

Relatório Técnico Final

Revisão 04

Referência: Jun./2023, Ago./2023, Out./2023, Dez./2023,
Fev./2024, Abr./2024, Jun./2024, Ago./2024, Out./2024 e
Dez./2024

Agente Financiador:



Entidade Delegatária



Entidade Executora



EQUIPE TÉCNICA

Profissional	Formação / Função / Contato	Registro Conselho de Classe
Ronaldo Leão Guimarães	PhD em Ciências Ambientais, biólogo Responsável Técnico pelo Projeto ronaldoleao@oceanus.bio.br	CRBio 2339/02-D
Richard Secioso Guimarães	Biólogo Gerente do Projeto rsecioso@oceanus.bio.br	CRBio 84682/02-D
Viviane Krüger	Gestora Ambiental Coordenadora Geral* viviane@oceanus.bio.br	-
Silvia Lisboa de Araujo	MSc. Geoquímica Ambiental, bióloga Coordenadora de Projetos** projetos@oceanus.bio.br	CRBio nº 96163/02-D
Edson Felipe Souza Ladeira	Químico Responsável Técnico pelas Análises Laboratoriais edson@oceanus.bio.br	CRQ/RJ nº 03155685
Mariana Ribeiro Monteiro	Bióloga Gerente de Laboratório mribeiro@oceanus.bio.br	CRBio nº 91828/02-D
Hamilton Pires Barbosa Mendes	Mestre em Engenharia Ambiental e Sanitária, biólogo Gerente Executivo oceanus@oceanus.bio.br	CRBio nº 78165/02-D
Roberta Guarany Oberlaender	Mestre em Planejamento Ambiental; bióloga Especialista em Projetos Ambientais projetos01@oceanus.bio.br	CRBio nº 96578/02-D
Aíres Vanessa Cavalcante dos Santos	Bióloga Analista de Projetos Ambientais projetos11@oceanus.bio.br	CRBio nº 131476/02-D
Debora Costa	Supervisora de Logística deboracosta@oceanus.bio.br	-
Allan Guilherme Rodrigues de Souza	Analista de Amostragem coletas02@oceanus.bio.br	-
Pedro Octavio da Silva Luna	Técnico de Campo	-
Leonardo Anunciação da Silva	Técnico de Campo	-

Legenda: *Comunicação sempre em cópia (suplente).

**Principal contato de comunicação.

Centro de Biologia Experimental Oceanus

Rua Aristides Lobo, 46/48

Rio Comprido – Rio de Janeiro/RJ

Telefone: (21) 2567-3871

www.oceanus.bio.br

REGISTRO DE EMISSÕES E REVISÕES

Revisão	Data	Descrição	Autor	Revisor	Aprovação Consórcio Lagos São João
00	17/02/2025	Emissão original	Aíres Cavalcante	Silvia Lisboa	
01	01/04/2025	Emissão conforme revisão do CILSJ	Aíres Cavalcante	Silvia Lisboa	
02	08/04/2025	Emissão conforme revisão do CILSJ	Aíres Cavalcante	Silvia Lisboa	
03	11/04/2025	Emissão conforme revisão do CILSJ	Aíres Cavalcante	Silvia Lisboa	
04	28/04/2025	Emissão conforme solicitação do CILSJ	Aíres Cavalcante	Silvia Lisboa	

LISTA DE FIGURAS

Figura 4-1. Localização da Bacia Hidrográfica Macaé e Ostras no Estado do Rio de Janeiro.	16
Figura 4-2. Coletas realizadas no rio Macaé (pontos P01, P02, P03, P04, P05, P07, P08 e P11).	18
Figura 4-3. Coleta realizada no rio Jundiá.	19
Figura 4-4. Coleta realizada no rio São Pedro.	20
Figura 4-5. Coleta realizada no rio das Ostras.	21
Figura 4-6. Localização dos pontos de coleta para monitoramento.	25
Figura 5-1. Figura ilustrativa da utilização do balde de inox e sonda multiparâmetro.	27
Figura 5-2. Curvas de avaliação de qualidade dos parâmetros que compõem o IQA _{NSF} .	32
Figura 6-1. Precipitação acumulada nas quinzenas anteriores às coletas dos cinco quadrimestres.	37
Figura 6-2. Resultados de coliformes termotolerantes dos cinco quadrimestres.	46
Figura 6-3. Resultados de coliformes totais dos cinco quadrimestres.	48
Figura 6-4. Resultados de condutividade dos cinco quadrimestres.	50
Figura 6-5. Resultados de DBO dos cinco quadrimestres.	52
Figura 6-6. Resultados de fosfato dos cinco quadrimestres.	55
Figura 6-7. Resultados de nitrato dos cinco quadrimestres.	57
Figura 6-8. Resultados de nitrito dos cinco quadrimestres.	59
Figura 6-9. Resultados de nitrogênio amoniacal dos cinco quadrimestres.	61
Figura 6-10. Tubo de concreto com descarte de efluentes diretamente no rio das Ostras (P10).	62
Figura 6-11. Resultados de nitrogênio total dos cinco quadrimestres.	64
Figura 6-12. Resultados de oxigênio dissolvido dos cinco quadrimestres.	66
Figura 6-13. Proliferação de macrófitas no rio Jundiá.	67
Figura 6-14. Resultados de pH dos cinco quadrimestres.	69
Figura 6-15. Resultados de sólidos dissolvidos totais dos cinco quadrimestres.	72
Figura 6-16. Resultados de temperatura dos cinco quadrimestres.	74
Figura 6-17. Resultados de turbidez dos cinco quadrimestres.	77
Figura 6-18. Diferença na coloração da água em P01, P02 e P03 na quarta (dez./2023) e quinta (fev./2024) campanha.	78
Figura 6-19. Escavadeiras nas margens de P05 durante a oitava campanha (ago./2024).	79
Figura 6-20. Resultados do enquadramento dos corpos hídricos ao longo dos cinco quadrimestres.	84
Figura 6-21. Resultados da análise dos componentes principais referente aos cinco quadrimestres.	86
Figura 6-22. Residências nas margens do rio das Ostras na segunda (ago./2023) e sexta (abr./2024) campanha.	93
Figura 6-23. Resultados do IQA _{NSF} ao longo dos cinco quadrimestres.	97
Figura 6-24. Região de águas transparentes e mata ciliar (P01) evidenciada na primeira (jun./2023), terceira (out./2023), oitava (ago./2024) e nona (out./2024) campanha.	100
Figura 6-25. Trator agrícola no entorno do rio Macaé (P07).	101
Figura 6-26. Desprendimento das margens do rio Macaé (P07) durante a quinta (fev./2024) e sexta (abr./2024) campanha.	102

Figura 6-27. Residências nas margens do rio São Pedro (P06).	103
Figura 6-28. Embarcações e residências em torno da foz do rio Macaé (P08).	104
Figura 6-29. Movimentação de terra nas margens do rio Jundiá e proliferação de macrófitas da quarta (dez./2023) para sétima (jun./2024) campanha.....	106
Figura 6-30. Empreendimento às margens do rio Jundiá (P09).....	106



LISTA DE QUADROS

Quadro 4.5.I. Localização dos pontos amostrais segundo suas coordenadas geográficas, referências e profundidade.	24
Quadro 5.2.I. Parâmetros da qualidade da água a serem analisados e suas respectivas metodologias de referência.	28
Quadro 5.3.I. Parâmetros de qualidade da água que compõem o IQA _{NSF} e respectivos pesos.	31
Quadro 5.3.II. Faixas de classificação do IQA _{NSF}	33
Quadro 5.3.III. Faixas de classificação do PAR.	35
Quadro 6.1.I. Pluviosidades acumuladas referentes as quinzenas anteriores às coletas dos cinco quadrimestres.	36
Quadro 6.1.II. Resultados dos parâmetros analisados para as coletas dos cinco quadrimestres.	38
Quadro 6.1.III. Resultados dos parâmetros analisados para as coletas dos cinco quadrimestres. *Continuação.	39
Quadro 6.1.IV. Resultados dos parâmetros analisados para as coletas dos cinco quadrimestres. *Continuação.	40
Quadro 6.1.V. Resultados dos parâmetros analisados para as coletas dos cinco quadrimestres. *Continuação.	41
Quadro 6.1.VI. Proposta Preliminar de Enquadramento.	83
Quadro 6.2.I. Análise fatorial KMO e teste de esfericidade de Bartlett.	85
Quadro 6.3.I. Resultados do IQA em cada estação amostral dos cinco quadrimestres. ..	89
Quadro 6.4.I. Parâmetros e aspectos visuais, com suas respectivas pontuações, considerados em cada protocolo de avaliação rápida (PAR).	98
Quadro 6.4.II. Resultados dos protocolos de avaliação rápida (PAR) referentes às 10 campanhas de monitoramento com as respectivas médias por ponto amostral.	99

LISTA DE ABREVIações

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
CBH Macaé Ostras - Comitê da Bacia Hidrográfica dos rios Macaé e das Ostras
CCL - Certificado de Credenciamento de Laboratório
CECA - Conselho Estadual de Controle Ambiental
CERHI - Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Rio de Janeiro
CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CILSJ - Consórcio Intermunicipal Lagos São João
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO - Demanda bioquímica de Oxigênio
EPI - Equipamento de Proteção Individual
IEC - Internacional Electrotechnical Commission
INEA - Instituto Estadual do Ambiente
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia
IQA - Índice de Qualidade de Água
ISO - International Organization for Standardization
NBR - Normas Brasileiras
NMP - Número mais provável
NOP - Norma Operacional
NR - Normas Regulamentadoras
NSF - National Sanitation Foundation
OD - Oxigênio dissolvido
PAR - Protocolo de Avaliação Rápida
PCA - Análise dos componentes principais
pH - potencial hidrogeniônico
RH VIII - Região Hidrográfica Macaé e das Ostras
UNT - Unidade Nefelométricas de Turbidez

Índice Geral

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVO GERAL.....	14
3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
4	Área de Estudo.....	14
4.1	Rio Macaé.....	17
4.2	Rio Jundiá.....	19
4.3	Rio São Pedro.....	19
4.4	Rio das Ostras	20
4.5	Pontos amostrais	21
5	METODOLOGIA	26
5.1	Coleta de amostras	26
5.2	Análise laboratorial	27
5.3	Análise dos Resultados.....	28
5.3.1	Índice de Qualidade de Água (IQA).....	29
5.3.2	Análises estatísticas.....	33
5.3.3	Representação espacial.....	34
5.3.4	Avaliação visual	34
6	Resultados e discussão.....	36
6.1	Análise físico-química e microbiológica.....	36
6.1.1	Precipitação	36
6.1.2	Cloro livre e total	42
6.1.3	Coliformes totais e termotolerantes.....	44
6.1.4	Condutividade	49
6.1.5	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	51
6.1.6	Fosfato.....	53
6.1.7	Nitrato e nitrito.....	56
6.1.8	Nitrogênio amoniacal	60
6.1.9	Nitrogênio total.....	63
6.1.10	Oxigênio dissolvido.....	65
6.1.11	pH.....	67
6.1.12	Sólidos dissolvidos totais	70
6.1.13	Temperatura	73
6.1.14	Turbidez.....	75
6.1.15	Proposta Técnica de Enquadramento em Classes	80
6.2	Análise dos Componentes Principais (PCA)	85

6.3	Índice de Qualidade da Água (IQA).....	89
6.4	Avaliação visual	98
7	CONCLUSÕES	108
	REFERÊNCIAS	110
	ANEXOS	119



1 INTRODUÇÃO

O monitoramento ambiental é uma ferramenta de grande importância na gestão do meio ambiente, uma vez que permite a obtenção e análise sistemática das informações ambientais e assim auxilia no processo decisório de gestão ambiental. O monitoramento da qualidade das águas na Região Hidrográfica Macaé e das Ostras (RH-VIII) selecionou áreas consideradas estratégicas e irá permitir o diagnóstico da qualidade dos recursos hídricos, de forma a acompanhar a saúde dos mananciais, fornecer informações para a proposta de enquadramento dos corpos hídricos e atualizar o Plano de Recursos Hídricos.

O Conselho Estadual dos Recursos Hídricos (CERHI) propôs, a partir da Resolução de nº 18/2006, a definição de 10 regiões hidrográficas (RHs) no estado do Rio de Janeiro (RIO DE JANEIRO, 2006). Em 2013, através da Resolução nº 107, a qual revogou a anterior, o CERHI redefiniu as RHs para 9 regiões (RIO DE JANEIRO, 2013). A Região Hidrográfica VIII (RH VIII) se encontra localizada na faixa costeira central-norte do Estado do Rio de Janeiro entre as regiões hidrográficas do baixo Paraíba do Sul e do rio São João e Lagos sendo composta pelos municípios de Macaé em sua totalidade, e parcialmente por Rio das Ostras, Nova Friburgo, Casimiro de Abreu e áreas rurais de Carapebus e Conceição de Macabu. Totalizando uma área de cerca de 1.978 km² (CBH Macaé Ostras, 2023), a RH é formada pelas bacias hidrográficas dos rios Macaé, das Ostras, da Lagoa de Imboassica e de pequenos córregos e lagoas litorâneas, com a bacia do rio Macaé ocupando 90% de sua área (CERHI-RJ, 2013).

De acordo com o Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras (INEA, 2014a), o relevo representa fator dominante para caracterização do ambiente, visto que suas condições determinam os volumes de chuvas, as áreas de ocupação antrópica, as atividades econômicas e o estado de preservação das áreas florestais. Além disso, o município de Macaé apresenta maior ocupação urbana de alta densidade, seguido por Rio das Ostras, que possui a maior porção de ocupação urbana de média densidade, sendo a maior variabilidade de classes de uso e ocupação do solo observada nesses dois municípios. Segundo o último censo do IBGE, realizado em 2022, a população de Macaé era de 246.391 habitantes, com uma densidade demográfica de 202,46 habitantes/km² e a população estimada no ano de 2024 era de 264.138 pessoas. Já para o Rio das Ostras, segundo o mesmo censo (2022), a população estimada era de 156.491 habitantes, com uma densidade demográfica de 686,23 habitantes/km² e a

população estimada no ano de 2024 era de 168.009 pessoas. Os demais municípios possuem porções significativas dos seus territórios ocupadas por florestas e Carapebus, por pastagem (CILSJ, 2022b).

A região do alto curso do rio Macaé, localizada em Nova Friburgo, apresenta relevo acidentado, pertencente a Serra do Mar e tem uma grande importância para a bacia como um todo, já que é uma região de nascentes e sua qualidade influencia o decurso dos rios que a sucedem. Com intuito de garantir a manutenção da qualidade hídrica e por tratar-se de uma das áreas de remanescentes da Mata Atlântica que abriga grande biodiversidade, foi criada, em 2001, a Unidade de Conservação (UC) Estadual de Macaé de Cima (Área de Proteção Ambiental de Macaé de Cima - APAMC) de uso sustentável, abrangendo toda a área do alto curso (INEA, 2025; SOUZA; MARÇAL, 2021). Essa APA Estadual se sobrepõe às outras três UCs: a APA Municipal de Macaé de Cima, a APA Municipal do Rio Bonito e ao Parque Estadual (PE) dos Três Picos (INEA, 2014b), sendo esse último uma área de proteção integral (INEA, 2025). A região da APA Municipal de Macaé de Cima já foi uma unidade de proteção integral gerida pelo Jardim Botânico do Rio de Janeiro, mas se tornou uma área de uso sustentável gerida pela prefeitura de Nova Friburgo (INEA, 2014b).

Em relação ao uso da terra, de acordo com (BOHRER et al., 2021), a área da APA de Macaé de Cima é utilizada para agricultura, pastagem, pousio, silvicultura, mas o estado atual da paisagem é caracterizado por um bom nível de preservação, com grande parte da cobertura vegetal nativa bem conservada e conectada. O alto curso do rio Macaé é sinuoso e em relação ao sistema de drenagem, o aumento da vazão ocorre com o aumento de chuva, assim como a diminuição da vazão, em caso de baixa pluviosidade (SOUZA; MARÇAL, 2021). Salienta-se que, comparativamente, a vazão no baixo curso tende a ser maior, provavelmente devido ao processo de retificação do rio (SOUZA; MARÇAL, 2021).

A RH VIII está posicionada entre os polos de desenvolvimento turístico-comercial da Região dos Lagos (ao sul) e o petrolífero-canavieiro de Campos/Macaé (ao norte), concentrando o maior parque industrial petrolífero do Estado do Rio de Janeiro. As grandes obras e atividades petrolíferas que aconteceram em Macaé causaram impactos sociais, ambientais e urbanos no município. Soffiati (2010) aborda essas atividades e suas implicações, contando a história de Macaé desde a fundação de um povoado na foz do rio, o início das grandes obras (Canal Campos-Macaé), a retificação do rio pelo extinto

Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS), a instalação da base da Petrobras até a intensa urbanização em seu ambiente costeiro e o planejamento municipal de expansão da cidade em direção ao interior.

No século XIX, Macaé foi visitada por viajantes europeus que atentavam para a extensão do rio, o risco da extração madeireira e as consequências dessa atividade (erosão e assoreamento). Apesar do extrativismo vegetal intenso, as principais atividades econômicas eram os cultivos de mandioca, feijão, milho, arroz e cana (SOFFIATI, 2010). Nesse contexto de desenvolvimento, a primeira grande obra da época foi a criação do Canal Campos-Macaé, que conecta os rios Paraíba do Sul e Macaé, inaugurado em 1861 e considerado uma das maiores obras de engenharia do século XIX (QUISSAMÃ, 2025). O impacto dessa obra foi a drenagem total ou parcial de inúmeras lagoas (SOFFIATI, 2010).

Entre as décadas de 1940 e 1980, o DNOS fez a retificação dos rios Macaé, São Pedro e D'Antas, na região da sub-bacia do baixo rio Macaé (ASSUMPÇÃO; MARÇAL, 2012; SOFFIATI, 2010). A fim de entender as interferências e implicações dessas retificações na rede de drenagem, Assumpção e Marçal (2012) analisaram as mudanças geomorfológicas na planície do rio Macaé. As obras alteraram consideravelmente o curso dos rios, principalmente os de Macaé e São Pedro, que tiveram grandes reduções em seus comprimentos nos trechos retificados. De acordo com os autores, o rio Macaé foi de 61 km para 39 km de comprimento, o rio São Pedro foi de 28 km para 19 km e o rio D'Antas de 6,8 km para 5,9 km. Através do índice de sinuosidade e das feições fluviais, por eles apresentado, também foi possível constatar a perda dos meandros dos rios supracitados. No rio Macaé, o canal central criou três ilhas com os meandros (SOFFIATI, 2010). O seu trecho retificado passou a apresentar erosão nas margens, além do registro de cheias frequentes de novembro a março, na região de sua foz, na área urbana, consequentemente provocando danos aos moradores dos arredores (ASSUMPÇÃO; MARÇAL, 2012). De maneira geral, a retilinização dos rios acarreta o aumento da velocidade do fluxo e dos níveis de turbidez, a substituição de ecossistemas nativos, além dos problemas já mencionados (SOFFIATI, 2010).

Na década de 1970, houve uma mudança considerável em relação ao desenvolvimento do município de Macaé, que deixou de ser considerado um lugar pacato com a instalação da base da Petrobras na praia de Imbetiba e veio a ser tornar conhecido pelo *slogan* "Capital Nacional do Petróleo" (LOUREIRO et al., 2014; SILVA; BECKER;

MARTINS, 2014; SOFFIATI, 2010). O desenvolvimento de Macaé, a partir da exploração do petróleo, é inegável. No entanto, há uma contradição embutida nessa noção de desenvolvimento, como apontam Silva, Becker e Martins (2014), uma vez que ele está usualmente ligado ao âmbito econômico e acaba desconsiderando o custo ambiental para tal. A mudança supracitada gerou um fluxo intenso migratório em Macaé, caracterizando um processo de urbanização acelerado e desordenado (SOFFIATI, 2010). Entretanto, o cenário que surge é o que Araújo (2005) chama de “dois grupos de personagens, os migrantes pobres e os migrantes ricos”. Há uma segregação, uma vez que o fluxo intenso de pessoas é caracterizado por mão de obra altamente qualificada, por vezes em condição passageira, e de mão de obra não especializada, em razão de baixos níveis de instrução. Sendo assim, esse novo fluxo, provocado pela geração e concentração de riqueza, impulsiona não só a construção de moradias de luxo, como também o processo de favelização (ARAÚJO, 2005; LOUREIRO et al., 2014; SOFFIATI, 2010). Estudos indicam que, em Macaé e na região Norte Fluminense, a priorização da indústria petrolífera nas políticas públicas culminou em um desenvolvimento territorial assimétrico (MAFORT et al., 2019).

Diante do exposto, devido ao crescimento populacional nas últimas décadas, influenciado majoritariamente pelo desenvolvimento econômico, a rede de drenagem da RH sofre principalmente com aporte de efluentes provenientes dos usos urbano, industrial e agrícola, o que contribui para a degradação da qualidade das águas e intensifica a redução da segurança hídrica ocasionada pela degradação dos ecossistemas.

De acordo com o Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras (INEA, 2014a) a qualidade das águas na RH em referência é mais afetada por contaminações por esgoto doméstico, tendo coliformes fecais como parâmetro mais crítico e a região mais a jusante do rio Macaé com piores índices devido à proximidade ao centro urbano.

Tais fatores corroboram a necessidade de monitoramento ambiental como instrumento de gestão e sua capacidade de contemplar um banco de dados quanto à qualidade de água da RH VIII, podendo subsidiar a implementação da “Ação E – Melhoria da qualidade ambiental dos mananciais, das águas superficiais, subterrâneas e costeiras”, que consta no Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras (INEA, 2014a) e auxiliar em ações de gerenciamento e tomada de decisão por parte do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Macaé e das Ostras.

2 OBJETIVO GERAL

O presente monitoramento ambiental tem como objetivo geral acompanhar os padrões de qualidade da água em trechos estratégicos dos corpos hídricos da RH-VIII.

3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar amostragens para o diagnóstico da qualidade da água, através de campanhas de monitoramento, produzindo dados de qualidade dos corpos hídricos estudados;
- Analisar os parâmetros de qualidade da água, produzindo um banco de dados de qualidade da RH-VIII com fornecimento de mapas;
- Elaborar Relatórios Técnicos referentes às campanhas e comparar os resultados das análises com a legislação vigente; com a interpretação estatística dos dados;
- Produzir dados de qualidade dos corpos hídricos estudados;
- Contribuir com a atualização do Plano de Recursos Hídricos;
- Subsidiar a criação de banco de dados de qualidade da RH-VIII;
- Auxiliar em ações de gerenciamento e tomada de decisão por parte do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Macaé e das Ostras.

4 ÁREA DE ESTUDO

Dentre as bacias hidrográficas que compõem a RH VIII (Figura 4-1), a bacia do rio Macaé possui maior extensão, com área de drenagem de cerca de 1.765 km², sendo seu principal curso d'água o próprio rio Macaé. Este se desenvolve por um percurso de 136 km e tem suas nascentes na Serra de Macaé de Cima, próximo ao Pico do Tinguá, em Nova Friburgo, e desemboca no Oceano Atlântico, junto à cidade de Macaé (CBH Macaé Ostras, 2023; CILSJ, 2022a). A Região Hidrográfica do Macaé e das Ostras (RH-VIII), de acordo com a classificação de KÖPPEN (1948), tem clima tropical úmido (Aw) nos médios e baixos cursos dos rios, e clima tropical de altitude com verões quentes (Cwa) nos altos cursos do rio Macaé e seus afluentes pela margem esquerda (INEA, 2014a). Salienta-se ainda que, a bacia do Hidrográfica dos rios Macaé e das Ostras, está localizada entre as

regiões hidrográficas do Baixo Paraíba do Sul e a do rio São João e Lagos (CBH Macaé Ostras, 2023).

O rio se encontra atualmente dragado e retificado no seu trecho inferior, por cerca de 40 km, tendo perdido suas curvas e meandros originais, tomando o lugar dos antigos mangues e com deságue direto no mar. Seus principais tributários são, pela margem direita, o rio Bonito, e, pela margem esquerda, os rios Sana e São Pedro (INEA, 2014a).

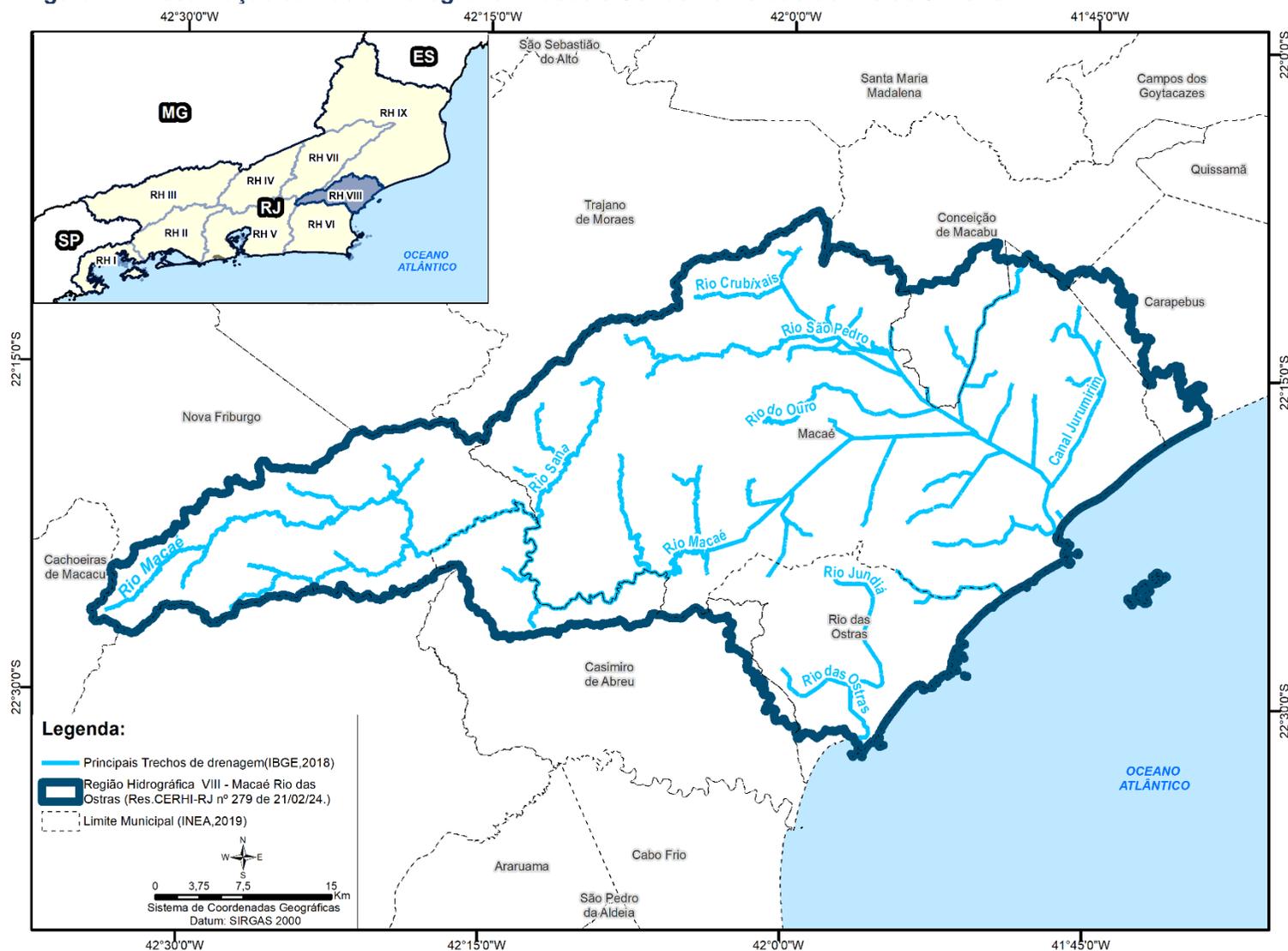
A região do alto rio Macaé, localizada na zona de recarga da região hidrográfica, é caracterizada por sua ênfase turística e ocupação de pequenas propriedades dedicadas à agricultura familiar, onde os usos da água estão relacionados à irrigação, lazer e abastecimento público (CILSJ, 2022a).

Em seguida, após a bacia do rio Macaé, em termos de extensão, temos a bacia do rio das Ostras, limitada ao norte pela bacia do rio Macaé e ao sul pelo Oceano Atlântico, com 157 km², compreendendo a bacia propriamente dita mais um conjunto de microbacias litorâneas formado pelas lagoas de Iriry, Salgada e Itapebussus e alguns córregos que deságuam nas praias (CBH Macaé Ostras, 2023; CILSJ, 2022a). A bacia abriga os municípios de Rio das Ostras (92,5% de seu território) e Casimiro de Abreu (7,5% de seu território). Destaca-se ainda que a bacia do rio das Ostras também faz fronteira com a Região Hidrográfica Lagos São João (CBH Macaé Ostras, 2023).

Por apresentar baixa declividade do terreno, os cursos d'água da bacia do rio das Ostras sofrem a influência do regime de marés, em que efeitos de remanso podem chegar a 6 km a partir da foz formando áreas de inundação. Seus principais afluentes apresentam drenagens distintas, observando-se a drenagem a oeste pelo rio Iriry e a porção leste pelo rio Jundiá, sendo este o seu principal afluente (CILSJ, 2022b).

Além das bacias supracitadas, ainda faz parte da RH VIII a bacia da Lagoa de Imboassica, porém não foram selecionadas estações de coleta nela dentre os pontos de monitoramento considerados estratégicos para a presente avaliação. A Lagoa de Imboassica está localizada na divisa dos municípios de Macaé e Rio das Ostras e recebe a contribuição da drenagem pluvial de vários bairros de Macaé e de pequenos afluentes, além do rio Imboassica, seu principal formador.

Figura 4-1. Localização da Bacia Hidrográfica Macaé e Ostras no Estado do Rio de Janeiro.



Fonte: Própria autoria.

4.1 Rio Macaé

O rio Macaé (Figura 4-2), que já foi denominado anteriormente como rio dos Bagres, nasce na Serra Macaé de Cima, próximo ao pico do Tinguá, em Nova Friburgo, percorre aproximadamente 136 km, e deságua no oceano Atlântico no município de Macaé. Além dos municípios supracitados, o rio Macaé também passa por Casimiro de Abreu (FREITAS, 2015; CBH Macaé Ostras; 2023).

Esse corpo hídrico apresenta um histórico de contaminação de origem antrópica, sendo impactado por atividades como: desmatamento para pastagem, aterro e drenagens de áreas de brejos e lagoas (FREITAS, 2015).

Figura 4-2. Coletas realizadas no rio Macaé (pontos P01, P02, P03, P04, P05, P07, P08 e P11).



Fonte: Própria autoria.

4.2 Rio Jundiá

O rio Jundiá, que nasce a oeste do povoado de Cantagalo entre as serras do Poeta e Careta a 250 m de altitude, apresenta leito pedregoso e águas claras. Entretanto, esse rio apresenta as margens, na maior parte de sua extensão, sem vegetação, com pontos de erosão (Figura 4-3). Em torno desse rio existem problemas associados à ocupação irregular, despejo irregular de esgoto e lixo. Em determinados trechos do rio, a vegetação foi removida para atividades de pecuária, agricultura e moradias (GOMES, 2009).

Figura 4-3. Coleta realizada no rio Jundiá.

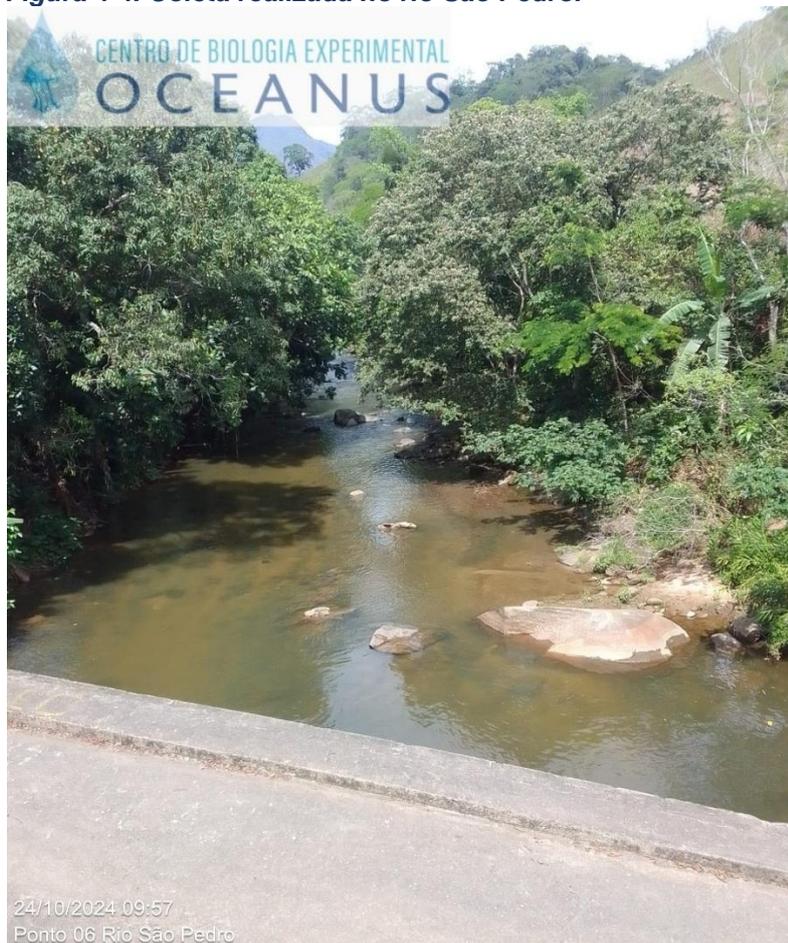


Fonte: Própria autoria.

4.3 Rio São Pedro

O rio São Pedro (Figura 4-4), que nasce na Região Hidrográfica VIII, também recebe águas provenientes da transposição da bacia do rio Macabu (pertencente a Região Hidrográfica IX do Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana). Esse rio recebe principalmente efluentes das vilas de Glicério e Frade, que necessitam de tratamento adequado, e em seu curso possui reservatórios para possível geração de energia. Em monitoramento realizado pelo INEA, o rio apresentava presença de contaminação agroindustrial por fenóis, metais e agrotóxicos. (INEA, 2014a).

Figura 4-4. Coleta realizada no rio São Pedro.



Fonte: Própria autoria.

4.4 Rio das Ostras

O rio das Ostras (Figura 4-5) é um rio meandrante que nasce da confluência entre os rios Iriry e Jundiá. Possui 77 km² de área de drenagem, percorre cerca de 30 km no sentido noroeste-sudeste até a sua foz junto à Boca da Barra. O curso hídrico apresenta intensa modificação em seu curso original por grandes trechos retificados, com alto grau de urbanização principalmente na sua foz, que possui margens estreitas (10 m) e profundidade de 30 cm na maré baixa e presença de áreas de várzea e mangue aterradas (CILSJ, 2022b).

Os trechos do rio situados em áreas urbanas sofrem com diferentes tipos de ocupações, como espontâneas, loteamentos legais e clandestinos. Por conta desses

processos, parte do manguezal foi aterrado e a vegetação nativa foi suprimida (GOMES, 2009).

Figura 4-5. Coleta realizada no rio das Ostras.



Fonte: Própria autoria.

4.5 Pontos amostrais

A bacia do rio Macaé abrange seis municípios: Macaé, Nova Friburgo, Casimiro de Abreu, Rio das Ostras, Conceição de Macabu e Carapebus (CBH Macaé Ostras, 2025). Em Nova Friburgo, região da sub-bacia do alto rio Macaé, foi instituída uma Área de Proteção Ambiental (APA) Estadual de Macaé de Cima, devido à riqueza de espécies (fauna e flora nativas, endêmicas, raras/ameaçadas) e necessidade de proteção das bacias dos mananciais existentes (rio Macaé de Cima, rio Bonito, dentre outros) presentes nos remanescentes de Mata Atlântica na Serra do Mar (INEA, 2025). A região do alto rio Macaé, localizada na zona de recarga da região hidrográfica, é caracterizada por sua ênfase turística e ocupação de pequenas propriedades dedicadas à agricultura familiar, onde os usos da água estão relacionados à irrigação, lazer e abastecimento público (CILSJ, 2022a).

Nesta região, chamada de sub-bacia do alto rio Macaé, foi selecionado o ponto de monitoramento “1”, como ponto controle quanto aos parâmetros de qualidade durante as

campanhas 1 a 6. Esse ponto está localizado próximo à Estação Fluviométrica em Galdinópolis, uma região de cabeceira da RH, a montante da ocupação urbana.

No entanto, devido às elevadas concentrações de coliformes totais e coliformes termotolerantes encontradas nas amostras do ponto “1” durante as campanhas anteriores, decidiu-se adicionar um novo ponto controle a partir da amostragem realizada em agosto de 2024 (oitava campanha). Esse novo ponto, denominado ponto “11”, será melhor descrito posteriormente.

Nesta região ainda foram estabelecidos o ponto de monitoramento “2”, antes do centro de Lumiar, após deságue do córrego Santiago, e o ponto de monitoramento “3”, localizado após o centro de Lumiar, na zona de mistura do rio São Pedro e rio Boa Esperança. A carência nos sistemas de coleta e tratamento de esgotos é um grande problema que afeta estes núcleos urbanos.

Já na sub-bacia do médio rio Macaé, foi selecionado o ponto de monitoramento “4”, próximo à ponte do arame, na localidade de Figueira Branca, região que possui a agropecuária como principal atividade característica e demanda hídrica, responsável pela fragilidade do solo, em conjunto com práticas inadequadas de manejo, que geram problemas de assoreamento dos rios e lagoas, impactando a qualidade das águas (CILSJ, 2022a).

Já na sub-bacia do baixo rio Macaé, foram selecionados os pontos de monitoramento “5” e “7”, respectivamente, antes e depois da confluência com o rio São Pedro, além do ponto de monitoramento “8”, localizado em ponte próxima à foz do rio Macaé. Nesta sub-bacia, os problemas são oriundos da ocupação urbana e industrial, como a poluição dos cursos d’água e elevada demanda de água devido à aglomeração urbana. O lançamento de efluentes é feito principalmente no rio Macaé e na Lagoa de Imboassica, além de fossas sépticas e sumidouros (CILSJ, 2022a).

Na sub-bacia do rio São Pedro, foi selecionado o ponto “6” para avaliar a qualidade da água do rio, afluente da margem direita do alto rio Macaé, próximo à estação fluviométrica de Glicério. O rio São Pedro, que nasce na Região Hidrográfica VIII, também recebe águas provenientes da transposição da bacia do rio Macabu (pertencente a Região Hidrográfica IX do Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana). Esse rio recebe principalmente efluentes das vilas de Glicério e Frade, que necessitam de tratamento adequado, e em seu curso possui reservatórios para possível geração de energia. Em monitoramento

realizado pelo INEA, o rio apresentava presença de contaminação agroindustrial por fenóis, metais e agrotóxicos. (INEA, 2014a).

No rio Jundiá, foi estabelecido o ponto de monitoramento “9”, localizado no bairro Village, próximo à região serrana de Cantagalo, recebendo córregos em alguns povoados. O rio acompanha a localidade denominada Âncora II e o loteamento residencial Praia Âncora e segue ao encontro do rio Iriry (um de seus principais afluentes junto com o rio Mauricio), quando assume o nome de rio das Ostras, até chegar à sua foz na Boca da Barra. Na Boca da Barra, por sua vez, na ponte estaiada, foi estabelecido o ponto de monitoramento “10”. A estação amostral está localizada em centro urbano, próxima a uma marina, com pontos de lançamento de esgoto sanitário em seu entorno.

O ponto “11” fica situado na Serra de Macaé de Cima, no Distrito de Mury, em Nova Friburgo. A estação fica próxima a uma igrejinha na estrada de Macaé de Cima. De acordo com imagens de satélites, são verificadas poucas residências no entorno do ponto amostral. Ressalta-se que esse ponto foi incluído no monitoramento a partir da campanha de agosto de 2024, como o novo ponto controle do presente projeto.

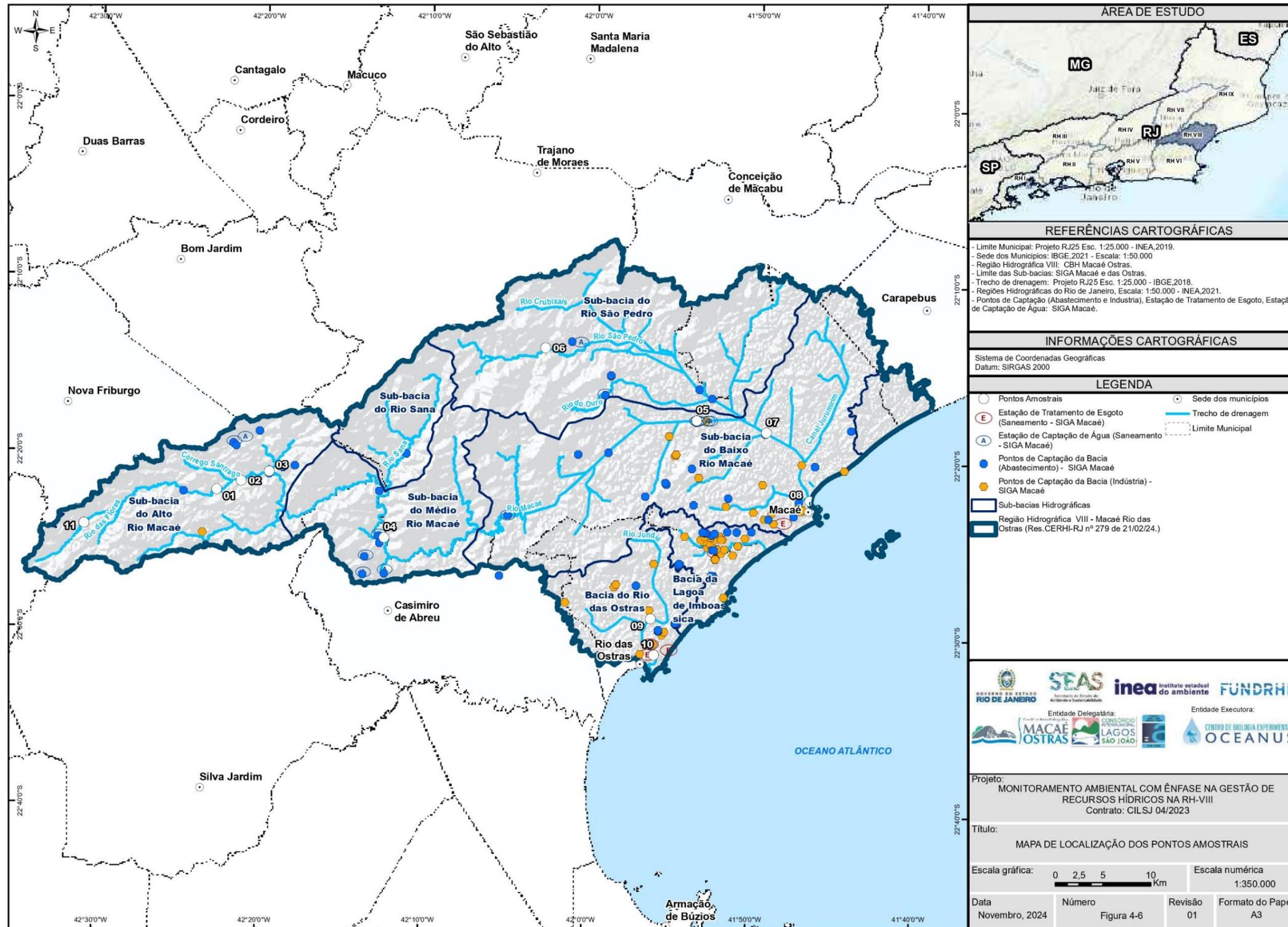
Diante do exposto, foram coletadas amostras de água superficial nos 11 (onze) pontos amostrais distintos na Bacia Hidrográfica de Macaé e do rio das Ostras, conforme o Quadro 4.5.I e a Figura 4-6.

Quadro 4.5.I. Localização dos pontos amostrais segundo suas coordenadas geográficas, referências e profundidade.

Pontos Amostrais	Referência	Coordenadas (UTM)		Profundidades das amostras coletadas (m)									
				1º Quadrimestre		2º Quadrimestre		3º Quadrimestre		4º Quadrimestre		5º Quadrimestre	
		N	E	Jun./2023	Ago./2023	Out./2023	Dez./2023	Fev./2024	Abr./2024	Jun./2024	Ago./2024	Out./2024	Dez./2024
P01	Na ponte que bifurca para rio Bonito, para parte alta do rio Macaé. Próximo à Estação Fluviométrica Galdinópolis - rio Macaé.	-22.368810°	-42.379470°	0,30	0,34	0,30	0,30	0,20	0,30	0,30	0,15	0,20	0,30
P02	Após a confluência com o Córrego Santiago. Próximo ao Bar do rio Lumiar - rio Macaé.	-22.360200°	-42.354500°	0,30	0,30	0,30	0,30	0,20	0,30	0,30	0,20	0,20	0,30
P03	Rua Jorge Leopoldo Berbet, após o centro de Lumiar. Rio Macaé após a confluência com rio São Pedro - rio Macaé.	-22.351060°	-22.411970°	0,20	0,10	0,20	0,30	0,20	0,30	0,15	0,15	0,20	0,30
P04	Localidade de Figueira Branca, na Ponte de Arame - rio Macaé.	-22.411970°	-42.208370°	0,30	0,30	0,30	0,30	0,20	0,30	0,30	0,15	0,20	0,30
P05	Próximo à Estação Fluviométrica Severina. A montante da confluência com o rio São Pedro - rio Macaé.	-22.296280°	-41.893300°	0,30	0,10	0,30	0,30	0,15	0,30	0,30	0,20	0,30	0,30
P06	A jusante da PCH Glicério. Próximo à Estação Fluviométrica Glicério- rio São Pedro.	-22.229680°	-42.048130°	0,30	0,30	0,30	0,30	0,20	0,30	0,30	0,20	0,30	0,30
P07	A jusante da confluência com o rio São Pedro- rio Macaé.	-22.306900°	-41.822450°	0,30	0,30	0,30	0,30	0,15	0,30	0,30	0,20	0,30	0,30
P08	No rio Macaé, na altura da ponte da Barra, próximo ao late Clube – rio Macaé.	-22.369720°	-41.776700°	0,30	0,30	0,30	0,30	0,20	0,30	0,30	0,20	0,30	0,30
P09	Ponte sobre o rio Jundiá no bairro Village. A montante da confluência com o rio Iriry - rio Jundiá.	-22.484270°	-41.935860°	0,30	0,10	0,30	0,30	0,20	0,30	0,30	0,20	0,30	0,30
P10	Na ponte estaiada, no centro, próximo à Estação Elevatória da BRK. Estacionamento na descida da ponte sentido centro de Rio das Ostras. – rio das Ostras.	-22.518220°	-41.932390°	0,30	0,30	0,30	0,30	0,20	0,30	0,30	0,20	0,30	0,30
P11*	Próximo à igreja na estrada de Macaé de Cima – rio Macaé.	-22.402654°	-42.513506°	-	-	-	-	-	-	-	0,15	0,20	0,30

*Ponto adicionado na oitava campanha de monitoramento (agosto/2024).
Fonte: Própria autoria.

Figura 4-6. Localização dos pontos de coleta para monitoramento.



Fonte: Própria autoria.

5 METODOLOGIA

5.1 Coleta de amostras

Ao longo do período de monitoramento, que foi de junho de 2023 a dezembro de 2024, foram realizadas 10 campanhas, com amostragens bimestrais, duas por quadrimestre, com execução das coletas e análises das amostras pelo Centro de Biologia Experimental Oceanus, acreditado pela ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017 (ANEXO 1) e INEA CCL N° IN010534 (ANEXO 2), de acordo com as normas nacionais e internacionais de monitoramento, obedecendo a critérios rígidos de confiabilidade. Os parâmetros analisados fazem parte do escopo e matriz do credenciamento, seguindo os Planos de Monitoramento Sistemáticos de Qualidade do Instituto Estadual do Ambiente (INEA-RJ) e atendendo aos critérios estabelecidos pela Deliberação CECA nº 707 de 12/09/1985, atualmente regido pela NOP-INEA-003-Revisão 02. A equipe de amostragem seguiu as orientações referentes a cada local onde foram realizadas as amostragens, em observância às Normas Regulamentadoras – NR 6 (Equipamento de Proteção Individual – EPI) e NR 17 (Ergonomia). A localização dos pontos foi realizada a partir das informações fornecidas pelo Consórcio Intermunicipal Lagos São João, e o registro fotográfico de cada localidade pode ser visto no ANEXO 3. A coleta de amostras de água, por sua vez, foi realizada com garrafa Van Dorn e, quando não foi possível, ocorreu através da utilização de balde de inox. Os parâmetros físico-químicos da água, como oxigênio dissolvido, pH, salinidade, temperatura, turbidez e condutividade foram obtidos *in situ*, com o auxílio de uma sonda multiparâmetros previamente calibrada, como ilustrado na Figura 5-1.

Figura 5-1. Figura ilustrativa da utilização do balde de inox e sonda multiparâmetro.



Fonte: Própria autoria.

5.2 Análise laboratorial

Após a coleta, as amostras foram refrigeradas e analisadas em laboratório. Foram analisados 16 (dezesesseis) parâmetros físicos, químicos e microbiológicos da qualidade da água superficial em todos os pontos de coleta, conforme Quadro 5.2.I. As metodologias das análises físico-químicas e microbiológicas descritas estão de acordo com os requisitos estipulados pela Norma ABNT NBR ISO/IE em especial a norma revisada NIT-DICLA-057 e pelas instruções de segurança na manipulação de reagentes e soluções a seguir: *Standards Methods for Examination of Water and Wastewater*, 23^a Ed, 2017 (APHA, 23rd ed., 2017); e Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos da ANA (CETESB, 2011).

Quadro 5.2.I. Parâmetros da qualidade da água a serem analisados e suas respectivas metodologias de referência.

ID	Variáveis	Nº	Parâmetros	Unidade de Medida	Metodologia de Referência
I.	Biológicas	1	Coliformes totais	NMP/100mL	SMWW, 23ª Edição, Método 9221 B e C
		2	Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	SMWW, 23ª Edição, Método 9221 B e C
II.	Físicas	3	Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	SMWW, 23ª Edição, Método 2540 C
		4	Temperatura	°C	SMWW, 23ª Edição, Método 2550 B
		5	Turbidez	UNT	SMWW, 23ª Edição, Método 2130 B
III.	Químicas	6	Cloro livre	mg/L Cl	SMWW, 23ª Edição, Método 4500-Cl G
		7	Cloro total	mg/L Cl	SMWW, 23ª Edição, Método 4500-Cl G
		8	Condutividade Elétrica	µS/cm	SMWW, 23ª Edição, Método 2510 B
		9	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	mg/L	SMWW, 23ª Edição, Método 5210 B
		10	Fosfato Total	mg/L P	SMWW, 23ª Edição, Método 4500-P E
		11	Nitrogênio total	mg/L N	SMWW, 23ª Edição, Método 4500-N
		12	Nitrogênio Amoniacal	mg/L N	SMWW, 23ª Edição, Método 4500 NH3 F
		13	Nitrato	mg/L N	D09727_02_Insert_Environmental_TON Vanadium Vanadium Chloride reduction - Part Thermo Fisher Scientific
		14	Nitrito	mg/L N	SMWW, 23ª Edição, Método 4500 NO2-B
		15	Oxigênio Dissolvido (OD)	mg/L e %	SMWW, 23ª Edição, Método 4500-O G
16	Potencial Hidrogeniônico (pH)	N.A.	SMWW, 23ª Edição, Método 4500-H B		

Legenda: N.A. – Não se aplica; Fonte: Própria autoria.

5.3 Análise dos Resultados

Os dados foram analisados de maneira integrada, levando em consideração o uso e ocupação do solo no entorno dos pontos selecionados e a precipitação acumulada durante os períodos de coleta, a partir de estações meteorológicas próximas a cada ponto

de amostragem. Os dados oficiais de precipitação utilizados foram os disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) da estação Meteorológica Macaé (A608) e pelo Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos da Região Hidrográfica dos Rios Macaé e das Ostras – SIGA Macaé das estações: Galdinópolis (BE7135F4), Piller (BE707404), Glicério (221342030) e São Pedro (2241031). Salienta-se que os dados das estações de Macaé de Cima (BE706772) e São Romão (BE712682), fornecidos pelo SIGA Macaé, não foram utilizados, uma vez que a pluviosidade só foi medida em dois dias de dezembro no ano de 2024. Além disso, os resultados obtidos foram comparados com os valores de referência descritos na Resolução CONAMA 357/2005, tendo como base a salinidade das amostras analisadas. A salinidade é um parâmetro importante, pois influencia na classificação das águas analisadas em: doce (salinidade $<0,5\%$), salobra (salinidade entre 0,5 e 30‰) e salina (salinidade $>30\%$), e como consequência, nos limites dos diferentes parâmetros monitorados preconizados na resolução supracitada (BRASIL, 2005).

Vale ressaltar que em todas as campanhas, para as amostras que apresentaram resultados Não Detectáveis (N.D), o valor utilizado para cálculos e elaboração dos mapas de enquadramento foi metade do Limite de Detecção (LD) do parâmetro específico. Já quando as amostras exibiam resultados menores ($<$) ou maiores ($>$) que o Limite de Quantificação (LQ), o valor utilizado foi o próprio limite máximo ou mínimo de quantificação. Os valores do LD e LQ de cada parâmetro constam nos laudos analíticos.

Além da obtenção de dados primários, foram realizadas comparações com dados pretéritos do corpo hídrico analisado, com outros trabalhos de monitoramento correlatos, em uma análise crítica/científica das informações adquiridas e de dados secundários. Também foi realizado o cálculo do Índice de Qualidade de Água (IQA), que será detalhado no próximo tópico.

5.3.1 Índice de Qualidade de Água (IQA)

O IQA foi criado em 1970, nos Estados Unidos, pela *National Sanitation Foundation* (NSF). No Brasil, começou a ser utilizado em 1975 pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Nas décadas seguintes, outros estados brasileiros adotaram o IQA, que hoje é o principal índice de qualidade da água utilizado no país.

O índice foi desenvolvido para avaliar a qualidade da água bruta visando seu uso para o abastecimento público, após tratamento. Os parâmetros utilizados no cálculo do

IQA são, em sua maioria, indicadores de contaminação causada pelo lançamento de esgotos domésticos.

O IQA é composto por nove parâmetros apresentados no Quadro 5.3.I, cujos respectivos pesos (w) foram fixados em função da sua importância para a conformação global da qualidade da água. Tendo em vista que os pesos (w) das variáveis podem variar de acordo com o Estado, para esse programa de monitoramento será utilizada a ponderação estabelecida pela NSF, que é o padrão do Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro (INEA). Essa padronização dos pesos permite a comparação entre as informações obtidas e as informações disponibilizadas nos boletins do órgão.

O Escopo Técnico apresentado no Termo de Referência do processo CILSJ Nº 255/2022 foi elaborado de acordo com os parâmetros recomendados na metodologia de cálculo do IQA adotado pela CETESB. Entretanto, a fim de compatibilizar os resultados e subsidiar informações para o banco de dados da RH-VIII, será adotada em seu lugar a metodologia do IQA da NSF, adotada pelo INEA e aprovada pela Contratante.

Para tal, foi realizada a substituição dos parâmetros “Resíduo Sólido Total” e “Fósforo Total” por “Sólidos Dissolvidos Totais” e “Fosfato Total”, respectivamente, necessários para o cálculo do IQA_{NSF} do INEA. Além disso, de acordo com as unidades adotadas no cálculo do IQA, também foram alteradas as unidades dos parâmetros “Coliformes Termotolerantes” de NMP/mL para NMP/100mL e “Oxigênio Dissolvido”, que será apresentado nos laudos analíticos em mg/L, mas medido em campo também em % de saturação.

A fim de padronizar as unidades e diante da modificação realizada para “Coliformes Termotolerantes”, o parâmetro “Coliformes Totais” também passou a ser expresso em NMP/100mL.

Quadro 5.3.I. Parâmetros de qualidade da água que compõem o IQA_{NSF} e respectivos pesos.

Parâmetro de Qualidade de Água	Peso (W)
Oxigênio Dissolvido (OD)	0,17
Coliformes termotolerantes	0,16
Potencial Hidrogeniônico (pH)	0,11
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	0,11
Temperatura	0,1
Nitrato	0,1
Fosfato Total	0,1
Turbidez	0,08
Sólidos Totais Dissolvidos	0,07

Fonte: Própria autoria.

Além de seu peso (w), cada parâmetro possui um valor de qualidade (q), obtido do respectivo gráfico de qualidade, em função de sua concentração ou medida, conforme Figura 5-2. Para cada variável, foi traçada uma curva de qualidade, a qual correlaciona sua concentração a uma nota (qi), pontuada de zero a 100.

O cálculo do IQA é feito por meio do produto ponderado dos nove parâmetros, segundo a seguinte fórmula:

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

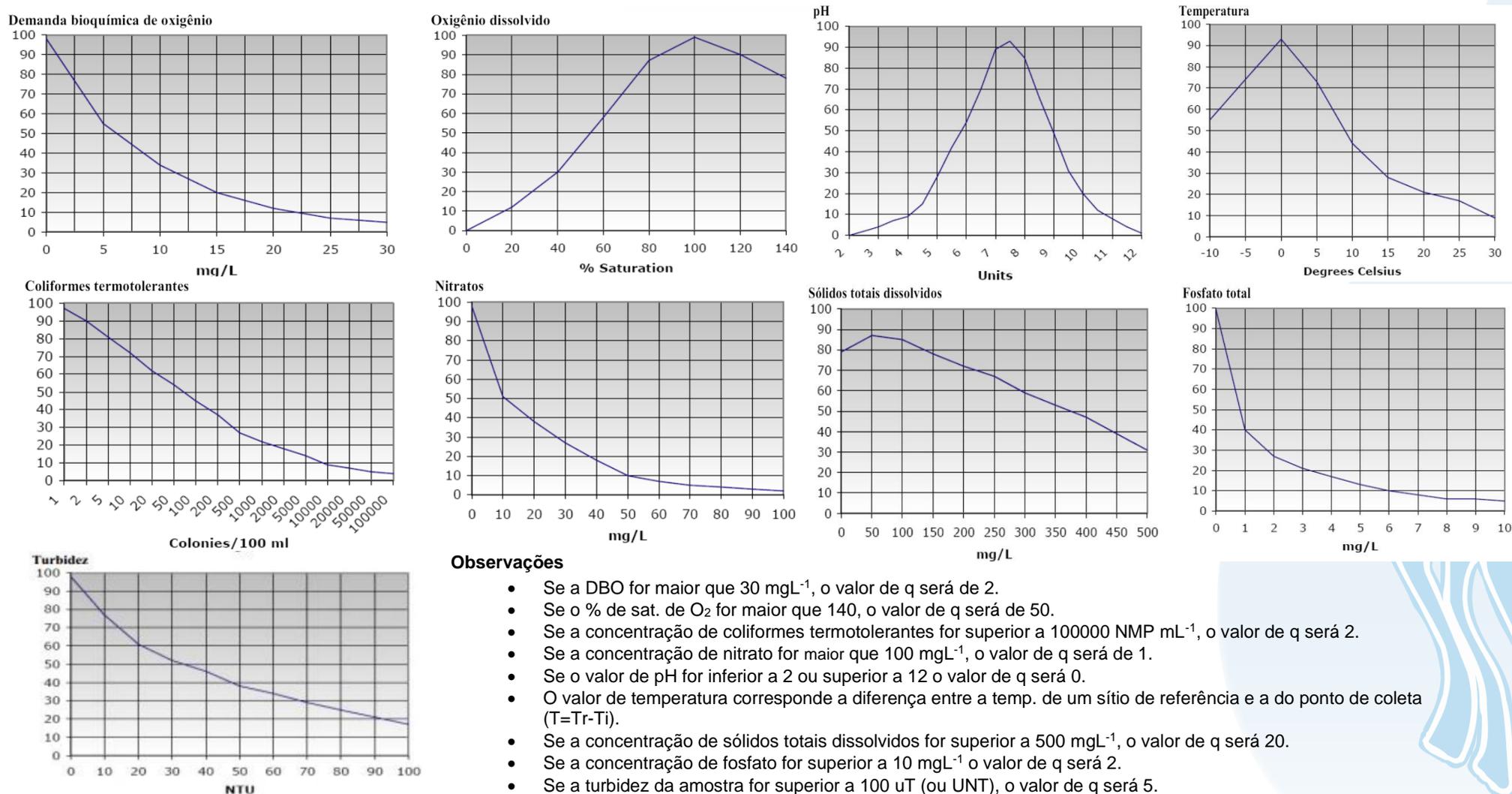
Sendo:

IQA= Índice de Qualidade de Água, um valor entre 0 e 100;

qi = qualidade do i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva curva média de variação de qualidade (resultado da análise);

wi = peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade.

Figura 5-2. Curvas de avaliação de qualidade dos parâmetros que compõem o IQA_{NSF}.



Fonte: INEA (2019).

O Quadro 5.3.II apresenta as categorias e faixas de qualidade de água para os resultados obtidos pelo cálculo do IQA_{NSF} . A memória de cálculo é apresentada no ANEXO 6 – Memória de cálculo IQA.

Quadro 5.3.II. Faixas de classificação do IQA_{NSF} .

Categoria de Resultados	IQA	Significado
Excelente	$100 \geq IQA \geq 90$	Águas apropriadas para tratamento convencional visando o abastecimento público.
Boa	$90 > IQA \geq 70$	
Média	$70 > IQA \geq 50$	
Ruim	$50 > IQA \geq 25$	Águas impróprias para tratamento convencional visando o abastecimento público, sendo necessários tratamentos mais avançados.
Muito Ruim	$25 > IQA \geq 0$	

Fonte: Própria autoria.

Cabe destacar que, embora a avaliação da qualidade da água pelo IQA seja amplamente utilizada, esse indicador apresenta limitações, já que sua análise não contempla alguns parâmetros importantes para o abastecimento público, tais como substâncias tóxicas (por exemplo: metais pesados, pesticidas, compostos orgânicos), protozoários patogênicos e substâncias que interferem nas propriedades organolépticas da água.

5.3.2 Análises estatísticas

Uma análise integrada dos resultados será apresentada neste documento, com a apresentação dos resultados em gráficos. Adicionalmente, os resultados serão avaliados de acordo com o uso do solo do entorno da bacia hidrográfica e em conjunto com os dados meteorológicos e de maré durante os dias da campanha. Ainda, com o objetivo de avaliar e entender quais são os principais parâmetros que contribuem para a qualidade da água, a avaliação apresentará uma Análise de Componentes Principais (PCA), técnica de estatística multivariada utilizada para analisar a interrelação entre as variáveis.

Para o cálculo da PCA, os dados foram normalizados por meio do z-score, utilizando a seguinte fórmula:

$$\frac{(\text{resultado} - \text{média})}{\text{desvio padrão}}$$

Após a normalização, por se tratar de um conjunto de dados muito grande (10 campanhas com 10 a 11 pontos amostrais/campanha), foi feita a média por ponto dos

dados normalizados, em todas as campanhas, para cada parâmetro. O resultado obtido foi utilizado para gerar a PCA.

5.3.3 Representação espacial

Foram elaborados 150 mapas contemplando todos os pontos de monitoramento de qualidade da água, ilustrando a concentração de seus respectivos parâmetros ao longo dos 10 meses de amostragem (ANEXO 7). Os mapas indicam a proposta de enquadramento dos corpos hídricos analisados em classes, segundo a Resolução CONAMA 357/2005, considerando os resultados obtidos em cada campanha. Os parâmetros que não apresentam limite de referência na normativa supracitada foram representados com simbologia com graduação de tamanho.

Ao final do monitoramento foi elaborado um mapa com a proposta técnica de enquadramento dos corpos hídricos em classes, balizado na Resolução CONAMA 357/2005. A classificação de cada ponto amostral foi feita levando em consideração, inicialmente, suas médias por parâmetro e depois a média geral obtida após todo o monitoramento. Para a proposta de enquadramento foram considerados os resultados do presente estudo e das “Oficinas de Enquadramento dos corpos hídricos” da RH-VIII (CBH Macaé Ostras, 2025).

Além desse, foi produzido também um mapa para o IQA. Para cada campanha de monitoramento foi feito o cálculo do IQA_{NSF} , categorizando os pontos amostrais dos corpos hídricos de acordo com sua respectiva faixa de classificação (Quadro 5.3.II). Neste último relatório, a fim de uma melhor visualização do panorama geral do monitoramento, foi elaborado um mapa com a indicação do IQA em cada ponto amostral com suas respectivas classificações ao longo das campanhas de monitoramento, evidenciando o ponto e relacionando à legenda de qualidade da metodologia NSF INEA (ANEXO 7).

5.3.4 Avaliação visual

Além das cadeias de custódia, durante a amostragem foram preenchidas fichas de avaliação visual dos pontos de coleta, com intuito de compreender as relações entre os corpos d'água e a população residente nas proximidades dos rios. Para isso foi utilizado o Protocolo de Avaliação Rápida (PAR), desenvolvido por Hannaford et al. (1997),

reavaliado por Callisto et al. (2002) e adaptado por Do Nascimento e colaboradores (2020).

A metodologia desenvolvida por Calisto e colaboradores (2002) abrange 14 questões que elencam o nível de impacto das atividades antrópicas sobre os recursos hídricos e os níveis de conservação dos ambientes fluviais. Dessa forma, a partir das respostas obtidas, é possível inferir uma classificação para o estado de conservação da área.

A ficha do PAR, elaborada pela Oceanus, também conta com campo de observações em branco para relato por extenso de ocorrências/inconformidades e outras informações pertinentes relativas à avaliação visual de cada estação amostral.

O PAR contempla um sistema de pontuação de acordo com as características observadas no local e, para sua avaliação final, são calculados totais de pontuação obtidos para cada ponto amostral. As pontuações com valores de 2 a 3 referem-se predominantemente de aspectos naturais a antrópicos da paisagem; enquanto a pontuação de número 1 diz respeito às características totalmente antrópicas que podem ser observadas na paisagem. O coletor avaliou as questões em campo, marcando um “X” nas que identificou visualmente no local e entregou a ficha junto às cadeias de custódia após as coletas.

O somatório total a partir do que foi preenchido em campo compõe a pontuação obtida em cada estação amostral. A classificação da metodologia PAR com as cores da pontuação obtida da soma das questões em cada estação amostral pode ser observada no Quadro 5.3.III.

Quadro 5.3.III. Faixas de classificação do PAR.

Categoria de Resultados	Pontos
Boa	Acima de 35 pontos
Regular	30 a 35
Ruim	Abaixo de 30

Fonte: Adaptado de Do Nascimento e colaboradores (2020).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Análise físico-química e microbiológica

6.1.1 Precipitação

Os dados de precipitação extraídos da estação meteorológica Macaé (A608), durante os cinco quadrimestres, e das estações Galdinópolis (BE7135F4), Glicério (221342030), Piller (BE707404) e São Pedro (2241031), incluídas nesse relatório, abrangendo os cinco quadrimestres, foram obtidos considerando as quinzenas anteriores às datas de coletas das 10 campanhas. A pluviosidade acumulada registrada, no referente período, pode ser observada no Quadro 6.1.I.

Quadro 6.1.I. Pluviosidades acumuladas referentes as quinzenas anteriores às coletas dos cinco quadrimestres.

Quadrimestre	Campanha	Mês/ano	Pluviosidade Acumulada (mm)				
			Macaé	Galdinópolis	Piller	Glicério	São Pedro
1º	Primeira	Jun./2023	14,2	0,8	2	1	1
	Segunda	Ago./2023	44,6	5,8	7,2	3,4	8
2º	Terceira	Out./2023	42,8	8,6	6,6	14,2	6
	Quarta	Dez./2023	48,8	0	28	11,6	12
3º	Quinta	Fev./2024	0,6	15,7	15	21,8	6,4
	Sexta	Abri./2024	37,4	11,9	5	23,6	6,2
4º	Sétima	Jun./2024	0	7,2	0,6	0	0
	Oitava	Ago./2024	23,2	5,5	10,2	4,8	4,2
5º	Nona	Out./2024	67,8	6	8,8	16,6	34,8
	Décima	Dez./2024	88,8	10,4	40	66	25,6

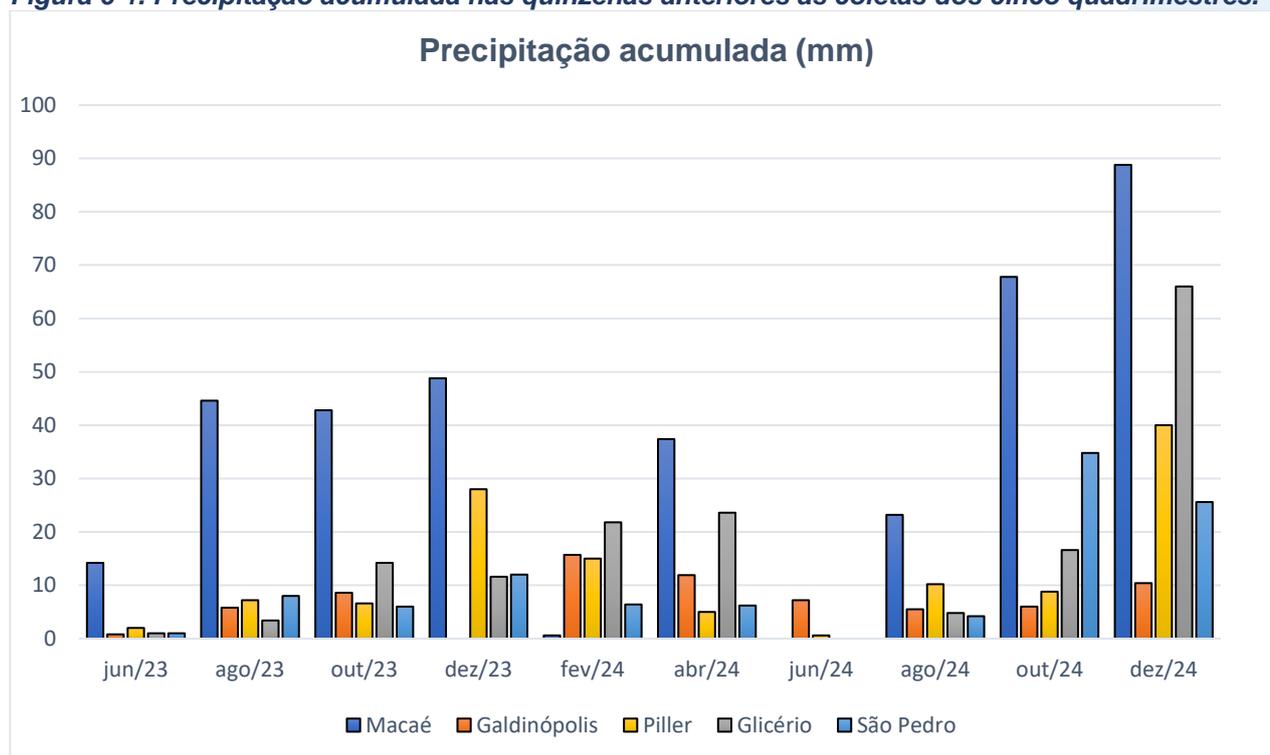
Fonte: Própria autoria.

Comparando os cinco quadrimestres, com enfoque na precipitação, nota-se que a quinzena anterior ao quinto quadrimestre apresentou os maiores valores de pluviosidade acumulada na estação de Macaé, próxima ao P08 (foz do rio Macaé), com 67,8 mm na nona campanha e 88,8 mm na décima. Esses valores pluviométricos, de acordo com Silva e Franca (2021), indicam eventos de chuva extrema. Na estação de Galdinópolis, próxima ao P01 (rio Macaé), a quinzena anterior ao terceiro quadrimestre apresentou valores mais altos de precipitação acumulada, com 15,7 mm na quinta campanha e 11,9 mm na sexta campanha. Na estação de Piller, próxima ao P01 (rio Macaé), as quinzenas anteriores às quarta e décima campanhas apresentaram os maiores valores de pluviosidade acumulada, com 28 mm e 40 mm, respectivamente. Nas estações de Glicério e São Pedro,

próximas à estação P06 (rio São Pedro), as maiores pluviosidades acumuladas, foram observadas nas quinzenas anteriores à décima campanha, com 66 mm na estação Glicério, e à nona campanha, com 34,8 mm na estação São Pedro (Figura 6-1).

Salienta-se que as variáveis ambientais analisadas na água, além de apresentarem relações, também podem ser influenciadas pela precipitação, como por exemplo, a turbidez, pH, nutrientes, coliformes, salinidade e sólidos.

Figura 6-1. Precipitação acumulada nas quinzenas anteriores às coletas dos cinco quadrimestres.



Fonte: Própria autoria.

Os resultados das coletas realizadas durante as 10 campanhas, juntamente com os respectivos limites de cada parâmetro contemplado pela Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), estão apresentados no Quadro 6.1.II.

Quadro 6.1.II. Resultados dos parâmetros analisados para as coletas dos cinco quadrimestres.

Estações amostrais	Data de coleta	Cloro livre (mg/L)	Cloro total (mg/L)	Coliformes totais (NMP/100mL)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	Condutividade (µS/cm)	DBO (mg/L)	Fosfato (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrogênio amoniacal (mg/L)	Nitrogênio total (mg/L)	OD (mg/L)	pH	Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	Temperatura (°C)	Turbidez (UNT)
P1	23/06/2023	<0,01	<0,01	791,5	700	20	7	<0,06	0,35	<0,01	0,12	1,1	6,76	5,55	19	14,09	2,46
	23/08/2023	<0,01	<0,01	790,0	130	18	3	0,07	0,14	0,01	0,17	1	6,67	7,04	16	20,73	1,06
	24/10/2023	<0,01	<0,01	2400	790	14	2	<0,06	N.D	<0,01	0,1	0,1	6,48	6,98	15	25,07	2,02
	14/12/2023	<0,01	<0,01	4900,0	330	21	3	<0,06	0,24	<0,01	<0,01	0,7	5,1	6,58	26	22,47	2,1
	26/02/2024	<0,01	<0,01	92000	1400	17	11	<0,06	0,14	<0,01	N.D	0,7	7,23	6,39	14	20,71	14,1
	22/04/2024	<0,01	<0,01	>160000,0	920	68	5	0,07	0,09	N.D	0,02	0,3	8,49	6,28	80	18,1	2,04
	21/06/2024	<0,01	<0,01	350,0	140,0	20,0	3,0	N.D	0,11	<0,01	N.D	0,5	5,62	7,72	13,60	18,20	0,39
	27/08/2024	<0,01	<0,01	>160000,0	>160000,0	34,0	6,0	N.D	0,36	<0,01	N.D	0,8	6,07	7,28	16,72	15,63	2,36
	23/10/2024	<0,01	<0,01	>160000,0	24000	108,0	5,0	0,12	0,08	<0,01	0,1	0,4	5,92	7,53	19,32	23,32	<0,1
16/12/2024	<0,01	<0,01	<1,8	<1,8	22,6	5,0	0,06	0,08	0,01	0,3	0,7	5,46	8,18	11,30	22,80	<0,1	
P2	23/06/2023	<0,01	<0,01	80,3	78	23	6	<0,06	0,32	<0,01	0,22	1	6,56	5,83	18	14,36	1,35
	23/08/2023	<0,01	<0,01	790	130	21	3	<0,06	0,2	0,01	0,07	1	6,29	6,46	18	19,49	1,13
	24/10/2023	<0,01	<0,01	790	23	15	4	0,3	<0,05	0,03	0,08	0,2	6,49	6,88	17	22,75	2,0
	14/12/2023	<0,01	<0,01	490	<1,8	31	3	<0,06	0,25	<0,01	0,05	0,5	5	6,51	19	22,64	1,1
	26/02/2024	<0,01	<0,01	24000	790	18	11	<0,06	0,05	<0,01	0,13	0,2	7,06	6,45	19	21,03	30,2
	22/04/2024	<0,01	<0,01	92000	540	57	7	<0,06	0,1	N.D	N.D	0,4	7,67	6,72	19	19,4	4,88
	21/06/2024	<0,01	<0,01	4900,0	94,0	24,0	5,0	<0,06	0,12	<0,01	<0,01	0,3	5,26	7,64	18,90	19,40	<0,1
	27/08/2024	<0,01	<0,01	4900,0	230,0	27,0	4,0	N.D	0,31	<0,01	0,03	0,6	6,00	7,27	16,52	15,77	4,04
	23/10/2024	<0,01	<0,01	4900,0	220	39,0	4,0	N.D	0,1	<0,01	0,02	0,3	7,5	6,6	17,91	23,17	<0,1
16/12/2024	<0,01	<0,01	9200,0	540,0	27,5	3,0	<0,06	0,12	<0,01	0,11	0,6	5,21	8,12	13,75	22,70	1,3	
P3	23/06/2023	<0,01	<0,01	16000	5400	30	10	<0,06	0,37	<0,01	0,04	0,7	6,99	5,95	23	14,66	1,78
	23/08/2023	<0,01	<0,01	2800	1300	35	4	<0,06	0,12	<0,01	0,07	0,2	6,95	6,81	23	19,2	1,5
	24/10/2023	<0,01	<0,01	>160000,0	2400	26	7	0,32	0,23	<0,01	0,36	0,7	6,71	6,9	25	22,9	2,1
	14/12/2023	<0,01	<0,01	17000	790	69	5	<0,06	0,25	<0,01	0,03	0,5	6	6,9	23	22,46	1,2
	26/02/2024	<0,01	<0,01	>160000,0	4900	31	12	<0,06	0,45	<0,01	0,13	1,0	6,74	6,46	20	21,83	24,2
	22/04/2024	<0,01	<0,01	>160000,0	24000	48	9	0,14	0,26	<0,01	N.D	0,9	7,54	6,85	163	20,1	4,55
	21/06/2024	<0,01	<0,01	28000,0	4900,0	32,0	6,0	<0,06	0,28	0,01	0,02	0,4	6,49	7,20	29,00	18,40	0,31
	27/08/2024	<0,01	<0,01	24000,0	7900,0	14,0	8,0	0,09	0,42	<0,01	0,02	0,8	5,68	7,28	7,00	15,80	3,54
	23/10/2024	<0,01	<0,01	24000,0	1600	50,0	5,0	<0,06	0,17	<0,01	0,04	0,4	6,15	6,94	18,07	24,77	<0,1
16/12/2024	<0,01	<0,01	34,0	27,0	22,9	4,0	0,07	0,59	0,03	0,08	1,2	5,37	7,81	11,45	23,20	16,9	
CONAMA 357/05	Águas Doces Classe 2	-	-	-	1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros*	-	5	-	10,0	1,0	**	2,18	> 5,0	6,0 a 9,0	500	-	100
	Águas Salobras Classe 1	-	0,01	-	-	-	-	-	0,4	0,07	0,4	-	> 5,0	6,5 a 8,5	-	-	-
	Águas Salinas Classe 1	-	-	-	-	-	-	-	0,4	0,07	0,4	-	> 6,0	6,5 a 8,5	-	-	-

** Os valores de referência de nitrogênio amoniacal para Resolução CONAMA 357/2005 estão associados aos resultados de pH.

Fonte: Própria autoria.

Quadro 6.1.III. Resultados dos parâmetros analisados para as coletas dos cinco quadrimestres. *Continuação.

Estações amostrais	Data de coleta	Cloro livre (mg/L)	Cloro total (mg/L)	Coliformes totais (NMP/100mL)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	Condutividade (µS/cm)	DBO (mg/L)	Fosfato (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Nitrogênio amoniacal (mg/L)	Nitrogênio total (mg/L)	OD (mg/L)	pH	Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	Temperatura (°C)	Turbidez (UNT)
P4	22/06/2023	<0,01	<0,01	<1,0	<1,8	33	3	<0,06	0,24	0,02	0,06	0,5	7,66	5,55	21	16,49	1,29
	22/08/2023	<0,01	<0,01	2800	790	43	5	0,09	0,18	<0,01	0,07	0,2	8,41	6,98	23	20,32	4,02
	24/10/2023	<0,01	<0,01	>160000,0	940	25	6	0,31	0,35	<0,01	0,43	0,9	6,4	7,7	25	23,65	2,01
	14/12/2023	<0,01	<0,01	2300	<1,8	100	5	<0,06	0,15	N.D	<0,01	0,3	5,65	7,1	45	23,4	8,13
	26/02/2024	<0,01	<0,01	92000	4900	22	19	0,21	0,08	<0,01	0,06	0,2	7,46	6,61	17	25,14	63,1
	22/04/2024	<0,01	<0,01	35000	220	37	3	<0,06	0,13	N.D	N.D	0,9	7,49	6,93	17	21,9	<0,1
	20/06/2024	<0,01	<0,01	1600,0	920,0	41,0	4,0	0,08	0,15	<0,01	N.D	0,4	6,98	8,09	31,11	19,08	<0,1
	27/08/2024	<0,01	<0,01	22000,0	1300,0	47,0	7,0	0,48	0,43	<0,01	0,02	0,9	5,55	7,50	23,50	17,91	13,60
	23/10/2024	<0,01	<0,01	920,0	23	29,0	5,0	<0,06	0,36	0,02	0,12	0,6	6,91	7,26	39,62	26,30	<0,1
16/12/2024	<0,01	<0,01	490,0	330,0	24,4	3,0	<0,06	0,09	<0,01	0,13	0,6	5,67	7,58	12,20	24,70	2,70	
P5	22/06/2023	<0,01	<0,01	<1,0	<1,8	41	4	<0,06	0,61	0,03	0,15	1	6,45	6,02	27	21,8	10
	22/08/2023	<0,01	<0,01	540	220	56	5	0,09	0,21	<0,01	0,11	0,3	8,27	6,47	30	26,77	22,3
	23/10/2023	<0,01	<0,01	17000	490	56	6	0,32	0,12	N.D	<0,01	0,3	6,0	7,05	26	28,2	12,92
	15/12/2023	<0,01	<0,01	130	23	34	5	<0,06	0,2	<0,01	0,04	0,3	5,18	6,71	28	27,1	34,1
	27/02/2024	<0,01	<0,01	>160000,0	2300	39	57	0,1	0,16	<0,01	0,04	0,2	4,82	6,78	19	27,81	70,2
	23/04/2024	<0,01	<0,01	160000	940	39	3	0,24	0,13	<0,01	0,01	0,6	6,28	6,6	20	25,2	15,13
	20/06/2024	<0,01	<0,01	920,0	240,0	42,0	5,0	0,11	0,28	<0,01	0,07	0,4	6,29	7,76	114,99	21,80	6,05
	27/08/2024	<0,01	<0,01	7900,0	1400,0	40,1	6,0	0,07	0,86	0,01	0,42	1,5	6,30	7,88	22,57	19,10	84,50
	24/10/2024	<0,01	<0,01	5400,0	790	54,1	7,0	0,31	0,33	<0,01	0,32	1,4	5,31	7,38	25,31	31,30	41,3
17/12/2024	<0,01	<0,01	9200,0	5400,0	67,0	9,0	0,07	0,19	<0,01	0,13	0,7	4,68	6,4	33,50	25,90	24,90	
P6	22/06/2023	<0,01	<0,01	2419,6	2400	35	8	<0,06	0,18	0,01	0,35	0,9	7,32	6,13	27	20,03	2,55
	22/08/2023	<0,01	<0,01	2800	1600	46	3	0,07	0,18	<0,01	0,1	0,3	8,53	5,72	25	23,15	4,4
	23/10/2023	<0,01	<0,01	17000	7900	22	5	0,32	0,08	N.D	0,02	0,3	6,7	7,11	25	25,32	3,96
	15/12/2023	<0,01	<0,01	24000	2300	36	6	<0,06	0,12	<0,01	0,05	0,3	5,8	6,83	31	26,1	3,2
	27/02/2024	<0,01	<0,01	>160000,0	13000	30	18	<0,06	0,25	<0,01	0,12	0,5	6,57	6,62	20	26,53	10,6
	23/04/2024	<0,01	<0,01	160000	2200	43	4	<0,06	0,06	<0,01	0,01	1,1	6,58	6,65	19	25,2	8,79
	21/06/2024	<0,01	<0,01	160000,0	7900,0	49,0	6,0	<0,06	0,13	<0,01	0,03	0,4	6,94	7,64	33,32	21,80	1,18
	27/08/2024	<0,01	<0,01	54000,0	2300,0	75,2	3,0	1,33	0,34	<0,01	0,03	0,9	6,84	8,01	40,60	18,50	2,50
	24/10/2024	<0,01	<0,01	1600,0	4,5	51,1	5,0	<0,06	0,42	0,02	0,59	1,5	5,53	7,76	29,39	25,50	2,10
17/12/2024	<0,01	<0,01	16000,0	9200,0	55,0	5,0	<0,06	0,07	0,01	0,14	0,3	5,42	6,6	27,50	23,90	4,10	
CONAMA 357/05	Águas Doces Classe 2	-	-	-	1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros*	-	5	-	10,0	1,0	**	2,18	> 5,0	6,0 a 9,0	500	-	100
	Águas Salobras Classe 1	-	0,01	-	-	-	-	-	0,4	0,07	0,4	-	> 5,0	6,5 a 8,5	-	-	-
	Águas Salinas Classe 1	-	-	-	-	-	-	-	0,4	0,07	0,4	-	> 6,0	6,5 a 8,5	-	-	-

** Os valores de referência de nitrogênio amoniacal para Resolução CONAMA 357/2005 estão associados aos resultados de pH.

Fonte: Própria autoria.

Quadro 6.1.IV. Resultados dos parâmetros analisados para as coletas dos cinco quadrimestres. *Continuação.

Estações amostrais	Data de coleta	Cloro livre (mg/L)	Cloro total (mg/L)	Coliformes totais (NMP/100mL)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	Condutividade (µS/cm)	DBO (mg/L)	Fosfato (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrogênio amoniacal (mg/L)	Nitrogênio total (mg/L)	OD (mg/L)	pH	Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	Temperatura (°C)	Turbidez (UNT)
P7	22/06/2023	<0,01	<0,01	< 1,0	<1,8	52	3	<0,06	0,27	<0,01	0,12	0,7	5,73	7,58	33	21,83	12,4
	22/08/2023	<0,01	<0,01	220	78	69	5	0,09	0,22	<0,01	0,09	0,3	6,96	6,72	34	25,21	12,6
	23/10/2023	<0,01	<0,01	>160000,0	23	66	2	<0,06	0,2	N.D	0,03	0,4	6,1	7,62	46	26,15	16,0
	15/12/2023	<0,01	<0,01	>160000,0	24000	46	3	0,1	0,07	0,01	0,3	0,5	4,97	6,95	56	28,43	35,7
	27/02/2024	<0,01	<0,01	9200	5400	47	34	<0,06	0,23	<0,01	0,27	0,4	5,39	6,85	30	27,15	28,1
	23/04/2024	<0,01	<0,01	160000	490	72	16	0,5	0,14	<0,01	0,05	0,8	6,34	6,84	31	24,6	15,53
	20/06/2024	<0,01	<0,01	540,0	350,0	49,0	5,0	0,12	0,37	<0,01	0,25	0,9	6,73	7,13	36,18	22,90	2,29
	27/08/2024	<0,01	<0,01	>160000,0	1400,0	43,5	10,0	0,27	0,25	<0,01	0,05	0,7	6,59	7,77	24,57	19,50	13,00
	24/10/2024	<0,01	<0,01	>16000,0	16000	64,3	7,0	2,59	0,53	<0,01	0,23	1,2	4,15	7,33	32,46	32,20	4,80
17/12/2024	<0,01	<0,01	540,0	240,0	101,0	8,0	0,07	0,39	0,03	0,09	0,9	4,61	6,08	50,50	27,10	20,10	
P8	22/06/2023	<0,01	<0,01	9200	7900	61	10	0,06	0,45	0,07	1,28	2,2	5,25	7,97	41	22,8	13,3
	22/08/2023	<0,01	<0,01	>160000,0	160000	10660	5	0,12	0,2	0,02	0,51	0,9	6,98	6,53	3498	24,59	9,47
	23/10/2023	<0,01	<0,01	160000	7900	4154	9	0,4	0,26	<0,01	0,69	1,0	7,0	7,61	3720	25,96	6,06
	15/12/2023	<0,01	<0,01	24000	1300	4470	10	0,11	0,21	0,03	0,65	1	6,09	7,02	2182	28,12	16,9
	27/02/2024	<0,01	<0,01	>160000,0	>160000,0	129	17	0,06	0,21	<0,01	0,36	0,7	5,53	8,05	147	26,83	21,1
	23/04/2024	<0,01	<0,01	160000	92000	1049	11	0,21	0,12	0,09	2,52	5,7	3,35	6,49	586	25,0	40,4
	20/06/2024	<0,01	<0,01	1600,0	920,0	36110,0	6,0	0,32	0,11	0,02	0,75	1,4	5,70	6,60	29790,60	25,40	4,07
	27/08/2024	<0,01	<0,01	>160000,0	2200,0	5470,0	5,0	0,11	0,24	0,01	0,10	0,8	6,57	6,89	3829,00	20,10	6,30
	24/10/2024	<0,01	<0,01	16000,0	220	4556,0	5,0	0,06	0,27	0,01	0,33	0,8	5,87	7,18	3486,00	30,20	4,20
17/12/2024	<0,01	<0,01	9200,0	5400,0	3969,0	3,0	<0,06	0,16	0,01	0,10	0,4	5,54	7,9	1984,50	26,80	8,50	
P9	22/06/2023	<0,01	<0,01	24196	24000	249	25	<0,06	0,62	0,05	0,55	2,9	<0,1	5,91	214	21,15	68,3
	22/08/2023	<0,01	<0,01	>160000,0	>160000,0	542	5,0	0,56	0,18	<0,01	0,53	0,8	1,89	5,92	232	23,87	29,4
	23/10/2023	<0,01	<0,01	160000	790	354	12	0,32	0,36	0,02	1,19	1,8	1,89	6,5	644	24,9	11,03
	15/12/2023	<0,01	<0,01	>160000,0	>160000,0	269	18	0,06	<0,05	0,01	0,92	1,6	4,12	6,08	209	26,6	23,2
	27/02/2024	<0,01	<0,01	>160000,0	>160000,0	4780	36	0,24	0,21	<0,01	2,26	4,2	1,04	6,68	333	29,61	49,2
	23/04/2024	<0,01	<0,01	>160000,0	>160000,0	397	15	0,19	N.D	0,06	5,02	6,6	3,3	6,37	234	25,3	52,5
	20/06/2024	<0,01	<0,01	>160000,0	>160000,0	3842,0	9,0	0,25	0,43	0,03	1,41	3,8	3,32	7,44	2550,00	23,30	20,90
	27/08/2024	<0,01	<0,01	24000,0	490,0	1355,0	8,0	0,17	0,75	0,09	1,77	3,7	3,92	7,50	744,00	20,10	18,80
	24/10/2024	<0,01	<0,01	160000	92000	1258,0	9,0	0,21	0,14	0,05	1,63	4	0,98	7,05	622,00	28,20	9,70
17/12/2024	<0,01	<0,01	<1,8	<1,8	739,0	4,0	<0,06	0,45	<0,01	1,21	2,3	0,86	3,49	369,50	27,90	10,50	
CONAMA 357/05	Águas Doces Classe 2	-	-	-	-	-	5	-	10,0	1,0	**	2,18	> 5,0	6,0 a 9,0	500	-	100
	Águas Salobras Classe 1	-	0,01	-	-	-	-	-	0,4	0,07	0,4	-	> 5,0	6,5 a 8,5	-	-	-
	Águas Salinas Classe 1	-	-	-	-	-	-	-	0,4	0,07	0,4	-	> 6,0	6,5 a 8,5	-	-	-

**Os valores de referência de nitrogênio amoniacal para Resolução CONAMA 357/2005 estão associados aos resultados de pH.

Fonte: Própria autoria.

Quadro 6.1.V. Resultados dos parâmetros analisados para as coletas dos cinco quadrimestres. *Continuação.

Estações amostrais	Data de coleta	Cloro livre (mg/L)	Cloro total (mg/L)	Coliformes totais (NMP/100mL)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	Condutividade (µS/cm)	DBO (mg/L)	Fosfato (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrogênio amoniacal (mg/L)	Nitrogênio total (mg/L)	OD (mg/L)	pH	Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	Temperatura (°C)	Turbidez (UNT)
P10	22/06/2023	<0,01	<0,01	15531	9200	3557	16	N.D	0,43	0,12	1,81	3,3	<0,1	6,93	2598	21,36	41,7
	22/08/2023	<0,01	<0,01	16000	270	1861	13	2,4	0,11	<0,01	0,12	0,3	2,35	6,39	848	23,11	53,6
	23/10/2023	<0,01	<0,01	160000	2300	10870	10	0,3	0,23	0,03	1,83	2,3	4,8	7,01	10316	22,15	9,53
	15/12/2023	<0,01	<0,01	160000	54000	6567	16	0,15	0,08	0,02	0,57	2,4	5,3	6,6	3426	27,39	24,9
	27/02/2024	<0,01	<0,01	>160000,0	>160000,0	13200	35	N.D	0,12	0,05	1,35	2,9	2,3	6,72	9816	28,17	18,7
	23/04/2024	<0,01	<0,01	>160000,0	>160000,0	4784	10	0,18	0,05	0,03	2,95	6,3	2,59	6,08	3340	24,1	32,8
	20/06/2024	<0,01	<0,01	>160000,0	24000,0	43160,0	13,0	0,20	0,09	0,04	1,10	2,3	4,52	7,04	34776,20	24,80	2,82
	27/08/2024	<0,01	<0,01	24000,0	790,0	16700,0	8	0,34	0,24	0,07	2,07	7,2	4,32	7,01	11690,00	20,6	11,40
	24/10/2024	<0,01	<0,01	1600,0	540	24250,0	6,0	0,51	0,24	0,04	1,68	5,4	2,86	7,5	24780,00	26,20	5,50
17/12/2024	<0,01	<0,01	<1,8	<1,8	1215,0	7	<0,06	0,31	0,03	1,71	2,4	1,59	4,47	607,50	27,5	5,60	
P11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	27/08/2024	<0,01	<0,01	2200,0	230,0	13,0	5,0	1,38	0,34	<0,01	0,01	1,0	6,97	7,00	11,82	13,19	0,42
	23/10/2024	<0,01	<0,01	1600	49	29	5	N.D	0,78	<0,01	0,56	1,5	6,4	6,87	12,22	21,6	<0,1
16/12/2024	<0,01	<0,01	240,0	130,0	79,1	4,0	<0,06	0,66	N.D	N.D	1,5	5,07	7,66	39,55	20,7	<0,1	
CONAMA 357/05	Águas Doces Classe 2	-	-	-	-	-	5	-	10,0	1,0	**	2,18	> 5,0	6,0 a 9,0	500	-	100
	Águas Salobras Classe 1	-	0,01	-	1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros*	-	-	-	0,4	0,07	0,4	-	> 5,0	6,5 a 8,5	-	-	-
	Águas Salinas Classe 1	-	-	-	-	-	-	-	0,4	0,07	0,4	-	> 6,0	6,5 a 8,5	-	-	-

**Os valores de referência de nitrogênio amoniacal para Resolução CONAMA 357/2005 estão associados aos resultados de pH.

*Ponto 11 adicionado na oitava campanha de monitoramento (agosto/2024).

Fonte: Própria autoria.

Com base nos resultados obtidos nas 10 campanhas realizadas, as águas analisadas de P01 até P07, foram classificadas como águas doces e equiparadas com os valores de referência da Resolução CONAMA 357/2005 para Águas Doces Classe 2. O mesmo ocorreu com as águas de P11, desde que esse ponto amostral foi adicionado, na oitava campanha de monitoramento (ago./24), suas águas foram classificadas como doces e equiparadas com os valores de referência da Resolução CONAMA 357/2005 para Águas Doces Classe 2 (BRASIL, 2005). As águas de P10, no decurso de todo monitoramento, foram classificadas como salobras e equiparadas com os valores de referência balizados na normativa supracitada para Águas Salobras Classe 1.

Já as amostras dos pontos P08 e P09 apresentaram variação na categorização quanto a salinidade ao longo do monitoramento. As águas analisadas em P08 foram categorizadas como doces apenas na primeira (jun./23) e quinta campanha (fev./24), nas quais as concentrações dos parâmetros mensurados foram comparadas com os limites preconizados na Resolução CONAMA 357/2005 para Águas Doces Classe 2. Nas demais campanhas, suas águas foram classificadas como salobras e equiparadas com os valores de referência preconizados na normativa supracitada para Águas Salobras Classe 1 (BRASIL, 2005). As águas analisadas em P09 foram classificadas como doces na primeira (jun./23), segunda (ago./23), terceira (out./23), quarta (dez./23), sexta (abr./24) e décima (dez./24) campanhas e equiparadas com a normativa de referência para Águas Doces Classe 2. Nas demais campanhas (quinta – fev./24, sétima – jun./24, oitava - ago./24 e nona - out./24), suas águas foram classificadas como salobras e equiparadas com os valores da Resolução CONAMA 357/2005 para Águas Salobras Classe 1 (BRASIL, 2005).

Para facilitar a visualização dos dados, cada parâmetro analisado foi dividido por tópico, para uma melhor discussão. Além disso, cada item apresenta uma representação gráfica dos dados obtidos nas dez campanhas realizadas.

6.1.2 Cloro livre e total

O cloro é um agente oxidante amplamente utilizado na desinfecção da água de abastecimento e de efluentes. Apesar de sua alta eficácia para essa finalidade, a sua reação com compostos orgânicos pode gerar subprodutos tóxicos que são capazes de afetar a saúde humana (PIANOWSKI, JANISSEK; 2003; MEDEIROS, 2019). Quando o cloro é incorporado à água, uma parte dele reage com os compostos orgânicos,

inorgânicos e com os metais. Após atender toda a demanda necessária para as reações químicas, o cloro que resta é denominado cloro total. Esse cloro total é classificado ainda em: cloro combinado, que é caracterizado pelo cloro que agiu com as matérias inorgânicas e orgânicas; e o cloro livre, que é o cloro restante que pode ser usado para inativar organismos patogênicos (SANTOS, 2022).

Os valores de cloro total de todas as amostras analisadas, no decurso de todo o monitoramento, apresentaram o mesmo resultado ($<0,01$ mg/L), ou seja, tiveram resultados menores que o limite de quantificação do método analítico, estando em conformidade com o limite estabelecido na Resolução CONAMA 357/2005 para Águas Doces Classe 2 e Águas Salobras Classe 1 (0,01 mg/L) (BRASIL, 2005).

No que se refere ao cloro livre, destaca-se que não existem valores máximos permitidos descritos na Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005). No entanto, os resultados desse parâmetro nas águas analisadas nos distintos pontos amostrais, em todos os quadrimestres, foram menores que o limite de quantificação do método analítico ($<0,01$ mg/L).

Diante do exposto, não foi elaborado gráfico para as duas variáveis ambientais supracitadas, uma vez que não houve variação nos dados. Apesar dos resultados obtidos, o monitoramento de cloro na região é importante, uma vez que há várias Estações de Captação de Água (Saneamento – SIGA Macaé) e Estações de Tratamento de Esgoto nas proximidades das estações amostrais, conforme exposto na Figura 4-1. As etapas de tratamento de água incluem adição de cloro (cloração e fluoretação) e os subprodutos dele podem ser nocivos à saúde humana (PIANOWSKI, JANISSEK; 2003; MEDEIROS, 2019).

6.1.3 Coliformes totais e termotolerantes

A poluição por esgoto sanitário pode levar a uma série de alterações em ecossistemas aquáticos, levando ao aumento nas concentrações de nutrientes (nitrogênio e fósforo), óleos, graxas, turbidez e coliformes. Os coliformes estão presentes no solo, água e no intestino humano e animal, sendo assim, as concentrações de coliformes termotolerantes e coliformes totais presentes na água são bons indicadores do grau de despejo de esgoto sanitário em ambientes aquáticos (CETESB, 2018).

Em relação à média de coliformes termotolerantes ao longo das 10 campanhas de monitoramento, nenhuma apresentou resultado abaixo do limite preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 (1.000,00 NMP/100mL) para Águas Doces Classe 2 e Águas Salobras Classe 1. A média mais baixa foi obtida na décima campanha, 1.933,85 NMP/100mL em dezembro de 2024, e a mais alta na quinta campanha, com média maior que 51.269,00 NMP/100mL em fevereiro de 2024, já que o limite de quantificação máximo de 160.000 NMP/100mL foi estabelecido pelo laboratório, devido à grande variação da concentração de coliformes em amostras ambientais.

Salienta-se que por conta dos valores elevados de coliformes termotolerantes e a fim de obter-se uma melhor visualização dos resultados, comparando-os com os limites da Resolução supracitada, todos os valores iguais ou maiores que 3.000,00 NMP/100mL foram representados, no gráfico, por uma coluna vermelha com um asterisco (*) acima ($\geq 3.000,00$ NMP/100mL).

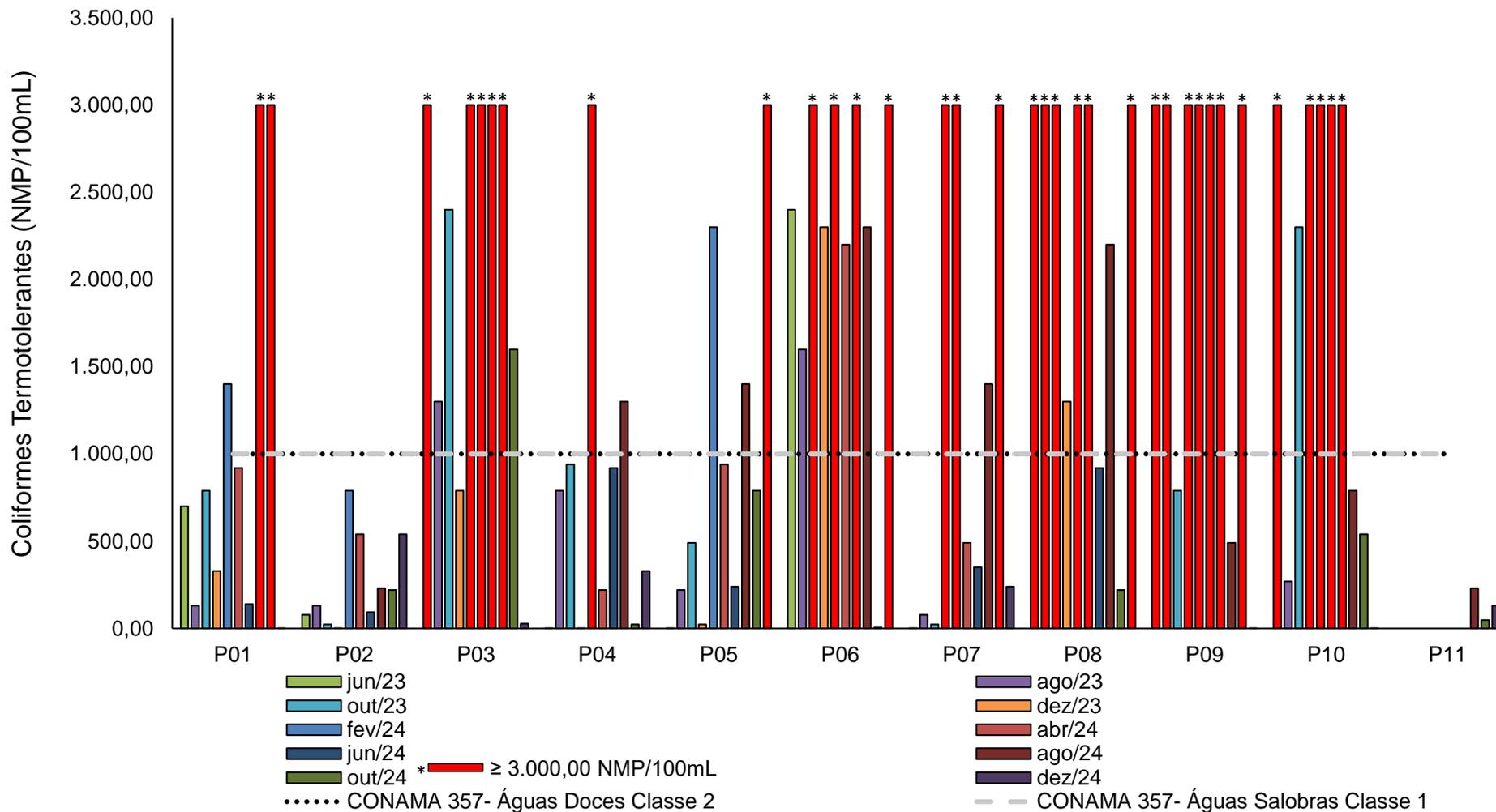
Diante do exposto e da análise da Figura 6-2, nota-se que as águas analisadas nos pontos P03, localizado no alto rio Macaé, P08, localizado no rio Macaé, na altura da ponte da Barra, P09, localizado no rio Jundiá, e P10, localizado no rio das Ostras, apresentaram os valores mais altos de coliformes termotolerantes durante um maior período. De modo geral, as altas concentrações registradas de coliformes termotolerantes indicam a degradação dos corpos hídricos monitorados por conta de lançamento de efluentes no sistema.

Uma das razões para a alta concentração observada em P08, pode ser a concentração populacional do entorno. Desde antes da retificação do rio Macaé, por volta de 1970, as áreas ambientalmente vulneráveis do baixo curso, como Nova Brasília, já eram ocupadas pela população de baixa renda. A instalação da indústria petrolífera no

município impulsionou ainda mais o assentamento dessa população em áreas como: Nova Esperança e Nova Holanda (SAYD; BRITTO, 2016). No entorno dos rios Jundiá (P09) e das Ostras há loteamentos clandestinos e ocupações espontâneas, sem planejamento, impactando diretamente os rios através do despejo de efluentes sanitários e lixo domiciliar (GOMES, 2009), gerando cenários como o observado na Figura 6-2.

Em contrapartida, ao analisar a estação P02, localizada no rio Macaé, após a confluência com o córrego Santiago, constata-se que ela foi a única, durante os 10 meses de monitoramento, que apresentou todos os resultados abaixo do limite balizado na Resolução CONAMA 357/2005 (1.000,00 NMP/100mL) para Águas Doces Classe 2. O mesmo ocorreu com a estação P11, localizada no rio Macaé, na estrada de Macaé de Cima, que também apresentou valores baixos durante os três meses em que foi monitorada.

Figura 6-2. Resultados de coliformes termotolerantes dos cinco quadrimestres.



Fonte: Própria autoria.

No que tange aos coliformes totais, esse parâmetro não apresenta um limite de referência na Resolução CONAMA 357/2005. No entanto, as amostras apresentaram concentrações elevadas dessa variável microbiológica (Figura 6-3).

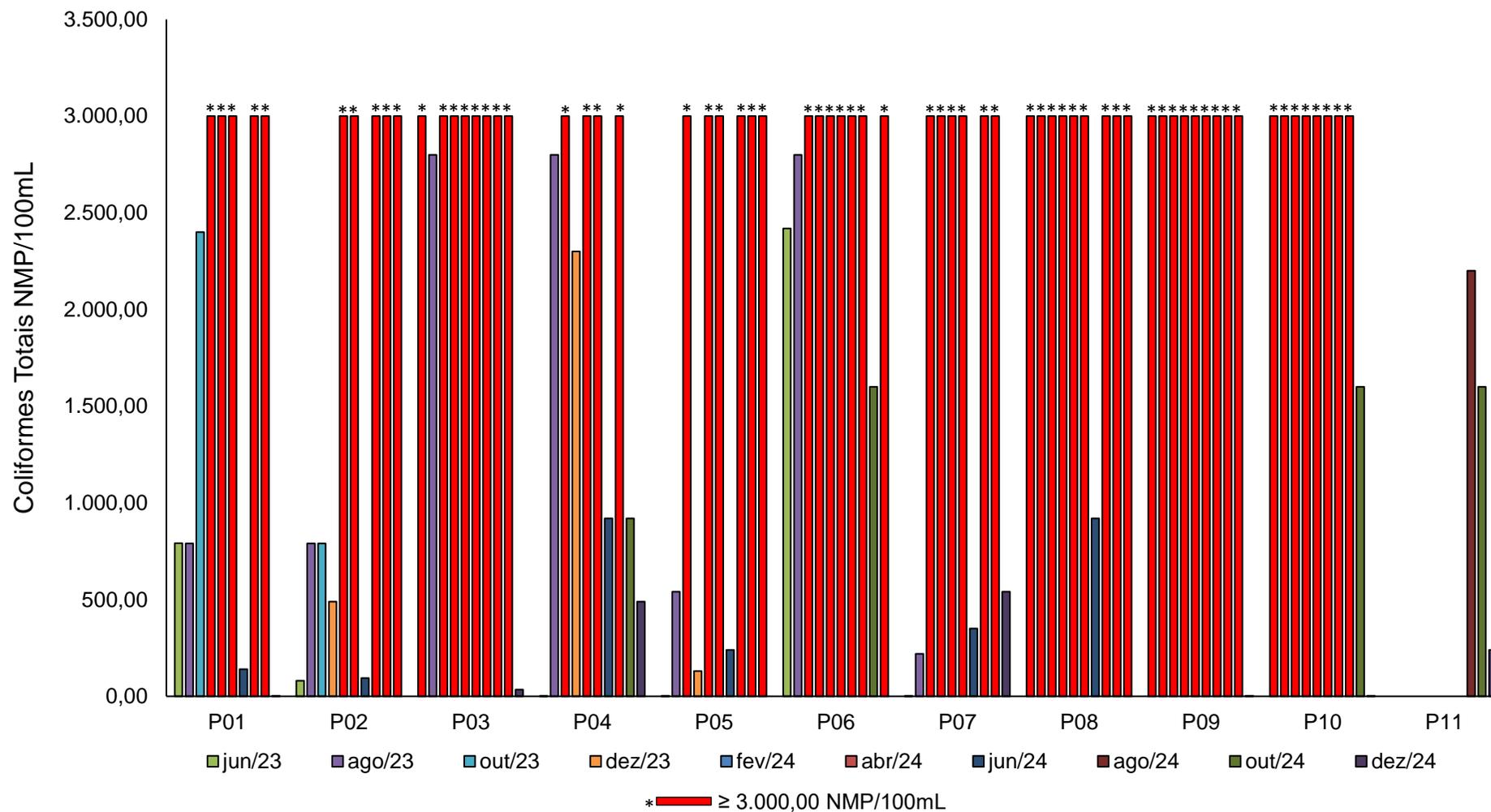
Em relação à média de coliformes totais ao longo das 10 campanhas de monitoramento, a média mais baixa foi obtida na décima campanha, 4.082,67 NMP/100mL em dezembro de 2024, e a mais alta na sexta campanha, com uma média acima de 140.700,00 NMP/100mL em abril de 2024, já que o limite de quantificação máximo de 160.000,00 NMP/100mL foi estabelecido pelo laboratório, devido à grande variação da concentração de coliformes em amostras ambientais.

Por conta dos valores elevados de coliformes totais e a fim de obter-se uma melhor visualização dos resultados, todos os valores iguais ou maiores que 3.000,00 NMP/100mL foram representados, no gráfico, por uma coluna vermelha com um asterisco (*) acima ($\geq 3.000,00$ NMP/100mL).

Com a análise da Figura 6-3, nota-se que as estações P08, localizada no rio Macaé, na altura da ponte da Barra, e P09, localizada no rio Jundiá, apresentaram os valores mais altos de coliformes totais durante um maior período (9 dos 10 meses de monitoramento). Os pontos P03 e P10, localizados no rio Macaé, após a confluência com o rio São Pedro e no rio das Ostras, respectivamente, também apresentaram elevadas concentrações durante 8 dos 10 meses de monitoramento.

Diante do exposto, os resultados elevados de coliformes totais e termotolerantes detectados ao longo das 10 campanhas de monitoramento indicam um aporte de águas residuais nos corpos hídricos monitorados.

Figura 6-3. Resultados de coliformes totais dos cinco quadrimestres.



Fonte: Própria autoria.

6.1.4 Condutividade

A condutividade é uma medida da capacidade de condução de corrente elétrica na água, sendo influenciada em decorrência da concentração de sólidos inorgânicos dissolvidos (ânions e cátions), compostos orgânicos (óleos, fenóis, graxas) e da temperatura da água (CETESB, 2018).

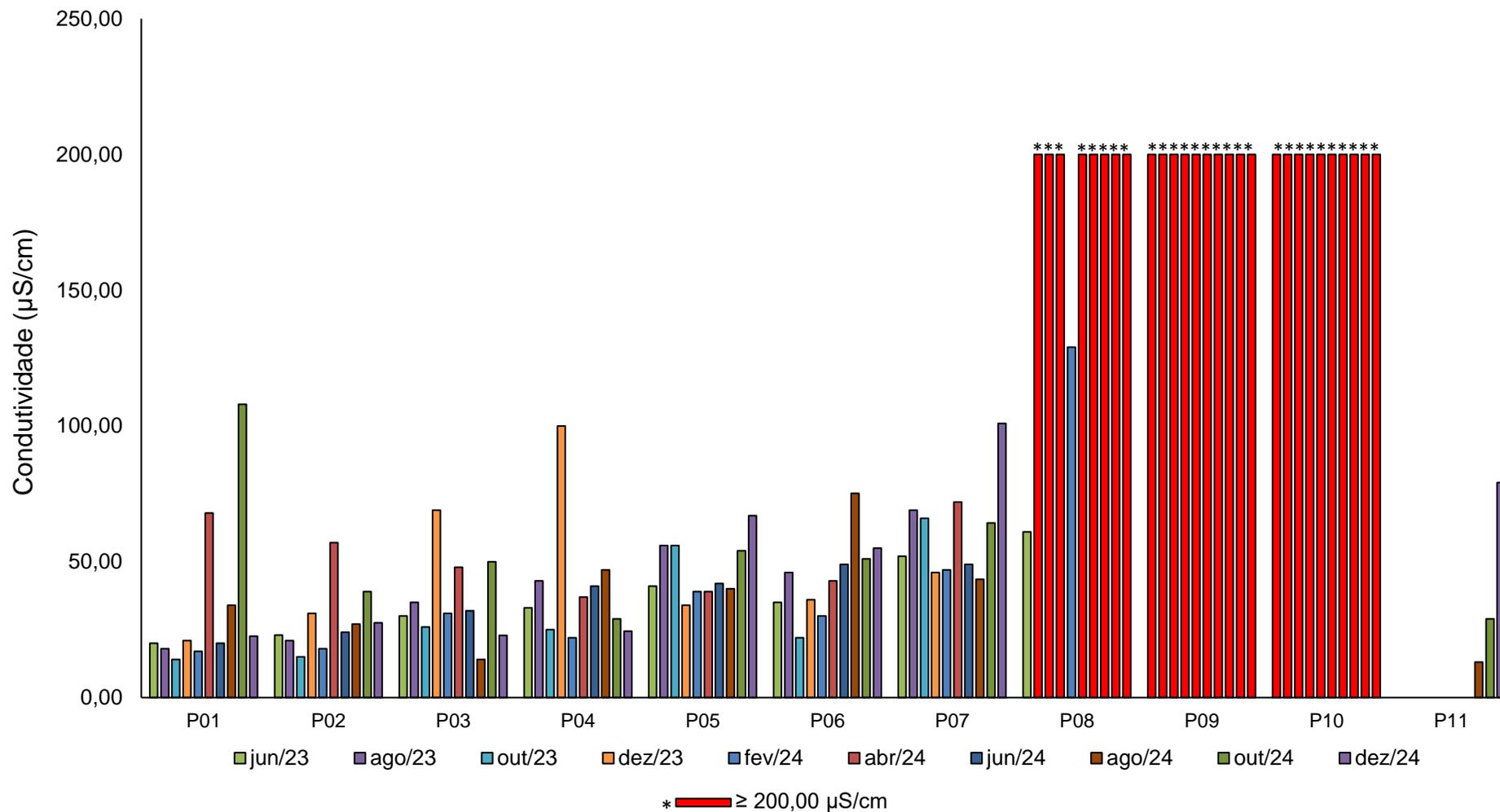
Os valores registrados ao longo das 10 campanhas de monitoramento variaram de 14,00 $\mu\text{S/cm}$ na amostra de P01, ponto localizado no rio Macaé, próximo à estação fluviométrica Galdinópolis, na primeira campanha (jun./23), a 43.160,00 $\mu\text{S/cm}$ na amostra de P10, ponto localizado na foz do rio das Ostras, na sétima campanha (jun./24). Em relação às médias, as maiores foram observadas na sétima (8.336,90 $\mu\text{S/cm}$), oitava (2.165,30 $\mu\text{S/cm}$) e nona (2.771,68 $\mu\text{S/cm}$) campanha, ou seja, no quarto e quinto quadrimestre.

Por conta dos valores elevados de condutividade em algumas amostras e a fim de obter-se uma melhor visualização dos resultados, todos os valores iguais ou maiores que 200,00 $\mu\text{S/cm}$ foram representados, no gráfico, por uma coluna vermelha com um asterisco (*) acima ($\geq 200,00 \mu\text{S/cm}$).

Diante do exposto e de acordo com a Figura 6-4, observa-se que os maiores valores de condutividade, ao longo de todas as 10 campanhas, ficaram concentrados nas amostras dos pontos P08, localizado na foz do rio Macaé, P09, situado no rio Jundiá, e P10, localizado na foz do rio das Ostras. Esses resultados apresentam um padrão esperado conforme a localização dos pontos, demonstrando a entrada da cunha salina. Os próprios resultados de salinidade obtidos ao longo do monitoramento indicam essa intrusão salina, uma vez que as águas analisadas em P08 (foz do rio Macaé) foram classificadas como águas salobras na maioria das campanhas, com exceção da primeira (jun./23) e da quinta (fev./24); as águas de P09 (rio Jundiá), foram classificadas como salobras em quatro campanhas (quinta, sétima, oitava e nona), e as águas de P10 (foz do rio das Ostras) foram classificadas como salobras em todas as campanhas. Isso reforça a associação da salinidade e condutividade, tendo em vista que esse parâmetro é um indicativo da quantidade de sais presentes na coluna d'água (CETESB, 2018).

Salienta-se que na Resolução CONAMA 357/2005 não há valores de referência para este parâmetro.

Figura 6-4. Resultados de condutividade dos cinco quadrimestres.



Fonte: Própria autoria.

6.1.5 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) é definida como a quantidade de oxigênio consumida por microrganismos na degradação de compostos orgânicos. Sob a ótica da qualidade da água, a DBO é uma importante variável indicadora de poluição por resíduos orgânicos, uma vez que quanto maior a DBO (i.e., mais compostos orgânicos a serem degradados), menor será a disponibilidade de oxigênio para seres vivos como peixes, organismos zooplanctônicos e macroinvertebrados (CETESB, 2018).

Os valores registrados ao longo das 10 campanhas de monitoramento variaram de 2 mg/L na amostra de P01, ponto localizado no rio Macaé, próximo à estação fluviométrica Galdinópolis, na terceira campanha (out./23), a 57 mg/L na amostra de P05, ponto localizado no rio Macaé, a montante da confluência com o rio São Pedro, na quinta campanha (fev./24).

Por conta dos valores elevados de DBO em algumas amostras e a fim de obter-se uma melhor visualização dos resultados, comparando-os com o limite da Resolução CONAMA 357/2005, todos os valores iguais ou maiores que 15 mg/L foram representados, no gráfico, por uma coluna vermelha com um asterisco (*) acima (≥ 15 mg/L).

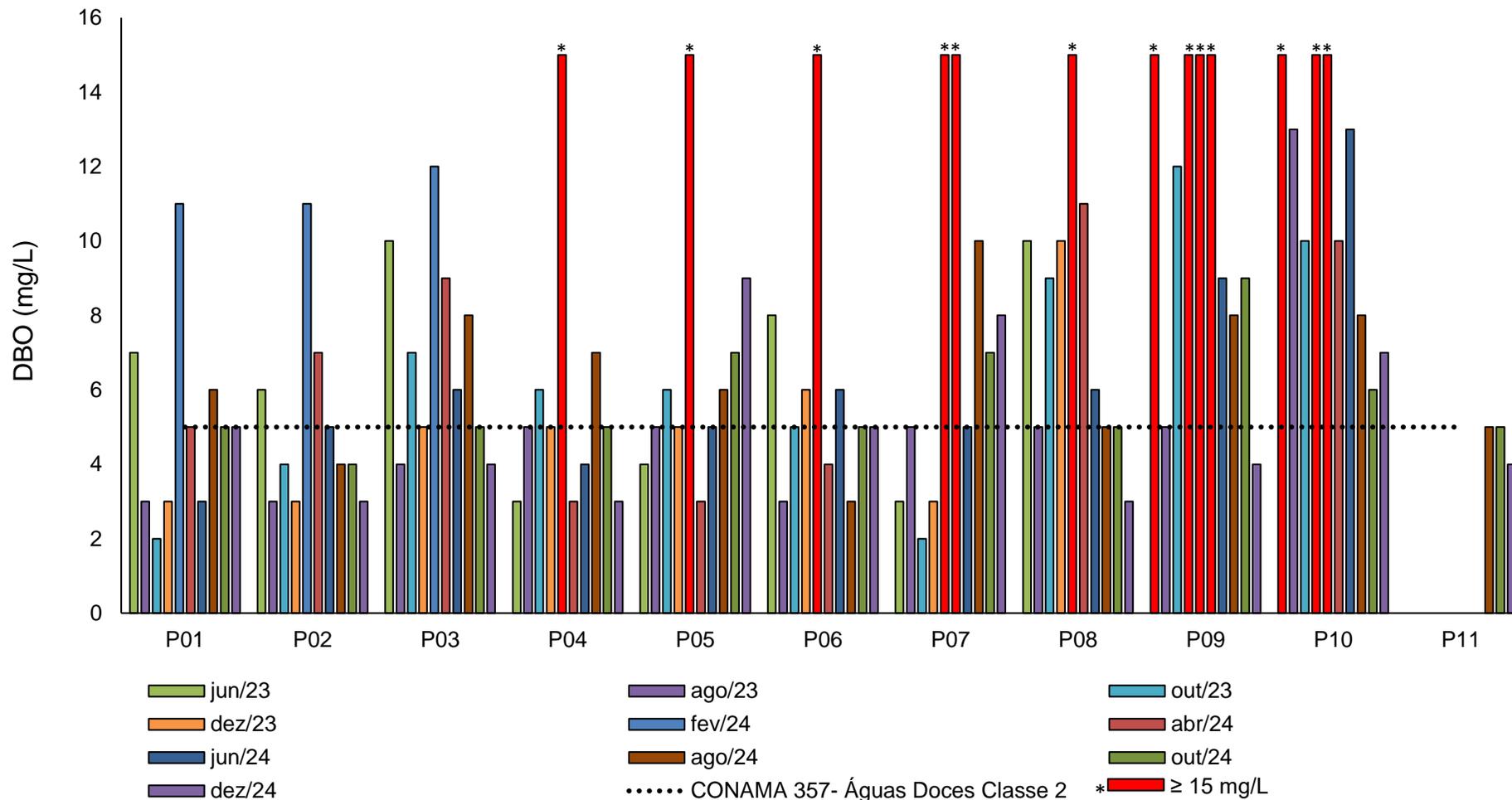
De acordo com a Figura 6-5 nota-se que quase todos os pontos, com exceção de P11 (rio Macaé), ultrapassaram o limite preconizado na legislação de referência para Águas Doces de Classe 2 (5 mg/L) em várias campanhas.

Destaca-se que para Águas Salobras Classe 1, não há um limite de referência estabelecido pela normativa supracitada.

Em se tratando das amostras das estações P09, localizada no rio Jundiá, e P10, situada na foz no rio das Ostras, observa-se, de maneira geral, a predominância dos valores mais altos de DBO. Ao comparar os resultados de DBO dessas estações com os resultados de oxigênio dissolvido (OD), nota-se uma relação inversamente proporcional, uma vez que as amostras desses pontos exibiram os valores mais baixos de OD durante todo o monitoramento ambiental.

À vista disso, os resultados de DBO, bem como os de coliformes termotolerantes e totais e de OD, sugerem o aporte de efluentes sem tratamento nos rios monitorados.

Figura 6-5. Resultados de DBO dos cinco quadrimestres.



Fonte: Própria autoria.

6.1.6 Fosfato

O fósforo pode se apresentar em diferentes formas, uma delas é através de sais inorgânicos, como o fosfato. O fosfato é um nutriente essencial para as plantas, no entanto o excesso dele, proveniente de atividades antrópicas como em esgoto doméstico, fertilizantes, resíduos urbanos, entre outros, tem favorecido o processo de eutrofização, que pode impactar a biota e a saúde humana (CETESB, 2018; CARBINATTI, 2019).

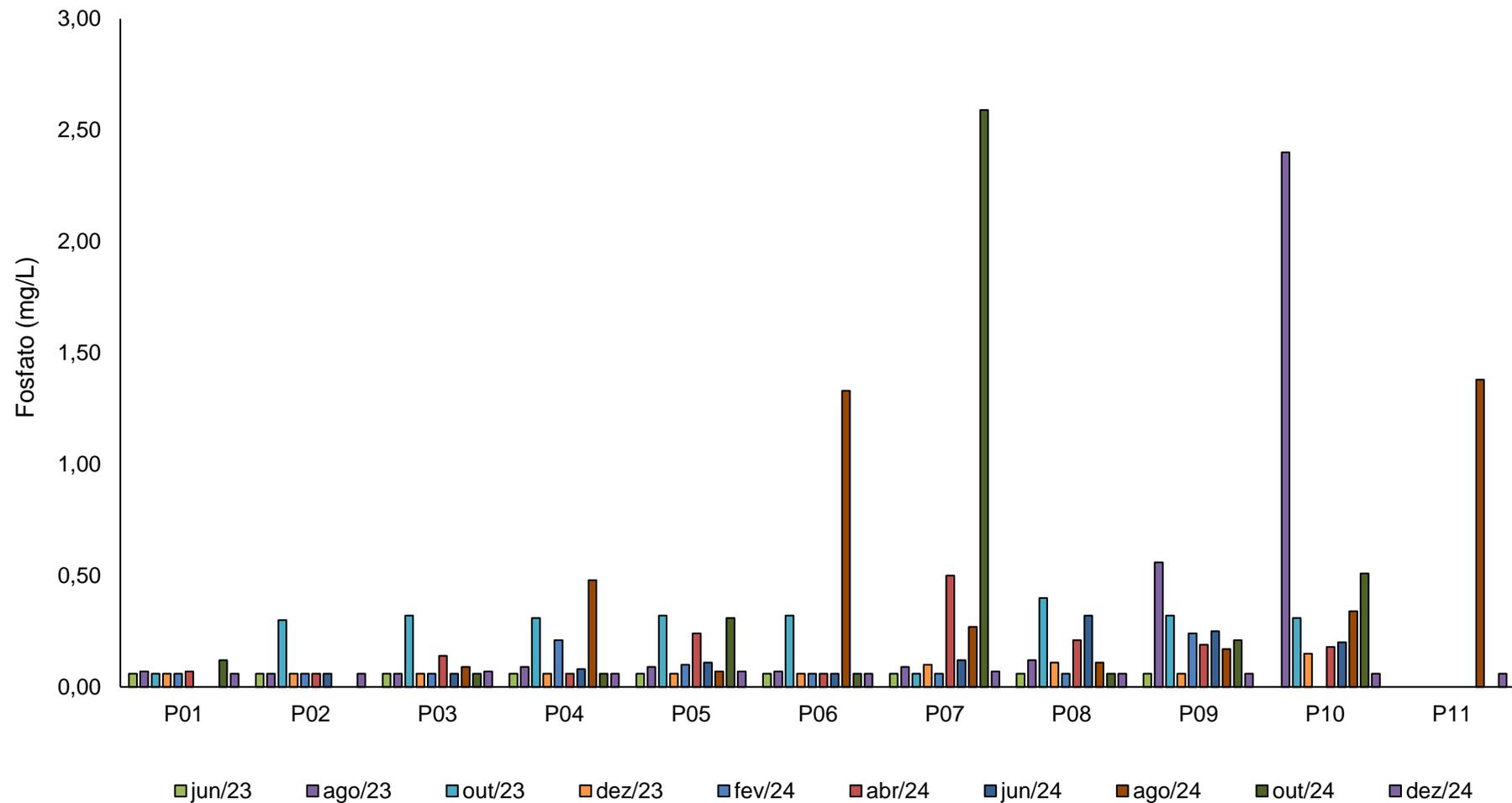
A análise da Figura 6-6 permite observar que as altas concentrações de fosfato ao longo dos cinco quadrimestres aconteceram pontualmente. Em se tratando da amostra do ponto P10, por exemplo, localizado na foz do rio das Ostras, nota-se que na segunda campanha (ago./23) o valor de fosfato foi de 2,40 mg/L, e quase um ano depois, na sétima campanha (jun./24), o resultado cai expressivamente para 0,20 mg/L. Apesar de nas duas campanhas subsequentes, oitava e nona, a concentração de fosfato começar a aumentar novamente, vê-se que ao final do monitoramento, na décima campanha (dez./24), o nutriente apresenta a concentração mais baixa para essa estação, 0,06 mg/L, indicando alguma melhora na qualidade desse corpo hídrico.

Apesar de terem sido observados altos valores de fosfato em P06 (rio São Pedro), P07 (rio Macaé, a jusante da confluência com o rio São Pedro) e P11 (rio Macaé, na estrada de Macaé de Cima) na oitava e nona campanha, eles também foram seguidos de uma queda expressiva, reforçando o caráter pontual dessas altas concentrações.

O P07 está localizado na sub-bacia do baixo rio Macaé, que possui problemas provenientes de ocupação urbana e industrial; já o P06 está situado na sub-bacia do rio São Pedro, que, em monitoramento realizado pelo INEA, já apresentou contaminação agroindustrial por agrotóxicos, fenóis e metais (INEA, 2014a) e P11, situado no rio Macaé, em Macaé de Cima, próximo de localidades com sistemas agropecuários e silviculturais (SILVA, 2013). Diante disso, a presença de fosfato nessas amostras pode ter associação com o aporte de efluentes e com a utilização de fertilizantes em atividades agrícolas nas proximidades das estações amostrais (PINHEIRO, 2008). Ademais, o pico de fosfato em P07 (rio Macaé, depois da confluência com o rio São Pedro), ocorreu na nona campanha (out./2024) e na quinzena que antecede essa coleta foi registrado 34,80 mm de pluviosidade acumulada na estação de São Pedro, situada próxima à essa região. Portanto, sugere-se que a chuva pode ter tido influência no transporte desse nutriente para o rio.

Essa variável ambiental não apresenta valores de referência na Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005).

Figura 6-6. Resultados de fosfato dos cinco quadrimestres.



Fonte: Própria autoria.

6.1.7 Nitrato e nitrito

O nitrato e o nitrito são formas oxidadas do nitrogênio na água. Nas áreas de autodepuração naturais, como em rios, a presença de nitrito na água está relacionada à zona de recuperação, enquanto a detecção de nitrato em corpos hídricos é observada em zonas de águas consideradas limpas. Portanto, a ocorrência de nitrato e nitrito na água é um indicativo de contaminação recente, que pode ser causada por várias fontes, incluindo o lançamento inadequado de efluentes (CETESB, 2018).

Para o nitrato, o limite da normativa de referência para Águas Doces Classe 2 (10,00 mg/L) não foi apresentado no gráfico (Figura 6-7), sendo incluído somente o limiar de Águas Salobras Classe 1 (0,40 mg/L), para facilitar a observação dos resultados, em razão das baixas concentrações obtidas.

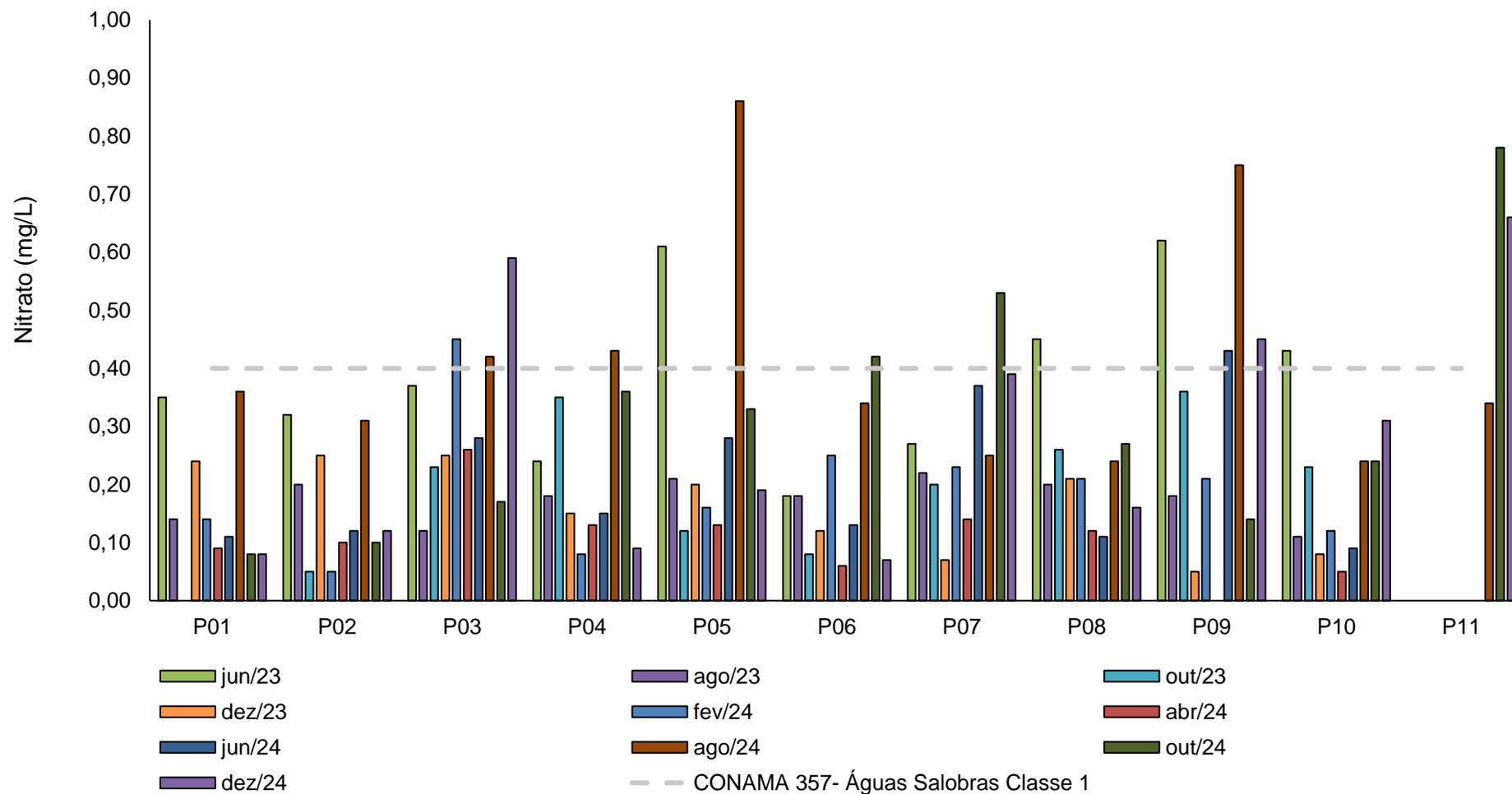
Diante do exposto e considerando que as águas analisadas de P01 a P07 e P11 foram classificadas como doce em todos os quadrimestres, os resultados dessas amostras, durante todo o monitoramento, ficaram em conformidade com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 para Águas Doces Classe 2 (10,00 mg/L).

As águas da estação P10, localizada na foz do rio das Ostras, durante os cinco quadrimestres, foram classificadas como salobras e, com exceção da primeira campanha (jun./23), na qual foi obtida uma concentração um pouco acima (0,43 mg/L) do preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 para Águas Salobras Classe 1 (0,40 mg/L), em todas as outras campanhas os resultados apresentaram conformidade com a norma previamente citada.

A amostra do ponto P08, localizado no rio Macaé, na altura da ponte da Barra, só foi classificada como doce na primeira (jun./23) e na quinta (fev./24) campanhas, logo, todos os resultados, ao longo dos cinco quadrimestres, estiveram dentro do limite preconizado para Águas Doces Classe 2 (10,00 mg/L) e Águas Salobras Classe 1 (0,40 mg/L).

As águas do rio Jundiá (P09), durante o quarto quadrimestre (jun. e ago./24), ultrapassaram o valor máximo para Águas Salobras Classe 1 (0,40 mg/L), exibindo 0,43 mg/L na sétima campanha e 0,75 mg/L na oitava campanha.

Figura 6-7. Resultados de nitrato dos cinco quadrimestres.



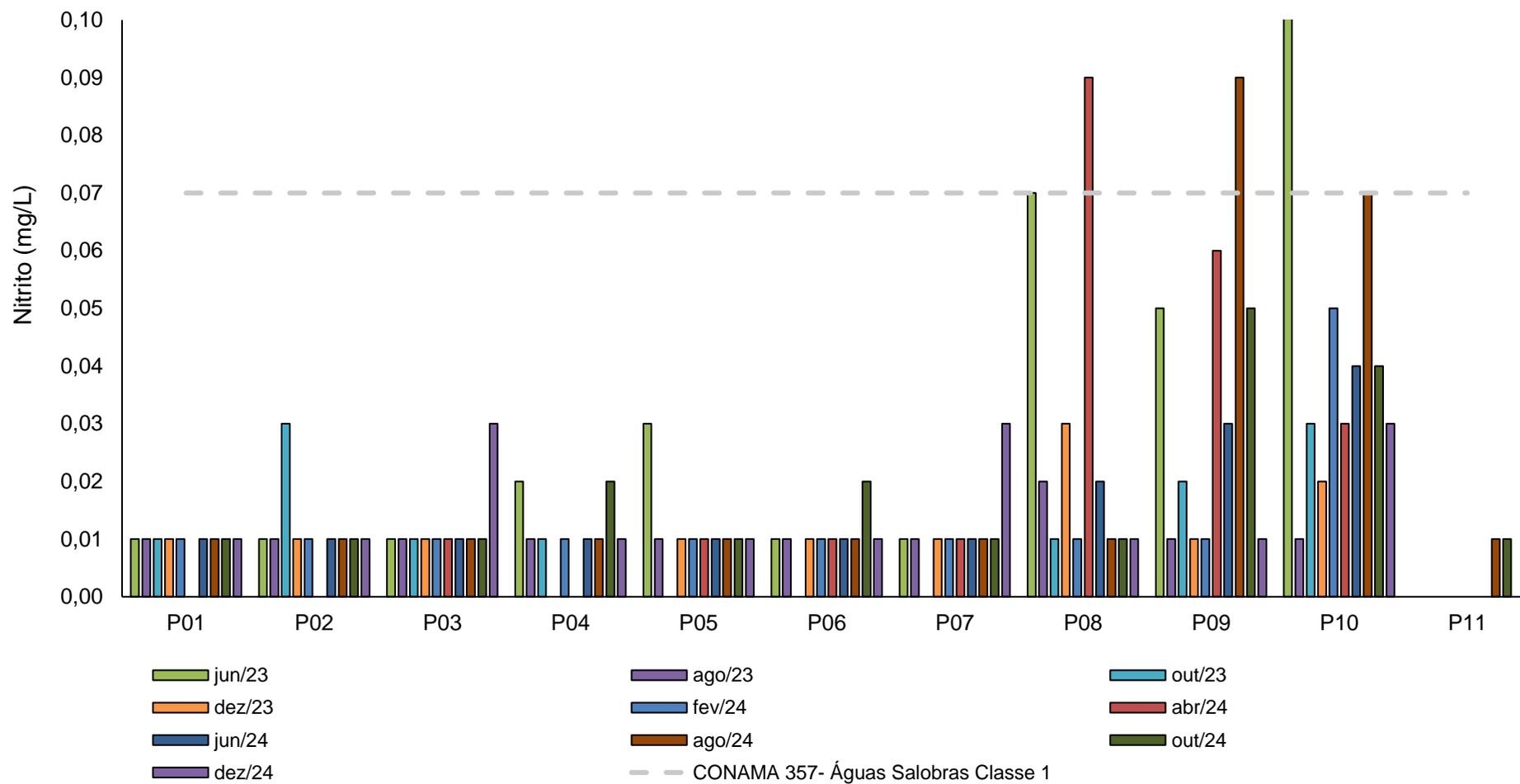
Fonte: Própria autoria.

No que se refere ao nitrito, de forma majoritária, os resultados ficaram em conformidade com o limite de referência da Resolução CONAMA 357/2005 para Águas Doces Classe 2 (1,00 mg/L) e Águas Salobras Classe 1 (0,07 mg/L).

A exceção ocorreu na amostra do ponto P08 (rio Macaé), que apresentou 0,09 mg/L na sexta campanha (abr./24), P09 (rio Jundiá), que apresentou 0,09 mg/L na oitava campanha (ago./24), e P10 (rio das Ostras), que apresentou 0,12 mg/L na primeira campanha (jun./23), ultrapassando o limite da Resolução CONAMA 357/2005 para Águas Salobras Classe 1 (0,07 mg/L). Portanto, tais resultados são indicativos de contaminação recente, muito provavelmente causada pelo lançamento de efluentes sem tratamento nesses corpos hídricos.

Para essa variável ambiental, o limite da normativa de referência para Águas Doces Classe 2 (1,00 mg/L) não foi apresentado no gráfico (Figura 6-8), sendo incluído somente o limiar de Águas Salobras Classe 1 (0,07 mg/L), para facilitar a observação dos resultados, em razão das baixas concentrações obtidas.

Figura 6-8. Resultados de nitrito dos cinco quadrimestres.



Fonte: Própria autoria.

6.1.8 Nitrogênio amoniacal

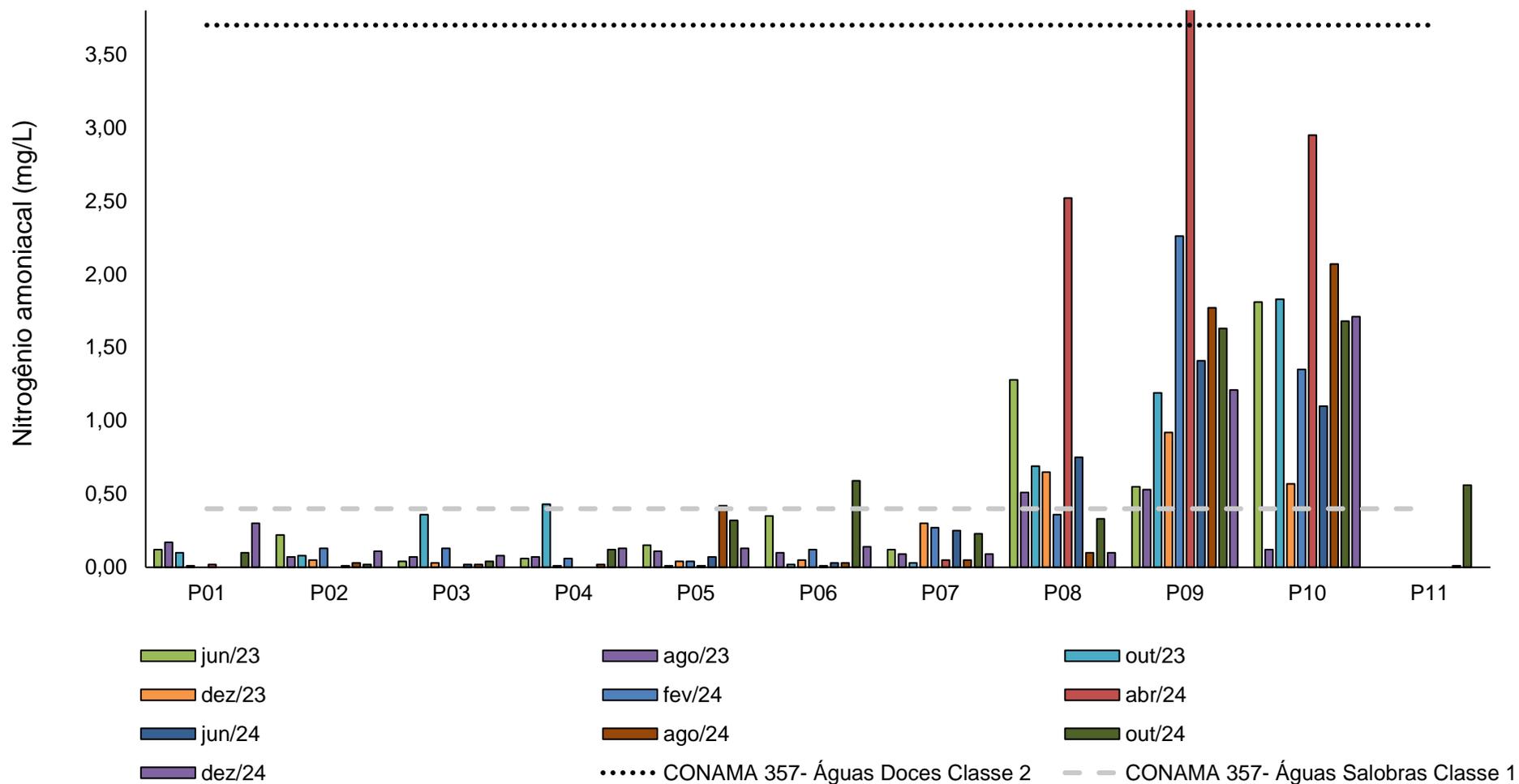
O nitrogênio amoniacal é uma forma reduzida do nitrogênio proveniente do processo de hidrólise da ureia na água. Esse parâmetro está relacionado com a ocorrência de lançamento de efluentes sanitários e/ou industriais em corpos hídricos. A detecção de nitrogênio amoniacal é considerada um bom indicador de poluição, já que em áreas de autodepuração naturais, a presença desse nutriente está associada com a zona de decomposição ativa (TUNDISI; TUNDISI, 2008; CETESB, 2018).

Na Figura 6-9 é possível perceber que as amostras de P01 a P07 e P11 estiveram, ao longo de todo o monitoramento, em conformidade com os valores máximos balizados na Resolução CONAMA 357/2005 para Águas Doces Classe 2 (3,7 mg/L).

À vista disso, nota-se que os maiores valores de nitrogênio amoniacal, durante os cinco quadrimestres, ficaram concentrados nas amostras dos pontos P08, localizado na foz do rio Macaé, P09, situado no rio Jundiá, e P10, localizado na foz do rio das Ostras, que ultrapassaram os limites estabelecidos na Resolução CONAMA 357/2005 para Águas Doces Classe 2 (3,7 mg/L) e Águas Salobras Classe 1 (0,4 mg/L) e apresentaram os valores mais altos no terceiro quadrimestre, na sexta campanha (abr./24).

A análise desses resultados sugere o lançamento de esgoto sem tratamento na região, contribuindo para a eutrofização artificial, comprometendo a qualidade das águas e representando um risco ecológico e para a saúde pública. A análise dos Protocolos de Avaliação Rápida (PAR), presentes no ANEXO 4, corroboram os resultados vistos nessa região ao constatar que há emissão de esgoto doméstico nesses corpos hídricos. No PAR de P10, ponto situado na foz do rio das Ostras, preenchido durante a segunda campanha (ago./23), consta na observação do tópico de “Fontes pontuais de emissão de efluentes” que havia um tubo de concreto com emissão de efluentes diretamente no rio (Figura 6-10).

Figura 6-9. Resultados de nitrogênio amoniacal dos cinco quadrimestres.



Fonte: Própria autoria.

Figura 6-10. Tubo de concreto com descarte de efluentes diretamente no rio das Ostras (P10).



Fonte: Própria autoria.

6.1.9 Nitrogênio total

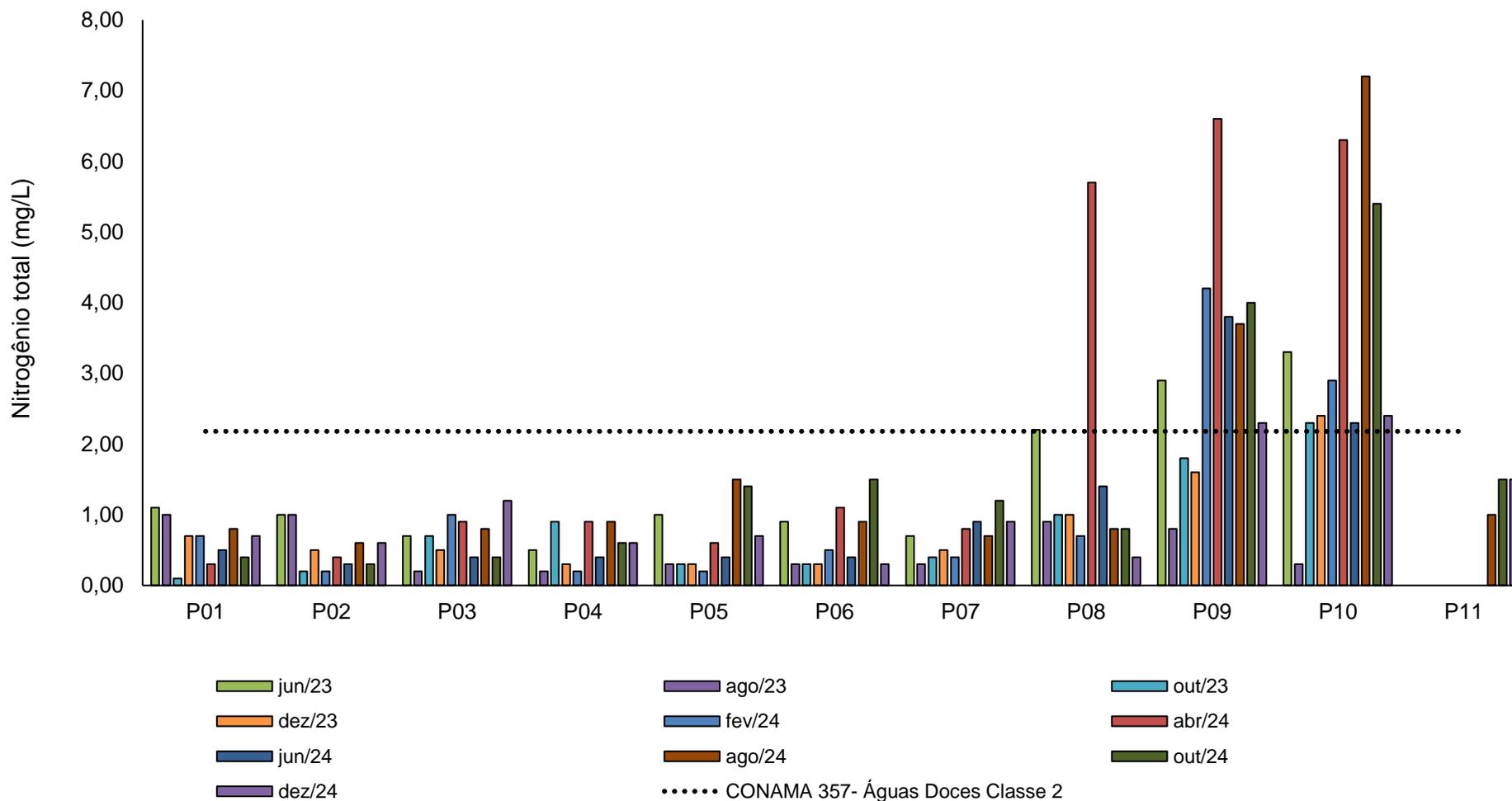
As fontes de nitrogênio para os sistemas aquáticos são diversas. No entanto, o esgoto sanitário é a principal fonte, lançando nitrogênio orgânico na água. Alguns efluentes industriais provenientes de petroquímicas, siderúrgicas, farmacêuticas, também realizam descarte de nitrogênio orgânico e amoniacal nas águas. Assim como o fósforo, o nitrogênio é um dos principais nutrientes para os processos biológicos (macronutriente) e está relacionado com a produtividade primária no ambiente aquático. O aporte excessivo desses nutrientes, principalmente pelo esgotamento sanitário, causa enriquecimento dos sistemas aquáticos, deixando-os eutrofizados. O nitrogênio total é a soma das formas orgânicas e inorgânicas de nitrogênio encontradas no ambiente (CETESB, 2018).

A análise da Figura 6-11 permite observar que as amostras de P01 a P07 e P11 estiveram, ao longo de todo o monitoramento, em conformidade com os valores máximos balizados na Resolução CONAMA 357/2005 para Águas Doces Classe 2 (2,18 mg/L).

À vista disso, nota-se que os maiores valores de nitrogênio total, durante os cinco quadrimestres, ficaram concentrados nas amostras dos pontos P08, localizado na foz do rio Macaé, P09, situado no rio Jundiá, e P10, localizado na foz do rio das Ostras, e os valores mais altos, assim como para nitrogênio amoniacal, também foram observados no terceiro quadrimestre, na sexta campanha (abr./24). A exceção desse padrão ocorreu para a amostra de P10, que apresentou um resultado de 7,20 mg/L na nona campanha (out./24).

Salienta-se que não há valores de referência para águas salobras na Resolução CONAMA 357/2005, o que inviabiliza uma comparação completa dos resultados das amostras de P08, P09 e P10. Entretanto, é importante frisar as concentrações elevadas desse nutriente nessa região, especialmente porque nela também foram observadas concentrações elevadas de outros nutrientes da série nitrogenada, como nitrito e nitrogênio amoniacal. Os resultados desses parâmetros em conjunto reforçam o alerta para essa região, já que sugerem o lançamento de efluentes sem tratamento nesses corpos hídricos.

Figura 6-11. Resultados de nitrogênio total dos cinco quadrimestres.



Fonte: Própria autoria.

6.1.10 Oxigênio dissolvido

O oxigênio representa o gás mais importante para manutenção da vida, sendo fundamental para diversas atividades metabólicas relacionadas ao crescimento, reprodução e obtenção de energia na maioria dos seres vivos (ALVARADO; AGUILAR, 2009). Para ecossistemas aquáticos, o oxigênio dissolvido, além de sua função na manutenção da biota aquática, também atua promovendo autodepuração dos ecossistemas aquáticos. Em ecossistemas eutrofizados, a fotossíntese é uma fonte natural de oxigênio para decomposição da matéria orgânica (CETESB, 2018).

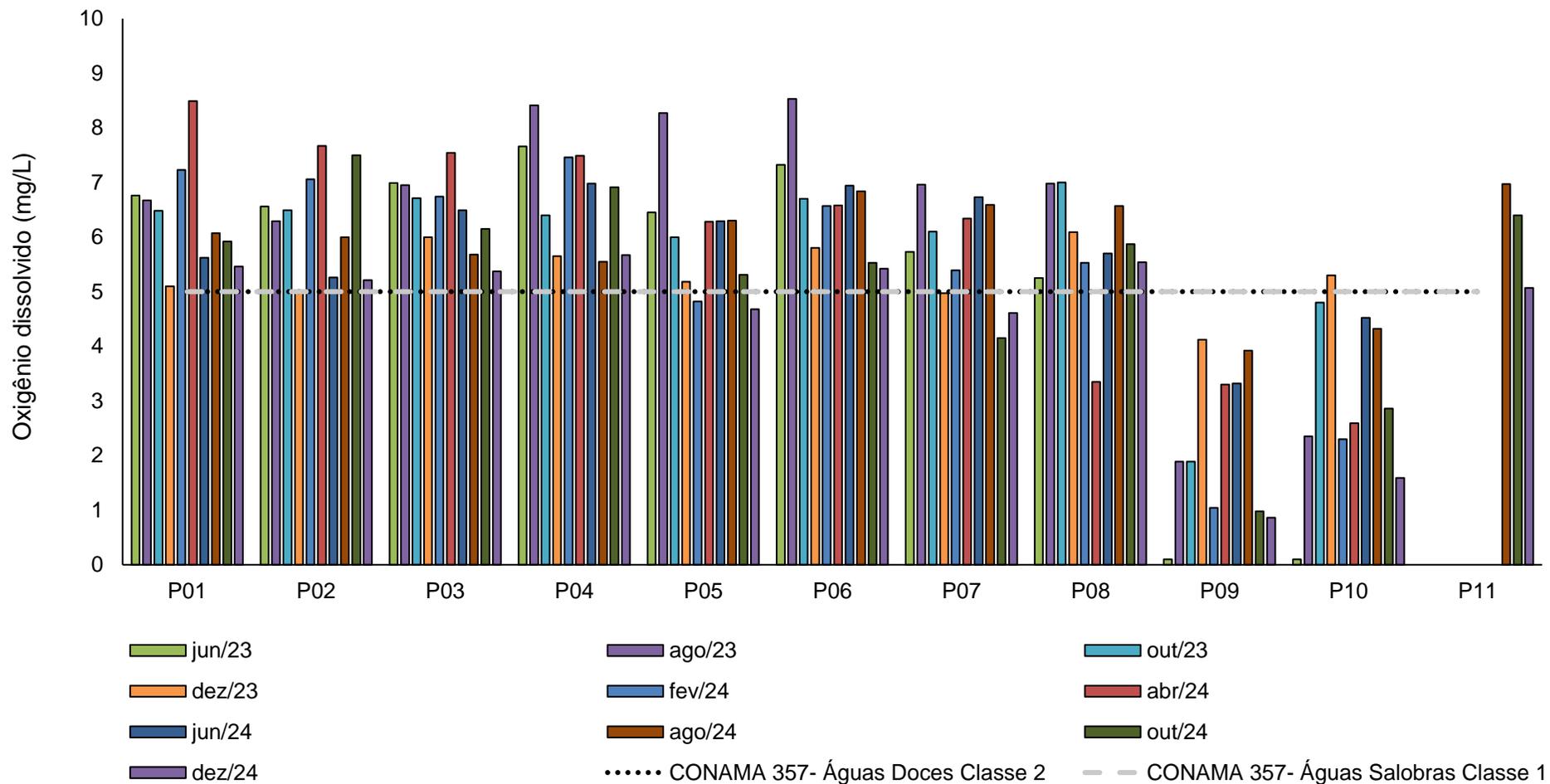
A análise da Figura 6-12 permite observar que, de maneira geral, ao longo das 10 campanhas de monitoramento, as amostras de P1 a P7 e P11 estiveram em conformidade com o limite preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 para Águas Doces Classe 2 (>5 mg/L). Da mesma forma, as águas analisadas na estação P08, situada no rio Macaé, na altura da ponte da Barra, que foram majoritariamente classificadas como águas salobras, também apresentaram quase todos os resultados em conformidade com o estipulado na Resolução CONAMA 357/2005 para Águas Doces Classe 2 (>5 mg/L) e Águas Salobras Classe 1 (>5 mg/L), com exceção da sexta campanha (abr./24).

À vista disso, o que se observa mais uma vez é que a região que abrange o rio Jundiá (P09) e a foz do rio das Ostras (P10) apresentou os menores valores de oxigênio dissolvido, alcançando resultados notadamente baixos, como os em torno de 1 mg/L (Figura 6-12). A redução de OD nos corpos hídricos leva a mortalidade de animais, impactando a comunidade e o ecossistema como um todo (EMBRAPA, 2011).

Ademais, considerando que as amostras dos dois pontos supracitados são provenientes de corpos hídricos que recebem efluentes sanitários, e que esses, por sua vez, contêm uma alta carga de matéria orgânica, sugere-se que esse aporte de matéria orgânica no sistema levou ao aumento de DBO e como consequência, a redução de oxigênio dissolvido.

Destaca-se ainda que a estação amostral P09, localizada no rio Jundiá, no bairro Village, exibiu uma quantidade elevada de plantas aquáticas, cujo registro pode ser verificado na Figura 6-13. Desta forma, os resultados de OD e DBO obtidos podem ter uma associação com a presença dessas plantas, pois elas são utilizadas como indicadores das alterações de qualidade hídrica (BHATTA; PATRA, 2020).

Figura 6-12. Resultados de oxigênio dissolvido dos cinco quadrimestres.



Fonte: Própria autoria.

Figura 6-13. Proliferação de macrófitas no rio Jundiá.



6.1.11 pH

O potencial hidrogeniônico (pH) é a medida da atividade dos íons hidrônio (H^+) dentro de uma solução, sendo esse parâmetro essencial para o bom funcionamento dos ecossistemas aquáticos, tendo em vista seu papel como regulador de diversas atividades bioquímicas de organismos. Diversos fatores podem alterar o pH de ecossistemas aquáticos, desde a composição geológica da bacia, descarga de efluentes industriais e de mineração, composição do lixiviado, até a presença de atividade agropecuária (VON-SPERLING, 2017).

A análise da Figura 6-14 permite observar que, de maneira geral, ao longo das 10 campanhas de monitoramento, as amostras de P1 a P7 e P11 estiveram em conformidade com o limite preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 para Águas Doces Classe 2 (pH entre 6,00 e 9,00). Da mesma forma, as águas analisadas na estação P08, situada no rio Macaé, na altura da ponte da Barra, que foram majoritariamente classificadas como águas salobras, também apresentaram quase todos os resultados em conformidade com o estipulado na Resolução CONAMA 357/2005 para Águas Doces Classe 2 (pH entre 6,00 e 9,00) e Águas Salobras Classe 1 (pH entre 6,50 e 8,50).

Os valores mais expressivamente baixos de pH foram observados ao final do monitoramento, na décima campanha (dez./24), na região que abrange o rio Jundiá (P09)

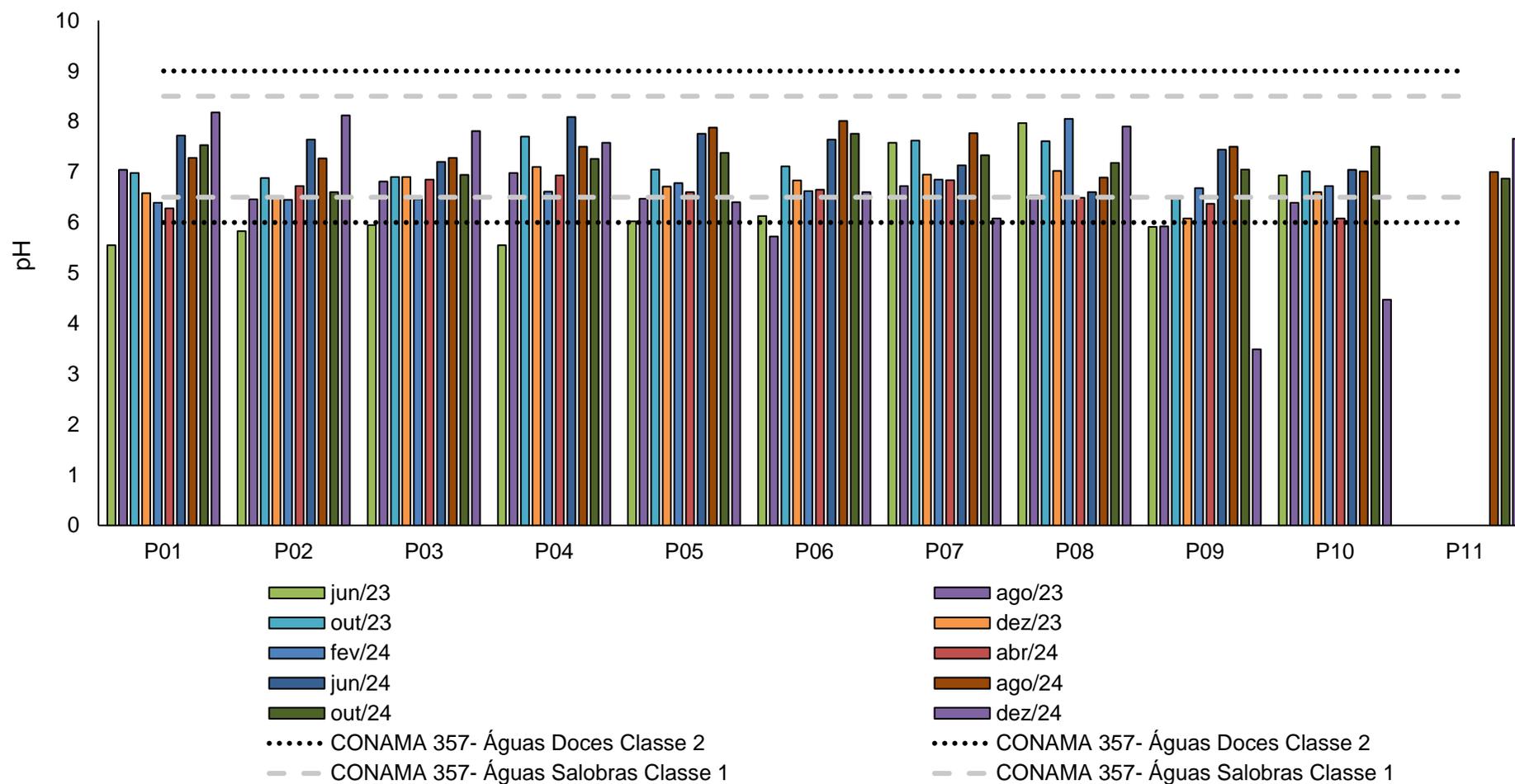
e a foz do rio das Ostras (P10), com 3,49 e 4,47 respectivamente, não sendo possível enquadrá-las na classificação estabelecida pela Resolução CONAMA 357/2005 para Águas Doces Classe 2 (pH entre 6,00 e 9,00), no caso de P9, e Águas Salobras Classe 1 (pH entre 6,50 e 8,50), no caso de P10.

Os valores notadamente baixos de pH observados podem estar associados a um incremento recente no aporte de matéria orgânica no rio Jundiá (P09), que apresentou menor valor de pH (3,49), o que é reforçado pelos altos valores de nitrogênio amoniacal (1,21 mg/L) e total (2,30 mg/L) e baixo valor de OD (0,86 mg/L) observados nesse ponto amostral na última campanha. E como o rio Jundiá desemboca na foz do rio das Ostras (P10), que apesar de também apresentar uma diminuição significativa do pH (4,47), encontra-se em um cenário melhor que P09, sugere-se que essas condições insatisfatórias encontradas nesses corpos hídricos foram trazidas do rio Jundiá.

Além disso, as duas estações amostrais supracitadas estão localizadas próximas às regiões povoadas e com emissão de efluentes sanitários, abrindo margem para que o escoamento das águas pluviais disponibilize contaminantes orgânicos e inorgânicos nesses corpos hídricos. A diminuição de pH, observada ao final do monitoramento, pode ter sido influenciada pela presença de óxidos de nitrogênio (SANTOS, 2017). Ademais, alterações de pH podem exercer influência sobre a distribuição e biodisponibilidade de contaminantes inorgânicos acumulados nos sedimentos, tais como metais, aumentando a disponibilidade deles ao impedir sua retenção pelo sedimento (RIOS, 2018; ZHANG et al., 2014).

Ressalta-se a necessidade de atenção para essa região, que vem repetindo o padrão dos piores cenários em diversos parâmetros.

Figura 6-14. Resultados de pH dos cinco quadrimestres.



Fonte: Própria autoria.

6.1.12 Sólidos dissolvidos totais

Os sólidos presentes na água são toda a matéria que continua como resíduos após diferentes processos, como de evaporação, secagem ou calcinação em temperatura e um tempo determinado. Os processos descritos anteriormente que determinam as diferentes frações de sólidos na água, podendo ser sólidos totais, em suspensão, dissolvidos, fixos e voláteis. O monitoramento de sólidos é importante, haja vista que as altas concentrações desse parâmetro podem impactar a biota através de sedimentação (CETESB, 2018).

Os valores registrados ao longo das 10 campanhas de monitoramento variaram de 7,0 mg/L na amostra do ponto P03, localizado no rio Macaé, após a confluência com o rio São Pedro, na oitava campanha (ago./24), a 34.776,2 mg/L na amostra do ponto P10, localizado na foz do rio das Ostras, na sétima campanha (jun./24).

Por conta dos valores elevados de sólidos dissolvidos totais (SDT) em algumas amostras e a fim de obter-se uma melhor visualização dos resultados, comparando-os com o limite da normativa de referência, todos os valores iguais ou maiores que 1000,0 mg/L foram representados, no gráfico, por uma coluna vermelha com um asterisco (*) acima ($\geq 1000,0$ mg/L).

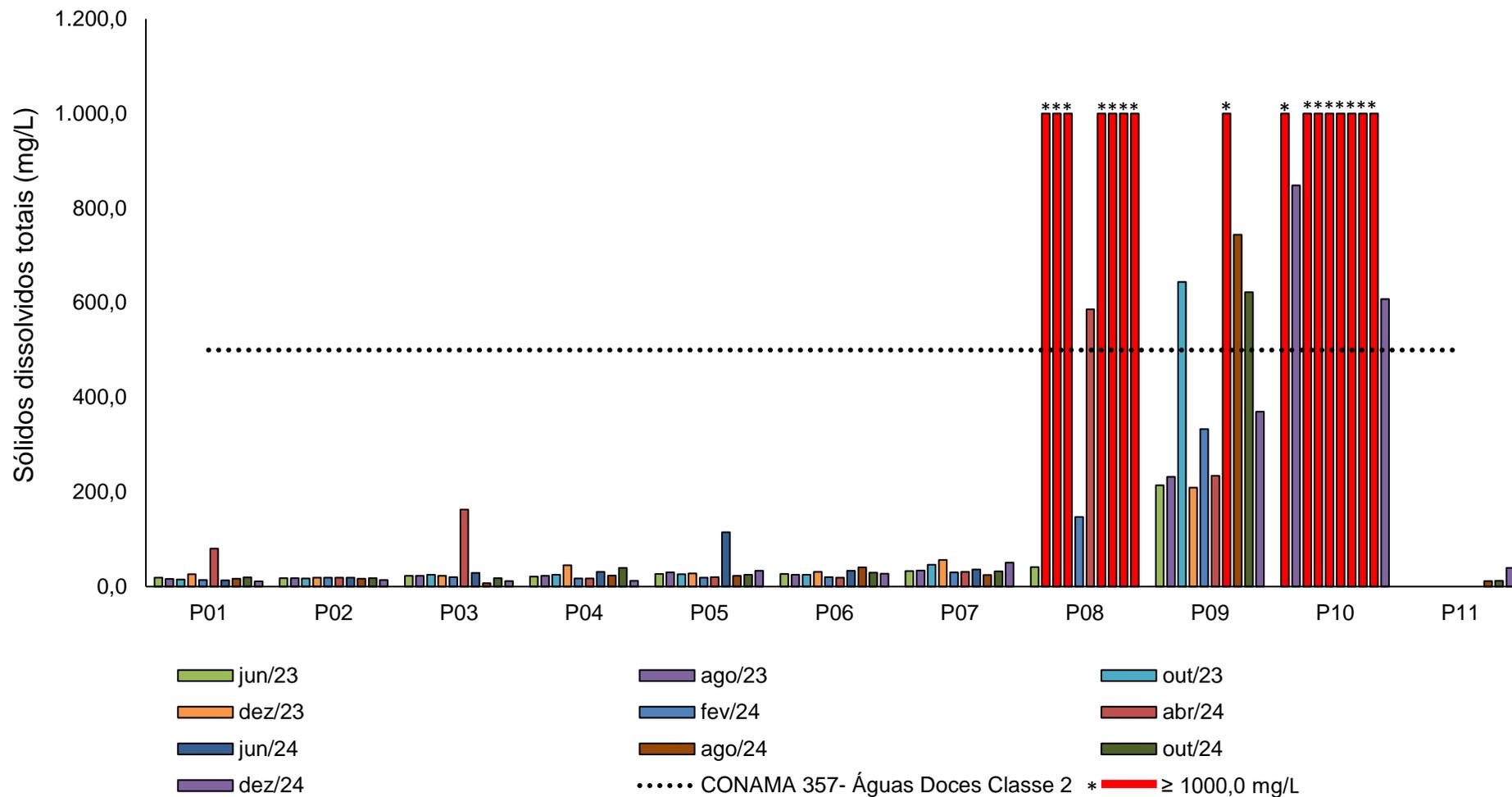
De acordo com a Figura 6-15, nota-se que ao longo das 10 campanhas de monitoramento, as amostras de P01 a P07 e P11, apresentaram resultados de SDT em conformidade com o limite preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 para Águas Doces Classe 2 (500,0 mg/L).

Diante do exposto, observa-se que os maiores valores de SDT, no decurso de todo monitoramento, ficaram concentrados nas amostras dos pontos P08, localizado na foz do rio Macaé, P09, situado no rio Jundiá, e P10, localizado na foz do rio das Ostras. Esses resultados apresentam um padrão esperado conforme a localização dos pontos (Figura 4-6), demonstrando a entrada da cunha salina.

Os resultados supracitados apresentaram o mesmo padrão observado para condutividade (Figura 6-4). Isso acontece porque a condutividade é um parâmetro indicativo da quantidade de sais existentes na água, portanto, quanto mais sólidos dissolvidos, maior será a condutividade, logo, o aumento de ambos os parâmetros tende a ser proporcional (CETESB, 2018).

Ressalta-se que para essa variável ambiental não existem valores de referência para águas salobras, o que inviabiliza a comparação completa dos resultados de P08, P09 e P10.

Figura 6-15. Resultados de sólidos dissolvidos totais dos cinco quadrimestres.



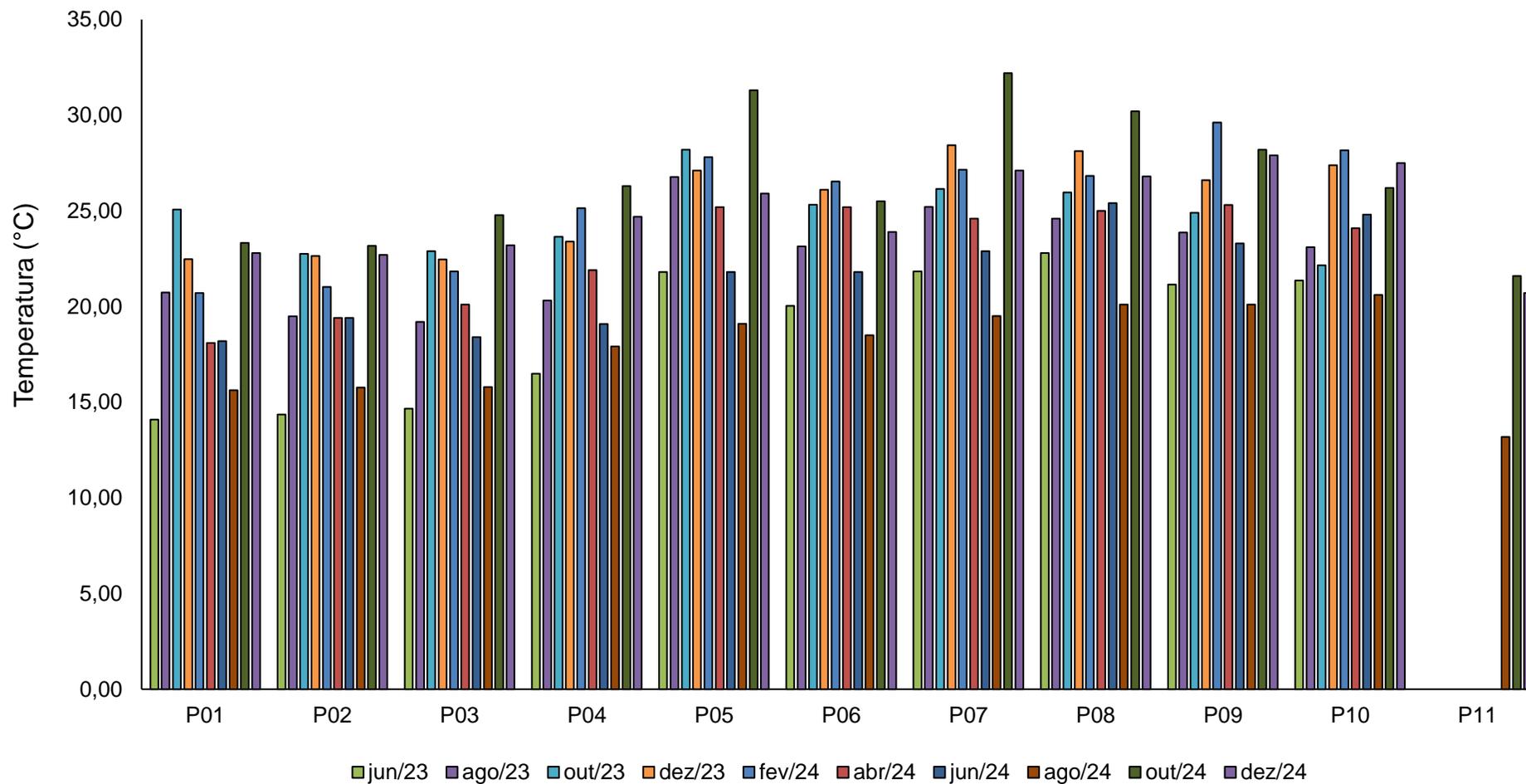
Fonte: Própria autoria.

6.1.13 Temperatura

A temperatura desempenha um papel crucial nos ecossistemas aquáticos, à medida que alterações na temperatura da água geram mudanças em diversas propriedades da água (como viscosidade, tensão e solubilidade). Além disso, os organismos aquáticos possuem uma faixa ótima para sua sobrevivência, uma vez que a temperatura influencia diretamente a atividade bioquímica da biota aquática (CETESB, 2018).

Como exposto na Figura 6-16, os menores valores de temperatura da água, de maneira geral, ao longo de todo o monitoramento, foram os observados na oitava campanha (ago./24), que exibiu média de 17,84°C, e os maiores valores foram os observados na nona campanha (out./24), com média de 26,61°C. As variações observadas durante o período de monitoramento indicam as diferentes condições naturais decorrentes da sazonalidade.

Figura 6-16. Resultados de temperatura dos cinco quadrimestres.



Fonte: Própria autoria.

6.1.14 Turbidez

A turbidez pode ser definida como o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessar a água devido à presença de sólidos em suspensão. Logo, em águas turvas, a luz apresentará maior dificuldade de passagem. Esse parâmetro é medido em UNT (Unidades Nefelométricas de Turbidez). As principais influências sobre a turbidez da água são a presença de matérias sólidas em suspensão, como silte e argila, por exemplo, matéria orgânica e inorgânica e organismos microscópicos (por exemplo: zooplâncton, fitoplâncton). Por reduzir a penetração da luz, prejudica o processo de fotossíntese, afetando o equilíbrio ecológico dos ecossistemas aquáticos (ESTEVES, 2011).

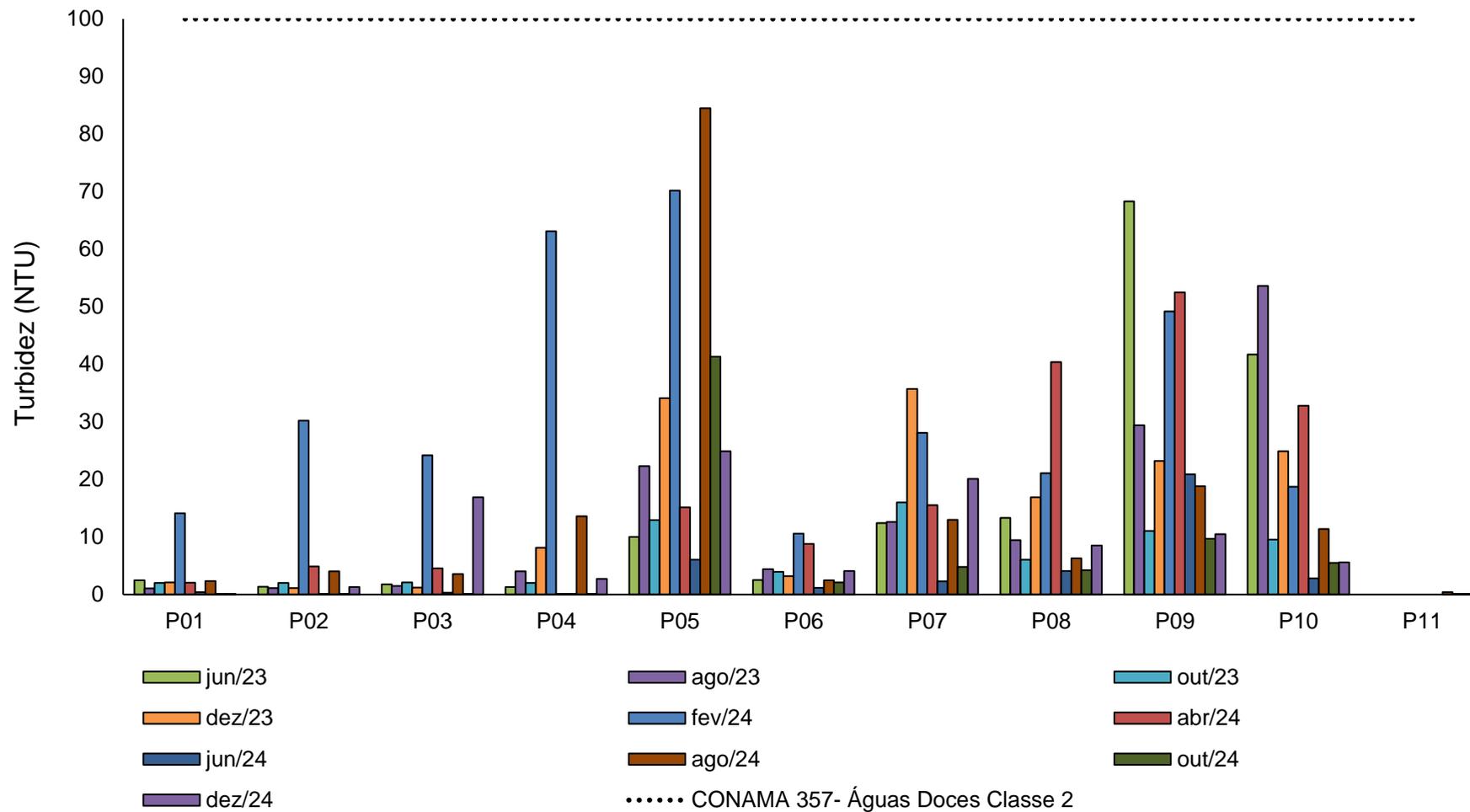
De acordo com a Figura 6-17, nota-se que, ao longo de todo o monitoramento, as águas analisadas nas estações de P01 a P07 e P11, apresentaram resultados em conformidade com o limite preconizado na Resolução CONAMA 357/2005 para Águas Doces de Classe 2 (100 UNT). As amostras de P08 (foz do rio Macaé) da primeira (jun./23) e quinta (fev./24) campanhas e de P09 (rio Jundiá) da primeira à quarta (jun./23, ago./23, out./23 e dez./23), sexta (abr./24) e décima (dez./24) campanhas, que foram categorizadas como águas doces, também exibiram valores em conformidade com a normativa de referência.

Vale destacar que na quinta campanha é possível notar um aumento da turbidez nos pontos localizados nas três sub-bacias do rio Macaé: alto (P01, P02 e P03), médio (P04) e baixo curso (P05). Isso pode ter acontecido por conta da precipitação que influenciou no carreamento de sedimentos e partículas, uma vez que as estações mais próximas do alto e médio curso (Galdinópolis e Piller) registraram 15,7 mm e 15,0 mm de pluviosidade acumulada nos 15 dias que antecederam as amostragens da quinta campanha (Quadro 6.1.I). Quanto ao baixo curso, além de processos erosivos, sugere-se que o pico observado tem relação com um aporte de efluentes sanitários na região, uma vez que coincide com um pico de coliformes termotolerantes observados no mesmo período (fev./2024) (Figura 6-2). Cabe ressaltar ainda que, como exibe a Figura 6-18, ao comparar os registros fotográficos de P01 (ponto mais próximo da estação de Galdinópolis), P02 e P03 das campanhas anteriores com os da quinta campanha (fev./2024), é possível notar uma diferença na cor da água.

O pico observado em P05 (no rio Macaé, a montante da confluência com o rio São Pedro), na oitava campanha, pode ser explicado ao fazer uma análise conjunta com os registros fotográficos do mesmo período. Há registros de duas escavadeiras (Figura 6-19) que fizeram com que uma das margens do rio ficasse totalmente exposta, o que pode favorecer o carreamento de partículas, sedimentos e outros materiais suspensos.

Destaca-se que para Águas Salobras Classe 1, não há um limite de referência estabelecido pela normativa supracitada.

Figura 6-17. Resultados de turbidez dos cinco quadrimestres.



Fonte: Própria autoria.

Figura 6-18. Diferença na coloração da água em P01, P02 e P03 na quarta (dez./2023) e quinta (fev./2024) campanha.



Fonte: Própria autoria.

Figura 6-19. Escavadeiras nas margens de P05 durante a oitava campanha (ago./2024).



Fonte: Própria autoria.

6.1.15 Proposta Técnica de Enquadramento em Classes

De acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e a Política Nacional de Recursos Hídricos (2025), o enquadramento dos corpos hídricos em classes é um instrumento de planejamento que diz respeito não somente à qualidade atual das águas analisadas, mas trata da qualidade a ser alcançada de acordo com os usos preponderantes.

Costa e Lotufo Conejo (2009) dispõem que o enquadramento de um rio, ou qualquer corpo hídrico, em classes deve considerar três aspectos principais: 1) “o rio que temos” que diz respeito a parâmetros que denotam a qualidade atual das águas; 2) “o rio que queremos” representando a participação popular e seus desejos em relação às qualidades das águas analisadas, indicando uma condição a ser alcançada; e 3) “o rio que podemos ter” que aborda as limitações técnicas e econômicas.

Diante disso, a proposta técnica de enquadramento dos corpos hídricos em classes, balizada na Resolução CONAMA 357/2005, considerou não somente os resultados das análises físico-química e microbiológica do presente estudo, como também os resultados obtidos a partir das “Oficinas de Enquadramento dos corpos hídricos” que além de contemplarem o âmbito popular, abordam também os âmbitos técnico, corporativo e político (CBH Macaé Ostras, 2025), como exposto no Quadro 6.1.VI.

Para o enquadramento do trecho que engloba o ponto P11, no alto curso do rio Macaé, na região do Parque Estadual (PE) dos Três Picos e das APAs Estadual e Municipal de Macaé de Cima, propõe-se Classe Especial devido à presença de uma Unidade de Conservação de Proteção Integral (PE dos Três Picos) e ao grau de preservação dessa porção do rio, que, de acordo com o presente monitoramento, mostrou-se ter qualidade melhor quando comparada às outras sub-bacias.

No trecho seguinte, ainda no alto curso do rio Macaé (APA Estadual de Macaé de Cima) até a confluência com o rio Sana, considerando os pontos P01, P02 e P03, sugere-se Classe 1, devido aos resultados observados no decurso do monitoramento e nas oficinas supracitadas, e por tratar-se de uma área turística de recreação de contato primário. Ademais, essa região abrange pontos localizados antes e após centros urbanos, como P03, que se encontra após o centro de Lumiar, com isso, a categorização proposta também se dá no intuito de melhorar a qualidade das águas analisadas com um tratamento mais adequado dos efluentes das áreas urbanizadas.

No médio curso do rio Macaé, após a confluência com o rio Sana, região que compreende o ponto P04, é proposta a Classe 1, em função da qualidade das águas analisadas, que registraram a segunda maior média geral de IQA (Quadro 6.3.I), e do desejo da população. Por ser uma região que tem como principal atividade a agropecuária, para o nível de qualidade ser mantido e até melhorado, é necessário ter um monitoramento em relação: (i) à gestão de resíduos, garantindo o tratamento e descarte correto, (ii) à diminuição do uso de fertilizantes e pesticidas, optando por um sistema agroecológico, promovendo a sustentabilidade no uso da terra e (iii) um sistema de irrigação eficiente, reduzindo o escoamento excessivo. Esses fatores somados contribuem para a redução da contaminação dos corpos hídricos.

Em se tratando do trecho antes da confluência com o rio São Pedro (P05), região do baixo curso do rio Macaé, propõe-se Classe 1 a fim de manter e até aumentar o nível de qualidade das águas analisadas, através da melhoria no tratamento de esgotos da região, considerando os usos atuais e futuros. Salienta-se que mesmo com os problemas do entorno, durante todo o monitoramento, essa região apresentou apenas uma classificação de IQA ruim.

Para o rio São Pedro (P06), da sua cabeceira até a confluência com o rio Lírio, sugere-se Classe 1, em razão não só do enquadramento proposto a partir das análises físico-químicas e microbiológicas, mas também dos usos preponderantes e dos resultados das oficinas de saberes (Quadro 6.1.VI).

Para o trecho do rio Macaé após a confluência com o rio São Pedro (P07) propõe-se Classe 1, a partir de uma demanda populacional, como mostra o resultado da oficina de saber popular, no intuito de ampliar o uso preponderante e considerando ser possível manter essa categorização, haja vista os resultados aqui obtidos.

O enquadramento sugerido para o trecho que vai da ponte Delfino de Souza Nunes até a foz do rio Macaé (P08), tendo em vista que durante 8 campanhas de monitoramento suas águas foram consideradas salobras, é Classe 2. A categorização proposta é decorrente do problema preponderante na região, lançamento de efluentes domésticos e industriais, e considera também a ocupação urbana do entorno. A ilha da Colônia Leocádia, por exemplo, a maior criada a partir da retificação do rio Macaé nos anos de 1970 (SOFFIATI, 2010) e localizada na região estuarina do rio, de acordo com Guimarães e Ferreira (2020), encontra-se em situação grave de pobreza hídrica e vulnerabilidade econômica. A melhoria na qualidade dessas águas demanda medidas efetivas de

tratamento de efluentes, a fim de garantir usos seguros, considerando a variação de salinidade e abrangência do enquadramento na classe proposta.

Para o rio Jundiá (P09), considerando que em 6 campanhas de monitoramento suas águas foram classificadas como doces e em 4 campanhas, como salobras, abrangendo os usos preponderantes, os resultados do presente estudo e das oficinas de enquadramento, propõe-se Classe 2. Esse corpo hídrico enfrenta muitos problemas decorrentes do lançamento de efluentes domésticos e foi o ponto amostral que, de maneira geral, apresentou os piores valores do IQA durante todas as campanhas (Quadro 6.3.1). Esse cenário demanda tratamento efetivo de esgoto, além de medidas como aeração artificial, restauração da mata ciliar, educação ambiental, a fim de viabilizar maior qualidade de suas águas, garantido o uso seguro.

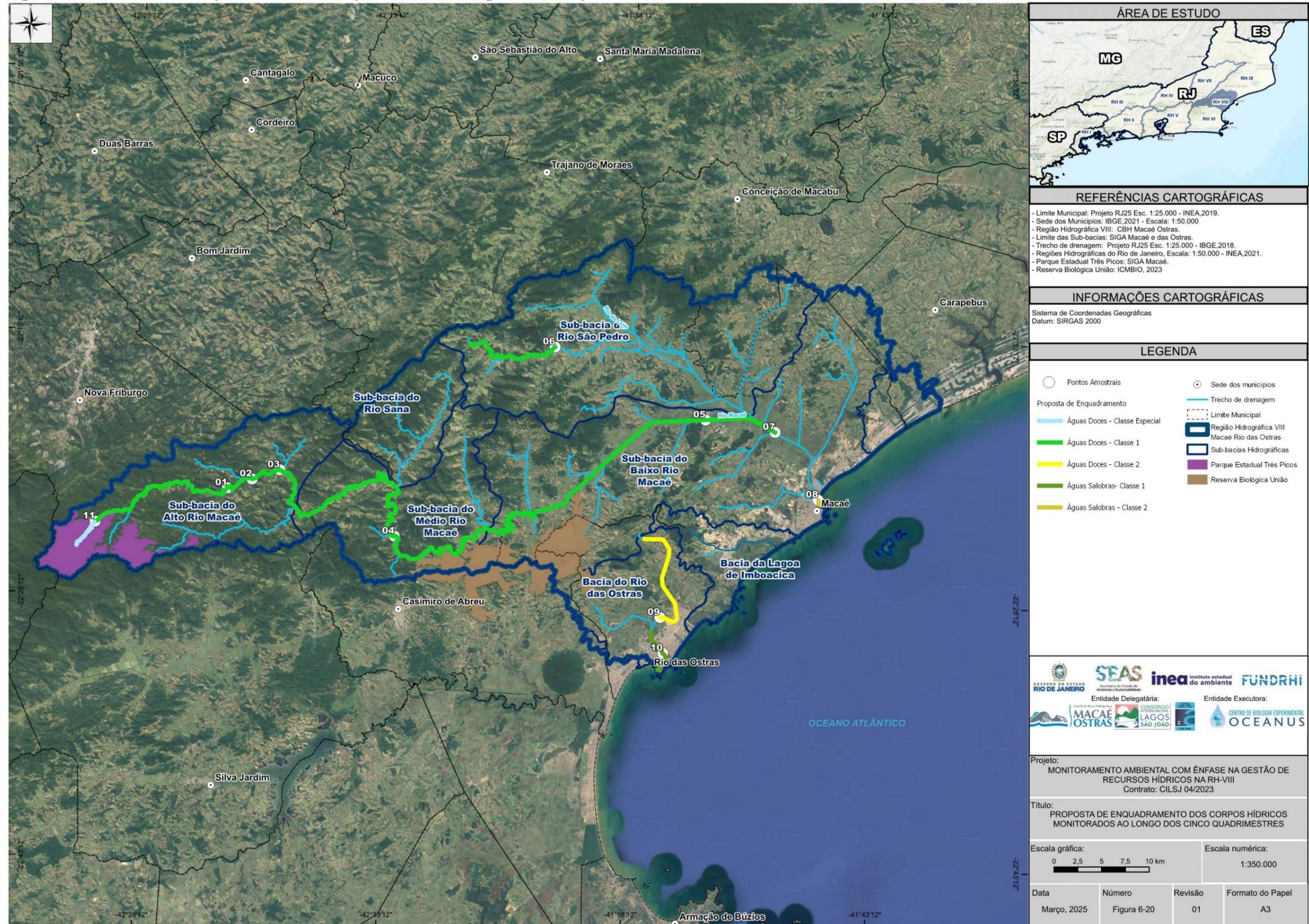
Para o rio das Ostras (P10), que apresentou águas classificadas como salobras no decurso de todo monitoramento, considerando o trecho a partir da confluência com o rio Jundiá até sua foz, sugere-se o enquadramento na Classe 1. Apesar desse ponto amostral ter apresentado a segunda pior média geral de IQA, a classe aqui proposta considera usos preponderantes como recreação de contato primário, uma meta ambiciosa por se tratar de uma região turística.

A proposta preliminar de enquadramento do presente estudo para os corpos hídricos da RH VIII pode ser visualizada na Figura 6-20. Para viabilizar os cenários aqui propostos será necessário um investimento no tratamento efetivo de efluentes agropecuários, domésticos e industriais, além de outras medidas.

Quadro 6.1.VI. Proposta Preliminar de Enquadramento.

Pontos amostrais	Trechos	Usos da água	CLASSE REFERENTE AO CENÁRIO ATUAL	CLASSE PROPOSTA NO PRH (2014)	CLASSE PROPOSTA SABER TÉCNICO	CLASSE PROPOSTA SABER CORPORATIVO	CLASSE PROPOSTA SABER POPULAR	CLASSE PROPOSTA SABER POLÍTICO (Executivo)	CLASSE PROPOSTA SABER POLÍTICO (Legislativo)	Proposta Preliminar de Enquadramento
P11	RIO MACAÉ Alto curso - Região do PE Três Picos e da APA de Macaé de Cima	Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; Proteção das comunidades aquáticas.	Classe 1	Classe Especial	Classe Especial	Classe Especial	Classe Especial	Classe Especial	Classe Especial	Classe Especial
P01	RIO MACAÉ Alto curso - Até a confluência com o rio Sana	Proteção das comunidades aquáticas; Recreação de contato primário; Irrigação.	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1
P02			Classe 1							
P03			Classe 1							
P04	RIO MACAÉ Médio Curso - Após a confluência com o rio Sana	Proteção das comunidades aquáticas; Pesca; Dessedentação de animais.	Classe 1	Classe 2	Classe 2	Classe 2	Classe 1	Classe 2	Classe 2	Classe 1
P05	RIO MACAÉ Baixo Curso - Antes da confluência com o rio São Pedro	Abastecimento para consumo humano; Irrigação; Dessedentação de animais.	Classe 1	Classe 2	Classe 2	Classe 2	Classe 1	Classe 2	Classe 2	Classe 1
P06	RIO SÃO PEDRO Das cabeceiras (Frade) até Glicério	Proteção das comunidades aquáticas; Recreação de contato primário; Abastecimento para consumo humano.	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1
P07	RIO MACAÉ Baixo Curso - Após a confluência com o rio São Pedro	Navegação.	Classe 1	Classe 2 Requer estudo de intrusão salina	Classe 2	Classe 2	Classe 1	Classe 2	Classe 2 Requer estudo de intrusão salina	Classe 1
P08	RIO MACAÉ Da Ponte Dellfino de Souza Nunes até a foz do rio Macaé	Navegação.	Classe 2	-	-	-	-	-	-	Classe 2
P09	RIO JUNDIÁ	Irrigação; Dessedentação de animais.	Classe 2	Classe 2	-	-	Classe 1	Classe 2	Classe 2	Classe 2
P10	RIO DAS OSTRAS Da confluência com o rio Jundiá até a foz do rio das Ostras	Irrigação. Recreação de contato primário; Recreação de contato secundário; Pesca.	Classe 1	Classe 2	-	-	Classe 1	Classe 1 (Considerar uso para lazer de contato primário e águas salobras)	Classe 2	Classe 1

Figura 6-20. Resultados do enquadramento dos corpos hídricos ao longo dos cinco quadrimestres.



Fonte: Própria autoria.

6.2 Análise dos Componentes Principais (PCA)

De forma a avaliar, estatisticamente, a influência da concentração dos parâmetros físico-químicos analisados em cada ponto amostral foi realizada a Análise dos Componentes Principais (PCA).

Para comprovar a adequação da PCA realizada, foi utilizado o teste de esfericidade de *Bartlett* e o teste estatístico de *Kaiser-Meyer-Olkin* (KMO). O teste de *Bartlett* testa a hipótese nula, na qual a matriz de correlações é semelhante à matriz de identidade. Nesse teste o resultado igual ou menor a 0,05 indica que os dados utilizados produzem uma matriz de identidade, portanto, o modelo fatorial é adequado para a realização da análise de dados. Já o teste KMO demonstra a existência e os pesos das correlações parciais, nesse caso o modelo é considerado apropriado quando o coeficiente de correlação simples e parcial se aproximam a 1, já valores abaixo de 0,6 mostram que a análise não é adequada (OLINTO, 2007; PRADO et al., 2016). Com base nos resultados expostos no Quadro 6.2.1, nota-se que o teste de esfericidade de *Bartlett* apresentou valores significativos ($p < 0,001$). Em relação ao teste de KMO, estudos também apontam valores acima de 0,5 como aceitáveis (AL-MUTAIRI et al., 2014; WU et al., 2010). Logo, como o valor obtido foi 0,5, optou-se por seguir com a análise fatorial. Salienta-se que os parâmetros cloro livre e total foram retirados da análise por não apresentarem variância.

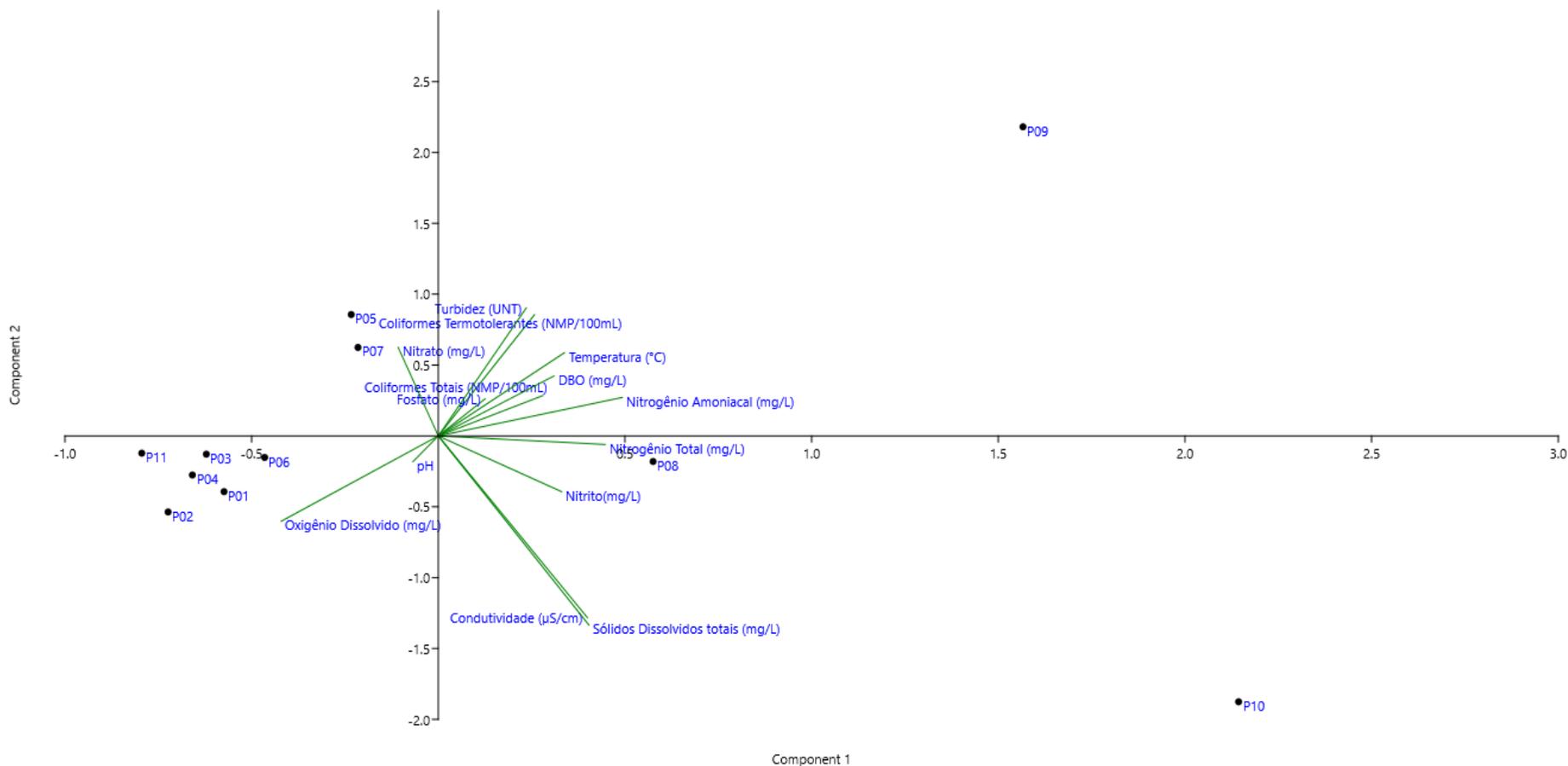
Quadro 6.2.1. Análise fatorial KMO e teste de esfericidade de Bartlett.

Teste	Resultado
Kaiser - Meyer - Olkin	0,500
Teste de esfericidade de Bartlett (X^2)	731
Graus de liberdade	91
Significância estatística (p valor)	<0,001

Fonte: Própria autoria.

A PCA realizada indica que os eixos PC1 e PC2 correspondem, respectivamente, a 63,37% e 14,20% da variação dos dados, totalizando 77,57%, que podem ser vistos na Figura 6-21.

Figura 6-21. Resultados da análise dos componentes principais referente aos cinco quadrimestres.



Fonte: Própria autoria.

É possível notar que se formou um agrupamento entre os pontos P11, P01, P02, P03 (localizados no alto rio Macaé), P04 (situado no médio rio Macaé) e P06 (localizado no rio São Pedro), uma vez que a distribuição deles foi mais influenciada pelas altas concentrações de oxigênio dissolvido (Figura 6-12). Adicionalmente, no decurso de todo monitoramento, esses pontos sempre estiveram em conformidade com o estipulado na Resolução CONAMA 357/2005 para Águas Doces Classe 2 (>5 mg/L).

Em contrapartida, observa-se uma oposição desse mesmo parâmetro em relação ao ponto P09, localizado no rio Jundiá, uma vez que as águas analisadas no P09 apresentaram os menores valores de oxigênio dissolvido durante todas as campanhas, estando sempre abaixo do limite preconizado na normativa de referência para Águas Doces Classe 2 e Águas Salobras Classe 1 (>5 mg/L). Somado a isso, vê-se que há uma forte associação de coliformes termotolerante e totais, turbidez, temperatura, nitrogênio amoniacal e DBO com o posicionamento de P09 no plano bidimensional. A alta concentração das bactérias dos grupos coliformes termotolerantes e totais, turbidez e DBO em P09 indica um incremento no aporte de matéria orgânica, usualmente proveniente do lançamento de efluentes sanitários não tratados no sistema. Os microrganismos utilizam oxigênio, no processo de decomposição, para metabolizar essa matéria orgânica, o que leva a um aumento de DBO e conseqüentemente, uma redução na taxa de oxigênio dissolvido na água. Esse excesso de nutrientes pode ter contribuído para a proliferação de macrófitas observadas em P09 (Figura 6-13). De acordo com a literatura, a presença exacerbada de macrófitas aquáticas está associada ao *input* de nutrientes no corpo hídrico, resultando no aumento da turbidez e na redução do OD (PERERA, 2017; BAYDUM; DE OLIVEIRA; RAMALHO, 2018).

Também é possível notar a relação entre condutividade e sólidos dissolvidos totais com as amostras de P08 (foz do rio Macaé), P09 (rio Jundiá) P10 (foz do rio das Ostras). Esses pontos apresentaram os resultados mais altos para esses parâmetros, seguindo um padrão esperado conforme a localização dos pontos (Figura 4-6), demonstrando a entrada da cunha salina. Isso reforça a associação entre salinidade, sólidos dissolvidos totais e condutividade.

Por outro lado, nota-se uma oposição desses parâmetros (condutividade e sólidos dissolvidos totais) com os pontos P05 (rio Macaé, a montante da confluência com o rio São Pedro) e P07 (rio Macaé, a jusante da confluência com o rio São Pedro), o que condiz com os baixos valores observados (Figura 6-4 e Figura 6-15) e com a classificação de

suas águas em relação à salinidade, uma vez que elas foram classificadas como doces em todas as campanhas realizadas.

Os pontos P08 (foz do rio Macaé), P09 (rio Jundiá) e P10 (foz do rio das Ostras) também tiveram sua distribuição influenciada pelo nitrito, apresentando resultados mais altos, o que pode ser um indicativo de contaminação recente, muito provavelmente causada pelo lançamento de efluentes sem tratamento nesses corpos hídricos (CETESB, 2018).

6.3 Índice de Qualidade da Água (IQA)

Os valores do IQA, ao longo dos cinco quadrimestres (10 campanhas) foram agrupados e expostos no Quadro 6.3.I.

Quadro 6.3.I. Resultados do IQA em cada estação amostral dos cinco quadrimestres.

Estação	Cidade/Distrito	Corpo hídrico	IQA Jun/23	IQA Ago/23	IQA Out/23	IQA Dez/23	IQA Fev/24	IQA Abr/24	IQA Jun/24	IQA Ago/24	IQA Out/24	IQA Dez/24	Média
P01	Nova Friburgo / Lumiar	rio Macaé	62,75	74,93	70,70	67,22	65,26	66,74	71,93	46,09	53,44	80,85	65,99
P02	Nova Friburgo / Lumiar	rio Macaé	70,80	72,61	73,76	80,21	65,76	71,62	69,49	69,40	74,52	66,61	71,48
P03	Nova Friburgo / Lumiar	rio Macaé	58,32	66,39	61,67	66,22	59,29	55,73	62,73	56,48	64,93	72,65	62,44
P04	Casimiro de Abreu	rio Macaé	80,14	68,32	64,98	81,32	45,82	74,92	67,36	57,12	79,72	70,67	69,04
P05	Macaé	rio Macaé	79,89	69,50	65,83	71,15	37,58	63,03	69,00	58,80	60,92	55,13	63,08
P06	Macaé/ Glicério	rio São Pedro	64,27	63,90	55,38	65,50	48,31	63,81	62,33	52,69	80,27	55,65	61,21
P07	Macaé	rio Macaé	82,37	73,10	79,18	51,04	39,23	53,74	69,35	61,71	42,30	64,32	61,63
P08	Macaé/Barra	rio Macaé	56,53	40,15	51,34	59,20	37,50	36,30	57,00	55,87	64,84	54,43	51,32
P09	Rio das Ostras	rio Jundiá	21,72	27,55	42,37	32,52	18,72	34,31	32,95	52,22	31,16	40,39	33,39
P10	Rio das Ostras	rio das Ostras	25,74	36,52	50,43	37,94	22,22	30,18	45,19	50,87	48,01	47,25	39,43
P11	Nova Friburgo/Muri	rio Macaé	-	-	-	-	-	-	-	56,50	76,50	69,10	67,37
Intervalo de Valores de IQA			100 ≥ IQA ≥ 90 90 > IQA ≥ 70 70 > IQA ≥ 50									50 > IQA ≥ 25 25 > IQA ≥ 0	

Fonte: Própria autoria.

Com base no Quadro 6.3.I, observa-se que no decurso de todo o monitoramento ambiental, os valores do IQA variaram de 20,22 nas águas analisadas em P09 (quinta campanha, fev./24), localizado no rio Jundiá, a 82,37 na estação P07 (primeira campanha, jun./23), situada no rio Macaé, a jusante da confluência com o rio São Pedro.

Em se tratando das amostras de P01, ponto localizado na parte alta do rio Macaé, próximo à estação fluviométrica de Galdinópolis, no decorrer das 10 campanhas, quatro foram classificadas como de qualidade boa (ago./23, out./23, jun./24 e dez./24), cinco como média (jun./23, dez./23, fev./24, abr./24 e out./24) e apenas uma como ruim (ago./24). Ao analisar todas as classificações, houve uma melhoria na qualidade do corpo hídrico, que iniciou o monitoramento sendo categorizado como de qualidade média (jun./23), e terminou com uma categorização boa (dez./24).

Ao focar nas amostras da estação de P02, situada no rio Macaé, após a confluência com o córrego Santiago, observa-se que seis foram categorizadas como de qualidade boa (jun., ago., out. e dez. de 2023; abr. e out. de 2024) e quatro como de qualidade média (fev., jun., ago. e dez. de 2024). Os valores do IQA iniciaram com a categorização boa e terminaram com a média. Apesar de ter finalizado com uma classificação menor que a inicial, o cenário geral nessa região do rio Macaé foi positivo, pois durante todo o monitoramento essas águas foram consideradas aptas ao tratamento convencional visando o abastecimento público.

A análise das amostras de P03, ponto situado no rio Macaé, após o centro de Lumiar e a confluência com o rio São Pedro, permite observar que quase todas foram classificadas como de qualidade média, com exceção da referente à décima campanha (dez./24), que apresentou qualidade boa. Isso demonstra a melhoria em relação aos parâmetros considerados no índice e, conseqüentemente, na qualidade dessa região do corpo hídrico.

As amostragens realizadas em P04, ponto localizado no rio Macaé, em Figueira Branca, exibiram cinco classificações de qualidade boa (jun./23, dez./23, abr./24, out./24 e dez./24), quatro de qualidade média (ago. e out. de 2023 e jun. e ago. de 2024) e apenas uma de qualidade ruim (fev./24). Apesar de ter tido uma amostra categorizada como ruim, nota-se uma melhora da qualidade dessa região do rio Macaé, uma vez que a classificação do último quadrimestre foi boa.

Considerando as amostras de P05, ponto situado no rio Macaé, a montante da confluência com o rio São Pedro, apenas duas amostras foram classificadas como de

qualidade boa (jun./23 e dez./23), sete como de qualidade média (ago. e out./23 e de abr. a dez./24) e uma como de qualidade ruim (fev./24).

As amostras de P06, ponto situado no rio São Pedro, próximo à estação fluviométrica de Glicério, exibiram apenas uma classificação de qualidade boa (out./24), 8 classificações de qualidade média (jun. a dez./23, abr. a ago./24 e dez./24) e uma classificação ruim (fev./24). No último quadrimestre (out. e dez./24), os resultados do IQA tiveram uma depleção expressiva, indo de 80,27 (qualidade boa) para 55,65 (qualidade média). Isso aconteceu por conta da disparidade de resultado em coliformes termotolerantes, parâmetro com segundo maior peso no cálculo do IQA, que foi de 4,50 NMP/100mL em out./24 para 9.200,00 NMP/100mL.

Em relação à estação P07, situada no rio Macaé, a jusante da confluência com o rio São Pedro, três amostras foram categorizadas como de qualidade boa (jun. a out./23), cinco de qualidade média (dez./23, abril a ago./24 e dez./24) e duas como de qualidade ruim (fev. e out./24). De maneira geral, houve uma piora no cenário dessa região do rio Macaé, uma vez que no primeiro quadrimestre suas águas foram consideradas de qualidade boa, e no último, de qualidade ruim e média.

Ao analisar as amostras de P08, ponto localizado no rio Macaé, na altura da ponte da Barra, nota-se que as amostras não tiveram nenhuma classificação de qualidade boa, sete foram classificadas como de qualidade média (jun./23, out. e dez./23 e de jun. a dez./24) e três como de qualidade ruim (ago./23, fev. e abr./24).

Em se tratando das amostras de P09 e P10, pontos localizados no rio Jundiá, a montante da confluência com o rio Iriry, e na foz do rio das Ostras, respectivamente, nota-se que são as que apresentaram uma situação mais crítica ao longo de todo o monitoramento. As amostras do rio Jundiá (P09) apresentaram sete classificações de qualidade ruim (ago. a dez./23, abr. e jun./24, out. e dez./24), duas de qualidade muito ruim (jun./23 e fev./24) e apenas uma de qualidade média (ago./24). Já as amostras da foz do rio das Ostras (P10) apresentaram quase o mesmo padrão supracitado, sete foram categorizadas como de qualidade ruim (jun. e ago./23, dez./23, abr. e jun./24, out. e dez./24), uma como de qualidade muito ruim (fev./24) e duas como de qualidade média (out./23 e ago./24).

Para as amostras de P11, ponto localizado no rio Macaé, na estrada de Macaé de Cima, foram realizadas somente três amostragens, pois ele foi incluído como novo ponto

controle na oitava campanha (ago./24). Uma amostra foi classificada como de qualidade boa (out./24) e duas como de qualidade média (ago./24 e dez./24).

Em relação à região do alto Macaé (P01 e P02), considerando coliformes termotolerantes, variável com o segundo maior peso no cálculo do IQA_{NSF}, a região de P02 (rio Macaé, após a confluência com o córrego Santiago), foi a única, durante todo o monitoramento, que apresentou todos os resultados abaixo do limite preconizado na Resolução CONAMA 357/2005 (1.000,00 NMP/100mL). Vale ressaltar que essa estação amostral (P02) apresentou a melhor média geral do IQA. Já as amostras de P01 (rio Macaé), coletadas na oitava e nona campanha, apresentaram concentração acima do limite estabelecido na normativa de referência para coliformes termotolerantes. No entanto, de maneira geral, este não é o estado ambiental predominante neste corpo hídrico, fato corroborado pelo resultado dessa variável (<1,80 NMP/100mL) na décima campanha (dez./24).

Em contrapartida, as regiões que abrangem a foz do rio Macaé (P08), o rio Jundiá (P09) e a foz do rio das Ostras (P10), localidades que apresentaram as piores médias no IQA considerando todos os quadrimestres (Quadro 6.3.1), apresentaram os resultados mais altos de coliformes termotolerantes durante um maior período de tempo, juntamente com P03, no alto rio Macaé (Figura 6-2).

Considerando o oxigênio dissolvido, parâmetro de maior peso no cálculo do IQA_{NSF}, ao longo das 10 campanhas, os resultados de P09 e P10, de maneira geral, estiveram bem abaixo do limite de referência da Resolução CONAMA 357/2005 para Águas Doces Classe 2 (>5 mg/L) e Águas Salobras Classe 1 (>5 mg/L). A análise desse resultado somado aos altos valores observados para DBO (Figura 6-5), parâmetro de terceiro maior peso no cálculo do IQA, e coliformes, sugerem um cenário de eutrofização, possivelmente causado por um aporte de efluentes sem tratamento nesses corpos hídricos. É importante ressaltar que nessa região há duas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), conforme exposto na Figura 4-6. Concomitantemente, na Figura 6-22, por exemplo, é possível observar diversas casas nas margens do rio das Ostras (P10), nas quais, de acordo com o Protocolo de Avaliação Rápida (PAR), há descarte de esgoto doméstico. O mesmo registro do PAR foi feito para o ponto P09 (rio Jundiá). Esse cenário contribui notadamente para a degradação desses corpos hídricos.

Figura 6-22. Residências nas margens do rio das Ostras na segunda (ago./2023) e sexta (abr./2024) campanha.



Fonte: Própria autoria.

Em se tratando da sub-bacia do médio rio Macaé, região em que se localiza o ponto P04, para os parâmetros de maior peso no cálculo do IQA (OD e coliformes termotolerantes), as águas analisadas tiveram um bom desempenho no decurso dos cinco quadrimestres, o que se observa através de sua média geral de 69,04, a segunda maior obtida no monitoramento (Quadro 6.3.I). Para coliformes termotolerantes, as águas de P04 ultrapassaram o limite preconizado na Resolução CONAMA 357/2005 (1.000,0 NMP/100mL) para Águas Doces Classe 2 somente na quinta (fev./24) e oitava (ago./24) campanha, o que respalda a única categorização como de qualidade ruim obtida na quinta campanha e a pontuação baixa registrada na oitava (57,12). Diante disso, sugere-se que na quinta campanha (fev./24) tenha havido um aporte pontual de nutrientes nesta localidade, hipótese corroborada também pelo alto valor obtido de DBO (19 mg/L), que ultrapassou o limite estabelecido na Resolução CONAMA 357/2005 para Águas Doces Classe 2 (5 mg/L). Para OD, em todas as campanhas, as águas de P04 apresentaram valores acima do limite mínimo preconizado na normativa de referência para Águas Doces Classe 2 (>5 mg/L).

Em relação ao novo ponto controle (P11), situado no rio Macaé, na estrada de Macaé de Cima, e incluído no monitoramento a partir da oitava campanha, sua classificação geral do IQA foi média, mas ainda assim foi a terceira melhor média geral obtida. Na oitava e décima campanha, as águas analisadas foram categorizadas como de qualidade média e na nona campanha, como boa. Essa diferença entre as campanhas

pode estar associada à oscilação observada nessa região em relação aos coliformes termotolerantes (Figura 6-2), que apesar de sempre estarem bem abaixo do limite estabelecido na Resolução CONAMA 357/2005 para Águas Doces Classe 2 (1.000,00 NMP/100mL), foram de 230,00 NMP/100mL na oitava campanha, para 49,00 NMP/100mL na nona, finalizando com 130,00 NMP/100mL na décima campanha.

Segundo os boletins disponibilizados pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA), os valores do IQA reportados nas avaliações realizadas entre 2012 até 2022, apresentaram de forma majoritária, uma classificação mediana para o rio Macaé (INEA, 2022). Destaca-se que não foram apresentadas, no site do órgão ambiental, as informações do IQA dos anos de 2016 e 2021. Quando equiparados aos resultados do presente estudo ambiental, nota-se que o ponto P05, localizado no baixo rio Macaé, antes da confluência com o rio São Pedro, se aproxima da estação amostral descrita nos relatórios do INEA. Nesse sentido, o valor médio geral do IQA obtido durante os 10 meses de monitoramento foi 63,50, categorizando-o como médio, corroborando com os resultados prévios e reforçando que o padrão de qualidade das águas, de maneira geral, se mantém.

Ademais, também é possível comparar os resultados da estação P06 do presente estudo ambiental (no rio São Pedro) com os dados disponíveis nos boletins do órgão ambiental. De acordo com os dados históricos, o IQA desse corpo hídrico, durante o período de dez anos, apresentou qualidade média (INEA, 2022). No decurso de todo monitoramento (10 campanhas), como média geral, o IQA obtido para esse ponto amostral também foi médio (61,32).

O rio das Ostras também é monitorado pelo INEA e, segundo o histórico, nos resultados de 2013 até 2022, os valores reportados mostram que o IQA de sete amostras foi categorizado como ruim e dois como médios. O ponto amostral P10 do presente estudo ambiental (situado no rio das Ostras), que se aproxima com a estação monitorada pelo INEA, foi categorizado, de maneira geral, como de qualidade ruim, o que indica as implicações de atividades antrópicas no corpo hídrico, como por exemplo, o aporte de efluentes sem tratamento, processos erosivos e o uso e ocupação irregular do solo no entorno.

Um estudo conduzido por Pinheiro (2008) avaliou o IQA em diferentes pontos da bacia do rio Macaé. Alguns pontos do estudo supracitado se aproximam dos pontos analisados no presente levantamento ambiental. No entanto, cabe ressaltar que o estudo

de Pinheiro considerou apenas duas campanhas para o cálculo do IQA e o presente estudo foi feito com base em 10 campanhas. Comparando o estudo de Pinheiro (2008) com os resultados do presente monitoramento, verificou-se que, com base no IQA médio dos cinco quadrimestres, as águas analisadas em P01 teriam apresentado uma piora da sua qualidade, já que no estudo de Pinheiro o IQA foi classificado como bom e no presente estudo o IQA médio foi considerado mediano. Entretanto, a análise por campanha durante o período citado exibiu uma melhoria na qualidade do corpo hídrico, que iniciou com uma categorização do IQA como de qualidade média (primeira campanha – jun./23) e terminou com uma categorização boa (décima campanha - dez./24).

Já nas águas analisadas em P02 (no rio Macaé, antes do centro de Lumiar), a qualidade, de maneira geral, se manteve, pois nos resultados obtidos por Pinheiro (2008), nas duas campanhas realizadas, a região apresentou uma classificação do IQA considerada boa e no presente monitoramento ambiental, a média do IQA obtida, considerando as 10 campanhas, foi boa.

Em relação às águas analisadas em P04 (rio Macaé, na localidade de Figueira Branca), a classificação do IQA, nas duas campanhas do estudo de Pinheiro (2008), foi considerada boa e a classificação do IQA, obtida a partir da média das 10 campanhas do presente estudo, foi considerada média (69,04), porém com um resultado muito próximo da faixa de categorização boa ($90 > \text{IQA} \geq 70$).

As amostras analisadas em P05 (no rio Macaé, antes da confluência com rio São Pedro) e P07 (no rio Macaé, depois da confluência com rio São Pedro), que, segundo dados prévios, foram classificadas como boas, apresentaram, em relação à média do IQA ao longo das 10 campanhas, uma categorização média. Destaca-se que no estudo de Pinheiro (2008) o IQA do ponto MAC13 (equivalente ao P07), foi calculado considerando apenas uma campanha.

A estação P08 (próxima à foz do rio Macaé), que apresentou um IQA classificado como médio e ruim no estudo supracitado (ponto MAC12), apresentou, neste estudo, um IQA geral classificado como médio. No entanto, na análise por campanha, o mesmo ponto recebeu três classificações ruins, demonstrando a necessidade de ações para a melhoria das águas do rio Macaé.

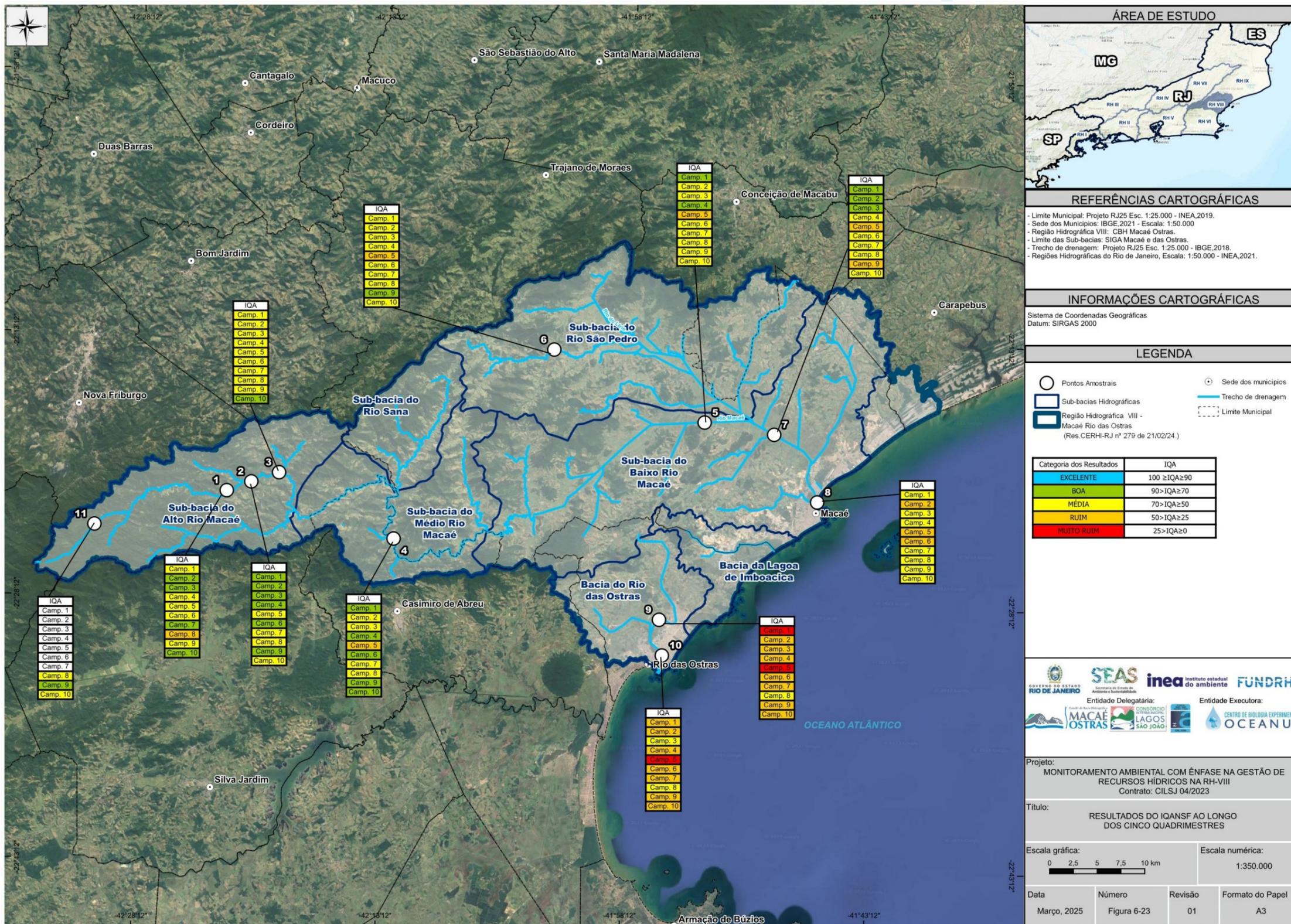
Adicionalmente, destaca-se que o rio Jundiá, amostrado pelo ponto P09, também é avaliado no Projeto de Estudo de Avaliação do IQA e Salinidade da Bacia do Rio das Ostras. De acordo com os dados de setembro e novembro de 2024, o rio Jundiá exibiu

um IQA_{NSF} médio de 35,28, sendo classificado como ruim, o que foi evidenciado também no IQA médio geral obtido no presente estudo (33,54). Diante dos resultados apresentados, nota-se a degradação da qualidade do corpo hídrico supracitado.

Vale salientar que a análise do IQA envolve nove parâmetros, e não contempla, por exemplo, substâncias como produtos orgânicos, metais, agrotóxicos, entre outros compostos e/ou microrganismos que podem comprometer a qualidade de água (ANA, 2005). Entretanto, é um índice com alta aplicação no meio acadêmico e por órgãos ambientais do país para entender o cenário da contaminação ambiental proveniente de atividades antrópicas.

Além do Quadro 6.3.I, os resultados do IQA também foram plotados em um mapa com a indicação do índice em cada ponto amostral, correlacionando às localidades dos pontos e relacionando à legenda de qualidade da metodologia NSF-INEA (Figura 6-23).

Figura 6-23. Resultados do IQA_{NSF} ao longo dos cinco quadrimestres.



Fonte: Própria autoria.

6.4 Avaliação visual

O protocolo de avaliação rápida (PAR) apresenta itens que analisam determinados aspectos e permitem caracterizar o estado de preservação do ambiente monitorado (Quadro 6.4.I) (BIZZO, MENEZES, ANDRADE, 2014).

Quadro 6.4.I. Parâmetros e aspectos visuais, com suas respectivas pontuações, considerados em cada protocolo de avaliação rápida (PAR).

Parâmetros	Aspectos visuais		
	3	2	1
1 Tipos de ocupação nas margens e proximidades	Vegetação nativa	Pastagem Agricultura e Reflorestamento	Residencial Comercial e Industrial
2 Obras e estruturas hidráulicas	Ausente	Parcialmente canalizado (margens ou fundo)	Totalmente canalizado e/ou tamponado
3 Fontes pontuais de emissão de efluentes	Ausente	Emissão de esgoto doméstico	Emissão de efluentes de origem química industrial
4 Resíduos Sólidos	Ausente	Pouco	Muito
5 Espumas	Ausente	Pouca	Muito
6 Odor da Água (exceto Mangue)	Ausente	Fraco	Forte
7 Turbidez da Água	Transparente	Turva / Cor de chá forte	Opaca ou colorida
8 Vegetação Aquática	Ausente	Presença de musgos obstruindo o rio	Macrófitas
9 Proteção/Estrutura das Margens	Protegida	Pouco protegida	Sem proteção
10 Cobertura Vegetal Adjacente	Abundante	Esparsa	Ausente
11 Elementos de retenção no canal	Pedras, troncos e folhas	Parcialmente canalizado (margens ou fundo)	Ausente
12 Estabilidade das margens à erosão e movimentos de massa	Estável	Parcialmente estável	Instável
13 Sombreamento por vegetação	Total	Parcial	Ausente
14 Uso por animais	Ausente	Pouco expressivo	Presente

Fonte: Própria autoria.

Diante das observações verificadas em campo no decurso de todas as 10 campanhas de monitoramento, as condições ambientais dos pontos amostrais variaram de boa a regular (Quadro 6.4.II), seguindo a metodologia descrita por Do Nascimento e colaboradores (2020). Salienta-se que nos pontos notificados foram somados os aspectos visuais, de acordo com o método proposto no trabalho supracitado. Essa situação ocorreu na observação visual dos itens tipo de ocupação nas margens e proximidades, proteção/estrutura das margens e cobertura vegetal adjacente. Diante disso, foram

desconsiderados, para o cálculo das médias gerais, os pontos notificados no Quadro 6.4.II, já que o somatório realizado pode mascarar o resultado.

Quadro 6.4.II. Resultados dos protocolos de avaliação rápida (PAR) referentes às 10 campanhas de monitoramento com as respectivas médias por ponto amostral.

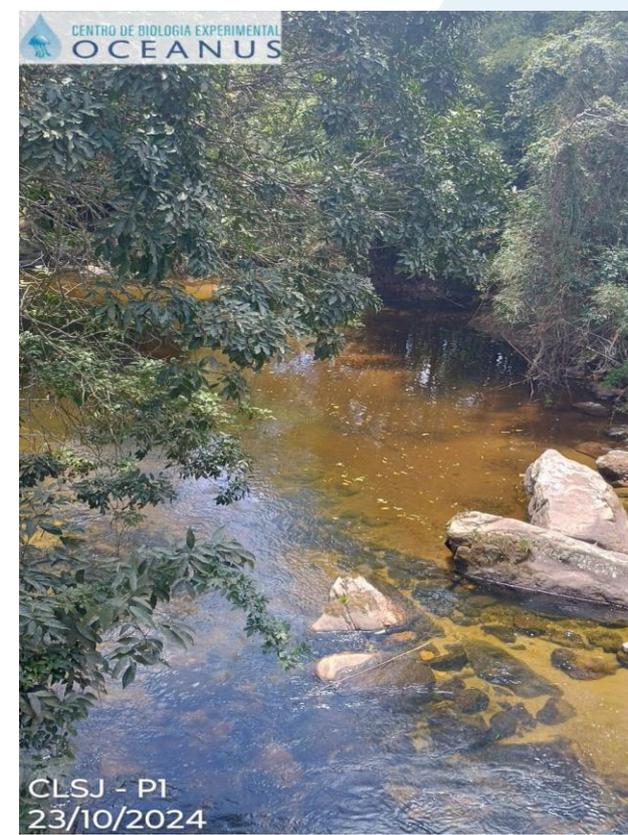
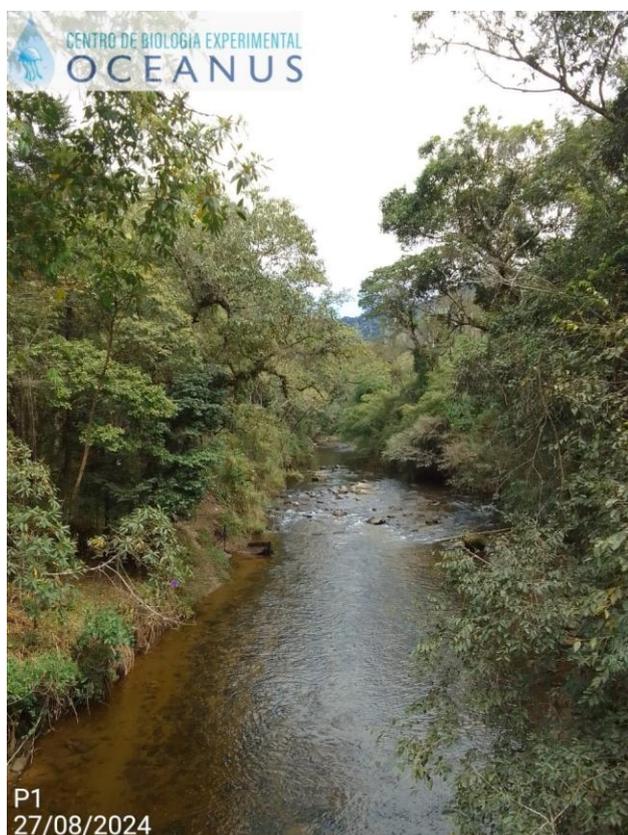
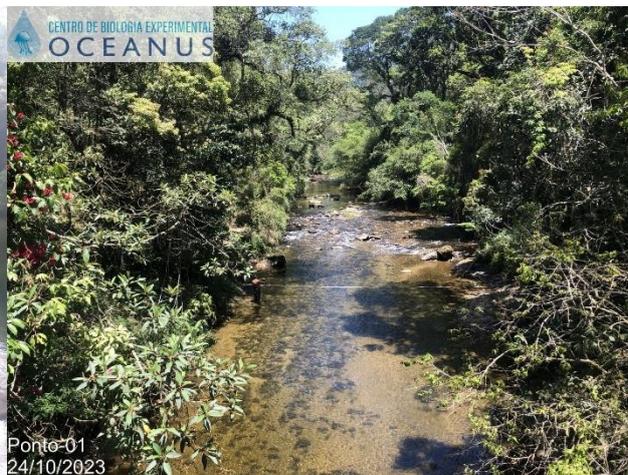
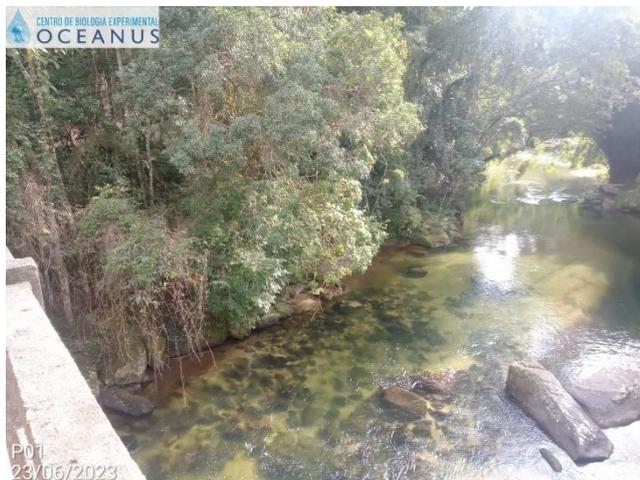
Campanhas	Pontos amostrais										
	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11
Primeira	40	36	38	38*	34	36*	36*	37*	33*	30	-
Segunda	41	37*	36*	37*	34	36	32*	35*	35*	32*	-
Terceira	38	35	40*	36	35	39	34	34	36	34	-
Quarta	36	35	37	36	34	36	33	36*	35	33	-
Quinta	37	37	39*	36	34	35	30	36*	31	35	-
Sexta	40	39*	41*	36	36	34	30	31*	34	32*	-
Sétima	40*	39*	38*	38	35*	38*	34*	30	32	34	-
Oitava	40*	39*	36	38*	34	37	36	34	33	34	38*
Nona	40*	39*	36	39*	30	36	31	33	31	32*	38*
Décima	40*	38	36	38*	30	34	31	33	31	32*	38*
MÉDIAS	38,7	36,2	36,6	36,4	33	35,9	32,1	33	32,9	33,3	-

*Pontos em que foram selecionados mais de um aspecto visual e não foram contabilizados na média.

Fonte: Própria autoria.

De acordo com o observado pelos coletores durante as amostragens, considerando os pontos que não tiveram somatório dos aspectos, a melhor condição ambiental foi observada no ponto P01, situado no rio Macaé, próximo à estação fluviométrica Galdinópolis. Considerando a Figura 6-24 e os protocolos de avaliação rápida, nota-se que essa é uma região de águas transparentes, que tem vegetação nativa adjacente protegendo suas margens e sem fontes pontuais de emissão de efluentes (registro realizado em apenas uma campanha).

Figura 6-24. Região de águas transparentes e mata ciliar (P01) evidenciada na primeira (jun./2023), terceira (out./2023), oitava (ago./2024) e nona (out./2024) campanha.



Fonte: Própria autoria.

Em geral, o que se percebe é que toda essa região da sub-bacia do alto (P01, P02 e P03) e médio (P04) rio Macaé tem apresentado condições notadamente melhores. A avaliação conjunta dos resultados, considerando o IQA (Quadro 6.3.I) e a PCA (Figura 6-21) tornam isso ainda mais evidente.

Em se tratando da sub-bacia do baixo rio Macaé (P05, P07 e P08), nota-se que o ponto que obteve a menor média se encontra nessa região (P07). Na terceira campanha, houve o registro de um trator agrícola no entorno deste ponto (Figura 6-25), o que sugere o uso de fertilizantes e, conseqüentemente, contaminação do rio com nutrientes presentes neles, como nitrogênio e fosfato (Figura 6-6).

Figura 6-25. Trator agrícola no entorno do rio Macaé (P07).



Fonte: Própria autoria.

No mesmo ponto, ao observar as margens do rio, nota-se que cada vez mais há desprendimento por falta de vegetação, evidente principalmente com os registros da quinta e sexta campanha (Figura 6-26). No entanto, a avaliação dos parâmetros físico-químicos, microbiológicos, juntamente com o IQA mostram que o pior cenário não se encontra nesse ponto, mas no P09, reforçando a necessidade de uma análise global integrada entre todas as variáveis consideradas.

Figura 6-26. Desprendimento das margens do rio Macaé (P07) durante a quinta (fev./2024) e sexta (abr./2024) campanha.



Fonte: Própria autoria.

Em relação ao ponto P05 (rio Macaé, a montante da confluência com o rio São Pedro), os registros exibidos na oitava campanha (Figura 6-19), mostram um ponto de atenção para a região. Neles há duas escavadeiras que deixaram uma das margens do rio completamente exposta, resultando, possivelmente, no pico de turbidez observado na Figura 6-17. Além disso, há também um pico de nitrato no mesmo período (Figura 6-7), sugerindo que a movimentação do solo e remoção da vegetação liberou o nitrato que

estava previamente armazenado no entorno, fazendo com que o nutriente fosse carregado diretamente para o corpo hídrico.

Em relação às águas analisadas na sub-bacia do rio São Pedro (P06), apesar deste ponto ter recebido média de resultado do PAR considerada boa (35,9), na segunda campanha é possível ver residências nas margens do rio (Figura 6-27) que, de acordo com os registros do PAR, emitem efluentes domésticos nesse corpo hídrico, fato reforçado pelos altas concentrações de coliformes termotolerantes e totais (Figura 6-2 e Figura 6-3) encontradas durante o monitoramento.

Figura 6-27. Residências nas margens do rio São Pedro (P06).

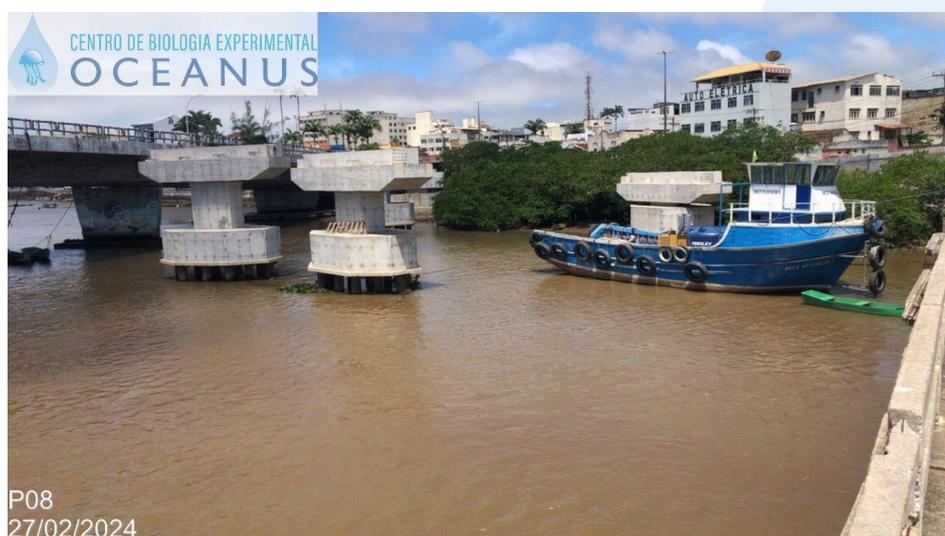
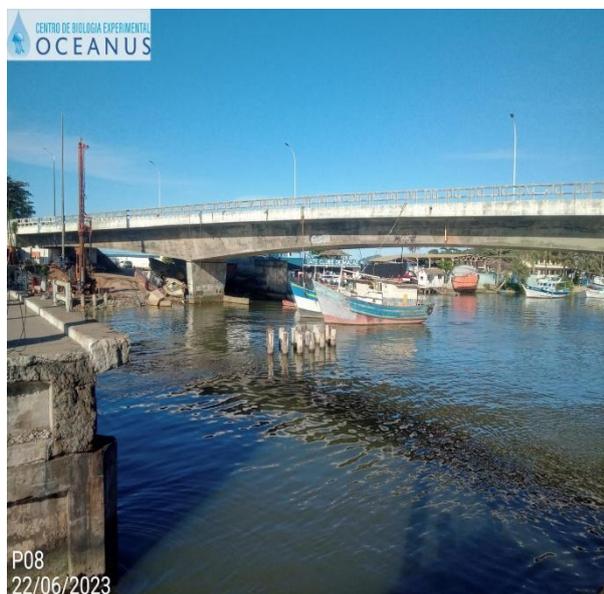


Fonte: Própria autoria.

Ao focar no ponto P08, na foz do rio Macaé, nota-se, a partir da Figura 6-28, a presença de diversas embarcações e residências, sugerindo a emissão de efluentes

sanitários sem tratamento no corpo hídrico, o que explica os altos valores de coliformes termotolerantes (Figura 6-2), coliformes totais (Figura 6-3) e nitrogênio amoniacal (Figura 6-9) presentes nas águas analisadas nessa região.

Figura 6-28. Embarcações e residências em torno da foz do rio Macaé (P08).



Fonte: Própria autoria.

As águas do rio Jundiá (P09) e da foz do rio das Ostras (P10) também obtiveram pontuações baixas na média geral dos protocolos de avaliação rápida (32,9 e 33,3, respectivamente). Essas duas regiões apresentaram um cenário mais crítico durante todas as 10 campanhas (Figura 6-23). Esses rios mostraram, durante todo o monitoramento, condições severas de degradação, fato reforçado pelo alta concentração

de bactérias dos grupos coliformes termotolerantes e totais, valores notadamente baixos de pH obtidos na última campanha (3,49 e 4,47, respectivamente), concentrações de OD baixíssimas medidas em todos os quadrimestres (Figura 6-12) e altas concentrações de nutrientes da série nitrogenada (nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal e total), revelando a eutrofização do ambiente. Os altos valores dos compostos nitrogenados favorecem a proliferação de macrófitas presentes no rio Jundiá (Figura 6-13). Nos registros do PAR (ANEXO 4) foram constatadas fontes de emissão de esgoto doméstico nos dois corpos hídricos. Os registros fotográficos permitem observar diversas casas às margens do rio das Ostras (Figura 6-22) e um tubo de concreto que descarta efluentes diretamente no rio (Figura 6-10), conforme anotação do coletor no PAR da segunda campanha (ago.2023).

As condições supracitadas já colaboram para um aumento nos níveis de turbidez das águas analisadas, mas além disso, nota-se, pelos registros fotográficos, que uma das margens do rio Jundiá já está totalmente exposta. Comparando as fotos da quarta campanha com as da sétima, vê-se uma movimentação de terra nessa margem, além da proliferação de macrófitas (Figura 6-29). Somado a isso, foi observado recentemente (na décima campanha), um empreendimento às margens do rio Jundiá (Figura 6-30), o que impacta no carreamento de sedimentos, partículas e outros materiais suspensos para o rio. De acordo com o Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio de Janeiro - CREA-RJ (2024), isso faz parte de um megaempreendimento que contempla a construção de um complexo residencial e comercial em um novo bairro, Harmonia.

Figura 6-29. Movimentação de terra nas margens do rio Jundiá e proliferação de macrófitas da quarta (dez./2023) para sétima (jun./2024) campanha.



Fonte: Própria autoria.

Figura 6-30. Empreendimento às margens do rio Jundiá (P09).



Fonte: Própria autoria.

Nesse contexto, a situação em que se encontra não só a região do rio Jundiá, mas também a do entorno do rio Macaé a montante e jusante da confluência com o rio São Pedro (P05 e P07, respectivamente), pode levar ao assoreamento dos rios, pela redução da sua profundidade, alteração dos cursos hídricos, aumento de enchentes, proliferação de algas, condições de hipoxia, mortandade de peixes, entre outros fatores que alteram toda a dinâmica ecossistêmica.

O P11, novo ponto controle adicionado a partir da oitava campanha, assim como P01, P02 e P03, também está situado na sub-bacia do alto rio Macaé, e da mesma forma, apresenta condições melhores quando comparado aos outros pontos de monitoramento. Fato reforçado pela obtenção de um somatório de 38 no PAR nas três campanhas em que foram feitas amostragens em suas águas.

Cabe salientar que o somatório dos pontos dos aspectos visuais pode mascarar o real cenário ambiental na proximidade dos corpos hídricos monitorados (CAMPOS, NUCCI, 2021). Sendo assim, estes resultados devem ser observados de forma holística, considerando também as análises dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos e a aplicação do IQA, contempladas no presente estudo.

7 CONCLUSÕES

Com base nas informações apresentadas neste relatório, evidencia-se que as águas analisadas nos diferentes pontos ao longo da bacia do rio Macaé sofrem interferências de atividades antrópicas.

Os quadros mais críticos encontram-se nas regiões de P08 (foz do rio Macaé), P09 (rio Jundiá) e P10 (foz do rio das Ostras), que recebem o descarte de efluentes sanitários sem tratamento em seus corpos hídricos, levando a um cenário de eutrofização artificial. Fato esse comprovado pelos resultados obtidos nas análises físico-química e microbiológicas, que exibem altas concentrações de nutrientes da série nitrogenada, coliformes termotolerantes e totais e DBO e baixas concentrações de OD, além de oscilações preocupantes de pH (especialmente em P09 e P10), e pelos resultados do IQA com médias gerais de 51,47 (P08), 33,54 (P09) e 39,52 (P10). Vale ressaltar que os valores elevados de coliformes totais e termotolerantes foram detectados na maioria das amostras, o que reforça o aporte de águas residuais nos corpos hídricos avaliados.

Em contrapartida, os pontos localizados nas regiões da sub-bacia do alto rio Macaé (P11, P01, P02 e P03) e médio rio Macaé (P04) apresentaram as melhores condições no decurso de todo monitoramento. Dentre eles, o ponto P02, localizado no rio Macaé, após a confluência com o córrego Santiago, exibiu a melhor média geral do IQA (71,94), além de ter sido o único que, durante todas as campanhas, apresentou concentrações de coliformes termotolerantes bem abaixo do limite máximo preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 para Águas Doces Classe 2 (1.000,0 NMP/100mL).

Em relação às águas analisadas na sub-bacia do rio São Pedro (P06), apesar de terem exibido altas concentrações de coliformes, comprovando o aporte de águas residuais no seu corpo hídrico, de maneira geral, essa região tem apresentado condições mais regulares, conforme mostram os valores do IQA observados durante o monitoramento (Quadro 6.3.I e Figura 6-23).

Considerando a sub-bacia do baixo rio Macaé (P05 e P07), as águas dessas estações requerem atenção por apresentarem alguns picos pontuais de nutrientes como o fostato, muito provavelmente devido ao uso do solo do entorno, com a presença de escavadeiras (Figura 6-19) e tratores (Figura 6-25), o que também contribuiu para picos de turbidez.

É importante destacar que em relação ao P11 (ponto controle), houve melhora na concentração de fosfato, que havia sido alta na oitava campanha (ago./24), e não foi detectada na nona campanha (out./24), exibindo um resultado menor que o limite de quantificação – LQ na décima campanha (dez./24). Com isso, o valor do IQA foi de 56,50 na oitava campanha de monitoramento do quarto quadrimestre, para média de 72,80 no quinto quadrimestre, obtendo a terceira melhor média geral de IQA. Por ficar nas proximidades de uma Unidade de Conservação de proteção integral, talvez uma mudança na malha amostral, buscando um ponto mais a montante, dentro dessa UC, traria resultados melhores para o ponto controle do estudo. Isso evidencia a importância da continuidade do monitoramento ambiental, além de ser essencial para entender as variações obtidas e avaliar regularmente a qualidade dos corpos hídricos.

No que diz respeito à salinidade, as águas das estações P08 (foz do rio Macaé), P09 (rio Jundiá) e P10 (foz do rio das Ostras) são as mais afetadas pela cunha salina. Como resultado, outros parâmetros, como condutividade, sólidos dissolvidos totais, pH e turbidez, podem ser impactados pelas variações de salinidade, de acordo com as marés.

A fim de entender mais a fundo os impactos das atividades antrópicas sob os corpos hídricos amostrados, sugere-se a adição de análises de: agrotóxicos, haja vista o uso e ocupação do solo no entorno dos rios (Figura 6-25); sedimento, considerando o pH ácido registrado no rio Jundiá (P09 – 3,49) e na foz do rio das Ostras (P10 – 4,47), durante a campanha de dezembro de 2024 e que, segundo Omer (2020), águas acidificadas podem levar à corrosão e dissolução de metais pesados, como cádmio, chumbo e cromo, que aumentam sua toxicidade quando dissolvidos, além de tornar o ambiente fatal para os animais e plantas aquáticas; fitoplâncton, uma vez que esses organismos são bioindicadores sensíveis das condições ambientais e que, além disso, o *input* de nutrientes pode levar à floração de organismos tóxicos, como cianobactérias e dinoflagelados, caracterizando um cenário de risco à biota e à saúde humana (OLIVER; IKEFUTI; RIBEIRO, 2020; VASCONCELOS, 2001) e uma análise ecotoxicológica, no intuito de analisar o impacto direto à biota.

Por fim, salienta-se a importância da continuidade do monitoramento ambiental realizado para a compreensão dos padrões de sazonalidade e maior robustez dos resultados.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA - ANA. **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil**. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. - Brasília: ANA, SPR, 2005.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. **Enquadramento dos corpos de água em classes**. Disponível em: <<https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/politica-nacional-de-recursos-hidricos/enquadramento-dos-corpos-de-agua-em-classes>>. Acesso em: 18 mar. 2025.

AL-MUTAIRI, N. et al. Spatial and temporal characterizations of water quality in Kuwait Bay. **Marine Pollution Bulletin**, v. 83, n. 1, p. 127-131, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.04.009>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X14002124>. Acesso em 20 mai. 2024.

ALVARADO, J. J.; AGUILAR, J. F. Batimetría, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto en aguas del Parque Nacional Marino Ballena, Pacífico, Costa Rica. **Revista de Biología Tropical**, v. 57, p. 19-29, 2009. Disponível em: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442009000500005. Acesso em 16 jan. 2024.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA, **Standard Methods for the examination of Water and Wastewater – SMEWW**. American Public Health Association – APHA, 23th ed., Washington – USA, 2017.

ARAUJO, F. P. **Migrantes Ricos e Migrantes Pobres: a herança da economia do petróleo em Macaé**. 2005. 40f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

ASSUMPÇÃO, A. P.; MARÇAL, M. S. Retificação dos canais fluviais e mudanças geomorfológicas na planície do Rio Macaé. **Revista de Geografia UFPE**, v. 29, n. 3, 2012.

BAYDUM, V. P. A.; DE OLIVEIRA, F. H. P. C.; RAMALHO, W. P. Presença de macrófitas em reservatórios de abastecimento e implicações no tratamento de água. **Revista DAE**, v. 66, n. 210, p. 17-23, 2018. Disponível em: <https://www.revistadae.com.br/site/artigo/1716-Presenca-de-macrofitas-em-reservatorios-de-abastecimento-e-implicacoes-no-tratamento-de-agua->. Acesso em 17 set. 2024

BIZZO, M. R. O.; MENEZES, J.; DE ANDRADE, S. F. Protocolos de avaliação rápida de rios (PAR). **Caderno de Estudos Geoambientais - CADEGEO**, v.04, n.01, p.05-13, 2014. Disponível em: <http://www.cadegeo.uff.br/index.php/cadegeo/article/view/20/19>. Acesso em 05 set. 2023.

BHATTA, K.; PATRA, H. K. A review on aquatic macrophytes as bio indicators of Water Quality of Lakes. **Ecology Environment and Conservation**, v. 26, n. 3, p. 1158-1161, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/360513809_A_review_on_aquatic_macrophytes_as_bio_indicators_of_Water_Quality_of_Lakes. Acesso em: 02 set. 2024.

BOHRER, C. B. A. et al. Uso e Cobertura da Terra na APA de Macaé de Cima : Fragmentação e Proteção dos Remanescentes Florestais. *In*: VILLAS BOAS, G. H.; MATTOS, C. P. (org.). **20 anos da Área de Proteção Ambiental de Macaé de Cima: Trajetórias e caminhos na pesquisa ambiental**. Boa Vista: Editora IOLE/ Rio de Janeiro: EdTur, 2021. cap. 6, p. 221-262.

BRASIL. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências; publicada no Diário Oficial da União em 18 de março de 2005; Brasília, Distrito Federal.

CALLISTO, M. et al. Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividade de ensino e pesquisa (MG-RJ). **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 14, n. 1., 8 p. 91-98, 2002. Disponível em: <https://jbb.ibict.br/bitstream/1/708/1/Callisto%20et%20al..pdf>. Acesso em 13 set. 2023.

CAMPOS, J. C.; NUCCI, J. C. Protocolo de Avaliação Rápida de Rios Urbanos (PARU) como ferramenta de monitoramento ambiental. **Revista de Geografia e Ordenamento do Território - GOT**, n. 21, p. 121-138, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.17127/got/2021.21.005>. Disponível em: <http://cegot.org/ojs/index.php/GOT/article/view/2021.21.005>. Acesso em 15 jan. 2024

CARBINATTI, C. **Remoção de fosfato em esgoto doméstico utilizando argilas ativas e funcionalizadas de chumbo**. 2019. 64f. Dissertação. (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente). - Rio Claro, São Paulo, 2019.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DOS RIOS MACAÉ E DAS OSTRAS - CBH Macaé Ostras. **Bacia Hidrográfica**. Disponível em: <https://cbhmacae.eco.br/a-bacia/>. Acesso em: 30. mar. 2023

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DOS RIOS MACAÉ E DAS OSTRAS - CBH Macaé Ostras. **Sobre**. Disponível em: <https://comitemacaeostras.org.br/sobre/>. Acesso em: 13 mar. 2025.

COMITÊ DE BACIAS DOS RIOS MACAÉ E DAS OSTRAS – CBH Macaé Ostras. **Enquadramento dos corpos hídricos da RH VIII**. Disponível em: <https://comitemacaeostras.org.br/projetos/enquadramento-dos-corpos-hidricos-da-rh-viii/>. Acesso em: 18 mar. 2025.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Apêndice E - Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos**

e Metodologias Analíticas e de Amostragem. São Paulo: CETESB, 2018. 52f. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2018/06/Ap%C3%AAndice-E-Significado-Ambiental-das-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade.pdf>. Acesso em: 30 set. 2023.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB; AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS- ANA. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos.** Brasília, DF: ANA; São Paulo: CETESB, 2011. 327 p. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/laboratorios/publicacoes/guia-nacional-coleta-2012.pdf>. Acesso em: 30 set. 2023.

CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS - CERHI-RJ. **Resolução Nº 107 de 22 de maio de 2013.** Aprova nova definição das regiões hidrográficas do estado do Rio de Janeiro e revoga a resolução CERHI nº 18 de 08 de novembro de 2006. Diário Oficial do Rio de Janeiro, 2013.

CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL LAGOS SÃO JOÃO - CILSJ. **Ato convocatório nº 09/2022.** Termo de referência para contratação de empresa para o monitoramento da qualidade dos recursos hídricos na bacia do rio das Ostras com a elaboração de um estudo com capacidade de diagnosticar a bacia ao avaliar índice de qualidade da água (IQA) e a salinidade dos corpos hídricos. 2022b.

CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL LAGOS SÃO JOÃO - CILSJ. Consórcio Intermunicipal Lagos São João. **Ato convocatório nº 22/2022.** Termo de referência para contratação de empresa para o monitoramento da qualidade dos recursos hídricos na bacia do rio das Ostras com a elaboração de um estudo de monitoramento ambiental com ênfase na gestão de recursos hídricos na RH VIII. 2022a.

CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA DO RIO DE JANEIRO - CREA-RJ. 2024. **Presidente do CREA-RJ visita obras de megaempreendimento em Rio das Ostras.** Disponível em: <https://www.crea-rj.org.br/presidente-do-crea-rj-visita-obras-de-megaempreendimento-em-rio-das-ostras/>. Acesso em: 25 mar. 2025.

COSTA, M. P. e LOTUFO CONEJO, J. G. A implementação do enquadramento dos corpos d'água em bacias hidrográficas: conceitos e procedimentos. *In:* Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 18., 2009, Campo Grande. **Anais [...]** Mato Grosso do Sul: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2009. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=10809>. Acesso em: 18 mar. 2025.

COSTA, R. N.; FARIAS, F. M. Monitoramento do Rio Macaé com base na participação das Escolas Públicas: uma ação para a sustentabilidade. **Visões**, v. 4, p. 43-54, 2008. Disponível em: https://www.fsma.edu.br/visoes/edicoes-anteriores/docs/4/4ed_Monitoramento_do_Rio_Macaé_Rafael_Maria.pdf. Acesso em: 15 jan. 2024.

DO NASCIMENTO, F. H. et al. Avaliação Visual Rápida de Rios Urbanos: o Caso do Baixo Curso da Bacia Hidrográfica do rio Reis Magos e do rio Jacaraípe, Espírito Santo. **Revista**

Caminhos de Geografia, v. 21, n. 73, p. 492–505, 2020.
DOI:<http://dx.doi.org/10.14393/RCG217349673>. Disponível em:
<https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/49673>. Acesso em: 07 set. 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual para formação e capacitação de grupos comunitários em metodologias participativas de monitoramento da qualidade da água**. Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, Ceará- 2011. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/900819/manual-para-formacao-e-capacitacao-de-grupos-comunitarios-em-metodologias-participativas-de-monitoramento-da-qualidade-da-agua---modulo-iii-avaliacao-fisico-quimica>. Acesso em: 16 fev. 2024.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. Method 6020B (SW-846): **Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry**," Revision 2. Washington, DC, 2014.

FREITAS, F. et al. Qualidade microbiológica e fatores ambientais de áreas estuarinas da Reserva Extrativista Marinha Baía do Iguape (Bahia) destinadas ao cultivo de ostras nativas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, p. 723-729, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016153707>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/T9HjpmnKVRfXDS8k7M8Drp/?lang=pt>. Acesso em 15 de fev. 2024.

FREITAS, L. E. **Atlas Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Macaé**. 1. ed. Rio de Janeiro: Nova Tríade do Brasil, 2015. Disponível em: <https://macae.rj.gov.br/midia/conteudo/arquivos/1460067952.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2024.

GOMES, M. L. M. Ocupação urbana de Rio das Ostras: elementos definidores e os impactos nos recursos hídricos. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamago**, v. 3, n. 2, p. 145-162, 2009. Disponível em: [//editoraessentia.iff.edu.br/index.php/boletim/article/view/2177-4560.20090018](http://editoraessentia.iff.edu.br/index.php/boletim/article/view/2177-4560.20090018). Acesso em: 15 fev. 2024.

GUIMARÃES, E.; FERREIRA, M. I. Na contramão dos objetivos do desenvolvimento sustentável: Avaliação da pobreza hídrica na região estuarina do Rio Macaé, Macaé/RJ. **Saúde e Sociedade**, v. 29, n. 2, 2020.

HANNAFORD, M. J. et al. Training reduces observer variability in visual-based assessments of stream habitat. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 16, n. 4, p. 853-860, 1997. DOI: <https://doi.org/10.2307/1468176>. Disponível em: <https://www.journals.uchicago.edu/doi/abs/10.2307/1468176>. Acesso em: 15 fev. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Macaé - Panorama**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/macaee/panorama>. Acesso em: 25 mar. 2025.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE - INEA. **Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras**. Relatório Síntese. 197p. Rio de Janeiro, 2014a. Disponível

em: https://cbhmacae.eco.br/plano_de_bacia/rsf-relatorio-sintese-do-plano-de-recursos-hidricos-macaeostras/. Acesso em: 24 set. 2023.

INSTITUTO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - INEA. **Índice de Qualidade da Água NSF (IQANSF)**. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/wpcontent/uploads/2019/12/IQANSF-Metodologia-Qualidade-de-%C3%81gua-2-dez-2019.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2023

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE - INEA. **IQA Médio: RH VIII - Macaé e das Ostras**. Rio de Janeiro: INEA, 2023. Disponível em: <<https://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2023/02/INEA-IQA-M%C3%A9dia-RH-VIII-2012-2022.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2025.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE - INEA. **APA de Macaé de Cima**. Disponível em: <https://www.inea.rj.gov.br/biodiversidade-territorio/conheca-as-unidades-de-conservacao/apa-de-macaee-de-cima/>. Acesso em: 13 mar. 2025.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE – INEA. APA Estadual de Macaé de Cima: plano de manejo – informações sintetizadas da UC (Módulo 1). 52p. Rio de Janeiro: INEA, 2014b. Disponível em: <https://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2019/02/APAMAC-PM.pdf>. Acesso em: 07 abr. 2025.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE - INEA. Parque Estadual dos Três Picos. Disponível em: <https://www.inea.rj.gov.br/biodiversidade-territorio/conheca-as-unidades-de-conservacao/parque-estadual-dos-tres-picos/>. Acesso em: 07 abr. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Dados meteorológicos**. 2023. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 15 setembro 2023.

KÖPPEN, W. **Climatologia: com un estudio de los climas de la tierra**. México: Ed. Fondo de Cultura Econômica; 1948. 479p.

LOUREIRO, W. L. M. et al. A Indústria do Petróleo em Macaé: características e impactos socioeconômicos sob a ótica do desenvolvimento sustentável. **Revista Vértices**, v. 16, n. 2, p. 189–220, 2014.

MAFORT, A. V. L. et al. Sustentabilidade de sistemas socioambientais: Comparativo entre a Região Hidrográfica VIII do estado do Rio de Janeiro e sua zona costeira. **Espaço e Economia - Revista brasileira de geografia econômica**, n. 15, 2019.

MEDEIROS, L. C. **Avaliação do risco à saúde humana pela exposição aos subprodutos da cloração da água do sistema de abastecimento público**. 2019.110f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio ambiente) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte. 2019.

OLINTO, M. T. A. *In*: KAC, Gilberto. et al. orgs. **Epidemiologia nutricional**. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz/Editora Atheneu, p. 213-25, 2007. DOI: <https://doi.org/10.7476/9788575413203>. Disponível em: <https://books.scielo.org/id/rrw5w>. Acesso em 15 jan. 2024.

OLIVER, S. L., IKEFUTI, P. V., RIBEIRO, H. Florações de cianobactérias e variáveis atmosféricas, uma contribuição no escopo da saúde ambiental. **Revista Ambiente & Água**, v. 15, p.e2523, 2020.

OMER, N. H. **Water Quality Parameters**. In: SUMMERS, J. K. Water Quality – Science, Assessments and Policy. Londres: IntechOpen, 2020. cap. 1, p. 1-18. Disponível em: <https://www.intechopen.com/books/7718>. Acesso em: 28 abr. 2024.

PEREIRA, M. B. **Influência da cobertura de macrófitas aquáticas flutuantes em emissões de metano em um lago mesoeutrófico**. 2017. 52f. Dissertação. (Mestrado em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais) – Rio Grande, Rio Grande do Sul, 2017.

PIANOWSKI, E. H.; JANISSEK, P. R. Desinfecção de efluentes sanitários com uso de cloro: avaliação da formação de trihalometanos. **Sanare: Revista Técnica da Sanepar**, v. 20, n. 20, p. 6-17, 2003. Disponível em: https://www.academia.edu/5929765/O_Uso_de_Cloro_na_Desinfec%C3%A7%C3%A3o_de_%C3%81guas_a_Forma%C3%A7%C3%A3o_de_Trihalometanos_e_os_Riscos_Potenciais_%C3%A0_Sa%C3%BAdede_P%C3%BAblica_Chlorine_Use_in_Water_Disinfection_Trihalomethane_Formation_and_Potential_Risks_to_Public_Health. Acesso em 03 out. 2023.

PINHEIRO, M. R. C. **Avaliação de usos preponderantes e qualidade da água como subsídios para os instrumentos de gestão dos recursos hídricos aplicada à Bacia Hidrográfica do Rio Macaé**. 2008. 151f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro. 2008.

PRADO, B. Q. M. et al. Avaliação de variáveis climatológicas da cidade de Uberlândia (MG) por meio da análise de componentes principais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, p. 407-413, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016147040>. Acesso em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/7X3f79MpyfKs5FMv3pWwQbT/?lang=pt#>. Disponível em: 15 fev. 2024.

QUISSAMÃ. **Canal Campos-Macaé**. Disponível em: <https://quissama.rj.gov.br/espacos-culturais/canal-campos-macae/>. Acesso em: 25 mar. 2025.

RIO DE JANEIRO (Estado). **Resolução nº 18, de 08 de novembro de 2006**, do Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CERHI. Dispõe sobre a definição das regiões hidrográficas do estado do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.ceivap.org.br/legirj/ResolucoesCERHI/Resolucao-CERHI%20018.pdf>

RIO DE JANEIRO (Estado). **Resolução nº 107, de 22 de maio de 2013**, do Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CERHI. Dispõe sobre a nova definição das regiões hidrográficas do estado do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://comiteguandu.org.br/legislacoes/ResolucoesCERHI/Resolucao-CERHI-107.pdf>

RIOS, J. H. L. **Distribuição e fracionamento geoquímica de metais em sedimentos estuarinos do semiárido brasileiro sob diferentes estações climáticas.** 2018. 107f. Dissertação. (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais). - Fortaleza, Ceará, 2018.

SANTOS, D. M. **Estudo da qualidade da água de poços outorgados e da água tratada na área rural do município de Macaé.** 2022. 48f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Macaé, Rio de Janeiro, 2022.

SANTOS, I. F. **Determinação e avaliação da distribuição, fonte e risco ecológico de contaminantes inorgânicos e orgânicos em matrizes ambientais do Rio Capivara, Camaçari-Bahia.** 2017. 126 f. Tese (Doutorado em Química) - Instituto de Química, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, 2017.

SAYD, J. L. C.; BRITTO, A. L. Obras hidráulicas e espaço urbano no estuário do Rio Macaé. São Paulo: *InSitu*, v. 2, n. 2, p. 27-48, 2016.

SILVA, A. A.; DA FRANCA, R. R. IDENTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE EPISÓDIOS DE CHUVA EXTREMA NO DISTRITO FEDERAL – PERÍODO 1990-2019. **Revista Espaço e Geografia**, v. 24, n. 2, p. 134:153, 2021. DOI: <https://doi.org/10.26512/2236-56562021e40271>. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/espacoegeografia/article/view/40271>. Acesso em: 30 ago. 2024.

SILVA, J. A. A.; BECKER, B. R.; MARTINS, R. L. Macaé e a sustentabilidade do projeto de “Capital nacional do petróleo. **Revista Espaço e Economia**, n. 7, 2015.

SILVA, M. A. **Desenvolvimento agrícola e área de proteção ambiental: o caso da APA de Macaé de Cima/RJ.** 2033. 105f. Dissertação. (Mestrado em Práticas em Desenvolvimento Sustentável) – Seropédica, Rio de Janeiro, 2013.

SOFFIATI, A. Macaé em quatro tempos. *In*: Impactos sociais, ambientais e urbanos das atividades petrolíferas: o caso de Macaé. **Anais da Oficina sobre Impactos sociais, ambientais e urbanos das atividades petrolíferas: o caso de Macaé.** Niterói - RJ: Universidade Federal Fluminense, 2010. v. 1. p.130-148.

SOUZA, P. A.; MARÇAL, M. S. Processos, comportamento e conectividade do rio Macaé. *In*: VILLAS BOAS, G. H.; MATTOS, C. P. (org.). **20 anos da Área de Proteção Ambiental de Macaé de Cima: Trajetórias e caminhos na pesquisa ambiental.** Boa Vista: Editora IOLE/ Rio de Janeiro: EdTur, 2021. cap. 2, p. 51-84.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER - SMWW 2550. **Temperature.** *In*: Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater. Lipps WC, Baxter TE, Braun-Howland E, editors. Washington DC: APHA Press, 2017.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER - SMWW 4500-h B. **pH.** *In*: Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater. Lipps WC, Baxter TE, Braun-Howland E, editors. Washington DC: APHA Press, 2017.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER - SMWW 4500-o G **Oxygen (dissolved)**. *In*: Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater. Lipps WC, Baxter TE, Braun-Howland E, editors. Washington DC: APHA Press, 2017.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER - SMWW 5210 b. **Biochemical oxygen demand (BOD)**. *In*: Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater. Lipps WC, Baxter TE, Braun-Howland E, editors. Washington DC: APHA Press, 2017.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER - SMWW 9221 E. **Multiple-tube fermentation technique for members of the coliform group**. *In*: Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater. Lipps WC, Baxter TE, Braun-Howland E, editors. Washington DC: APHA Press, 2017.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER - SMWW 2130. **Turbidity**. *In*: Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater. Lipps WC, Baxter TE, Braun-Howland E, editors. Washington DC: APHA Press, 2017.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER - SMWW 2510 B. **Conductivity**. *In*: Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater. Lipps WC, Baxter TE, Braun-Howland E, editors. Washington DC: APHA Press, 2017.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER - SMWW 2520. **Salinity**. *In*: Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater. Lipps WC, Baxter TE, Braun-Howland E, editors. Washington DC: APHA Press, 2017.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER - SMWW 2540. **Solids**. *In*: Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater. Lipps WC, Baxter TE, Braun-Howland E, editors. Washington DC: APHA Press, 2017.

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

VASCONCELOS, V. Cyanobacteria toxins: diversity and ecological effects. **Limnetica**, v. 20, n. 1, p. 45-58, 2001.

VON-SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2017.

WU, M. et al. Identification of coastal water quality by statistical analysis methods in Daya Bay, South China Sea. **Marine Pollution Bulletin**, v. 60, n. 6, p. 852-860, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.01.007>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X1000010X>. Acesso em 20 mai. 2024.

ZHANG, C. et al. Effects of sediment geochemical properties on heavy metal bioavailability.
Environment International, [s.l.], v. 73, p. 270-281, 2014.

ANEXOS

ANEXO 1 – Certificado de Acreditação INMETRO

ANEXO 2 - Certificado CCL INEA

ANEXO 3 – Registro Fotográfico

ANEXO 4 – Cadeias de Custódia

ANEXO 5 – Laudos Analíticos

ANEXO 6 – Memória de cálculo IQA

ANEXO 7 – Representação espacial