

Apesar da maior variação da cor da água no reservatório de Marés, Gramame também apresentou dinâmica semelhante para a variação desse parâmetro de acordo com a tendência, Marés apresentou os maiores valores de maio a agosto e Gramame de junho a agosto, com os valores médio máximos em Marés no mês de agosto (124,8) e junho (92) para Gramame.

A Figura 18, por sua vez, mostra o limite máximo para cor de 75 pt/Co, estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/05 para água doce classe 2, levando em consideração toda a série histórica, Marés ultrapassou o limite legal 9 vezes, sendo 3 em 2005 (junho a agosto), 2 em 2006 (junho e julho) e 4 em 2008 (maio a agosto). Gramame-Mamuaba apresentou uma situação melhor em relação ao parâmetro cor, com apenas duas não conformidades no ano de 2005 durante os meses de julho a agosto.

Figura 18 - Cor média mensal (mg Pt/Co) dos Reservatórios Marés e Gramame-Mamuaba, 2005 a 2008



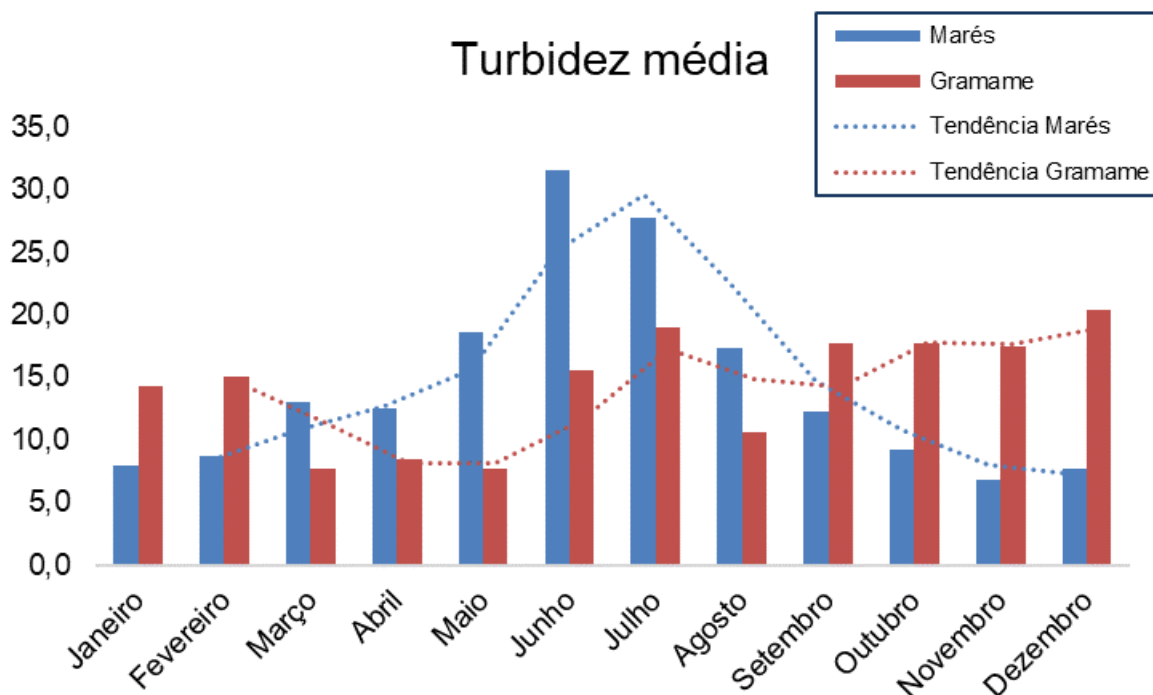
Fonte: SUDEMA, 2017

Com a chegada da estação chuvosa aumenta também a quantidade de material aportado nos reservatórios, sendo eles de origem orgânica ou inorgânica contribuem para uma maior incidência da cor, nesse período o cuidado deve ser dobrada nas estações de tratamento de água (ETAs), como já relatado, a matéria orgânica dissolvida que da cor a água, se não for removida em etapas pré-cloração pode gerar compostos indesejados.

A turbidez média no reservatório de Marés seguiu uma dinâmica semelhante a cor, com aumento no período de maio a agosto, com maior valor encontrado em junho (31,5), por outro lado, Gramame apresentou uma tendência própria totalmente diferente da cor e da turbidez em Marés, com um aumento gradativo de junho a dezembro e com redução nos meses de abril e maio.

Devido aos baixos valores da turbidez nenhuma não conformidade em relação à legislação foi encontrada para os dois reservatórios. Segundo Libânio (2010) os ambientes lênticos, como as represas apresentam turbidez abaixo dos 10 UNT com maior frequência do que em ambientes lóticos, isso devido a sua baixa velocidade de escoamento.

Figura 19 - Turbidez média mensal (UNT) dos Reservatórios Marés e Gramame-Mamuaba, 2005 a 2008

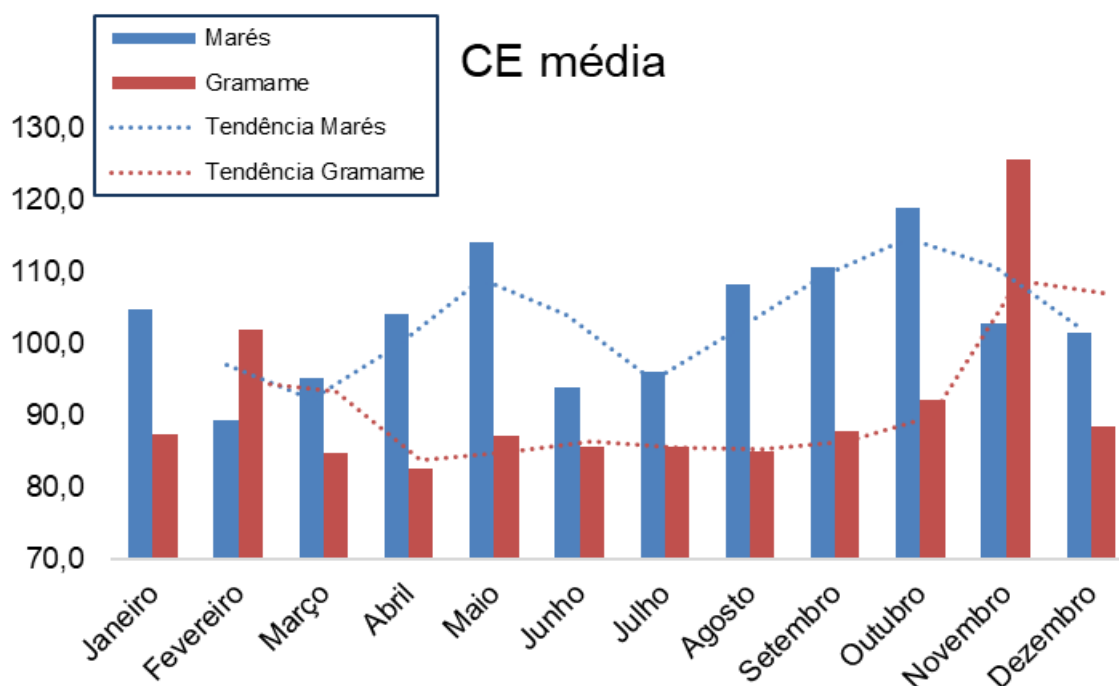


Fonte: SUDEMA, 2017

A condutividade elétrica da água apresentou maior variação em Marés com picos máximos nos meses de maio (114,0) e novembro (108,3), já Gramame-Mamuaba possui uma estagnação de abril a outubro (próximos de 90), sobre essa variação, podemos inferir que Gramame-Mamuaba por apresentar um volume de água muito superior ao outro reservatório seja um dos aspectos para a pouca variação da condutividade elétrica, essa variável tem ligação direta com o aporte de íons e com os períodos onde a concentração de material dissolvido aumenta, como no de estiagem.

De acordo com a CETESB (2011), as águas com condutividade acima de 100 μS são consideradas impactadas, porém não é uma realidade para a nossa região, principalmente no semiárido onde os rios intermitentes apresentam facilmente valores que ultrapassam esse limite. Adiante, a Figura 20, vai apresentar a média entre os anos de 2005 e 2008.

Figura 20 - Valores médios de condutividade elétrica (mS/cm) dos Reservatórios Marés e Gramame-Mamuaba, 2005 a 2008



Fonte: SUDEMA, 2017

Com relação aos parâmetros físicos, a temperatura e a cor foram os que apresentaram um comportamento semelhante nos dois reservatórios, já a turbidez e a condutividade elétrica apresentaram tendências claramente distintas.

6.1.2 Parâmetros Químicos (pH, OD e DBO₅)

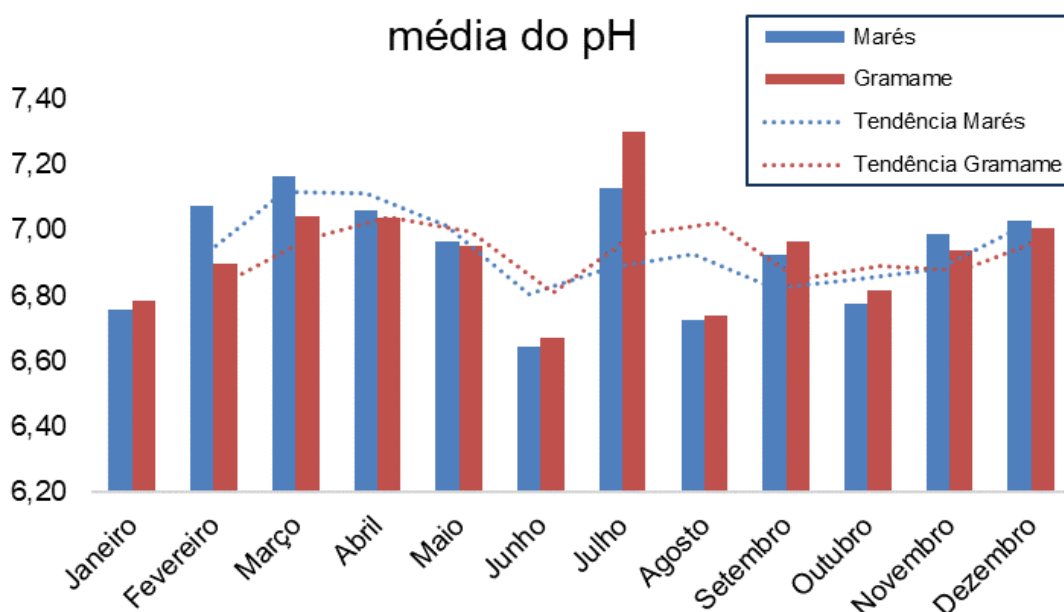
Os valores médios de pH são bastante próximos e com pouca variação no decorrer do período monitorado, os valores estão na faixa de 6 a 8 para os dois reservatórios, esses valores são aceitáveis dentro do limite da legislação pertinente para água doce classe 2, a tendência dos dois reservatórios também apresenta comportamento semelhante, com os meses de junho e agosto com as menores médias de pH e um pico positivo no mês de julho em ambos, esses meses que estão dentro do período de maior pluviosidade.

De maneira geral e com base nos dados obtidos pela SUDEMA, as águas dos reservatórios de Marés e Gramame-Mamuaba apresentam águas ácidas (pH < 7) na maior parte do tempo, embora variações de pH ocorram durante todo o dia. Para

Braga et al., (2005) em águas ácidas ocorrem mais reações do oxigênio com metais depositados nos sedimentos. Os dados da SUDEMA, obtidos entre os anos de 2005 e 2008 podem ser vistos na Figura 21, mais adiante.

De acordo Esteves (2011), o pH possui uma taxa de variação diária nos corpos hídricos, porém o aumento da pluviosidade pode contribuir para a acidificação da água do manancial superficial devido a acidez natural da água da chuva, aspectos geológicos também contribuem junto com o escoamento superficial que é carregado para os mesmos.

Figura 21 - Valores médios de pH dos Reservatórios Marés e Gramame-Mamuaba, 2005 a 2008

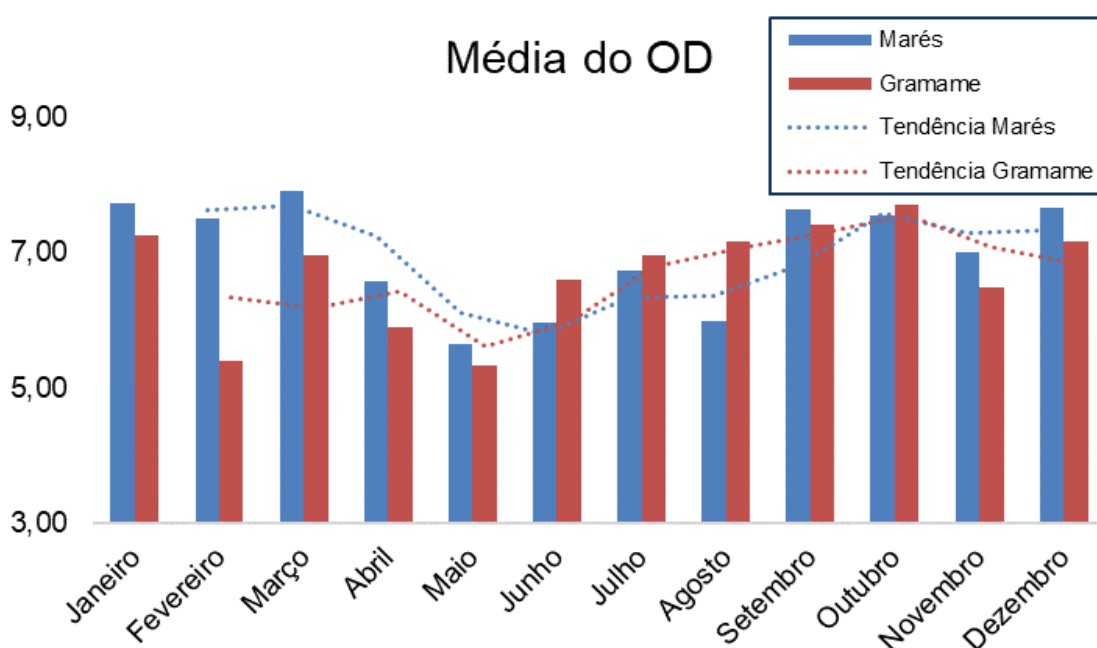


Fonte: SUDEMA, 2017

As tendências do OD na Figura 22 apresentaram um comportamento bastante semelhante, com os menores valores médios registrados no mês de maio (Marés = 5,65 e Gramame-Mamuaba = 5,33), constatando assim que o oxigênio dissolvido permaneceu em níveis satisfatórios em ambos os locais, tanto para a manutenção da vida aquática como em relação ao enquadramento (> 5mg/L de O₂), no entanto duas não conformidades em Marés nos meses de maio-06 (3,2mg/L) e agosto-08 (1,6 mg/L) e duas em Gramame-Mamuaba nos meses de fevereiro-05 (3,2 mg/L) e maio-06 (3,6 mg/L).

O reservatório de Marés apresentou redução dos níveis de OD nos meses de abril a agosto. Já Gramame-Mamuaba a redução foi constatada a partir do mês de fevereiro a maio, apresentando uma recuperação significativa de junho a outubro, podendo essa redução ser atribuída ao aumento da drenagem superficial provocado nos períodos de maior pluviosidade e que também aumenta o aporte de materiais transportados pela água para dentro dos reservatórios

Figura 22 - Valores médios do OD dos Reservatórios Marés e Gramame-Mamuaba, 2005 – 2008



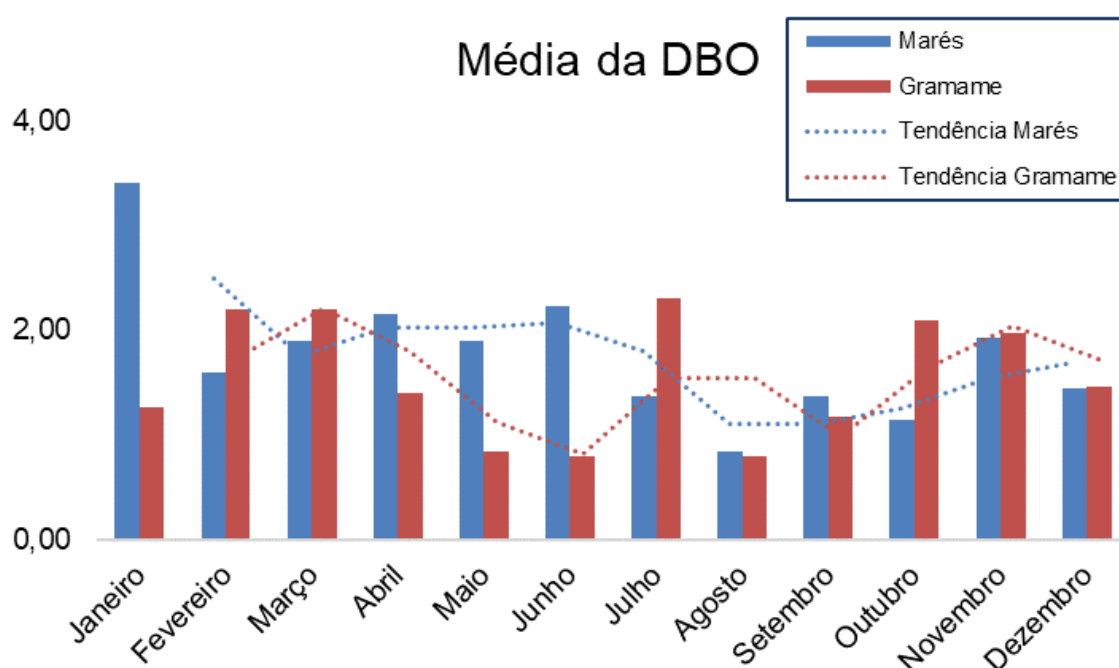
Fonte: SUDEMA, 2017

De acordo com Von Sperling (1998), Em geral, o oxigênio dissolvido e a demanda bioquímica de oxigênio são parâmetros complementares, pois a água com alto teor de matéria orgânica geralmente apresentam baixos valores de oxigênio dissolvido enquanto que as águas com alta taxa de regeneração de oxigênio em geral apresentam baixos valores de DBO₅, pois conseguem prover a quantidade necessária de oxigênio para estabilizar a matéria orgânica. A DBO₅ dos reservatórios também apresentou uma grande variação no período analisado, porém com valores abaixo do limite definido pela Resolução CONAMA e apenas uma não conformidade constatada, sendo janeiro-05 (5,4 mg/L) em Marés, portanto, o teor de matéria orgânica não é um problema para os sistemas estudados, a alta atividade biológica

dos organismos e microrganismos decompositores fazem com que os valores da DBO₅ permaneçam sempre muito baixos.

O aumento do volume e o tempo de residência da água nos dois sistemas contribuem para o aumento da eficiência da degradação da matéria orgânica, portanto reduz os valores da DBO₅ como já relatado por diversos autores (TUNDISI, MATSUMURA-TUNDISI, 2008; ESTEVES, 2011; LIBÂNEO, 2012). A falta de dados em determinados períodos e os furos apresentados pela série histórica também prejudicam uma análise mais fidedigna dos corpos hídricos.

Figura 23 - Valores médios da DBO₅ dos Reservatórios Marés e Gramame-Mamuaba, 2005 – 2008



Fonte: SUDEMA, 2017

6.1.3 Coliformes Termotolerantes

Apesar de o grupo coliforme ser um indicador bastante eficiente e de rápido diagnóstico para determinados tipos de contaminação, em geral envolvendo efluentes domésticos, as amostras coletadas próximo às margens ou outros locais que possam ser acessado por animais endotérmicos³, podem ter influenciado os

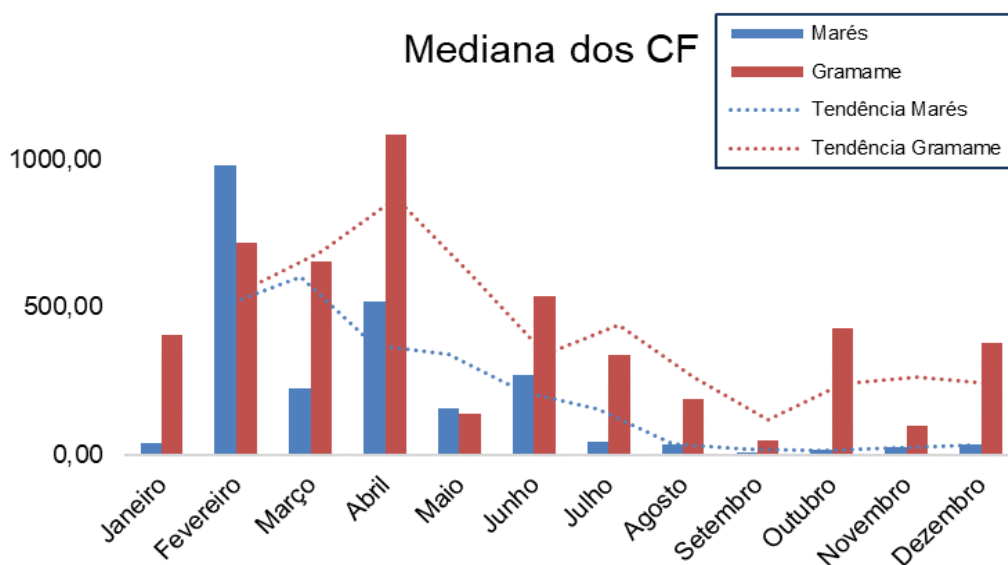
³ Animais de sangue quente devido à capacidade de gerarem a maior parte do calor que necessitam.

valores e formado alguns *outliers*⁴ nos dados, mesmo assim por se tratarem de dados oficiais os mesmos foram considerados.

Aplicando os limites utilizados na Resolução CONAMA nº 357/05, para o uso recreacional (> 2500 UFC/100ml) apenas Gramame-Mamuaba ultrapassou o limite legal no mês de outubro-05, para outros usos (>1000 UFC/100ml) Gramame-Mamuaba apresentou 3 (fevereiro-05, março-06 e abril-06), Marés apresentou apenas uma não conformidade também no mês de fevereiro-05.

Os valores das análises de coliformes apresentaram a maior variação de todos os dados avaliados nesse estudo, devido a esse fato com extremos de amplitude bastante elevada, foram utilizadas as medianas como medida central em substituição a média, sendo assim, as medianas dos valores separados anualmente em marés foram bastante inferiores aos de Gramame-Mamuaba. Apesar do reservatório de Marés apresentar alguns riscos envolvendo efluentes domésticos, como a proximidade com bairros periféricos com carência de saneamento e serviços como o de coleta regular de lixo, galeria de esgoto próxima com vazamento constante (como apresentado na Figura 6), esses problemas por enquanto ainda não afetam a qualidade da água no local de captação da ETA.

Figura 24 - Valores médios de Coliformes dos Reservatórios Marés e Gramame-Mamuaba, 2005- 2008



Fonte: SUDEMA, 2017

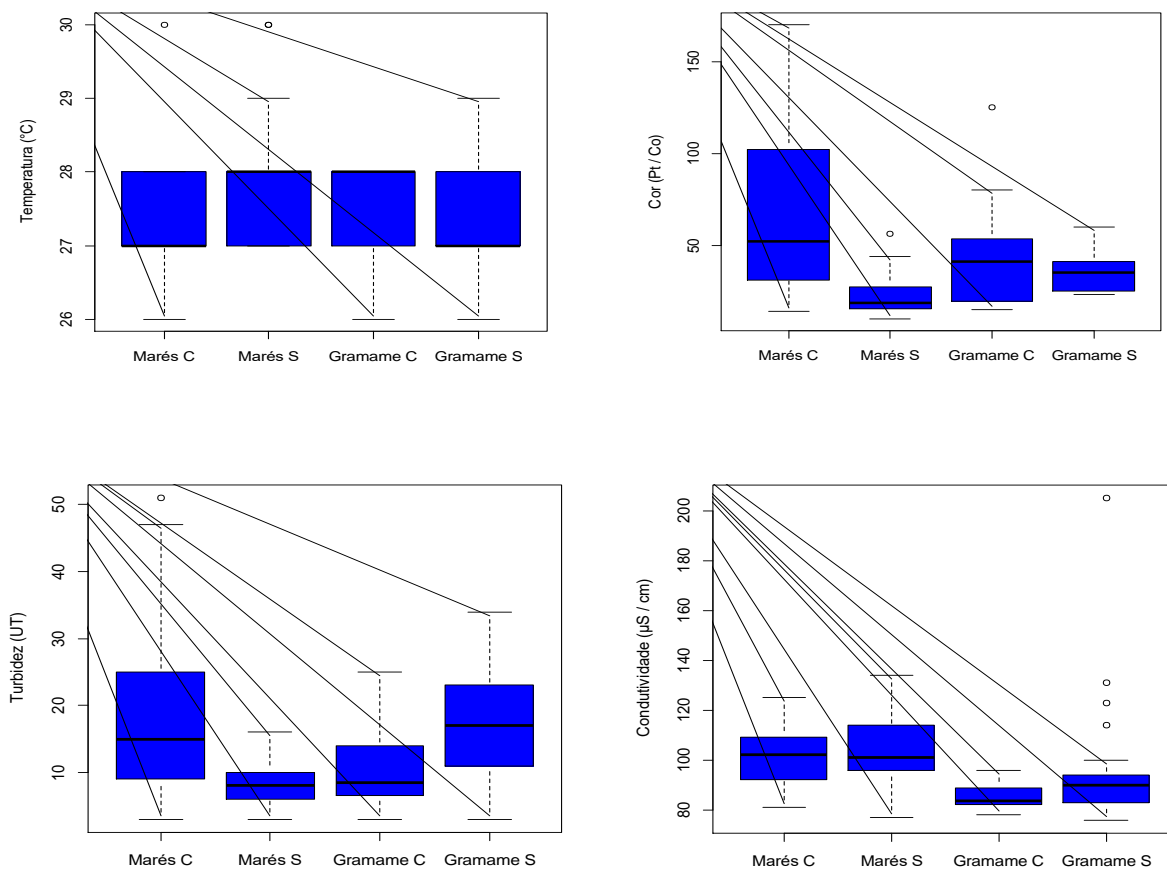
⁴ Valor atípico, fora da faixa de normalidade para determinado parâmetro.

Com relação às medianas mensais apresentadas na Figura 24, a quantidade de coliformes termotolerantes apresentou um comportamento semelhante nos dois reservatórios, com valores mais altos no início do ano e uma diminuição até o final do ano, em geral as médias de Gramame-Mamuaba são superiores às de Marés.

6.2 Comportamento Sazonal

A separação por períodos de maior e menor pluviosidade serve para saber como determinado parâmetro se comporta frente a essas mudanças, os períodos foram separados de acordo com as informações de precipitação do INMET, sendo o período de maior pluviosidade de fevereiro a agosto e de menor pluviosidade de setembro a janeiro.

Figura 25 - Distribuição sazonal da temperatura, cor, turbidez e condutividade dos dois reservatórios durante os períodos de maior e menor pluviosidade, dos anos de 2005 a 2008 (C – estação chuvosa, S – estação seca)



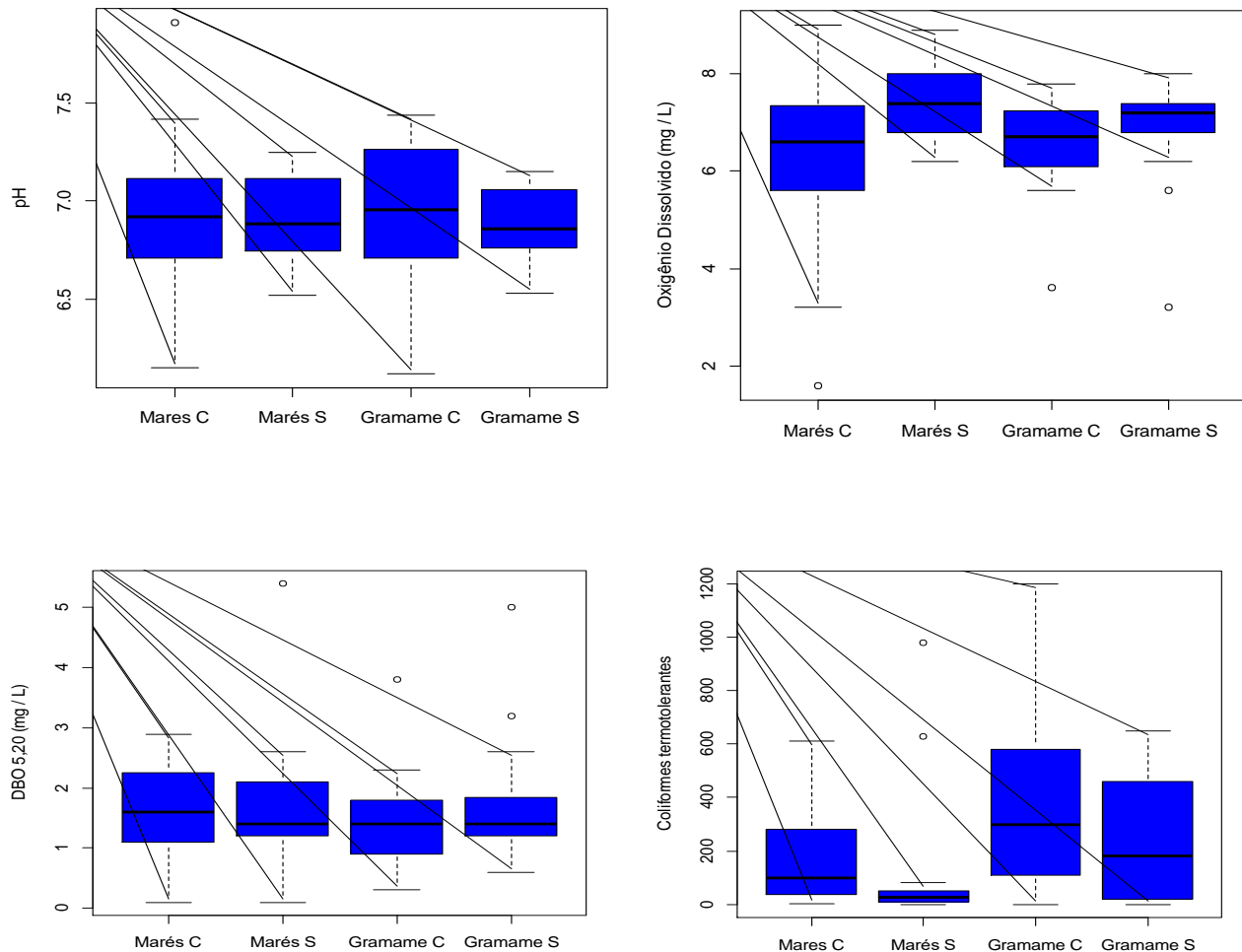
Ao analisar a dinâmica das temperaturas em relação às sazonalidades dos períodos pluviométricos distintos, apresentados na Figura 25 e a Tabela 7 com o resumo desses valores, não foram constatadas diferenças entre os dois ambientes nas entre as estações mais chuvosas e menos chuvosas.

A cor apresentou diferenças entre os períodos, com os maiores valores na estação chuvosa nos dois reservatórios, sendo Marés com a maior variação desse parâmetro. Já a turbidez apresentou dinâmica diferente entre os dois reservatórios, com Marés diminuindo no período de menor pluviosidade enquanto que Gramame-Mamuaba a turbidez aumenta no mesmo período. A condutividade elétrica como esperado, aumentou um pouco no período de estiagem, quando a evaporação da água aumenta e a concentração de substâncias dissolvidas na água tende a aumentar.

Tabela 7 - - Resumo dos valores da Figura 25 (Q3 - terceiro quartil, Q1 - primeiro quartil)

	Temperatura				Cor			
	Marés C	Marés S	Gramame C	Gramame S	Marés C	Marés S	Gramame C	Gramame S
Max	30	30	28	29	170	56	125	60
Q3	28	28	28	28	102	26,25	50,75	41,75
Média	27,39	27,88	27,37	27,41	71,09	22,42	43,38	35,55
Mediana	27	28	27	27	52	18,5	41	35
Q2	27	27	27	27	31	15,75	19,75	25,25
Min	26	27	26	26	14	10	15	23
	Turbidez				Condutividade elétrica			
	Marés C	Marés S	Gramame C	Gramame S	Marés C	Marés S	Gramame C	Gramame S
Max	51	16	25	34	125	134	96	105
Q3	25	10	14	22,75	109	114	89	97,32
Média	18,43	8,42	10,75	17,05	101,8	104,6	85,12	97,32
Mediana	15	8	8,5	17	102	102	83,5	90
Q2	9	6	6,75	11,25	92	96,5	82	83
Min	3	3	3	3	81	77	78	76

Figura 26 - Distribuição sazonal da temperatura, cor, turbidez e condutividade dos dois reservatórios durante os períodos de maior e menor pluviosidade, dos anos de 2005 a 2008 (C – estação chuvosa, S – estação seca)



Os demais parâmetros apresentaram pouca variação com relação as diferenças sazonais, o pH não apresentou diferenças em relação as estações mais chuvosas e menos chuvosas, o oxigênio dissolvido e a DBO₅ também quase não houveram diferença entre as estações de maior e menor pluviosidade, porém a única diferença encontrada na Figura 26 diz respeito ao coliformes termotolerantes, que em Marés S foi significativamente menor na estação chuvosa, ao passo que Gramame-Mamuaba também apresentou pouca variação.

Tabela 8 - Resumo dos valores da Figura x (Q3 - terceiro quartil, Q1 - primeiro quartil)

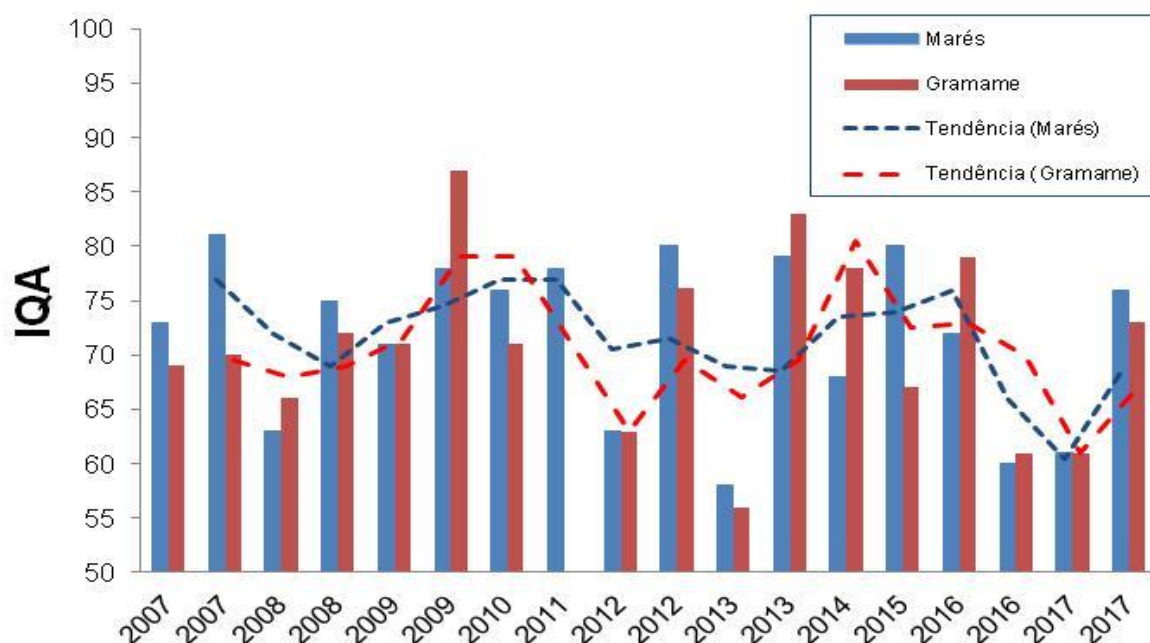
	pH				OD			
	Marés C	Marés S	Gramame C	Gramame S	Marés C	Marés S	Gramame C	Gramame S
Max	7,91	7,43	7,25	7,26	9,00	8,90	7,80	8,00
Q3	7,115	7,17	7,11	7,1	7,35	8,00	7,23	7,40
Média	6,943	6,70	6,92	6,88	6,46	7,50	6,51	6,96
Mediana	6,92	6,91	6,89	6,88	6,60	7,40	6,70	7,20
Q2	6,17	6,67	6,753	6,775	5,60	6,80	6,15	6,83
Min	6,15	6,12	6,52	6,53	1,60	6,20	3,60	3,20
	DBO				Coliformes			
	Marés C	Marés S	Gramame C	Gramame S	Marés C	Marés S	Gramame C	Gramame S
Max	2,9	5,4	3,8	5	610	2110	1500	4310
Q3	2,25	2,1	1,6	1,825	280	620	60	550
Média	1,674	1,676	1,385	1,7	178,3	555,6	158,2	517,6
Mediana	1,6	1,4	0,8	1	100	430	30	310
Q2	1,1	1,2	0,8	1	35	117,5	10	50
Min	0,1	0,1	0,3	0,8	2	0	0	0

6.3 Qualidade da água de acordo com o IQA, 2007 a 2017

Diversos estudos têm utilizado o IQA como parâmetro para avaliação da qualidade da água nos mais variados tipos de ambientes aquáticos, alguns deles inclusive, utilizando dados oficiais disponibilizados por instituições de controle ambiental, secretarias de meio ambiente e recursos hídricos e companhias de saneamento, entre outros, Ferreira; Ide (2001), Toledo; Nicollela, (2002), Saad *et al.* (2007), Piesentin *et al.* (2009), Zanini *et al.* (2010), Gibrilla *et al.* (2010), Alves *et al.* (2012), Bucci; Oliveira (2014), Gohen *et al.* (2014), Bora; Goswani (2017).

Algumas semelhanças nas variações dos ambientes monitorados foram verificadas, assim, para todo o período de monitoramento, tanto as águas do reservatório de Marés quanto à de Gramame-Mamuaba, evidenciaram valores médios de IQA próximos de 70, o que as classificam como sendo de “boa” qualidade na maior parte do tempo, os maiores valores de IQA, que indicaram águas com classificação “ótima”, foram registrados em 2007 (Marés, IQA = 81), 2009 (Marés, IQA = 88 e Gramame-Mamuaba, IQA = 93), 2013 (Gramame-Mamuaba = 83) e 2015 (Gramame-Mamuaba = 83). Tais evidências estão representadas na Figura 27, mais adiante.

Figura 27 - Valores do IQA dos reservatórios de Marés e Gramame-Mamuaba



Fonte: SUDEMA, 2018

Durante o período monitorado, as frequências das classificações de qualidade da água estiveram entre 87-88% (“boa”) e 12-13% (“ótima”), sendo Marés superior em 50,0% dos resultados, em 33,3% Gramame-Mamuaba foi superior e, em 11,1% os dois reservatórios apresentaram valores iguais, enquanto que em 5,5% não foi possível comparar devido à falta do IQA no de Gramame-Mamuaba (2011). Analisando a tendência dos valores nos dois reservatórios, constata-se que tanto Marés quanto Gramame-Mamuaba possui um decréscimo nos valores do índice.

Apesar da boa qualidade da água que escoa pela microbacia do Rio Marés e pela bacia do Rio Gramame, fragilidades ligadas aos serviços de coleta, transporte e destinação de esgotos domésticos, de resíduos sólidos nos municípios, grandes áreas agricultáveis que fazem uso de agrotóxicos, fertirrigação com vinhaça (efluente de usina) e efluentes industriais podem ser observados (GADELHA; DINIZ, 1999).

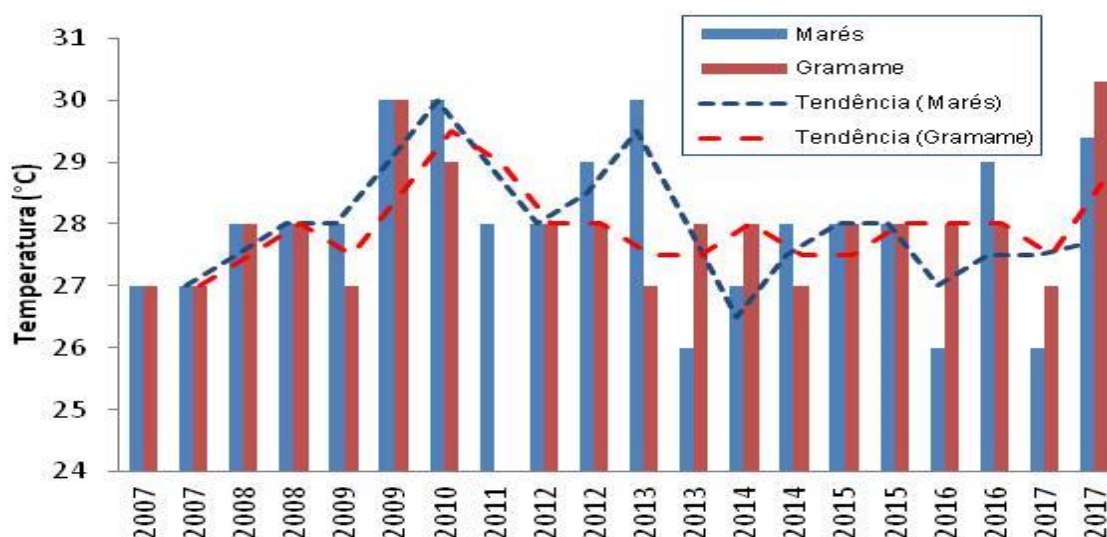
Para Melo *et al.* (2013), as atividades agrícolas nas pequenas propriedades e a recreação são responsáveis por desmatamentos e contaminação do rio Marés, assim como a mineração de areia para construção civil e trechos utilizados para recreação pública e privada, que resultam em uma pressão constante na bacia e consequentemente na qualidade da água do reservatório.

6.3.1 Componentes do IQA: Temperatura, turbidez, ph, OD, DBO₅, Coliformes, Nitrogênio, Fósforo e Resíduo Total

Assim como na série histórica anterior a temperatura da água nos dois ambientes que são componentes da construção do IQA também apresentaram pouca variação, em muitos anos foram iguais, com Marés apresentando as temperaturas menores em alguns casos chegando aos 26°C, enquanto que o menor valor registrado para Gramame-Mamuaba foi de 27°C, esse parâmetro teve pouca influência nas variações do IQA, com relação às tendências calculadas através da média móvel a principal diferença entre eles foi que Marés apresentou um segundo pico positivo em 2013 e dois picos negativos. O primeiro em 2014 e o segundo em 2016.

Segundo Tundisi e Matsumura Tundisi (2009), as zonas tropicais apresentam menor variação de temperatura do que nas zonas temperadas, para Boyd (2014), o alto calor específico da água é o principal responsável pela estabilidade da temperatura dos corpos hídricos, o menor volume de água do Reservatório de Marés em comparação ao Reservatório de Gramame-Mamuaba faz com que o mesmo apresente maior variação da temperatura.

Figura 28 - Temperatura da água dos reservatórios de Marés e Gramame-Mamuaba



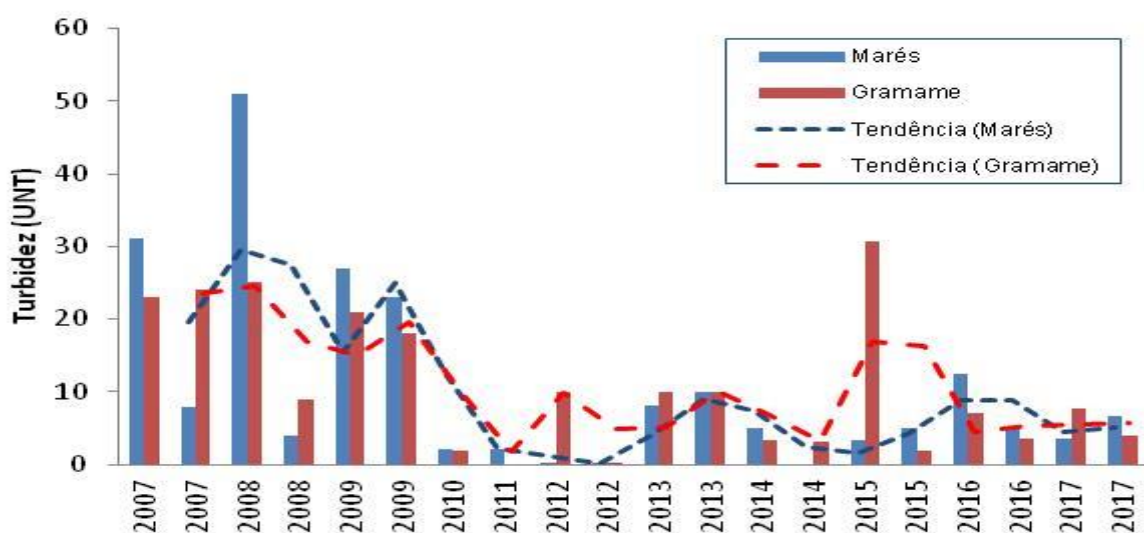
Fonte: SUDEMA, 2017

A turbidez que é mostrada adiante, na Figura 29, apresentou uma significativa redução nos dois reservatórios durante o período analisado, em 2008 foi o maior

valor desse parâmetro para Marés (51) e em 2015 em Gramame-Mamuaba (30,6), mesmo assim valores ainda baixos e muito longe do limite legal exigido pelo CONAMA. Ambos os reservatórios apresentaram tendência negativa com significativa redução dos valores de turbidez, com Gramame-Mamuaba apresentando dois picos positivos em 2012 e 2015.

O tempo de retenção da água no reservatório é apontado por muitos autores como Libâneo (2010), Esteves (2011), Herschy e Fairbridge (2012), como fator primordial para melhoria da sedimentação dos sólidos suspensos e que conseqüentemente causam turbidez, em um rio onde existe uma correnteza essa sedimentação é bem mais demorada, principalmente em período de maior pluviosidade onde o aporte de sedimentos é maior.

Figura 29 - Turbidez da água dos reservatórios de Marés e Gramame-Mamuaba



Fonte: SUDEMA, 2017

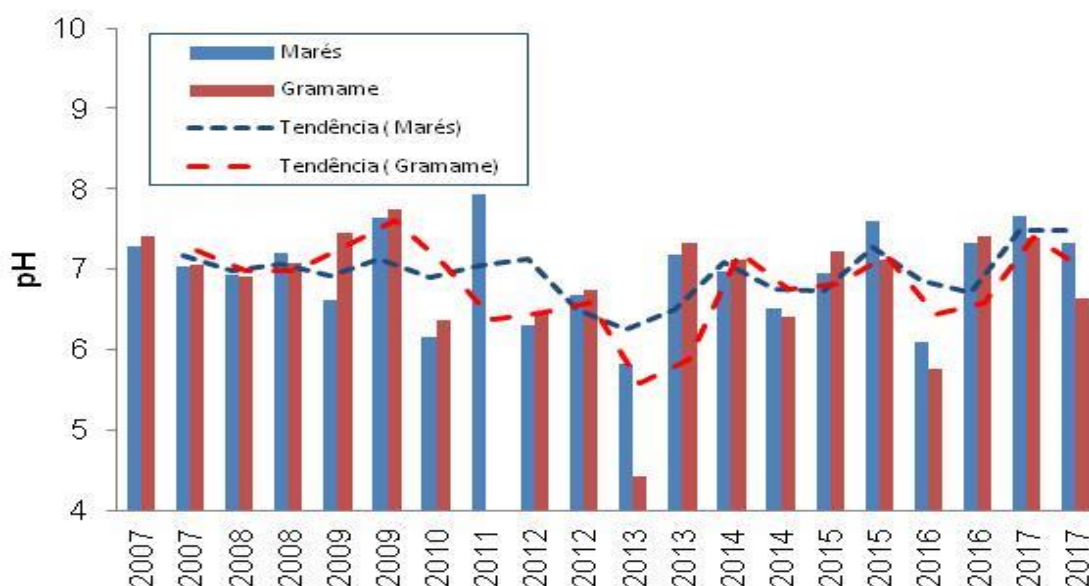
O pH da água dos dois reservatórios apresentaram pouca variação e tendências bastante semelhantes, com uma baixa significativa em Gramame-Mamuaba no ano de 2013 (4,42), sendo esse parâmetro um dos que mais contribui para a redução do valor do IQA do reservatório e em menor proporção o IQA de Marés.

Esse parâmetro tem influência tanto na solubilidade, quanto no equilíbrio das soluções, essas propriedades nas substâncias podem determinar inclusive muitas características na água, como a intensidade da cor, a formação de determinado

ânion, a disponibilidade de alguns nutrientes favorecendo determinadas reações metabólicas na biota aquática, como também determinar a toxicidade de alguns elementos como metais (LIBÂNIO, 2010).

De acordo com Esteves (2011), os baixos valores de pH influenciam aspectos fisiológicos dos peixes, ocorre que cada espécie reage diferente aos ambientes ácidos, em algumas ocorre a redução na taxa de crescimento, outras desenvolvem problemas de reprodução e na formação óssea.

Figura 30 - Valores do pH da água nos reservatórios de Marés e Gramame-Mamuaba

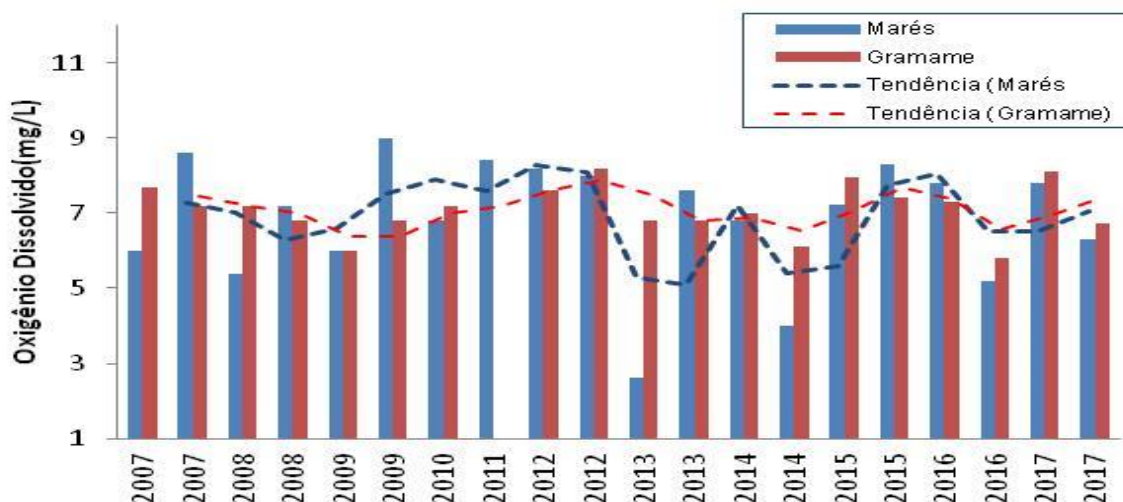


Fonte: SUDEMA, 2017

Mais adiante, a amostragem dos valores de OD, vistos na Figura 31, apresentaram maior amplitude em Marés, apresentando duas não conformidades em relação ao exigido pela legislação em 2013 (2,6 mg/L) e 2014 (4mg/L), esses dois resultados tanto influenciaram a tendência com duas baixas significativas para os respectivos anos como o valor do IQA de 2013.

Em termos gerais, valores inferiores a 5mg/L podem causar problemas para a manutenção de peixes, a presença de matéria orgânica oxidável presente em efluentes sanitário, por exemplo, podem agir como um redutor do oxigênio dissolvido na água (OD) devido à participação dele no processo de mineralização realizado pelas bactérias aeróbias (BRASIL, 2012).

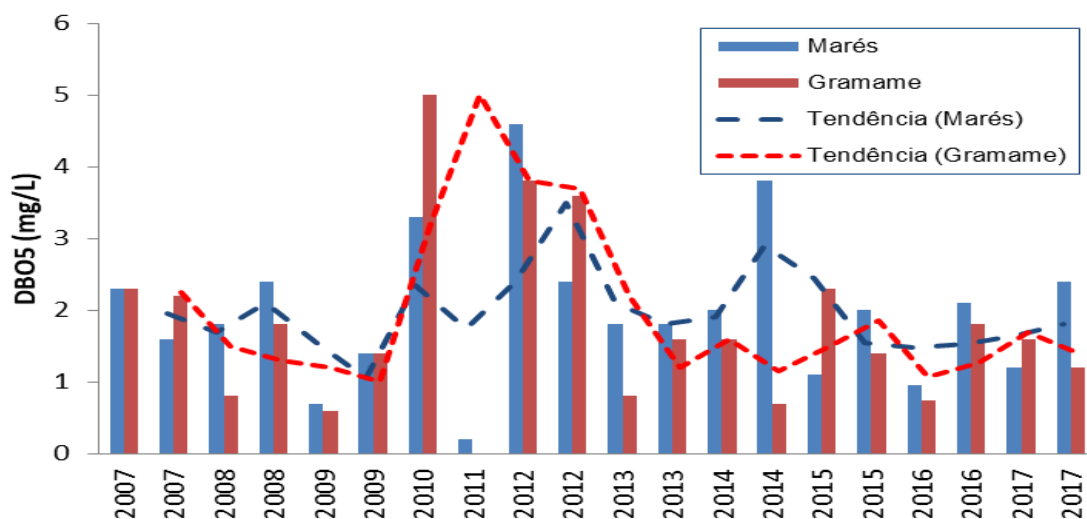
Figura 31 -Oxigênio Dissolvido nos reservatórios de Marés e Gramame-Mamuaba



Fonte: SUDEMA, 2017

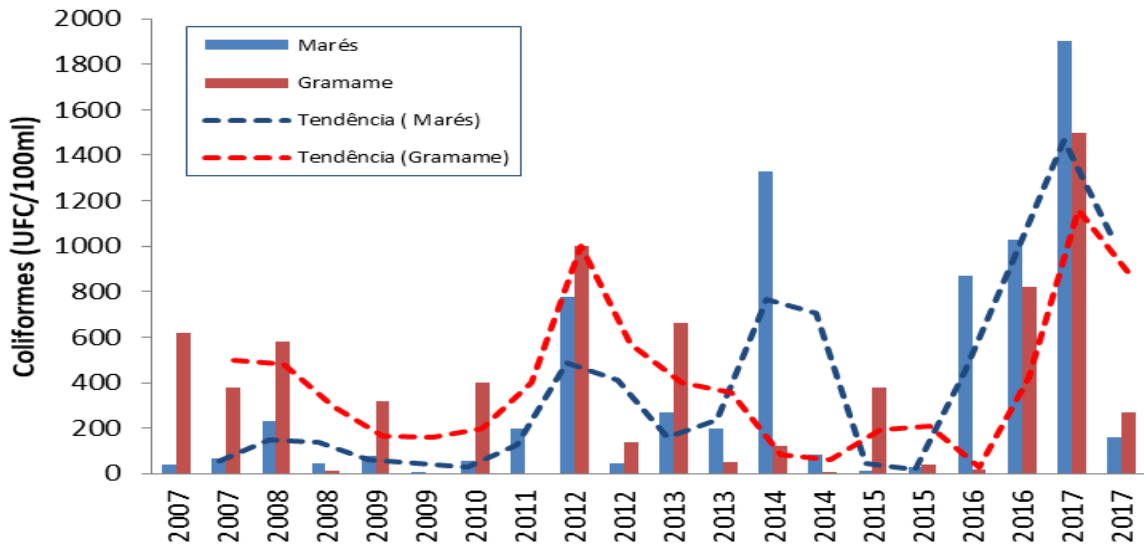
No caso de Marés, onde foi comprovado em levantamento de campo que o reservatório recebe efluente sanitário bruto em uma determinada localidade, talvez seja um dos fatores que contribuem para taxas de OD tão baixas em determinados períodos da série, sendo um problema que pode afetar diretamente outros parâmetros como a densidade de coliformes termotolerantes e os valores de DBO₅ mostrados na Figura 32, apontam para o fato de que a CAGEPA precisa urgentemente solucionar esse problema para que a população que utiliza o manancial para diversos fins, principalmente o consumo humano, não seja afetada.

Figura 32 - Valores de DBO₅ dos reservatórios de Marés e Gramame-Mamuaba



Fonte: SUDEMA, 2017

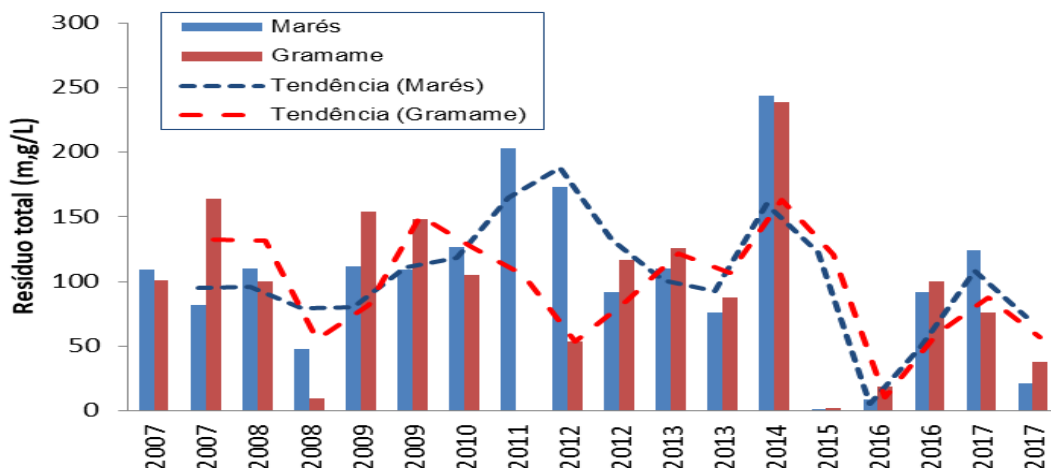
Figura 33 - Coliformes dos reservatórios de Marés e Gramame-Mamuaba



Fonte: SUDEMA, 2017

O aumento gradativo dos coliformes nos dois reservatórios é um sinal de alerta, principalmente no reservatório de Marés, no início da série os valores de Gramame-Mamuaba eram nitidamente maiores, porém a concentração no outro manancial foi mais sensível, principalmente, a partir de 2014, sendo também constatado nos dois reservatórios, sobretudo nos dois últimos anos da série. O resíduo total, representado na Figura 34, apresentou seu maior valor em 2014 (>200 mg/L) para os dois reservatórios e seu menor valor em 2015 (<20mg/L), demonstrando uma redução bastante significativa nesse período.

Figura 34 - Resíduo Total dos reservatórios de Marés e Gramame-Mamuaba

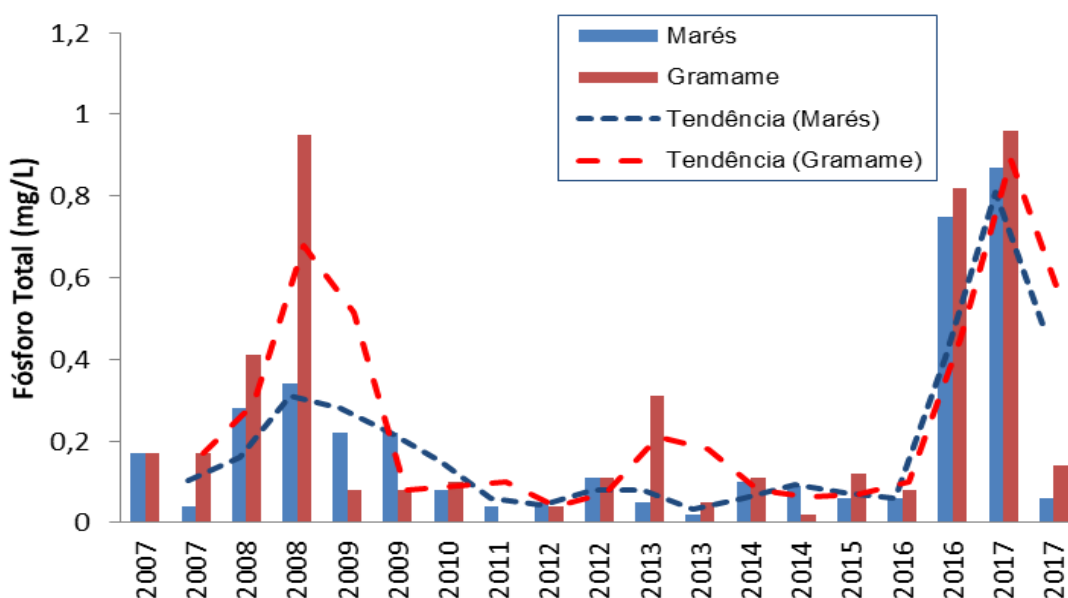


Fonte: SUDEMA, 2017

Os últimos dois parâmetros integrantes do IQA são bastante importantes sob o ponto de vista ecológico, são eles o fósforo total e o nitrogênio total, por serem nutrientes para diversos tipos de organismos aquáticos, tem o papel fundamental na produtividade primária e na manutenção da vida nesses ecossistemas. De acordo com Braga *et al.*(2005), o excesso desses nutrientes produz o efeito conhecido como eutrofização, com o crescimento adicional de fitoplanctons e de diversos tipos de algas, ocasionando uma mudança das espécies residentes e conseqüentemente levando a alterações na qualidade da água, isso afetando até outros parâmetros como os níveis de oxigênio e grandes deslocamentos da faixa de pH.

Os valores de Fósforo Total vistos na Figura 35, apresentaram valores inferiores a 0,4mg/L nos dois reservatórios, com exceção para os anos de 2008 (Gramame = 0,95), 2016 (Marés = 0,75, Gramame = 0,82) e 2017 (Marés = 0,87, Gramame = 0,96), todos os valores abaixo de 1mg/L de P. Acontece que todos esses valores são bastante superiores aos limites imposto pela Resolução CONAMA nº 357/05, que para água doce classe 2, existem diferenças entre os limites para ambientes lênticos, ambientes intermediários (com tempo de residência entre 2 a 40 dias, e tributários de ambiente lêntico) e ambientes lóticos e tributários de ambiente intermediário, sendo respectivamente, 0,030 mg/L, 0,050mg/L e 0,1mg/L.

Figura 35 - Fósforo Total dos reservatórios de Marés e Gramame-Mamuaba

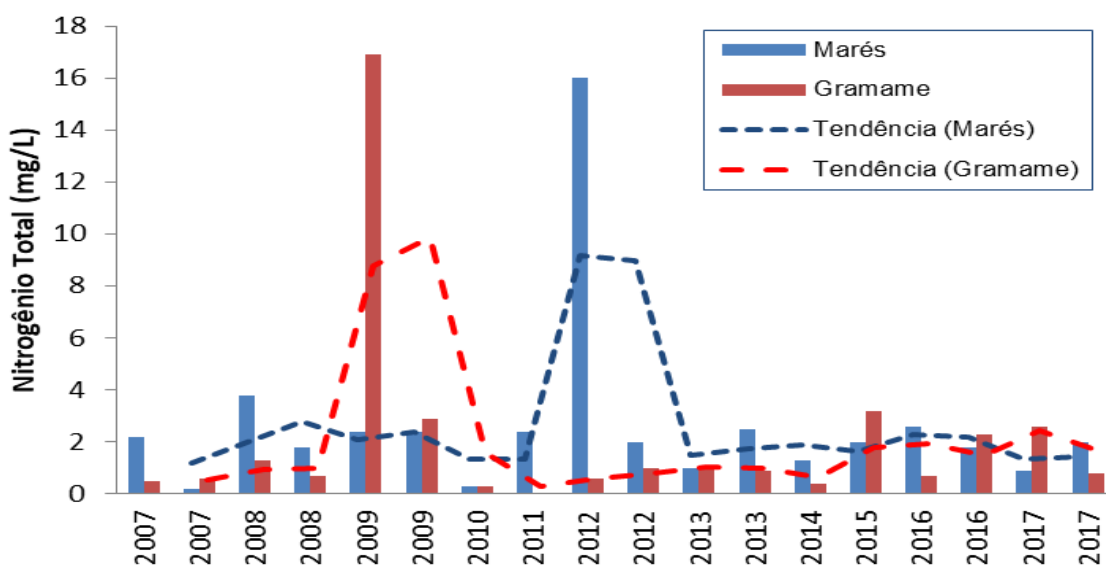


Fonte: SUDEMA, 2017

O fósforo pode adentrar os corpos d'água por diferentes vias, através do desgaste de rochas que contenham fosfatos é a única de fonte natural (BRAGA *et al.*, 2005), fertilizantes aplicados em áreas agricultáveis, detergentes oriundos de efluentes domésticos e outros produtos utilizados nas residências (ROCHA *et al.*, 2009), dependendo da bacia hidrográfica (urbana ou agrícola) essas fontes podem contribuir mais ou menos para aporte desse nutriente, devendo haver gestão diferenciada e principalmente controle sob o uso e ocupação do solo na mesma (BRASIL, 2012).

Com relação aos valores de Nitrogênio Total, apresentados na Figura 36, em geral os valores foram menores que 4mg/L, com exceção dos anos de 2009 (Gramame = 16,9) e 2012 (Marés = 16), Marés não apresentou uma tendência com valores finais aproximados dois iniciais da série, enquanto que Gramame apresentou uma tendência um pouco crescente. A problemática que envolve esse nutriente é que quando associado ao fósforo, acarreta ao problema já relatado de eutrofização nos reservatórios, geralmente é encontrado em maior quantidade do que o fósforo como é o caso da área de estudo, mas quando ele é o fator limitante para eutrofização seu limite segundo a Legislação pertinente é de 1,27mg/L para ambiente lótico em água doce classe 2.

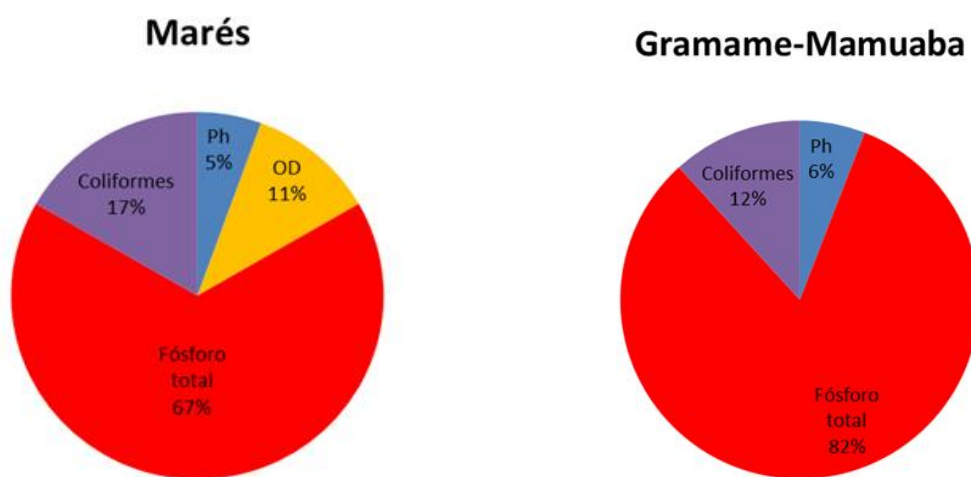
Figura 36 - Nitrogênio Total dos reservatórios de Marés e Gramame-Mamuaba



Fonte: SUDEMA, 2017

Analisando-se alguns dos parâmetros que fazem parte do IQA que possuem limites segundo a Resolução CONAMA 357/2005, para água doce classe 2, pode-se observar que Marés apresentou 18 não conformidades e Gramame-Mamuaba 17, em sua grande maioria referente aos níveis de fósforo total (limite de 0,05 mg/L), seguido de coliformes termotolerantes (limite de 1.000 UFC/100ml) e oxigênio dissolvido (mín. 5,0 mg/L), como pode ser visto a seguir na Figura 37, abaixo.

Figura 37 - - Porcentagem das não conformidades dos parâmetros presentes no IQA de 2007 a 2017, com referência da Resolução CONAMA 357/05, para água doce Classe 2



O maior número de não conformidades diz respeito ao fósforo total, (Marés = 67% e Gramame-Mamuaba = 82%), seguido de coliformes termotolerantes (Marés = 17% e Gramame-Mamuaba = 12%), esses valores servem de alerta para os problemas de eutrofização e de contaminação por efluentes domésticos, outro problema que pode ocorrer no futuro é o fósforo deixar de ser o fator limitante para o crescimento de macrofitas aquáticas em detrimento do nitrogênio. Portanto todos os problemas encontrados em ambos os reservatórios apresentam risco potencial para degradação da qualidade da água.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os reservatórios de Marés e Gramame-Mamuaba apresentam dinâmicas semelhantes com base na média/mediana mensal dos anos de 2005 a 2008 para os parâmetros de temperatura, cor, turbidez, pH, oxigênio dissolvido e DBO₅, as diferenças entre os períodos sazonais de maior e menor pluviosidade estão presentes na cor, turbidez e na condutividade elétrica. No mesmo período foram constatadas não conformidades com a Resolução CONAMA 357/05 na cor, oxigênio dissolvido, DBO₅ e Coliformes termotolerantes.

Com relação ao IQA, como todo índice, torna a informação mais atraente para quem não é familiarizado com as diferentes variáveis que quantificam a qualidade da água, porém as informações que compõem o índice também devem ser levadas em consideração. O pH por exemplo, pode informar se a água é ácida ou básica, ainda com relação ao IQA a qualificação “boa” esteve presente na maior parte do período monitorado para os dois reservatórios, mas com uma tendência negativa para os dois últimos anos. Para os parâmetros que fazem parte do IQA a turbidez e a DBO₅ apresentaram tendência negativa enquanto que o fósforo total e os coliformes termotolerantes apresentaram uma preocupante tendência positiva.

Marés apresentou maior quantidade de não conformidades nos dois períodos analisados, assim como valores de IQA um pouco menores, sendo mais susceptíveis as mudanças nos parâmetros físicos e químicos, devido à pressão exercida pelos bairros mais periféricos e próximos aos reservatórios são fragilidades que devem ser contornadas, tendo em vista que toda a grande João Pessoa depende 100% dos dois mananciais.

A qualidade da água nos reservatórios não é homogênea, portanto apenas um local de amostragem é insuficiente para se caracterizar sistemas complexos como os reservatórios fluviais de Marés e Gramame-Mamuaba, porém, o monitoramento realizado próximo aos pontos de captação das ETAs, podem fornecer importantes informações para ajustes necessários, melhorando a eficiência, economizando insumos e conseqüentemente melhorando o serviço prestado à população.

Nesse entendimento, se faz necessário apontar que em estudos posteriores, possa se ajustar a metodologia para uma amostragem baseada em métodos

estatísticos, além da medição de outros parâmetros para a avaliação da qualidade como: metais pesados, agrotóxicos, cianotoxinas, entre outros.

O IQA, através dos nove parâmetros da sua composição, pode ser bastante importante para o diagnóstico de contaminação por efluentes sanitários, principalmente a poluição causada pelo lançamento de esgotos domésticos e cargas orgânicas de origem industrial. Entretanto, a presença de poluentes tidos como metais pesados, pesticidas, compostos orgânicos, parasitas patogênicos, por exemplo, decorrentes de atividades agrícolas e industriais, não são avaliados pelo IQA. Sendo assim, a avaliação da qualidade da água, obtida por esse critério, apresenta limitações, entre elas a de considerar apenas sua utilização para o abastecimento público, considerando um tratamento convencional.

O acúmulo excessivo de nutrientes nos corpos d'água podem levar ao crescimento indesejado de macrófitas aquáticas que prejudicam os usuários desses mananciais, nesse sentido, residindo um problema recorrente em muitos dos grandes reservatórios na Paraíba, nos quais a proliferação de macrofita impossibilita os múltiplos da água em desacordo com a Política Nacional de Recursos Hídricos.

REFERÊNCIAS

- ABRAHÃO, R. **Impactos dos Lançamentos de Efluentes na Qualidade da Água do Riacho Mussuré**. (Dissertação). PRODEMA/UFPB, João Pessoa, 2008. p. 140.
- ABRAHÃO, R.; CARVALHO, M.; SILVA JÚNIOR, W.R.; MACHADO, T. T. V.; GADELHA, C. L. M.; HERNANDEZ, M. I. M. **Use of index analysis to evaluate the water quality of a stream receiving industrial effluents**. Water SA, Vol. 33 N. 4, 2007.
- AHUJA, S. LARSEN, M. EIMERS, J.L. **Comprehensive water quality and purification, Status and trends of water quality worldwide**. Oxford: Elsevier, 2014.
- ALVES, I. C. C.; EL-ROBRINI, M.; SANTOS, M. L. S.; MONTEIRO, S. M.; BARBOSA, L. P. F.; GUIMARÃES, J. T. F. **Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do Rio Arari (Ilha de Marajó, norte do Brasil)**. Acta Amazônica, 2014.
- ANDRIETTI, G.; FREIRE, R.; AMARAL, A. G.; ALMEIDA, F. T. de; BONGIOVANI, M. C.; SCHNEIDER, R. M. **Índices de qualidade da água e de estado trófico do rio Caiabi**, MT. Revista Ambiente Água vol. 11 n. 1, Taubaté, 2015.
- APHA. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**, 22th Ed. Washington, 2012.
- AZEVEDO, D. C. F. de. **Água: importância e gestão no Semiárido**. Questões Polêmicas. Disp. em: <http://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/polemica/article/view/2992/2165>> Acesso em: 05 de novembro de 2017.
- BHARTI, N., KATYAL, N. **Water quality indices used for surface water vulnerability assessment**. New Delhi: International Journal of Environmental Sciences, Vol. 2, N° 1, 2011.
- BORA, M.; GOSWAMI, D. C. **Water quality assessment in terms of water quality index (WQI): case study of the Kolong River, Assam, India**. Appl. Water Science, 2017.
- BORDALLO, C. L. A. A Bacia Hidrográfica como Unidade de Planejamento dos Recursos Hídricos. Belém: NUMA/UFPA, 1995.
- BOYD, C. E. Water Quality an Introduction, Auburn: Springer: 2° ed., 2014.
- BRAGA, B., HESPANHOL, I., CONEJO, J. G. L., MIERZWA, J. C., BARROS, M. T. L., SPENCER, M., PORTO, NUCCI, N., JULIANO, N., EIGER, S. **Introdução a Engenharia Ambiental**, 2° Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005

BRASIL. ANA - Agência Nacional de Águas. **Portal da Qualidade das águas** < <http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>> acessado em 06 de janeiro de 2017.

_____. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal.

_____. Decreto Nº 24.643, de 10 de julho de 1934. **Código de Águas**. Brasília, 1934.

_____. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos**, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e Academia Brasileira de Ciências – Recursos Hídricos no Brasil 63 altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, DF: Senado Federal.

_____. Lei nº 9984 de 17 de julho de 2000. **Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA**, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. Brasília, DF: Senado Federal.

_____. Ministério da Saúde. Portaria n.º 2.914, de 12 de dezembro de 2011. **Dispõe sobre normas de potabilidade de água para o consumo humano**. Brasília: SVS, 2011.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Recursos Hídricos**, Brasília: MMA, 2006.

_____. Resolução CONAMA nº274, de 29 de novembro de 2000. **Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras**. do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Publicado no D.O.U.

_____. Resolução CONAMA nº357, de 17 de março de 2005. **Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional**. do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Publicado no D.O.U.

_____. Resolução CONAMA nº396, de 03 de abril de 2008. **Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências**. do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Publicado no D.O.U.

_____, Resolução CONAMA nº430, de 13 de maio de 2011. **Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes**, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Publicado no D.O.U.

BRUNDTLAND, G.H. **Our Common Future**, The world Commission on Environment and Development. United Nations, 1987.

BUCCI, M. H. S.; OLIVEIRA, L. F. C. **Índices de Qualidade da Água e de Estado Trófico na Represa Dr. João Penido (Juiz de Fora, MG)**, Rev. Ambiente Água vol. 9 n. 1 Taubaté - jan. / mar. 2014.

CÂMARA, A. C. F. C. **Análise da Vazão Máxima Outorgável e da Introdução Simplificada da Qualidade da Água no Processo de Outorga da Bacia do Rio Gramame (PB)**. (Dissertação). PGERH/UFGRS, p. 219, 2003.

CAMPOS, M. L. A. M. **Introdução a Biogeoquímica de Ambientes Aquáticos**, 1º Ed. Editora Átomo: Campinas-SP, 2010

CARDOSO, I. L.; ANDRADE, M. H. S.; CORREA, J. S.; BARROS, A. **Índice de Estado Trófico (IET) e Biological Monitoring Working Party (BMWP): Uma Análise Comparativa Para Avaliação da Qualidade da Água**. Revista Eletrônica de Biologia, 2014.

CARNEIRO, H.; OLIVEIRA, K. S.; BRITO, L. G. A. S.; SILVA, S. G.; SILVA, J. M. L.; SILVA, J. C. M. **Monitoramento da qualidade da água de cinco rios do litoral da Paraíba: coliformes fecais**. Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, vol. 2, número 3, 2015.

CARVALHO, D.; SILVA, L. **Hidrologia**. Disponível em:
< <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap1-INTRO.pdf> > Acesso em: 25 de novembro de 2017.

DA SILVA, M.L.P.; CRISPIM, M.C.; NETO, J.D. **Análise Físico-química da Água do Córrego Mumbaba e do Riacho Mussuré – João Pessoa/PB**. Rio de Janeiro: Polêm!ca, v. 13, n.4, 2014.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

FEREIRA, L. M.; IDE, L. C. **Avaliação Comparativa da Sensibilidade do IQA-Nsf, IQA-Smith e IQA-Horton, aplicados ao Rio Miranda**, MS. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001.

FORD, D.E. Reservoir transport process. In: THORTON, K.W.; KIMMEL, B.L.; PAYNE, F.E. (org). **Reservoir Limnology Ecological Perspectives**. Nova York: John Wiley and Sons, pp.15-41, 1990.

FRANCO, R. M. B. **Protozoários de veiculação hídrica: relevância em saúde Pública**, Campinas: Ver. Panam. Infectol, 2007.

GADELHA, C. L. M.; DINIZ, F. **Aspectos Ambientais na Bacia do Rio Gramame - Avaliação Preliminar**. In: Workshop Sobre a Bacia do Rio Gramame, 1999, João Pessoa. ANAIS DO WORKSHOP, 1999.

GIBRILLA, A.; BAM, E. K. P.; ADOMAKO, D.; GANYAGLO, S.; DAMPARE, S. B.; AHIALEY, E. K.; ACHORIBO, E.; ALHASSAN, H.; DENUTSUI, D.; TETTEH, E. **Seasonal Evaluation of Raw, Treated and Distributed Water Quality from the**

Barekese Dam (River Offin) in the Ashanti Region of Ghana. Water Qual Expo Health, no. 3, pp. 157-174, 2011.

GOHEN, M. E.; HASSAN, A. M.; ABDEL-MONIEM, I. A.; AYMAN, H. F.; SELECIEM, M. E. **Evaluation of surface water quality and heavy metal indices of Ismailia Canal, Nile River, Egypt.** Cairo: Egyptian Journal of Aquatic Research, no. 40, pp. 225-233, 2014.

GOLDFARB, M. C.; CYSNEIROS, D. O.; SILVA, T. C. **Caracterização fluvio-morfologia da bacia do rio Gramame.** In: Bacia do Rio Gramame, Hidrologia e Aspectos Ambientais para Gestão dos Seus Recursos Hídricos, SILVA, T. C. (org), 2002.

GROTT, S. C., HARTMANN, B., FILHO, H. H. , FRANCO, R. M. B., GOULART, J. A. G. **Detecção de cistos de Giardia spp. e oocistos de Cryptosporidium spp. na água bruta das estações de tratamento no município de Blumenau, SC, Brasil.** *Revista Ambiente & Água*, 11(3), 689-701. <https://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1853>

HERSCHY, L. B. L. W.; FAIRBRIDGE, R. W. **Encyclopedia of Lakes and Reservoirs.** England: Springer, 2012.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água.** 4. ed. Campinas: Átomo & Alínea, 2016.

LIMA, R. C.; VIANA, P. C. G.; VILLAR, F. A. **Análise Temporal da Balneabilidade no Litoral de João Pessoa e Cabedelo, Estado da Paraíba.** XII Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas, Minas Gerais, 2012.

LOPES, V. C.; LIBÂNIO, M. **Proposição de um Índice de Qualidade de Estações de Tratamento de Água (IQETA).** Minas Gerais: Eng. Sanitária e ambiental, Vol.10 - Nº 4, 2005.

LUCENA, R. L.; PACHECO, C.; MACEDO, D. R. G.; MENEZES, M. F.; BARBOSA, J. E. L.; GORLACH-LIRA, K. **Qualidade da água de um reservatório destinado ao abastecimento público da capital do estado da Paraíba - Brasil.** In: 12º Encontro de geógrafos de América Latina - EGAL, 2009.

LUCENA, R. L., MENEZES, F. L.; SASSI, R. **Qualidade da água de reservatórios nas distintas zonas climáticas da paraíba.** Mercator, Revista de Geografia da UFC, Fortaleza: UFC, 2008.

MANAHAN, S. E. **Química Ambiental.** 9º Edição, Porto Alegre: Bookman, 2013.

MELO, J. R. C.; ATHAYDE JUNIOR, G. B. **Proposta Para Criação de Área de Proteção Ambiental - APA - Em Manancial que Abastece a Região Metropolitana de João Pessoa.** Anais do Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade - Vol. 1: Congestas, 2013.

MOROSINI, F.; MENEZES, F. L.; GADELHA, V. P.; FALCÃO, S. M.; LIMA, R. M. **Qualidade das Águas e Fatores de Poluição em Praias na Região da Grande João Pessoa – Paraíba - Brasil**, 7º Congresso de Água, APRH, 2004.

PARAÍBA. Lei nº 6.308, de 20 de julho de 1996. **Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos, suas diretrizes** e dá outras providências. Publicada no D.O.E de 01 de agosto de 1996

_____. Conselho de Proteção Ambiental. SELAP - Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras. **DZ 301 - Define Critérios e Padrões para Lançamento de Efluentes Líquidos**. Aprovada em 09 de março de 1988.

_____. Conselho de Proteção Ambiental. SELAP - Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras. **DZ 106 - Programa de Autocontrole – PROCON**. Aprovada em 09 de março de 1988.

_____. Conselho de Proteção Ambiental. SELAP - Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras. **DZ 201 - classificação das águas interiores do Estado**. Aprovada em 09 de março de 1988.

_____. Conselho de Proteção Ambiental. SELAP - Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras. **DZ 202 - Divisão do Estado em Bacias Hidrográficas**. Aprovada em 09 de março de 1988.

_____. Conselho de Proteção Ambiental. SELAP - Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras. **DZ 202 - Enquadramento dos Corpos D'Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba**. Aprovada em 09 de março de 1988.

_____. Conselho de Proteção Ambiental. SELAP - Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras. **DZ 205 - Enquadramento dos Corpos D'Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas**. Aprovada em 09 de março de 1988.

_____. Conselho de Proteção Ambiental. SELAP - Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras. **DZ 206 - Enquadramento dos Corpos D'Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape**. Aprovada em 09 de março de 1988.

_____. Conselho de Proteção Ambiental. SELAP - Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras. **DZ 207 - Enquadramento dos Corpos D'Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Curimataú**. Aprovada em 09 de março de 1988.

_____. Conselho de Proteção Ambiental. SELAP - Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras. **DZ 208 - Enquadramento dos Corpos D'Águas da Bacia Hidrográfica do Litoral e Zona da Mata**. Aprovada em 09 de março de 1988.

_____. Conselho de Proteção Ambiental. SELAP - Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras. **DZ 209 - Enquadramento dos Corpos D'Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Jacú**. Aprovada em 09 de março de 1988.

_____. Conselho de Proteção Ambiental. SELAP - Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras. **DZ 209 - Enquadramento dos Corpos D'Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Trairi**. Aprovada em 09 de março de 1988.

_____. **Constituição do Estado da Paraíba**, 1989.

_____. Lei nº 4.033, de 20 de dezembro de 1978. **Dispõe Sobre a Criação da Superintendência de Administração do Meio - Ambiente e dos Recursos Hídricos da Paraíba – Sudema / PB** e dá Outras Providências. PUBLICADA NO D.O.E DE 21 de dezembro de 1978.

_____. Lei nº 6.678, de 19 de novembro de 1998. **Proíbe queimadas nas margens das rodovias estaduais e dos mananciais existentes no Estado da Paraíba** e dá outras providências. Publicada no D.O.E. em 20 de novembro de 1998.

_____. Lei nº 6.757, de 08 de julho de 1999. **Dispõe sobre a transformação de Administração do Meio Ambiente - SUDEMA**, em Autarquia, altera-se a Lei nº 4.335/81, e dá outras providências. Publicada no D.O.E. em 09 de julho de 1999. PUBLICADA NO D.O.E DE 28 de junho de 2006.

_____. Lei nº 7.033, de 27 de dezembro de 2001. **Cria a Agência de Águas, Irrigação e Saneamento do Estado da Paraíba - AAGISA**, e dá outras providências. Publicada no D.O.E. em 29 de novembro de 2001.

_____. Lei nº 7.779, de 07 de julho de 2005. **Cria a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba - AESA** e dá outras providências. PUBLICADA NO D.O.E de 08 de junho de 2005.

_____. Lei nº 8.042, de 27 de junho de 2006. **Dá nova redação a dispositivos da Lei nº 6.308, de 02 de julho de 1996**, que institui a Política Estadual de Recursos Hídricos, e da Lei nº 7.779, de 07 de julho de 2005, que criou a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA, e determina outras providências. Publicada no D.O.E de 28 de junho de 2006.

_____. Lei nº 8.042, de 27 de junho de 2006. **Dá nova redação a dispositivos da Lei nº 6.308, de 02 de julho de 1996**, que institui a Política Estadual de Recursos Hídricos, e da Lei nº 7.779, de 07 de julho de 2005, que criou a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA, e determina outras providências. PUBLICADA NO D.O.E. de 28 de junho de 2006.

_____. SEMARH, Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. **Plano Diretor da Bacia do Rio Gramame**. João Pessoa, 2000.

_____. SUDEMA - Superintendência de Administração do Meio Ambiente. **Plano de Gestão da Proteção do Manancial da Bacia do Rio Marés**, 2016.

PIASENTIN, A. M.; SEMENSATTO JUNIOR, D. L.; SAAD, A. R.; MONTEIRO JUNIOR, A. J.; RACZKA, M. F. **Índice de Qualidade da Água (IQA) do Reservatório Tanque Grande, Guarulhos (Sp)**: Análise Sazonal e Efeitos do Uso e Ocupação do Solo, São Paulo, UNESP, Geociências, v. 28, n. 3, p. 305-317, 2009.

REBOUÇAS, A.C. **Água no Brasil**: abundância, desperdício e escassez. Salvador: Bahia Análise & Dados., v. 13, n. ESPECIAL, 2003.

RIBEIRO, G. M., MAIA, C. E., MEDEIROS, J. F. **Uso da Regressão linear para estimativa da relação entre a condutividade elétrica e a composição iônica da água de irrigação.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Vol. 9. Nº1. p.15-22, 2004.

RODRIGUES, C. M. S. **Planejamento e Gestão Ambiental no Distrito de João Pessoa-PB: Análise Crítica.** (Dissertação). PRODEMA. UFPB/UEPB, João Pessoa, p. 215, 2012.

SAAD, A. R.; SEMENSATTO JR, D. L.; AYRES, F. M.; DE OLIVEIRA, P. E. **Índice de Qualidade da Água – IQA do Reservatório do Tanque Grande, Município de Guarulhos, Estado de São Paulo, Brasil: 1990 – 2006.** Revista UnG – Geociências, vol.6, N.1, 2007.

CETESB. Companhia de Tecnologia Ambiental do Estado de São Paulo. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos** / Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; BRANDÃO, C.J (org). São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011.

SILVA, B. H. L., DE MELO, M. A. B. **Trihalometanos em água potável e riscos de câncer: simulação usando potencial de interação e transformações de bäcklund.** In: Química Nova, Vol. 38, No. 3, 309-315, 2015.

SILVA, L. M. D.; SILVA, T. C.; FILGUEIRA, H. J. A. **Análises de Risco Aplicadas às Barragens de Gramame-Mamuaba na Paraíba.** XIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Aracajú, 2016.

SILVA, T. C.; SILANS, A. P.; PEDROZA FILHO, L. A. **Planejamento dos Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Nordeste Brasileiro.** RBRH - Revista Brasileira de Recursos hídricos, vol. 7 n. 4, 2002.

TAYLOR, J. G.; RYDER, S. D. **Use of the Delphi method in resolving complex water resources issues.** New York: Journal of the American Water Resources Association, v. 39, 2003.

TOLEDO, L. G.; NICOLELLA, G. **Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano.** Scientia Agrícola, v.59, n.1, 2002.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

TURNELL, M.V.; CRISPIM, M.C. **Análise dos impactos socioambientais provocados pelo lançamento de efluentes industriais no Rio Gramame – Paraíba, Brasil, João Pessoa.** Gaia Scientia, Ed. Esp. Populações Tradicionais, 2014.

UNESCO, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. **Relatório Mundial das Nações Unidas Sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2016.** Perugia: World Water Assessment Programme, 2016.

VIEIRA, T. Q.; ALVES, I. M.; SALGADO, J. P. **Monitoramento da Qualidade da Água do Rio Gramame - PB**. ENECT - Encontro Nacional de Ciências e Tecnologias/UEPB, 2012.

VON SPERLING, E. **Afinal, Quanta Água Temos no Planeta?** RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Vol. 11 n. 4, 2006.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de Esgotos**. Vol 1. 3° ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 2005

ZANINI, H. L. H. T.; AMARAL, L. A.; ZANINI, J. R.; TAVARES, L. H. S. **Caracterização da Água da Microbacia do Córrego Rico Avaliada Pelo Índice de Qualidade de Água e de Estado Trófico**.

ANEXOS

IQA DOS RESERVATÓRIOS DE MARÉS E GRAMAME-MAMUABA 2007-2017

MONITORAMENTO DOS RESERVATÓRIOS DE MARÉS E GRAMAME-MAMUABA
2005-2008

MARÉS	2013		2014		2015		2016		2017	
Data da Coleta	09/05/2013	16/10/2013	30/07/2014	17/12/2014	30/06/2015	16/09/2015	28/06/2016	30/11/2016	19/07/2017	23/11/2017
Hora da Coleta	07:41	05:31	07:54	06:45	08:35	07:56	07:37	07:08	08:39	10:26
Temperatura da Amostra °C	30	26	27	28	28	28	26	29	26	29,4
Turbidez UNT	8,11	10	4,9	9,26	3,33	5,06	12,5	5,21	3,55	6,75
pH	5,82	7,18	6,98	6,5	6,94	7,59	6,1	7,32	7,65	7,33
Oxigênio Dissolvido mg/L O2	2,6	7,6	6,8	4	7,21	8,29	7,8	5,2	7,8	6,3
DBO 5,20 mg/L O2	1,8	1,8	2	3,8	1,1	2	0,95	2,1	1,2	2,4
Coliformes Termotolerantes UFC/100 mL	270	200	1330	84	10	30	870	1030	1900	160
Resíduo Total mg/ L	110	76	244	-	1,2	-	9	92	124	21
Fósforo Total mg/ L P	0,05	0,02	0,1	0,09	0,06	-	0,06	0,75	0,87	0,06
Nitrogênio Total mg/ L N	1	2,5	1,3	-	2	-	2,6	1,8	0,9	2
IQA	58	79	68	-	80	-	72	60	61	76
QUALIFICAÇÃO	BOA	BOA	BOA	-	ÓTIMA	-	BOA	BOA	BOA	BOA

GRAMAME-MAMUABA**2007****2008****2009****2010****2012**

Data da Coleta	18/07/2007	11/12/2007	12/06/2008	13/11/2008	16/06/2009	17/12/2009	18/11/2010	09/05/2012	29/11/2012
Hora da Coleta	09:22	09:15	09:50	08:43	13:10	09:55	08:44	09:40	10:20
Temperatura da Amostra °C	27	27	28	28	27	30	29	28	28
Turbidez UNT	23	24	25	9	21	18	1,8	9,89	0,09
pH	7,4	7,06	6,91	7,07	7,46	7,74	6,37	6,45	6,73
Oxigênio Dissolvido mg/L O2	7,7	7,2	7,2	6,8	6	6,8	7,2	7,6	8,2
DBO 5,20 mg/L O2	2,3	2,2	0,8	1,8	0,6	1,4	5	3,8	3,6
Coliformes Termotolerantes UFC/100 mL	620	380	580	10	320	0	400	10000	139
Resíduo Total mg/ L	101	164	100	10	154	148	105	54	117
Fósforo Total mg/ L P	0,17	0,17	0,41	0,95	0,08	0,08	0,1	0,04	0,11
Nitrogênio Total mg/ L N	0,5	0,6	1,3	0,7	16,9	2,9	0,3	0,6	1
IQA	69	70	66	72	71	87	71	63	76
QUALIFICAÇÃO	BOA	BOA	BOA	BOA	BOA	ÓTIMA	BOA	BOA	BOA

GRAMAME-MAMUABA**2013****2014****2015****2016****2017**

Data da Coleta	18/06/2013	16/10/2013	30/07/2014	16/12/2014	30/06/2015	16/09/2015	28/06/2016	30/11/2016	19/07/2017	23/11/2017
Hora da Coleta	08:00	07:46	08:20	08:26	13:10	11:06	11:00	10:43	12:21	12:03
Temperatura da Amostra °C	27	28	28	27	28	28	28	28	27	30,3
Turbidez UNT	10	10	3,4	3,21	30,6	1,89	7,07	3,54	7,64	3,95
pH	4,42	7,32	7,12	6,4	7,23	7,12	5,75	7,41	7,39	6,63
Oxigênio Dissolvido mg/L O ₂	6,8	6,8	7	6,1	7,95	7,42	7,32	5,8	8,1	6,72
DBO 5,20 mg/L O ₂	0,8	1,6	1,6	0,7	2,3	1,4	0,74	1,8	1,6	1,2
Coliformes Termotolerantes UFC/100 mL	660	50	120	1	380	40	20	820	1500	270
Resíduo Total mg/ L	126	88	239	-	1,9	-	19	100	76	38
Fósforo Total mg/ L P	0,31	0,05	0,11	0,02	0,12	-	0,08	0,82	0,96	0,14
Nitrogênio Total mg/ L N	1,1	0,9	0,4	-	3,2	-	0,7	2,3	2,6	0,8
IQA	56	83	78	-	67	-	79	61	61	73
QUALIFICAÇÃO	BOA	ÓTIMA	BOA	-	BOA	-	BOA	BOA	BOA	BOA

MONITORAMENTO DOS RESERVATÓRIOS DE MARÉS E GRAMAME-MAMUABA 2005-2008

Marés

Bacia Hidrográfica

Rio Paraíba

Estação de Amostragem

Enquadramento

Classe 2

DZS 205

BAR 01

Data	Hora	Temperatura	Cor	Turbidez	pH	Condutividade	SDT	OD	DBO	CF
Padrão	CONAMA 357	NE	75	100	6 a 9	NE	500	5	5	1000
19 01 05	06:44	30	32	3	6,83	92	63	7,8	5,4	50
17 02 05	09:21	28	42	5	7,02	77	52	6,8	0,8	1500
22 03 05	06:45	27	30	3	6,70	81	55	7,4	2,2	200
07 04 05	06:28	27	30	4	7,12	88	60	7,0	-	10
11 05 05	06:57	27	28	3	6,92	116	79	8,2	1,6	10
16 06 05	06:58	28	170	22	6,50	89	61	5,6	-	310
13 07 05	06:49	27	125	19	7,01	86	58	6,6	-	50
03 08 05	06:47	27	80	5	6,77	91	62	8,6	1,6	40
15 09 05	07:53	28	34	11	6,69	90	61	6,2	0,1	10
13 10 05	06:28	27	20	7	6,71	97	66	8,0	1,2	30
16 11 05	07:17	30	18	10	6,93	97	66	6,8	1,8	0
15 12 05	06:33	28	16	8	7,11	95	65	6,6	1,4	0
12 01 06	07:20	28	18	6	6,79	98	67	8,0	-	10
09 02 06	12:27	28	13	12	7,25	86	58	8,6	2,6	0
29 03 06	07:23	30	23	19	7,91	109	74	9,0	2,8	250
25 04 06	07:19	28	32	16	6,95	116	79	5,4	1,6	520
18 05 06	07:20	27	52	15	6,90	109	74	3,2	1,4	370
14 06 06	07:21	28	46	15	6,58	100	68	6,8	2,0	2
12 07 06	06:45	28	55	14	7,02	95	65	7,3	1,0	20
16 08 06	07:25	27	33	9	6,91	109	74	8,0	0,1	10

20 09 06	07:00	27	19	9	6,52	114	78	8,9	1,6	20
10 10 06	07:00	27	19	10	6,73	134	91	7,8	2,4	630
16 11 06	06:20	28	16	7	6,70	110	75	7,0	2,1	80
13 12 06	07:32	29	19	9	6,87	97	66	8,6	1,0	40
16 01 07	06:45	27	17	9	6,65	118	80	7,4	1,4	80
28 02 07	06:25	28	21	8	6,83	94	64	6,8	1,4	980
15 03 07	06:36	28	34	11	6,62	93	63	6,6	1,2	390
18 04 07	06:40	28	30	9	7,11	108	73	7,3	2,7	610
30 05 07	06:53	28	52	12	6,72	125	85	5,6	2,7	100
14 06 07	06:43	27	132	38	6,58	84	57	6,0	2,9	470
18 07 07	07:03	27	100	31	7,29	105	71	6,0	2,3	40
15 08 07	06:38	26	64	15	6,15	117	80	5,7	0,7	110
18 09 07	06:24	28	44	13	7,24	122	83	8,6	1,2	10
17 10 07	07:11	28	25	6	6,76	114	78	6,8	0,8	10
13 11 07	07:00	28	14	6	7,12	103	70	7,0	1,4	10
11 12 07	07:15	27	15	8	7,04	106	72	8,6	1,6	70
16 01 08	07:04	27	17	9	6,76	111	75	-	-	30
21 02 08	07:39	28	12	6	7,20	100	68	7,8	-	-
13 03 08	07:22	28	14	9	7,42	98	67	8,6	1,4	50
28 05 08	06:23	27	104	29	7,33	106	72	5,6	-	220
12 06 08	07:39	28	151	51	6,92	102	69	5,4	1,8	230
17 07 08	07:29	26	155	47	7,20	98	67	7,0	0,8	60
21 08 08	07:30	26	95	28	7,07	116	79	1,6	1,0	30
17 09 08	07:15	27	56	16	7,25	116	79	6,8	2,6	0
15 10 08	07:14	27	30	14	6,90	130	88	7,6	0,2	0
13 11 08	06:58	28	10	4	7,21	101	69	7,2	2,4	48
10 12 08	07:21	28	11	6	7,10	108	73	6,8	1,8	30

Gramame-Mamuaba

Bacia Hidrográfica

Litoral e Zona da Mata

Estação de Amostragem

Enquadramento

Classe 2

BAR 02

Data	Hora	Temperatura	Cor	Turbidez	pH	Condutividade	SDT	OD	DBO	CF
Padrão	CONAMA 357	NE	75	100	6 a 9	NE	500	5	5	1000
19 01 05	08:32	28	48	3	6,89	76	52	7,2	1,4	50
17 02 05	09:39	26	60	4	6,53	131	89	3,2	2,6	1290
22 03 05	09:05	28	38	3	6,75	78	53	6,8	1,4	110
07 04 05	08:43	28	45	7	7,14	81	55	6,2	-	450
11 05 05	09:00	27	28	4	6,97	84	57	6,8	-	140
16 06 05	08:51	28	70	6	6,43	82	56	6,0	-	500
13 07 05	09:07	27	125	15	7,20	82	55	6,2	-	60
03 08 05	09:24	27	80	5	6,67	80	54	7,8	1,0	120
15 09 05	10:11	27	60	34	6,87	82	56	7,4	1,9	90
13 10 05	08:53	27	40	16	6,77	80	54	8,0	5,0	4310
16 11 05	09:22	28	35	17	6,86	83	56	5,6	1,4	0
15 12 05	08:40	28	31	19	7,15	83	56	7,4	0,8	170
12 01 06	09:19	27	29	22	6,77	82	56	7,4	-	460
09 02 06	10:22	27	24	26	7,02	83	56	6,2	1,8	150
29 03 06	09:21	28	15	7	7,44	83	56	6,8	1,6	2110
25 04 06	09:29	28	19	10	6,94	84	57	5,6	1,4	1720
18 05 06	09:53	28	21	12	7,03	83	56	3,6	1,4	60
20 09 06	09:13	26	23	11	6,62	90	61	7,8	1,4	0
10 10 06	09:02	28	36	26	6,67	85	58	7,4	0,8	20
16 11 06	08:16	27	25	17	6,71	123	84	6,5	1,5	550
13 12 06	09:35	28	24	18	6,81	90	61	6,9	1,4	650

16 01 07	08:53	29	25	23	6,69	100	68	7,2	1,4	350
15 03 07	08:54	28	20	14	6,65	82	56	7,6	3,8	1200
30 05 07	08:59	27	16	7	6,85	94	64	5,6	0,3	620
18 07 07	09:22	27	59	23	7,40	89	61	7,7	2,3	620
15 08 07	08:46	26	47	13	6,12	90	61	7,3	0,4	190
18 09 07	08:21	27	35	6	7,11	94	64	7,4	0,6	10
14 10 07	09:08	27	41	17	6,76	114	78	7,4	1,8	310
13 11 07	09:14	28	49	27	7,11	91	62	7,0	3,2	190
11 12 07	09:15	27	43	24	7,06	92	63	7,2	2,2	380
16 01 08	09:09	27	25	9	6,79	91	62	7,2	1,0	470
21 02 08	09:39	28	26	15	7,15	92	63	6,8	-	-
13 03 08	09:36	28	19	7	7,33	96	65	6,6	2,0	0
12 06 08	09:50	28	44	25	6,91	89	61	7,2	0,8	580
21 08 08	09:29	26	48	14	7,43	85	58	6,4	1,0	410
17 09 08	09:20	27	42	20	7,26	85	58	7,0	0,8	860
15 10 08	09:15	27	35	12	7,06	89	61	8,0	0,8	550
13 11 08	08:43	28	26	9	7,07	205	139	6,8	1,8	10