



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE TECNOLOGIA



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO

FERNANDO NATANAEL DA SILVA PACHECO

**Definição de parâmetros prioritários para o enquadramento
de bacias hidrográficas em processo de urbanização**

MACEIÓ - AL

2022

Fernando Natanael da Silva Pacheco

Definição de parâmetros prioritários para o enquadramento de bacias hidrográficas
em processo de urbanização

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Vladimir Caramori Borges de Souza
Coorientadora: Profa. Dra. Nélia Henriques Callado

Maceió – AL

2022

P116d Pacheco, Fernando Natanael da Silva.
Definição de parâmetros prioritários para o enquadramento de bacias hidrográficas em processo de urbanização / Fernando Natanael da Silva Pacheco. – 2022. 134 f. : il. color.

Orientador: Vladimir Caramori Borges de Souza.

Co-orientadora: Nélia Henriques Callado.

Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2022.

Bibliografia: f. 109-116.

Apêndices: f. 118-134.

1. Gestão de recursos hídricos. 2. Bacias hidrográficas urbanas. 3. Qualidade da água. I. Título.

CDU: 556.18:556.51

RESUMO

O enquadramento de corpos hídricos em classes de acordo com os usos preponderantes é um dos instrumentos da Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH) que através de metas é possível ser alcançado ou mantido em um segmento de corpo de água. A avaliação dos parâmetros físico-químicos e biológicos estabelecidos nas legislações caracterizam a qualidade da água e, posteriormente, são definidas ações necessárias para alcançar o enquadramento. No entanto, as limitações financeiras e de logística podem inviabilizar o monitoramento essencial para alcançar as metas intermediárias e final da qualidade da água desejada. Nesse sentido, a seleção de parâmetros prioritários é fundamental para atender as demandas e entender a relação dos usos e ocupação do solo e as fontes de poluição. Portanto, este trabalho teve como objetivo definir um conjunto mínimo de parâmetros prioritários para enquadramento de bacias hidrográficas em processos de urbanização. Para isto, foi realizada a caracterização da bacia hidrográfica do Riacho Doce, através do mapeamento de uso e ocupação do solo e os usos da água, e avaliação quali-quantitativa com o uso de análises estatísticas, capacidade de autodepuração e aplicação do ICE para a validação do conjunto de parâmetros. Foi percebido que o conjunto de metodologias utilizadas pode subsidiar os tomadores de decisão para definição de 25 parâmetros prioritários a serem monitorados e alcançar as metas de enquadramento do corpo hídrico.

Palavras-chave: Gestão dos recursos hídricos; Bacias urbanas; Qualidade da água

ABSTRACT

The framework of water bodies in classes according to the predominant uses is one of the instruments of the National Water Resources Policy (PNRH) that through the achievement or maintenance of goals is possible in a segment of a water body. The evaluation of the physical-chemical and biological parameters established in the legislation characterizes the quality of the water and, thereafter, the necessary actions are defined to achieve the framework. However, financial and logistic limitations can make the monitoring essential to achieve the intermediate and final goals of the desired water quality unfeasible. In this way, the selection of priority parameters is vital to meet demands and understand the relationship between land use and occupation and pollution sources. Therefore, this work aims to define a minimum set of priority parameters for framing watersheds in urbanization processes. For this, the characterization of the Riacho Doce watershed was carried out, through the mapping of land use and occupation and the uses of water, and quali-quantitative evaluation with the use of statistical analysis, the self-depuration capacity and application of ICE for the validation of the set of parameters. It was perceived that the set of methodologies used can support the decision makers in setting the priority parameters to be monitored and achieving the goals of the water body framework.

Keywords: Water resources management; Urban basins; Water quality

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, em especial minha mãe e minha irmã por todo apoio desde sempre;

Aos meus orientadores, prof Dr. Vladimir e prof. Dra. Nelia Callado, por orientar, ensinar e instigar a desenvolver o pensamento crítico;

Aos meus amigos, João Pessanha, e Altair pela disponibilidade e incentivo; e aos amigos que PPGRHS me proporcionou, em especial Anita, Sarah, Helenice e Kissila

Agradeço ao meu amigo Tássio, não só pelo seu apoio, mas também pelo companheirismo e força desde a graduação, caminhando juntos até aqui;

Agradeço, em especial, minha amiga Heloize Nascimento, que durante esse período sempre esteve presente, pelo apoio nos momentos difíceis, compartilhamento de conhecimentos, ideias, que tornou essa trajetória mais leve;

Aos professores e técnicos, em especial a Nadjane, pela paciência e os ensinamentos técnicos em tão pouco tempo;

A Central de Tratamento de Resíduos (CTR), pela oportunidade e financiamento do projeto MASM e concessão de bolsa de estudo;

Agradeço também aos colaboradores do projeto MASM

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Conjuntura nacional do enquadramento dos corpos hídricos	15
Figura 2 - Olhares do Enquadramento	18
Figura 3 - Fluxograma da implementação do processo de enquadramento de corpos de água	19
Figura 4 - Processo de diluição do efluente lançado no rio	24
Figura 5 - Processo de diluição do efluente lançado no rio	27
Figura 6 - Síntese metodológica para obtenção dos parâmetros prioritários de enquadramento	29
Figura 7 - Pontos de coleta de amostras e água e de medição de vazão	33
Figura 8 - Pluviometria em 2021	37
Figura 9 - Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica do Riacho Doce	40
Figura 10 - Área vegetada na Bacia Hidrográfica do Riacho Doce	41
Figura 11 - Vista aérea da ETE da SANAMA	43
Figura 12 - Ponto de descarte doméstico no bairro Riacho Doce	44
Figura 13 – ETE da CTR de Maceió	45
Figura 14 - Área de várzea na BH do Riacho Doce (mar/2015)	47
Figura 15 - Água contaminada por efluentes difusos da ocupação desordenada	47
Figura 16 - Proposta de segmentação da Bacia do Riacho Doce	50
Figura 17 - Ilustração da variação de vazão do Riacho Doce	57
Figura 18 - <i>Boxplot</i> de Cor (P5)	59
Figura 19 - <i>Boxplot</i> de Turbidez (P5)	60
Figura 20 - <i>Boxplot</i> de Sólidos Dissolvidos Totais (P5)	60
Figura 21 - <i>Boxplot</i> de pH (P5)	61
Figura 22 - <i>Boxplot</i> de Sulfatos (P5)	61
Figura 23 - <i>Boxplot</i> de DBO (P5)	62
Figura 24 - <i>Boxplot</i> de DQO (P5)	63
Figura 25 - <i>Boxplot</i> de OD (P5)	63
Figura 26 – <i>Boxplot</i> de Fósforo total (P5)	64
Figura 27 - <i>Boxplot</i> de N-Amoniacal, Nitrito e Nitrato (P5)	64
Figura 28 - <i>Boxplot</i> de clorofila-a, no ponto de lançamento de esgoto tratado (P5)	65
Figura 29 - <i>Boxplot</i> de Cor (P4 e P3)	67
Figura 30 - <i>Boxplot</i> de Turbidez (P4 e P3)	68
Figura 31 - <i>Boxplot</i> de pH (P4 e P3)	69

Figura 32 - <i>Boxplot</i> de Cloretos (P4 e P3).....	69
Figura 33 - <i>Boxplot</i> de Sulfatos (P4 e P3).....	70
Figura 34 - <i>Boxplot</i> de DBO (P4 e P3)	70
Figura 35 - <i>Boxplot</i> de DQO (P4 e P3).....	71
Figura 36 - <i>Boxplot</i> de OD (P4 e P3).....	71
Figura 37 - <i>Boxplot</i> de Fósforo total (P4 e P3)	73
Figura 38 - <i>Boxplot</i> de N-Amoniacal (P4 e P3).....	73
Figura 39 - <i>Boxplot</i> de Nitrito (P4 e P3).....	74
Figura 40 - <i>Boxplot</i> de Nitrato (P4 e P3).....	74
Figura 41 - <i>Boxplot</i> de Clorofila-a (P4 e P3).....	75
Figura 42 - <i>Boxplot</i> de Densidade de cianobactérias (P4 e P3).....	75
Figura 43 - <i>Boxplot</i> de metais (P4).....	77
Figura 44 - <i>Boxplot</i> de metais (P3).....	77
Figura 45 - <i>Boxplot</i> de Cor	78
Figura 46 - <i>Boxplot</i> de Turbidez	79
Figura 47 - <i>Boxplot</i> de Sulfatos	80
Figura 48 - <i>Boxplot</i> de Cloretos.....	81
Figura 49 - <i>Boxplot</i> de pH	82
Figura 50 - <i>Boxplot</i> de Alcalinidade.....	82
Figura 51 - <i>Boxplot</i> de DBO	83
Figura 52 - <i>Boxplot</i> de OD.....	83
Figura 53 - <i>Boxplot</i> de DQO.....	84
Figura 54 - <i>Boxplot</i> de Nitrogênio Amoniacal	85
Figura 55 - <i>Boxplot</i> de Nitrito.....	86
Figura 56 - <i>Boxplot</i> de Nitrato	86
Figura 57 - <i>Boxplot</i> de Fósforo	87
Figura 58 - <i>Boxplot</i> de Manganês total.....	89
Figura 59 - <i>Boxplot</i> de Ferro total.....	89
Figura 60 - <i>Boxplot</i> dos dados primários de E. coli da Bacia do Riacho Doce.....	91
Figura 61 - <i>Boxplot</i> de termotolerantes, ponto de lançamento da SANAMA (P5)	92
Figura 62 - <i>Boxplot</i> de termotolerantes (P4 e P3)	93
Figura 63 - Perfil de OD do lançamento de Esgoto tratado, para as vazões mín, méd e máx do riacho	99

Figura 64 - Perfil de OD do lançamento de Esgoto bruto, para as vazões mín, méd e máx do riacho	100
Figura 65 - Perfil de OD do lançamento de lixiviado tratado nas vazões min, med e max do riacho.	104
Figura 66 - Perfil de OD do lançamento de lixiviado pré-tratado nas vazões min, med e max do riacho.	105

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 - Número de parâmetros para cada classe de água doce.....	17
Tabela 2 - Coordenadas dos pontos estudados.....	32
Tabela 3 - Tabela síntese do levantamento de dados primários e secundários.....	36
Tabela 4 - Dados utilizados para autodepuração	39
Tabela 5 - Outorgas de uso de água da Bacia do Riacho Doce	42
Tabela 6 - Esgoto bruto que chega na ETE	44
Tabela 7 – Lixiviado proveniente da CTR Maceió	46
Tabela 8 - Dados do efluente tratado na ETE da SANAMA	54
Tabela 9 - Dados secundários do efluente tratado CTR	55
Tabela 10 - Parâmetros prioritários da Bacia do Riacho Doce nos respectivos trechos	56
Tabela 11 - Dados de medição de vazão na bacia do Riacho doce	57
Tabela 12 - Teste de hipóteses aplicado à qualidade da água em P5-lançamento de esgoto tratado.58	
Tabela 13 - Testes de hipóteses aplicados à qualidade da água nos pontos P4 e P3.	66
Tabela 14 - Relação DQO/DBO nos P4 e P3.....	72
Tabela 15 - Relação DQO/DBO nas águas da Bacia do Riacho Doce	85
Tabela 16 – Dados primários de E. coli ao longo do curso de água da Bacia do Riacho Doce	90
Tabela 17 - Estatística descritiva de E. coli na Bacia do Riacho Doce	90
Tabela 18 - Estatística descritiva de termotolerantes, ponto de lançamento da ETE da SANANA	91
Tabela 19 - Estatística descritiva de termotolerantes, no ponto de lançamento da CTR	92
Tabela 20 - Parâmetros em desconformidade com a resolução CONAMA 357/2005	94
Tabela 21 - Síntese dos parâmetros de qualidade do riacho em P5.....	97
Tabela 22 - Síntese dos parâmetros de qualidade do riacho em P4.....	97
Tabela 23 - Dados utilizados para o ponto de lançamento da SANAMA.	98
Tabela 24 - Dados utilizados para o ponto de lançamento da CTR.	98
Tabela 25 - Concentrações na zona de mistura em condições de efluente tratado e vazão mínima.101	
Tabela 26 - Concentrações na zona de mistura em condições de efluente tratado e vazão média... 101	
Tabela 27 - Concentrações na zona de mistura em condições de efluente tratado e vazão máxima 101	
Tabela 28 - Concentrações na zona de mistura em condições de efluente bruto e vazão mínima.... 102	
Tabela 29 - Concentrações na zona de mistura em condições de efluente bruto e vazão média..... 102	
Tabela 30 - Concentrações na zona de mistura em condições de efluente bruto e vazão máxima ... 103	

Tabela 31 - Concentrações na zona de mistura em condições de lixiviado tratado e vazão mínima.	106
Tabela 32 - Concentrações na zona de mistura em condições de lixiviado tratado e vazão média...	106
Tabela 33 - Concentrações na zona de mistura em condições de lixiviado tratado e vazão máxima	106
Tabela 34 - Concentrações na zona de mistura para lixiviado pré-tratado e vazão mínima	107
Tabela 35 - Concentrações na zona de mistura para lixiviado pré-tratado e vazão média	107
Tabela 36 - Concentrações na zona de mistura para lixiviado pré-tratado e vazão máxima	107
Tabela 37 - Esgoto bruto que chega na ETE da SANAMA	118
Tabela 38 - Esgoto tratado descartado no Riacho Grota da Esperança	118
Tabela 39 – Lixiviado pré-tratado, parte enviado ao pós-tratamento e parte ao emissário submarino	119
Tabela 40 - Lixiviado tratado descartado no riacho Doce	120
Tabela 41– Dados de qualidade da água da Bacia Hidrográfica do Riacho Doce	121
Tabela 42- Estatística descritiva dos dados de qualidade da água da bacia, referentes ao período de 2021 a 2022	123
Tabela 43 - Estatística descritiva dos dados secundários de qualidade da água da bacia no ponto 4	127
Tabela 44 - Estatística descritiva dos dados secundários de qualidade da água da bacia no ponto 3	129
Tabela 45 - Estatística descritiva dos dados secundários de qualidade da água no ponto de lançamento de esgoto tratado.....	131
Tabela 46 - Dados secundários do lixiviado tratado.....	132
Tabela 47 - Dados secundários do esgoto tratado.....	133
Tabela 48 - Dados de medição de vazão no ponto 1	134
Tabela 49 - Dados de medição de vazão no ponto 3.....	134
Tabela 50 - Dados de medição de vazão no ponto 5.....	134
Quadro 1 - Relação DQO/DBO ₅	22
Quadro 2 - Faixas de classificação do ICE	26
Quadro 3 - Faixas de classificação do ICE	27
Quadro 4 - Caracterização de uso e ocupação do solo	40
Quadro 5 - Valores das análises dos parâmetros em laboratórios ambientais	51
Quadro 6 - Parâmetros de qualidade de águas monitoradas em corpos hídricos enquadrados.....	53
Quadro 7 - ICE da Bacia Hidrográfica do Riacho Doce.....	96

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional da Água
BH	Bacia Hidrográfica
Cd	Símbolo químico do cádmio
CNRH	Conselho Nacional dos Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional do Ambiente
Cr	Símbolo químico do cromo
CTEC	Centro de Tecnologia
CTR	Central de Tratamento de Resíduos de Maceió
Cu	Símbolo químico do cobre
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQA	Diretiva Quadro da Água
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
Fe	Símbolo químico do ferro
Hg	Símbolo químico do mercúrio
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LSA	Laboratório de Saneamento Ambiental
NH ₃	Fórmula química da amônia
NH ₄ ⁺	Íon Amônio
NAT	Nitrogênio Amoniacal Total
OD	Oxigênio Dissolvido
Pb	Símbolo químico do chumbo
pH	Potencial hidrogeniônico
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
SCP	SemiAutomatic Classification
SEMARH	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
UFAL	Universidade Federal de Alagoas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	12
2.1	Objetivo Geral	12
2.2	Objetivos específicos	12
3	REVISÃO DA LITERATURA	13
3.1	Enquadramento dos corpos d'água	13
3.2	Conjuntura do enquadramento de corpos d'água	14
3.3	Legislação pertinente ao enquadramento de águas doces e sua evolução	15
3.4	Interferência do uso e ocupação do solo na qualidade dos corpos d'água	19
3.5	Parâmetros de qualidade da água e controle de poluição de rios	20
3.6	Autodepuração de corpos de água	23
3.7	Índice de conformidade de enquadramento	24
4	MATERIAL E MÉTODOS	27
4.1	Área de estudo	27
4.2	Síntese metodológica	29
4.3	Diagnóstico da bacia hidrográfica	30
4.3.1	Ocupação e uso do solo e da água	30
4.3.2	Proposta de segmentação do riacho	30
4.3.3	Identificação dos parâmetros prioritários	31
4.4	Estudo quali-quantitativo	32
4.4.1	Medição de vazão	34
4.4.2	Condição da qualidade da água	34
4.4.3	Análises estatísticas	37
4.5	Verificação de atendimento aos padrões de qualidade de enquadramento	38
	4.5.1 Capacidade de autodepuração do corpo hídrico	38
	Fonte: Autor (2022)	39

5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
5.1	Caracterização do uso e ocupação do solo	40
5.2	Identificação dos usos da água da Bacia	42
5.3	Proposta de segmentação e enquadramento da Bacia	47
5.4	Seleção dos parâmetros prioritários	51
5.5	Avaliação quantitativa das águas da bacia do riacho Doce	57
5.6	Avaliação qualitativa das águas da bacia do riacho Doce	57
	5.6.1 Ponto de lançamento de esgoto tratado (P5)	58
	5.6.2 Pontos de montante e jusante lançamento de lixiviado tratado (P4 e P3)	65
	5.6.3 Avaliação qualitativa das águas da bacia no período nov/2021 a mai/2022	78
5.7	Validação dos parâmetros prioritários	94
5.8	Estudo de autodepuração nos pontos de lançamento de efluentes	97
	5.8.1 Ponto de lançamento do efluente da ETE da SANAMA	98
	5.8.2 Ponto de lançamento do lixiviado da ETE da CTR	103
6	CONCLUSÕES	108
7	REFERÊNCIAS	109
8	APÊNDICE A	118
9	APÊNDICE B	119
10	APÊNDICE C	121
11	APÊNDICE D	134

1 INTRODUÇÃO

O enquadramento dos corpos d'água em classes de acordo com os usos preponderantes, instrumento da Política Nacional do Recursos Hídricos (PNRH), lei nº 9443/1997, representa um importante avanço na gestão das águas e do meio ambiente. A implementação de metas progressivas definidas, pode resultar no acesso à água de melhor qualidade para os usos mais exigentes, menores custos e proteção aos recursos hídricos (BRITES, 2010; MACHADO *et al.*, 2019).

Segundo Agência Nacional da Água (ANA) (2020), catorze estados da federação, incluindo o Distrito Federal, possuem seus rios enquadrados, no entanto, alguns classificaram os rios de acordo com portarias antigas (Portaria nº 13/1978 do Ministério do Interior), e do Conselho Nacional do Ambiente (CONAMA nº 20/1986).

O estado de Alagoas enquadrrou seus rios a partir do Decreto Estadual Nº 3.766/1978 com base na Portaria nº 13, do Ministério do Interior, mas houve necessidade de revogação pelo decreto nº 4.062/2008, tem em vista a questão da atualização para legislação mais atual e vigente, CONAMA nº 357/2005.

Apesar de a legislação vigente definir as diretrizes para o enquadramento dos corpos hídricos, ainda existem lacunas para orientar as instituições e técnicos para planejar, monitorar e assegurar a efetivação do programa de enquadramento.

Segundo Machado *et al.* (2019) os questionamentos são: quais parâmetros devem ser monitorados, vazão de referência a ser utilizada, como considerar a poluição difusa, os custos e investimentos necessários na efetivação.

Os valores estabelecidos dos parâmetros físico-químicos e biológicos pela legislação vigente do CONAMA, resolução nº 357/2005, variam de acordo com a classificação para águas doces, salobras e salinas em função dos usos preponderantes, além disso, a diversidade de parâmetros presente nas resoluções a serem monitorados representa um desafio para os órgãos gestores e, conseqüentemente, a efetivação do enquadramento, o que requer a consideração de critérios de custos para o alcance das metas progressivas a serem atingidas (OLIVEIRA *et al.*, 2010).

Como exemplo, Machado *et al.* (2019) cita a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), parâmetro predominantemente utilizado nas análises de qualidade de água, pode apresentar incertezas, visto que, é um parâmetro de caráter biológico e de tempo de processamento elevado sujeito a interferências de substâncias tóxicas

que estão presentes no meio ambiente, conseqüentemente, seu controle e fiscalização pode ser dificultoso.

Para Sent *et al.* (2021) o processo de avaliação dos parâmetros de qualidade da água precisa ser padronizado e as informações obtidas acessíveis e compreensíveis, não só para os pesquisadores, como também para os tomadores de decisões, visto que, são os que podem executar as ações necessárias garantindo avaliações contínuas e a exploração dos corpos d'água visando os princípios da sustentabilidade.

Segundo Britto *et al.* (2018) os usos e ocupação do solo comprometem a qualidade dos recursos hídricos, principalmente os localizados em bacias urbanas em expansão, sendo necessário identificação e o monitoramento das fontes de poluição e, posteriormente, adequar a qualidade da água de acordo com os respectivos usos.

Nesse sentido, as fontes de poluição de alto risco de contaminação dos corpos hídricos são esgotos domésticos e lixiviado gerado em aterros sanitários. O lixiviado consiste no líquido formado pela decomposição de matéria orgânica e águas pluviais visto que em sua composição pode ser encontrado altas concentrações de nitrogênio amoniacal, cloretos e metais pesados, sendo considerado um risco para os ecossistemas e a saúde, tornando o uso da água impróprio (KAWAHIGASHI *et al.*, 2014; OLOLADE *et al.*, 2019).

Em Maceió, os cursos de água de bacias urbanas encontram-se com a qualidade de suas águas comprometidas, destacando-se a necessidade de proteger a qualidade das águas das bacias em processo de urbanização, como a bacia do Riacho Doce, que entre seus usos preponderantes existe o recebimento de esgotos sanitários e lixiviados de aterro sanitário provenientes de estações de tratamento de efluentes (ETE).

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo selecionar um conjunto mínimo de parâmetros prioritários para o enquadramento de bacias em processo de urbanização, tendo como estudo de caso a Bacia Hidrográfica do riacho Doce que recebe descargas pontuais de efluentes tratados e poluição difusa.

Vale ressaltar que esse trabalho está inserido no projeto de pesquisa intitulado "Monitoramento Ambiental do aterro sanitário de Maceió", convenio 01/2020, criado numa iniciativa conjunta entre a V2 Ambiental SPE S/A e Universidade Federal de Alagoas- UFAL.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Definir um conjunto mínimo de parâmetros prioritários para acompanhar o alcance das metas intermediárias e final de enquadramento de bacias em processo de urbanização, validados por meio de estudo de caso da Bacia Hidrográfica do Riacho Doce em Maceió/AL.

2.2 Objetivos específicos

- I. Identificar os fatores intervenientes que podem alterar o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente ou almejada para o riacho Doce.
 - a. Selecionar um conjunto mínimo de parâmetros prioritários.
 - b. Elaborar uma proposta de enquadramento.
 - c. Aplicação de um conjunto de metodologias para a definição dos parâmetros
 - II. Caracterizar a variação qualitativa e quantitativa das águas do Riacho Doce para subsidiar as definições dos parâmetros prioritários para o enquadramento.
 - a. Verificar o atendimento dos padrões de qualidade ao enquadramento.
 - b. Avaliar a capacidade de autodepuração do riacho.
-

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Enquadramento dos corpos d'água

A resolução Nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), define enquadramento como o estabelecimento de metas ou objetivos para o alcançar ou manter a qualidade da água de um determinado corpo hídrico através de metas progressivas obrigatórias intermediárias e final.

Embora as legislações vigentes – Resolução CONAMA 357/2005 e Resolução CNRH 91/2008 – definam as diretrizes para o enquadramento dos corpos hídricos, ainda não há metodologias consolidadas que auxiliem os órgãos gestores e os Comitês de Bacias Hidrográficas na efetivação do enquadramento (BITENCOURT *et al.*, 2019).

Além disso, os autores supracitados destacam que o entendimento entre a relação das variáveis como: a vazão de referência, os parâmetros de qualidade, os métodos para estimar a carga poluidora e elaboração de cenários, são complexas, mas indispensáveis para a elaboração da proposta de enquadramento.

Nesse sentido, para preencher estas lacunas as análises estatísticas estão sendo utilizadas como metodologia para verificar a não conformidade dos parâmetros de qualidade de água estabelecidos pela legislação vigente, e a partir disso, desenvolver técnicas que facilitem o monitoramento (GUIMARÃES *et al.*, 2016; CALMON *et al.*, 2016)

O sensoriamento remoto também tem sido uma metodologia notória e bastante explorada devido ao seu potencial de análise espaço-temporal dos corpos de água, características de uso e ocupação do solo e monitoramento de parâmetros (ABBAS *et al.*, 2019; ZHAO *et al.*, 2020; HAJIGHOLIZADEH *et al.*, 2021; SENT *et al.*, 2021).

A política Diretiva Quadro da Água (DQA) que visa proteger e melhorar a qualidade dos recursos hídricos possibilitou o avanço do monitoramento dos corpos hídricos dos países pertencentes à União Europeia e vem destacando a ciência-cidadã como inovação, que atende não só as necessidades de monitoramento como também maior participação e compreensão da população na gestão das águas (CARVALHO *et al.*, 2019).

É importante que o enquadramento dos corpos d'água esteja articulado com os demais instrumentos da Política Nacional dos Recursos Hídricos para que o

conjunto de dados sejam utilizados como referência para elaboração de metas e implementação.

Porém, ainda há dificuldade de integração entre a proposta de enquadramento dos corpos d'água e a elaboração do plano de recursos hídricos de forma concomitante.

Isto pode ser observado na conjuntura dos recursos hídricos no Brasil (2020) apresentada pela Agência Nacional da Água (ANA) em que o Amapá é o único estado que não possui plano de recursos hídricos elaborado. Já o cenário em relação ao enquadramento dos corpos hídricos, apenas treze Unidades da Federação possuem atos normativos.

Desta forma, a não integração dos instrumentos estabelecidos na PNRH demanda mais esforços, desperdício de recursos e informações desconhecidas entre os órgãos gestores e tomadores de decisão (BITENCOURT *et al.*, 2019).

Adicionalmente, Machado *et al.* (2019) destaca que o cenário atual é preocupante, pois, os programas de enquadramentos efetivos não dispõem de informação de seu progresso, o que representa a dificuldade de implementação de programas eficazes e acompanhamento de ações.

3.2 Conjuntura do enquadramento de corpos d'água

O Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil publicado desde 2009, de responsabilidade da ANA, apresenta um panorama da situação e gestão de recursos hídricos no Brasil, além disso, é utilizado como base para avaliação do grau de implementação da PNRH (ANA, 2009).

Neste relatório são apresentadas informações pertinentes quanto ao enquadramento dos corpos hídricos no Brasil de bacias de domínio interestadual e estadual. No primeiro ano de publicação da Conjuntura dos Recursos Hídricos (2009) dez unidades da Federação (Alagoas, Bahia, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraíba, Paraná, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo) enquadraram seus rios parcial ou totalmente (ANA, 2009).

Em 2019, o número de estados com rios enquadrados passou a ser catorze, portanto, após dez anos da primeira publicação houve pouco avanço da implementação deste instrumento. Adicionalmente, apesar de doze planos de recursos hídricos de bacias interestaduais terem sido aprovados e implantados, apenas um teve a proposta de enquadramento concluída (ANA, 2019).

É importante destacar que Alagoas, São Paulo, Rio Grande do Norte, Santa Catarina, Paraíba, Paraná e Minas Gerais enquadraram os rios com base em atos normativos da Portaria do Ministério do Interior nº 13/1076 e resolução CONAMA nº 20/1986 (Figura 1), sendo necessário a atualização conforme a legislação atual (ANA, 2020).

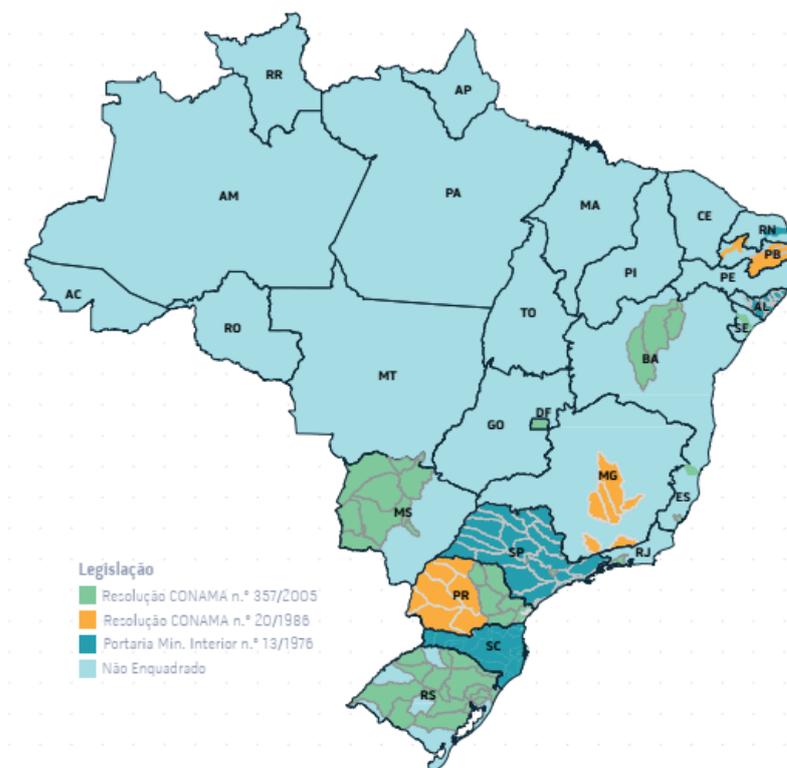


Figura 1 - Conjuntura nacional do enquadramento dos corpos hídricos
Fonte: ANA (2019)

3.3 Legislação pertinente ao enquadramento de águas doces e sua evolução

A proteção e o enquadramento dos corpos d'água através de legislação teve início no estado de São Paulo pelo Decreto Estadual nº 24.806 de 1955, no qual define-se a classificação dos corpos d'água visando a proteção destes. Posteriormente, foi estabelecido o primeiro ato normativo em âmbito nacional, a Portaria nº 13, de 15 de janeiro de 1976, do Ministério do Interior, na qual classificou as águas doces de acordo com os usos preponderantes.

O CONAMA estabeleceu a primeiro ato normativo em relação ao enquadramento dos corpos hídricos através da resolução nº 20/1986 que trouxe maior abrangência ao classificar as águas doces, salobras e salinas, segundo os usos preponderantes com definição dos valores limites permitidos para cada parâmetro.

Na década de 1980 apesar da implementação dos Comitês Executivos de Bacias Hidrográficas, a participação da população era limitada ou não ocorria na tomada de decisão quanto a qualidade da água desejada para o uso preponderante, mas, com o estabelecimento da PNRH a população passou a ter maior participação e compreensão no processo de enquadramento.

A resolução CONAMA nº 357/2005, atualmente em vigor, define as diretrizes para o enquadramento, foi alterada pelas Resoluções nº 370, de 2006, nº 397, de 2008, nº 410, de 2009, e nº 430, de 2011 e complementada pela Resolução nº 393, de 2007. A Resolução CONAMA Nº 430/2011 dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes. Estas resoluções trazem a adição de novos parâmetros e a revisão de alguns valores máximos permitidos em relação a resolução nº 20/1986.

Com relação as águas doces superficiais a Resolução do Conama nº 357/05 dispõe, no capítulo II, a classificação dos corpos de água; e na seção I, artigo 4º, apresenta a classificação das águas doces em:

- I - Classe especial: águas destinadas ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção; à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
 - II - Classe 1: águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução do Conama no 274, de 2000; à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.
 - III - Classe 2: águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução do Conama nº 274, de 2000; à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; à aquicultura; e à atividade de pesca.
 - IV - Classe 3: águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; à irrigação de culturas
-

arbóreas, cerealíferas e forrageiras; à pesca amadora; à recreação de contato secundário; e à dessedentação de animais.

V - Classe 4: águas que podem ser destinadas à navegação; e à harmonia paisagística.

Para cada classe a CONAMA 357/2005 estabelece parâmetros físicos, químicos (orgânicos e inorgânicos) e biológicos de controle de qualidade, cujos números de parâmetros e seu limite variam quanto menor for a exigência de sua qualidade, exceto para as águas de classe especial deverá ser mantida as condições naturais do corpo de água. A Tabela 1 apresenta o número de parâmetros para cada classe de água doce.

Tabela 1 - Número de parâmetros para cada classe de água doce

	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Físicos	4	4	4	3
Químicos	93	93	66	4
Biológicos	3	3	3	-

Fonte: Adaptado da CONAMA 357/2005

Segundo Oliveira et al (2010) essa diversidade de parâmetros, a serem monitorados, representa um desafio para os órgãos gestores e pode inviabilizar a avaliação da qualidade da água, além, de que, pode englobar parâmetros sem relação causal com os corpos d'água dos trechos da bacia. É, então, necessária uma avaliação preliminar das condições da bacia, incluindo fontes de contaminação da água ou do leito do rio quando seco, visando reduzir o número de parâmetros de qualidade da água a serem analisados, para um conjunto capaz de representar a condição do corpo d'água, a custo acessível.

A resolução CONAMA nº 357/2005 também estabelece que os rios enquadrados que apresentam a qualidade da água em desconformidade com o uso pretendido, sejam definidas metas obrigatórias, intermediárias e final, para que seja alcançada a melhoria de qualidade, mas, é ressaltado que parâmetros podem exceder os limites estabelecidos visto as condições naturais da bacia hidrográfica.

A resolução CNRH 91/2008 dispõe de procedimentos para que o enquadramento dos corpos d'água seja efetivado e estabelece metas progressivas buscando promover e avançar a articulação com os demais instrumentos da Política Nacional dos Recursos Hídricos.

Apesar das legislações estabelecidas permitirem o avanço da gestão das águas, a evolução até os atos normativos atuais estabelecidos ocorreu de forma lenta, isto pode estar associado a dificuldade de adaptação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) com as novas políticas de descentralização e participação na gestão dos recursos hídricos (ANA, 2019).

Como citado pela ANA (2020) o enquadramento enquanto instrumento de planejamento, deve ser orientado por três olhares (Figura 2): i) a constatação da realidade atual dos corpos hídricos - **o rio que temos**; ii) o conhecimento da visão da sociedade sobre o futuro que deseja para esses corpos hídricos - **o rio que queremos**; e iii) a pactuação da situação possível de ser mantida ou alcançada, levando em conta os limites técnicos, sociais e econômicos para o alcance de metas de qualidade para determinado corpo hídrico, em um horizonte de tempo estabelecido - **o rio que podemos ter**.



Figura 2 - Olhares do Enquadramento
Fonte: ANA (2020)

A Resolução CNRH nº 91 de 2008 estabelece procedimentos gerais para o enquadramento de corpos d'água superficiais e subterrâneos, tendo como referências básicas: i) a bacia hidrográfica como unidade de gestão; e ii) os usos preponderantes mais restritivos. Além, disso, a ANA (2020) apresenta um fluxograma de elaboração de proposta de enquadramento envolvendo 5 passos (Figura 3): i) diagnóstico; ii) prognóstico; iii) alternativas de enquadramento; iv) análise do comitê de conselho e v) programa para efetivação. Verifica-se que a seleção de parâmetros prioritários é uma das etapas do prognóstico.

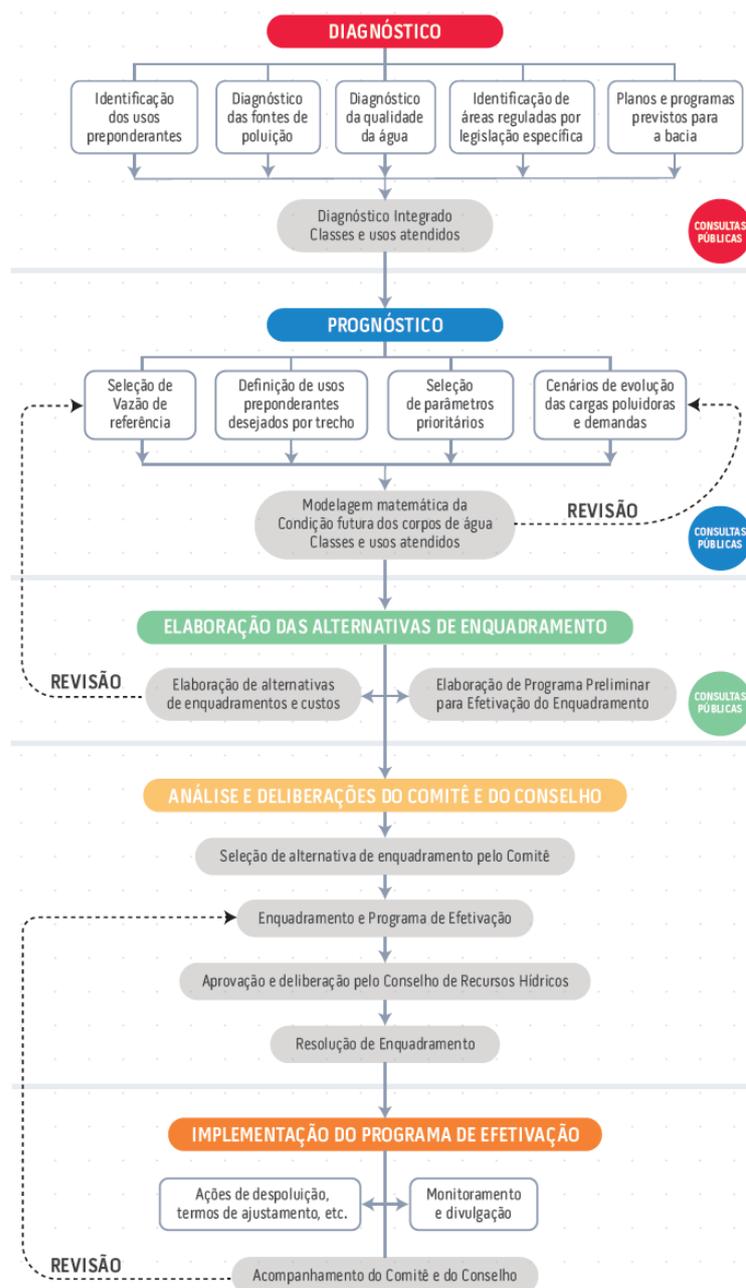


Figura 3 - Fluxograma da implementação do processo de enquadramento de corpos de água
Fonte: ANA (2020)

3.4 Interferência do uso e ocupação do solo na qualidade dos corpos d'água

O rápido crescimento urbano que ocorreu nas últimas décadas modificou estruturas sociais, econômicas e ambientais, sendo necessário o desenvolvimento de estratégias devido aos impactos gerados para que o alcance das metas de sustentabilidade não fosse comprometido.

As modificações antrópicas e as transições de uso e ocupação do solo, como, por exemplo, a supressão de cobertura vegetal para desenvolvimento de áreas

agrícolas são práticas que interferem na qualidade da água dos recursos hídricos. Os herbicidas e pesticidas que podem ser utilizados no manejo do solo são arrastados ao corpo d'água aumentando a concentração de poluentes (MENESES *et al.*, 2015).

Bacias hidrográficas onde há currais e atividades agrícolas, o escoamento de águas contaminadas até o corpo hídrico aumenta a concentração de fósforo, DBO, amônio, sedimentos em suspensão devido à presença de dejetos animais, resíduos de laticínios e efluentes de silagem (HARRISON *et al.*, 2019).

A complexidade e variabilidade da poluição difusa, pode ocasionar impactos como eutrofização, a redução do potencial recreativo, os riscos à saúde humana, aumento dos custos para tratamento da água, sendo necessários mais recursos financeiros para a melhoria da qualidade da água e alcance das metas de enquadramento (HARRISON *et al.*, 2019).

Portanto, entender sob que condições e relações essas fontes influenciam na qualidade da água, e assim, poder desenvolver políticas específicas e melhores práticas de gestão pode reduzir a poluição difusa com foco no controle e mitigação, sendo então os recursos destinados para as campanhas de monitoramento e efetivação do enquadramento (OKUMAH *et al.*, 2018).

3.5 Parâmetros de qualidade da água e controle de poluição de rios

A seleção de parâmetros prioritários se faz necessária, visto que, o monitoramento dos diversos parâmetros estabelecidos na legislação vigente pode ser inviável devido às limitações técnicas e financeiras (ANA, 2020).

Na resolução CNRH 91/2008 é estabelecido que o conjunto de parâmetros de qualidade devem ser selecionados de acordo com os usos pretendidos dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, considerando as avaliações de diagnóstico e prognóstico realizadas.

Segundo Costa e Conejo (2009), os parâmetros de qualidade da água que estão em desacordo com os valores estabelecidos pela resolução CONAMA Nº 357/2005 deverão ser monitorados no qual o corpo d'água foi enquadrado e acrescentam que deve ser evitado o uso de índices de qualidade que agregam um conjunto de parâmetros em valor único porque não corresponde com as classes de enquadramento.

Segundo Brites (2010), os parâmetros prioritários podem ser alterados após a identificação e a quantificação das cargas poluidoras na fase de diagnóstico,

incluindo as fontes difusas para melhor estimativa do nível de poluição do corpo hídrico.

Oliveira *et al.* (2010) perceberam que um número reduzido de parâmetros pode auxiliar no planejamento estratégico e facilitar o monitoramento, então, as metas de qualidade a serem alcançadas podem ser mais bem definidas para o enquadramento do corpo hídrico de interesse.

A determinação de parâmetros representativos de qualidade da água pode variar para cada corpo hídrico a ser enquadrado devido aos usos e ocupação do solo que afetam a qualidade dos rios urbanos devido à presença de poluentes nos efluentes que são lançados em que a carga e concentração das substâncias podem variar no tempo e espaço (ZEINALZADEH; REZAEI, 2017).

Então, as características naturais e antrópicas da bacia e as fontes de poluição são importantes fatores que se relacionam diretamente com a qualidade das águas e, portanto, norteadores na determinação do conjunto de parâmetros.

Por exemplo, bacias hidrográficas com presença de gipsita podem aumentar as concentrações dos íons de cálcio (Ca^{2+}) e sulfatos (SO_4^{2-}). Já áreas onde são desenvolvidas atividades agrícolas podem resultar em concentrações elevadas de nitrato (NO_3^-) e fosfato (PO_4^{3-}).

Despejo de esgoto doméstico pontuais ou difusa acentuam a poluição dos corpos de água pelo lançamento de matéria orgânica medida como DBO (demanda bioquímica de oxigênio) sendo necessária medidas de controle efetivas para a melhoria da qualidade da água, e mesmo que Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) alcancem a eficiência esperada, o efluente lançado no corpo hídrico ainda pode conter substâncias prejudiciais aos corpos hídricos e, a carga e concentração pode variar no tempo e espaço (VON SPERLING, 2014; FONSECA; TIBIRIÇÁ, 2021).

Nesse sentido a DQO (Demanda Química de oxigênio) pode ser um indicativo da matéria orgânica total presente no corpo de água, e embora a DQO não possua limites estabelecidos na CONAMA 357/2005, é possível fazer uma relação DQO/DBO para obter conclusões sobre biodegradabilidade da matéria orgânica presente na água e para os despejos o método de tratamento a ser empregado. Sendo que para valores superiores a 4, a fração inerte é elevada e indica a necessidade de tratamento físico-químico (Quadro 1) (VON SPERLING, 2014).

Quadro 1 - Relação DQO/DBO₅

- Relação *DQO/DBO₅ baixa* (< cerca de 2,5):
 - fração biodegradável é elevada
 - indicação para tratamento biológico
- Relação *DQO/DBO₅ intermediária* (entre cerca de 2,5 e 4,0):
 - fração biodegradável não é elevada
 - estudos de tratabilidade para verificar viabilidade do tratamento biológico
- Relação *DQO/DBO₅ alta* (> cerca de 4,0):
 - fração inerte (não biodegradável) é elevada
 - possível indicação para tratamento físico-químico

Fonte: Von Sperling (2014)

Por outro lado, substâncias como cádmio (Cd), mercúrio (Hg), chumbo (Pb), cromo (Cr), são prejudiciais à saúde pública e difíceis de remover da água e efluentes sendo necessário mais de um tratamento, além disso, fatores climáticos podem interferir na concentração desses elementos na água sendo necessário o monitoramento frequente (ELZWAYIE *et al.*, 2017; LIMA *et al.*, 2017).

A Diretiva Quadro da Água (DQA), implementada em toda União Europeia em 2000, representa um marco no cenário internacional visto que busca o bom estado da água (TEODOSIU *et al.*, 2003). Porém, foi percebido a necessidade de revisão dos parâmetros prioritários que são apresentados na Diretiva n.º 2013/39/UE que altera as Diretivas n.º 2000/60/CE, e n.º 2008/105/CE.

Por outro lado, a Diretiva definiu que alguns parâmetros podem ser monitorados com menor frequência em comparação aos parâmetros prioritários e estabelecida uma lista de vigilância que contém no máximo dez parâmetros em que cada Estado-Membro deve monitorar no período mínimo de doze meses. Então, as Diretivas supracitadas representam um modelo a ser seguido por outros países, como o Brasil.

Para os usos que podem interferir significativamente na qualidade da água é necessária outorga dos direitos de uso de recursos hídricos como instrumento de controle e proteção. Nesse sentido, para condições de lançamento de efluentes o estudo de autodepuração do corpo hídrico precisa ser elaborado, para identificar qual a capacidade de diluição do efluente, para que a classe que enquadramento seja respeitada

3.6 Autodepuração de corpos de água

O fenômeno da autodepuração que ocorre em corpos de água compreende um conjunto de processos que envolve a degradação, sedimentação, dispersão, diluição, reaeração e fotossíntese. Nesse sentido, o rio estabelece as condições iniciais ao assimilar a matéria orgânica (DBO) e o oxigênio dissolvido (RODRIGUES, 2005).

A poluição que ocorre nos rios compromete os seus ecossistemas que em condições perturbadas apresenta baixa diversidade de espécies, visto que, somente aquelas bem adaptadas às novas condições ambientais sobrevivem (VON SPERLING, 2014).

Então, o processo de autodepuração é representativo de um fenômeno de sucessão ecológica. Quando o equilíbrio é alcançado em condições locais, as substituições de espécies que ocorriam atingem a estabilidade (VON SPERLING, 2014).

Para compreender como ocorre o processo vários modelos de qualidade de água foram desenvolvidos, sendo o modelo clássico de OD e DBO, de Streeter e Phelps, em 1925. A partir deste, foram desenvolvidos os modelos de Camp (1954) e QUAL2E pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA)

O modelo de Streeter e Phelps é representado por:

$$D = \frac{K_1 L_0}{K_2 - K_1} \times (e^{-K_1 t} - e^{-K_2 t}) + D_0 e^{-K_2 t} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$OD = C_s - \left[\frac{K_1 L_0}{K_2 - K_1} \times (e^{-K_1 t} - e^{-K_2 t}) + (C_s - C_0) e^{-K_2 t} \right] \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

k_1 sendo a constante de velocidade de degradação de matéria orgânica

k_2 o coeficiente de reaeração,

C_s concentração de saturação de oxigênio na água,

C_0 é a concentração de oxigênio na zona de mistura

L_0 concentração de DBO na zona de mistura.

Outra equação importante a equação utilizada para a aplicação do modelo é a da diluição do efluente, que é aplicada para o cálculo de C_0 e L_0 . A equação de diluição é obtida quando se aplica a equação de continuidade em um volume de controle desprezível e partindo do pressuposto de que ocorrerá uma mistura completa de poluente na seção transversal no local do despejo do efluente, como mostra a Equação 3:

$$C_j = \frac{Q_M C_M + Q_E C_E}{Q_E + C_M} \quad (\text{Eq. 2})$$

Sendo:

C_M, C_E, C_j as concentrações (de OD e DBO), a montante do ponto de lançamento, do efluente descartado e a jusante do ponto de lançamento, respectivamente. E

Q_M, Q_E as vazões a montante do ponto de lançamento e do efluente, como ilustrado na Figura 4.

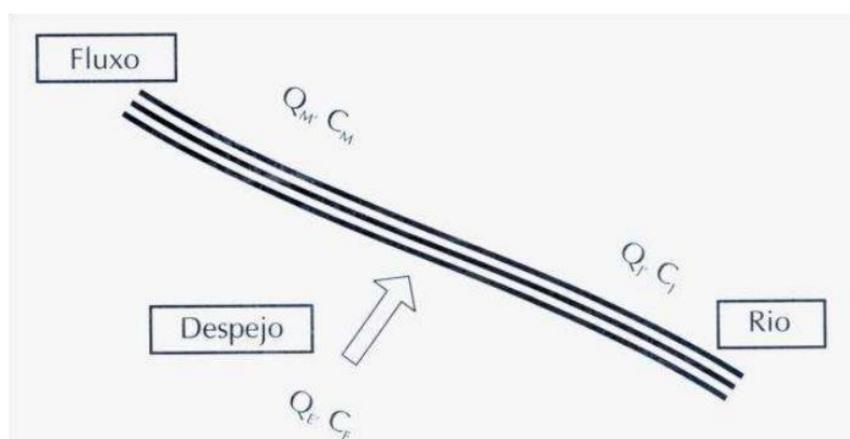


Figura 4 - Processo de diluição do efluente lançado no rio
Fonte: Braga et al. (2005)

3.7 Índice de conformidade de enquadramento

O ICE foi desenvolvido pelo (CCME, 2001) Canadian Council of Ministers of the Environment: Water Quality Guidelines. O objetivo é fornecer uma ferramenta para avaliação de dados de qualidade das águas, incorporando os parâmetros mais convenientes (no mínimo 4) de cada instituição e com facilidade de entendimento.

É utilizado pela Agência Nacional das Águas para avaliar o cumprimento das metas de qualidade das águas dos rios brasileiros definidas pelas classes de uso em que estão enquadrados (ANA, 2019).

É composto por três fatores:

Fator 1: Abrangência das desconformidades,

Fator 2: Frequência da desconformidade,

Fator 3: Amplitude da conformidade.

Fator 1 - abrangência das desconformidades

Representa o **número de parâmetros** que violaram a meta de qualidade ou limite legal pelo menos uma vez no período de observação, dado pela seguinte equação 4:

$$F1 = \left(\frac{\text{Número de parâmetros que não alcançaram a meta}}{\text{Número total de parâmetros}} \right) \times 100 \quad (\text{Eq. 3})$$

Fator 2 – frequência da desconformidade

Representa a **porcentagem de vezes** que o parâmetro esteve em desconformidade em relação ao número de observações, dado pela equação:

$$F2 = \left(\frac{\text{Número de medições que não alcançaram a meta}}{\text{Número total de parâmetros}} \right) \times 100 \quad (\text{Eq. 4})$$

Fator 3 – amplitude da desconformidade

Representa a extensão da não conformidade legal, isto é, a diferença entre o valor medido e a meta, sendo calculado em três etapas:

I) O número de vezes no qual a concentração individual é maior que o limite máximo da classe (ou menor que, quando o objetivo é um mínimo);

II) O número total de medições individuais que está em desacordo com a meta, é calculado somando as variações individuais em relação aos limites legais e dividindo pelo número total de medições;

III) O valor de F3 é calculado pela soma normalizada das variações (snv) em relação aos limites legais, sendo que estas são reduzidas a uma variável entre 0 e 100:

$$F3 = \left(\frac{snv}{0,01 \times snv + 0,01} \right) \quad (\text{Eq. 5})$$

A fórmula de cálculo do ICE é dada pela Equação 7:

$$ICE = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1,732} \right) \quad (\text{Eq. 7})$$

O fator de 1,732 normaliza os valores resultantes para a faixa entre 0 e 100. Quanto **mais próximo de zero**, mais as metas de qualidade do enquadramento estão sendo **desrespeitadas**, seja pela abrangência, pela frequência ou pela amplitude das violações.

O CCME estabelece faixas de valores para este índice, as quais caracterizem o cumprimento das metas de qualidade das águas definidas pelo enquadramento, conforme o Quadro 2.

Quadro 2 - Faixas de classificação do ICE

95 ≤ ICE ≤ 100 Excelente	a qualidade da água é protegida, ausência de ameaça ou impacto virtual; condições muito perto dos níveis naturais. Estes valores de índice podem somente ser obtidos se todas as medidas estiverem dentro dos objetivos durante todo o tempo.
80 ≤ ICE < 94 Bom	a qualidade de água é protegida, apresenta somente um grau pequeno de ameaça ou impacto; as circunstâncias ocorrem raramente nos níveis naturais ou desejáveis
65 ≤ ICE < 79 Bom	a qualidade de água geralmente é protegida, mas ameaçada ocasionalmente ou danificada; as circunstâncias ocorrem às vezes nos níveis naturais ou desejáveis.
45 < ICE < 64 Não conforme	a qualidade de água frequentemente é ameaçada ou danificada; as circunstâncias ocorrem frequentemente nos níveis naturais ou desejáveis.
0 < ICE < 44 Ruim	a qualidade de água quase sempre é ameaçada ou danificada; as circunstâncias ocorrem geralmente nos níveis naturais ou desejáveis

Fonte: CCME (2001)

Posteriormente, Amaro (2009) avaliou a adequação do ICE nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, no estado de São Paulo, e, baseada no CCME, propôs uma reformulação das faixas de classificação visando adequar as análises em relação ao enquadramento dos corpos hídricos, como apresentado no Quadro

Quadro 3 - Faixas de classificação do ICE

80 ≤ ICE ≤ 100 Conforme	A maioria ou todas as medições estão dentro dos padrões de qualidade definidos pelo enquadramento.
45 ≤ ICE < 80 Afastado	As medições estão frequentemente em desacordo com os padrões de qualidade definidos pelo enquadramento.
ICE < 45 Não conforme	A maioria ou a totalidade das medições não obedece aos limites da classe de enquadramento.

Fonte: Amaro (2009)

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

A bacia hidrográfica do Riacho Doce possui uma área aproximadamente de 15,8 km² e está inserida no município de Maceió, faz confluência com o Oceano Atlântico e, pertence a Região Hidrográfica do Pratagy (Figura 5).

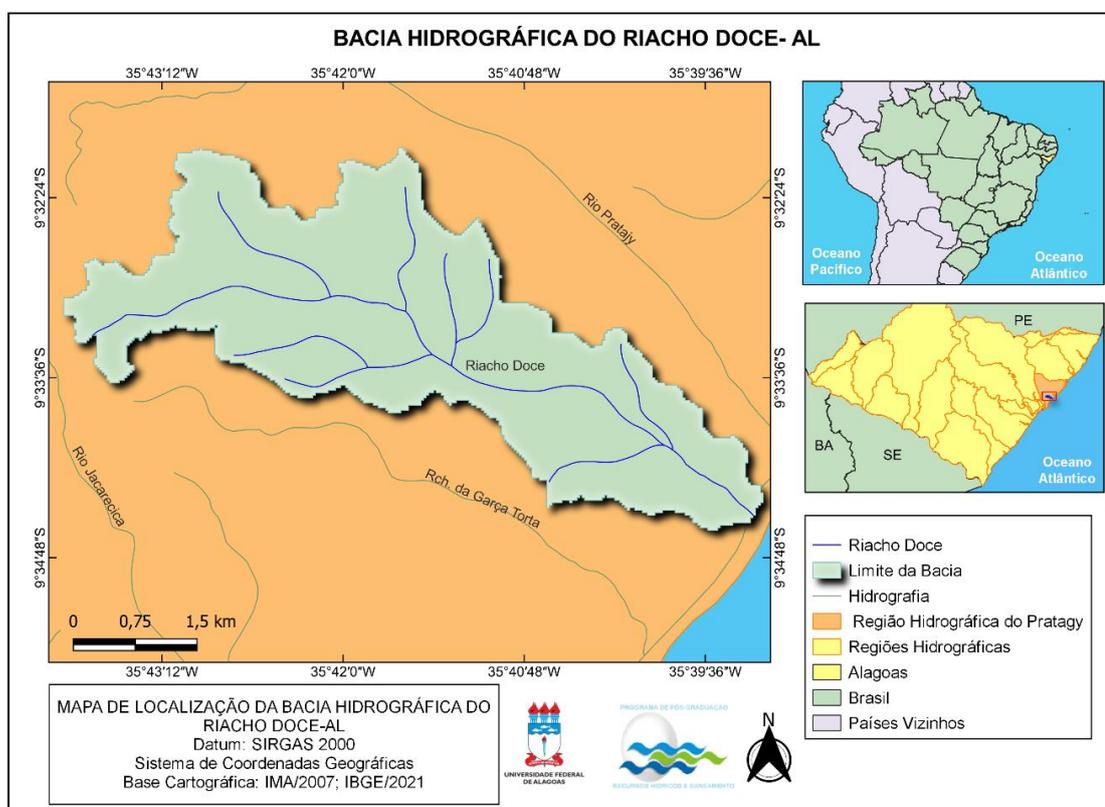


Figura 5 - Processo de diluição do efluente lançado no rio
Fonte: Autor (2022)

De acordo com a classificação de Köppen a Região Hidrográfica do Pratagy o clima se caracteriza como tropical quente e úmido do tipo As, com ocorrência de precipitação durante as estações do outono e inverno com média anual que varia entre 1800 e 2100 mm.

Na Bacia Hidrográfica do Riacho Doce estão inseridos parcialmente os bairros Benedito Bentes, Riacho Doce e Garça Torta, sendo a população total de 115.941 habitantes.

Nesse corpo hídrico é despejado lixiviado tratado proveniente do CTR de Maceió. O Plano Diretor da Região Hidrográfica Pratygy (2006) estima a carga de DBO em 308,05 kg DBO/dia para um cenário desejável em 2025 devido ao lançamento de efluente gerado no aterro.

4.2 Síntese metodológica

O fluxograma da Figura 6 apresenta a síntese metodológica relacionando os objetivos com a metodologia e os resultados obtidos neste trabalho. Para caracterização da qualidade atual da água, os dados de monitoramento realizados pelos órgãos gestores de recursos hídricos e de meio ambiente são a referência para identificar as conformidades e desconformidades com os usos existentes ou pretendidos.

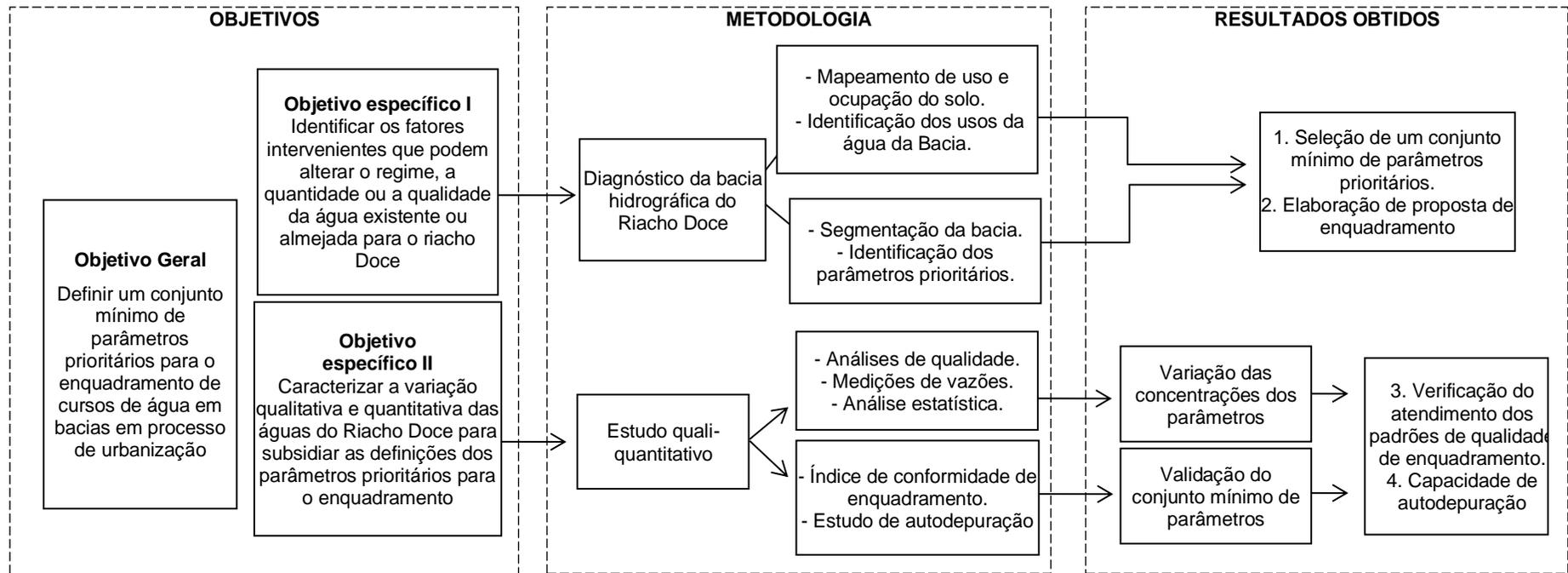


Figura 6 - Síntese metodológica para obtenção dos parâmetros prioritários de enquadramento

4.3 Diagnóstico da bacia hidrográfica

A caracterização da bacia hidrográfica, etapa que deve ser abordada na fase diagnóstico, é necessária para a definição do conjunto de parâmetros mínimos prioritários para uma proposta de enquadramento como está previsto na resolução CNRH 91/2008. Além disso, a avaliação das condições naturais da bacia hidrográfica é um fator que deve ser considerado, pois, os valores limites dos parâmetros podem exceder devido a estas condições.

Assim, no diagnóstico foram levantadas as principais informações socioeconômicas e ambientais, de uso e ocupação do solo, e do uso da água da bacia hidrográfica do Riacho Doce.

As informações socioeconômicas foram levantadas a partir de dados do IBGE, destacando-se aspectos de desenvolvimento econômico. Para os aspectos ambientais foram levantados os principais tipos de poluição de água, obtidas no Plano Diretor da Região Hidrográfica do Pratagy – PDRHP e complementadas com visitas de campo com registros fotográficos.

4.3.1 Ocupação e uso do solo e da água

Para caracterização do uso e ocupação do solo, foram utilizadas imagens adquiridas no banco de dados disponível do MapBiomas. O MapBiomas é uma rede colaborativa, formada por ONGs, universidades e startups de tecnologia, que revela as transformações do território brasileiro (MapBiomas, 2022).

Para elaboração dos mapas, foram selecionadas imagens de formato matricial (pixel de 30x30m) do ano 2020, e utilizado o software QGIS versão 3.8.

Para identificação do uso formal da água existente na bacia foram levantadas junto a SEMARHR/AL (Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos) as outorgas solicitadas e concedidas. Para o uso informal da água foram realizadas visitas de campo para identificação desse uso pela população ribeirinha. Foram buscadas, também, denúncias e reportagens publicadas na imprensa local sobre ocorrências ou denúncias de poluição nas águas da bacia do Riacho Doce.

4.3.2 Proposta de segmentação do riacho

A segmentação da drenagem natural do riacho é desejável para facilitar o trabalho da proposta de parâmetros de enquadramento em função dos usos

preponderantes, da atual qualidade da água, dos fatores intervenientes no processo de poluição, entre outros.

Assim, após o diagnóstico foi feita uma proposta de segmentação do riacho em trechos, levando em consideração as informações coletadas em trabalhos já publicados. A segmentação final e seu mapeamento ocorreram após os trabalhos de campo, onde se verificou a adequação da proposta inicial com a situação observada no local. As delimitações dos trechos foram fixadas considerando os seguintes critérios:

- Limites de sub-bacia;
- Confluência de cursos de água;
- Derivações e lançamentos considerados significativos; e
- Uso e ocupação do solo.

Para cada segmento do trecho do riacho foi proposto um enquadramento levando-se em consideração o uso preponderante identificado no diagnóstico e avaliado o conjunto mínimo de parâmetros a ser deve ser aplicado, tendo como referência os parâmetros citados pela Resolução 357/2005 do CONAMA e os custos necessários na efetivação do monitoramento das questões relevantes da bacia.

4.3.3 Identificação dos parâmetros prioritários

Inicialmente foram levantados todos os parâmetros de qualidade constantes na Resolução 357/2005 para todas as classes de águas doce. Esse levantamento foi encaminhado para diferentes laboratórios de análises ambientais (físico-químicas e biológicas) locais e circunvizinhos, para identificar quais parâmetros são realizados na localidade, quais são necessários enviar para fora do estado. Esses dados foram tabelados e analisados.

Em seguida foi feito um levantamento na literatura a respeito de enquadramento e monitoramento qualitativo de corpos de água, a fim de identificar os parâmetros mais aplicados nesses estudos.

A análise preliminar dos parâmetros de qualidade foi efetuada a partir destes dados levantados correlacionando-os ao diagnóstico da bacia, de suas principais fontes poluidoras, do uso e ocupação do solo e do uso preponderante de suas águas.

4.4 Estudo quali-quantitativo

Para o estudo quali-quantitativo foram selecionados 5 pontos na bacia do Riacho Doce:

- No exutório da bacia (P1),
- Num ponto intermediário da bacia (P2),
- A montante (P4) e jusante (P3) em relação ao ponto de lançamento de lixiviado tratado na CTR de Maceió,
- A jusante do lançamento do efluente tratado da ETE (P5) operada pela concessionária Saneamento Alta Maceió (SANAMA), que lança o esgoto tratado no riacho Grota da Esperança, um afluente na cabeceira do Riacho Doce.

A Tabela 2 apresenta suas coordenadas geográficas e a Figura 7 ilustra a localização dos pontos estudados.

Tabela 2 - Coordenadas dos pontos estudados

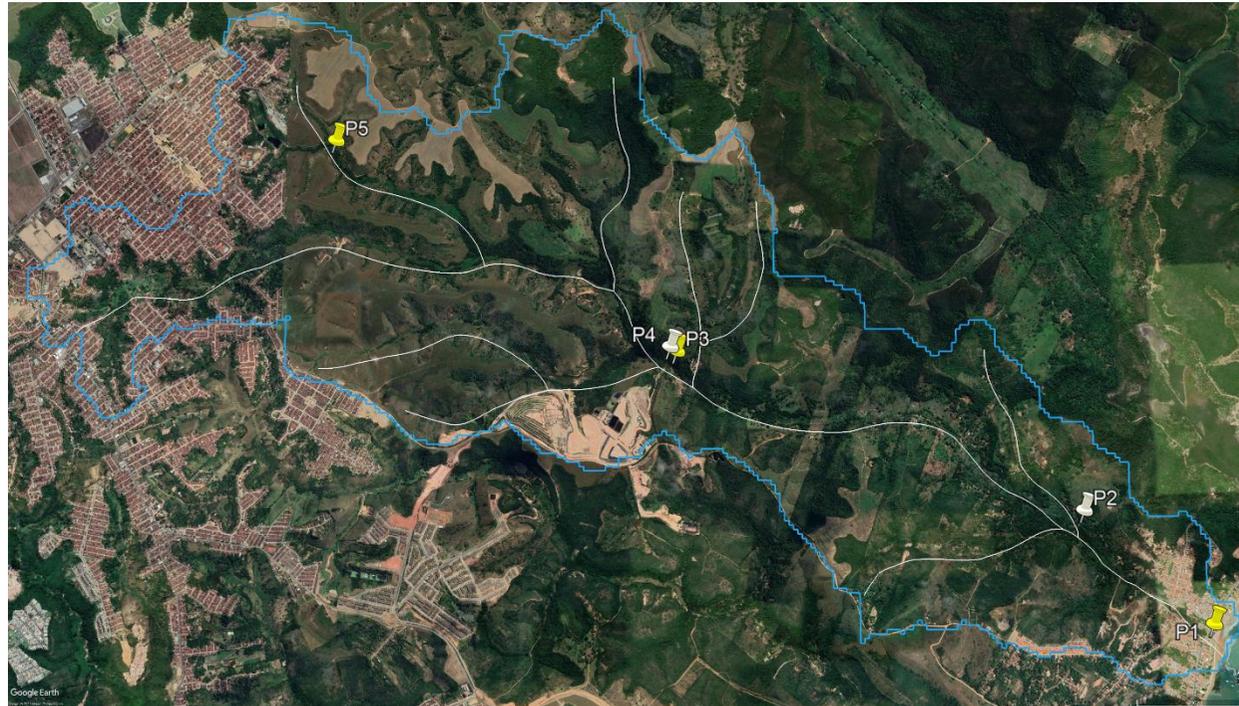
Ponto	Local	Coordenada leste	Coordenada Norte
P5	Riacho da Esperança Jusante descarte da ETE SANAMA	202242.92	8943894.57
P4	Riacho Doce Montante descarte da ETE CTR	204773.32	8942391.44
P3	Riacho Doce Jusante descarte da ETE do CTR	204727.20	8942420.00
P2	Ponto intermediário	207619.94	8941315.15
P1	Exutório do Riacho Doce	208502.65	8940551.29

Fonte: Autor (2022)

O estudo qualitativo foi realizado nos 5 pontos e o quantitativo, enquanto o quantitativo em apenas 3 pontos: P1, P3 e P5.

Vale salientar, que embora existam dois pontos a jusante do ponto de lançamento de efluentes (esgoto tratado e lixiviado tratado), as campanhas de medição de vazão foram feitas fora do horário de lançamento de efluentes, não influenciando na medição de vazão.

A Figura 7 apresenta os pontos de estudo. Os pontos em amarelo indicam onde foram realizadas as medições de vazão e coletas para amostras de qualidade da água, e os pontos em branco apenas coletas de amostras de água.



Sub-bacia Grotta da Esperança – Jusante do lançamento de efluente tratado SANAMA (P5)



Bacia do Riacho Doce – Montante do Lixiviado tratado (P4)



Bacia do Riacho Doce – Jusante do Lixiviado tratado (P3)



Bacia do Riacho Doce (P2)



Foz da Bacia do Riacho Doce (P1)

Figura 7 - Pontos de coleta de amostras e água e de medição de vazão
Fonte: Autor (2022)

4.4.1 Medição de vazão

O estudo hidrológico foi feito por meio de medições de vazões em três pontos ao longo da bacia (P1: foz do Riacho doce, P3: do Riacho Doce e P5: Riacho da grota da Esperança). O método de determinação da vazão foi o de molinete que consiste em:

- Determinar a batimetria da seção – posicionaram-se os piquetes nas margens da seção escolhida; amarrou-se aos piquetes a corda graduada em 20 cm sendo, portanto, elaborada a batimetria em cada ponto da seção.
- Medir a velocidade de rotação do molinete (velocidade do escoamento) – em cada vertical da seção, utilizou-se o equipamento medidor FP-111 que determina o número de rotações de sua hélice em um intervalo de tempo escolhido, que no caso foram 30 segundos. Para cada vertical, mediram-se, quando possível, as rotações do molinete aos 20%, 60% e aos 80% da profundidade.

4.4.2 Condição da qualidade da água

Foram realizados estudos qualitativos com dados secundários e primários para caracterização das águas, considerando em três situações:

- 1) No ponto de lançamento de efluente tratado pela SANAMA (P5), no período de jan/2018 a dez/2020, com dados fornecidos pela SANAMA;
- 2) No ponto a montante (P4) e jusante (P3) de lançamento de lixiviado tratado da ETE da CTR, de jan/2019 a dez/2021, com dados fornecidos pela V2 Ambiental;
- 3) Nos 5 pontos estudados na bacia para o período de nov/2021 e mai/2022, com dados primários levantados ao longo da pesquisa.

Dados primários

Como dados primários, foram realizadas campanhas quinzenais, no período de nov/21 a maio/22, de amostragem de lixiviado pré-tratado e tratado na CTR de Maceió, do esgoto bruto afluente a ETE da SANAMA, e das águas do Riacho Doce em cinco pontos, para avaliação da qualidade da água.

Os pontos P5, P2, P1, foram pontos de monitoramento adicionados em fevereiro de 2022 para melhor representação da Bacia do Riacho Doce, nesse sentido, a quantidade dos dados nesses pontos durante o período de estiagem foi menor.

Foram coletadas amostras de 2,0 L de água nos cinco pontos ao longo do riacho, a 10 cm de profundidade a partir da superfície. Para coleta foram utilizados frascos plásticos, lavados 3 vezes com a água a ser amostrada, para ambientá-los, e depois de coletadas, as amostras foram preservadas em caixa térmica e transportadas imediatamente ao laboratório.

Para cada amostra coletada foram realizadas medidas de potencial hidrogeniônico (pH), temperatura, oxigênio dissolvido (OD), demanda química de oxigênio (DQO), demanda biológica de oxigênio (DBO_{5,20}), sulfato (SO₄²⁻), fosfato (PO₄⁺), cloreto (CL⁻), cor (C), turbidez (T), alcalinidade total (AT), nitrito (NO₂), nitrato (NO₃) e nitrogênio amoniacal (NH₄⁺).

As medições de pH, temperatura e oxigênio dissolvido foram realizadas no próprio ponto de coleta, por meio de equipamentos de medição portáteis levados ao campo. As demais análises foram realizadas no laboratório de Saneamento Ambiental (LSA), localizado no Centro de Tecnologias (CTEC) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) seguindo o manual do Laboratório de Processos Biológicos (Métodos Analíticos Aplicados de Processos Biológicos de Tratamento de Águas Residuárias) – LPB, da EESC/USP (2021). Os dados obtidos foram comparados com os valores recomendados pela Resolução CONAMA nº 357/05, referente a classe do trecho do rio sugerido no diagnóstico.

Foi feita, também, avaliação da balneabilidade do riacho, através do exame bacteriológico coliformes termotolerantes, utilizando a técnica do colilert descrita no "Standard Methods for the Examination of the Water and Wastewater" (APHA, 2004), com amostras de água coletadas nos pontos P1, P3, P4 e P5, durante o mesmo período das análises físico-químicas. Os resultados obtidos classificados em próprio ou impróprio conforme Resolução CONAMA nº 274/2000.

Dados secundários

Como dados secundários foram analisados dados passados de qualidade da água e de efluentes, referente aos anos de 2018 a 2022 em dois pontos: P5 e P3.

- P5 – dados da qualidade de esgoto sanitário tratado da ETE da SANAMA e do riacho da Grota da Esperança, fornecidos pela operadora da ETE, a SANAMA.
- P4 e P3 – dados da qualidade do lixiviado tratado da CTR de Maceió e do Riacho Doce, fornecidos pela operadora da CTR de Maceió, a V2 Ambiental.

A Tabela 3 sintetiza o levantamento de dados primários e secundários de qualidade das águas e efluentes.

Tabela 3 - Tabela síntese do levantamento de dados primários e secundários

PARÂMETROS	RIACHO DOCE					LIXIVIADO	ESGOTO
	P1	P2	P3	P4	P5		
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)					S	P/S	P/S
Cor verdadeira (uC)	P	P	P/S	P/S	P	P/S	P/S
Turbidez (NTU)	P/S		P/S	P/S	P	P/S	P/S
Alumínio dissolvido (mg/L)			S	S			S
Arsênio total (mg/L)			S	S		S	
Bário total (mg/L)			S	S			S
Berílio (mg/L)							S
Boro Total (mg/L)						S	S
Cádmio total (mg/L)			S	S		S	S
Cobalto total (mg/L)						S	S
Chumbo total (mg/L)						S	S
Cobre dissolvido (mg/L)			S	S		S	S
Cromo total (mg/L)			S	S		S	S
Ferro dissolvido (mg/L)						P/S	P/S
Lítio total (mg/L)			S	S			S
Manganês total (mg/L)	P		P/S	P/S	P	P/S	P/S
Mercurio total (mg/L)			S	S		S	
Níquel total (mg/L)			S	S		S	S
Tálio total (mg/L)							S
Vanádio total (mg/L)							S
Prata total (mg/L)						S	S
Selênio total (mg/L)						S	S
Urânio total (mg/L)							S
Zinco total (mg/L)						S	S
Fluoreto Total (mg/L)						S	S
Sulfetos (mg/L)						S	
Sulfato total (mg/L)	P/S		P/S	P/S	P	S	S
Cloreto total (mg/L)	P		P/S	P/S	P		S
Clorofila-a (µg/L)	S		S	S			
DBO (mg/L)	P/S	P	P/S	P/S	P	P/S	P/S
Oxigênio dissolvido (mg/L)	P/S	P	P/S	P/S	P		
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	P/S	P	P/S	P/S	P	P/S	P/S
Nitrito (mg/L)	P/S		P/S	P/S	P	P/S	P/S
Nitrato (mg/L)	P/S		P/S	P/S	P	P/S	P/S
Fósforo total (mg/L)	P/S	P	P/S	P/S	P	P/S	P/S
pH	P/S	P	P/S	P/S	P	P/S	P/S
Termotolerantes (NMP/100 mL)	S		S	S		S	S
E. Coli (NMP/100 mL)	P	P	P	P	P		P
Densidade cianobactérias (cel/mL)			S	S			
Benzeno (mg/L)						S	
Estireno (mg/L)						S	
Etilbenzeno (µg/L)						S	
Fenóis totais (mg/L)						S	
Tetracloroeto de Carbono (mg/L)						S	
Tolueno (µg/L)						S	
Tricloroeteno (mg/L)						S	
Xilenos (µg/L)						S	

P: Dados primários; S: Dados secundários

Fonte: Autor (2022)

4.4.3 Análises estatísticas

Para reunir e obter uma distribuição dos valores dos parâmetros físico-químicos e biológicos do atual estado da qualidade da água, foi aplicada análise estatística descritiva a partir do uso de diagramas de caixa (*boxplots*).

Segundo Triola (2008) para a construção de um diagrama de caixa é necessário obter os valores mínimo e máximo e os quartis, para ser possível identificar o centro, a dispersão, a distribuição de dados e *outliers* (valores extremos).

Para verificar a diferença de valores entre os períodos das estações seca e de chuva foi aplicada a metodologia utilizada por Passos (2018) em que são utilizados o teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov, a um nível de significância de 5%, para verificar se as amostras seguem uma distribuição normal ou não normal, e posteriormente será aplicado um teste específico, sendo o teste T para as amostras que seguem a distribuição paramétrica e o Teste U (Wilcoxon-Mann Whitney) para as amostras com distribuição não paramétrica.

Além disso, para divisão entre os períodos de estiagem e chuvoso foram utilizados dados de precipitação de 2021 disponibilizados pela V2 Ambiental (Figura 8). As análises foram realizadas através dos softwares Excel e Minitab versão *free trail*.

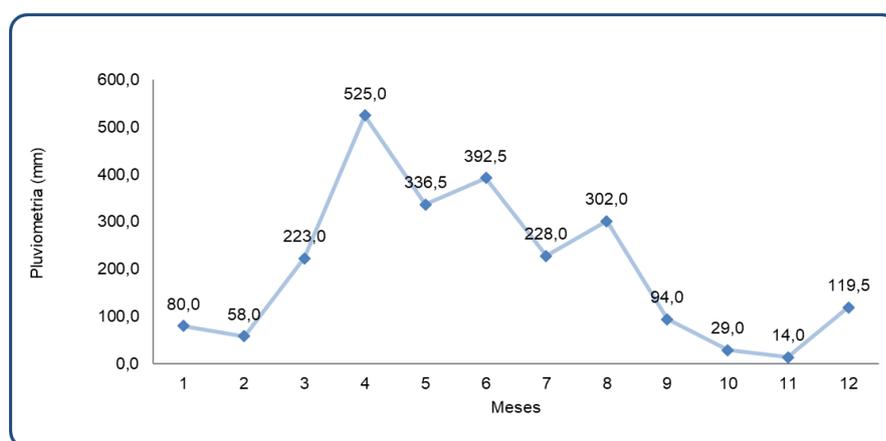


Figura 8 - Pluviometria em 2021
Fonte: V2 Ambiental (2021)

Vale salientar, que embora o ponto de medição de vazão ser a jusante do ponto de lançamento de efluente tratado, as campanhas de medição de vazão foram feitas fora do de lançamento de efluente, assim, eles não contribuíram para a vazão medida.

4.5 Verificação de atendimento aos padrões de qualidade de enquadramento

Esta etapa se deu pela objetividade das avaliações feitas a partir dos dados primários e secundários, levantados anteriormente, aplicando, inclusive, o índice de conformidade de enquadramento (ICE) com a classificação proposta por Amaro (2009). Nela, também, ocorreu um processo de discussão técnica que culminou na proposição final dos parâmetros prioritários para cada segmento do riacho.

Os levantamentos e as conclusões obtidas nas fases anteriores foram montados de forma a atender aos requisitos da Resolução nº 12/00 do CNRH.

4.5.1 Capacidade de autodepuração do corpo hídrico

A capacidade de autodepuração do Riacho Doce foi avaliada através da aplicação do modelo de Streeter e Phelps que descreve o decaimento do oxigênio dissolvido (OD) no corpo de água em seu percurso ao longo do tempo, através da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_{5,20}). Este modelo foi aplicado na bacia em dois pontos:

- P4: ponto de descarte do lixiviado tratado da ETE da CTR.
- P5: ponto de descarte do esgoto tratado da ETE SANAMA.

Foram consideradas duas condições: o efluente tratado e o efluente bruto, esse último para simular uma possível falha no sistema de tratamento.

Para aplicação do modelo de Streeter e Phelps são necessários dados do efluente lançado no corpo de água e dados de qualidade da água a montante do ponto de lançamento. Para os cálculos no ponto de descarte de lixiviado foram utilizados os dados primários levantados no mesmo período de medição de vazão, e para os do esgoto bruto usou dados primários e esgoto tratado secundários. Como critério de seleção foram avaliadas as médias do OD do período de estiagem e chuvoso e utilizado o valor mais crítico.

A Tabela 4 apresenta a relação de dados que foram levantados e suas respectivas fontes.

Tabela 4 - Dados utilizados para autodepuração

Efluente tratado		Água do riacho	
Parâmetro	Fonte	Parâmetro	Fonte
Vazão	Levantamento de campo	Vazão	Levantamento de campo
OD	Levantamento de campo	OD	Levantamento de campo
DBO	Levantamento de campo	DBO	Levantamento de campo
Temperatura	Levantamento de campo	Temperatura	Levantamento de campo
K1	Literatura	K2	Literatura
		OD saturação	Literatura em função da cota e da temperatura
		Profundidade	Levantamento de campo

Fonte: Autor (2022)

Foram estudadas também o efeito de diluição da matéria orgânica, medida como DBO, fósforo, nitrogênio amoniacal e coliformes termotolerantes, utilizando a equação de diluição, a jusante do ponto de lançamento visando a avaliar a vulnerabilidade do manancial a eutrofização. Tais cálculos foram realizados usando planilha Excel.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização do uso e ocupação do solo

Para caracterização do uso e ocupação foram identificadas as seguintes classes: formação florestal, pastagem, cana, agricultura, praia, área urbana, áreas não vegetadas e corpos hídricos (Figura 9). No Quadro 4, estão os valores aproximados de cada classe e suas respectivas áreas (km²).

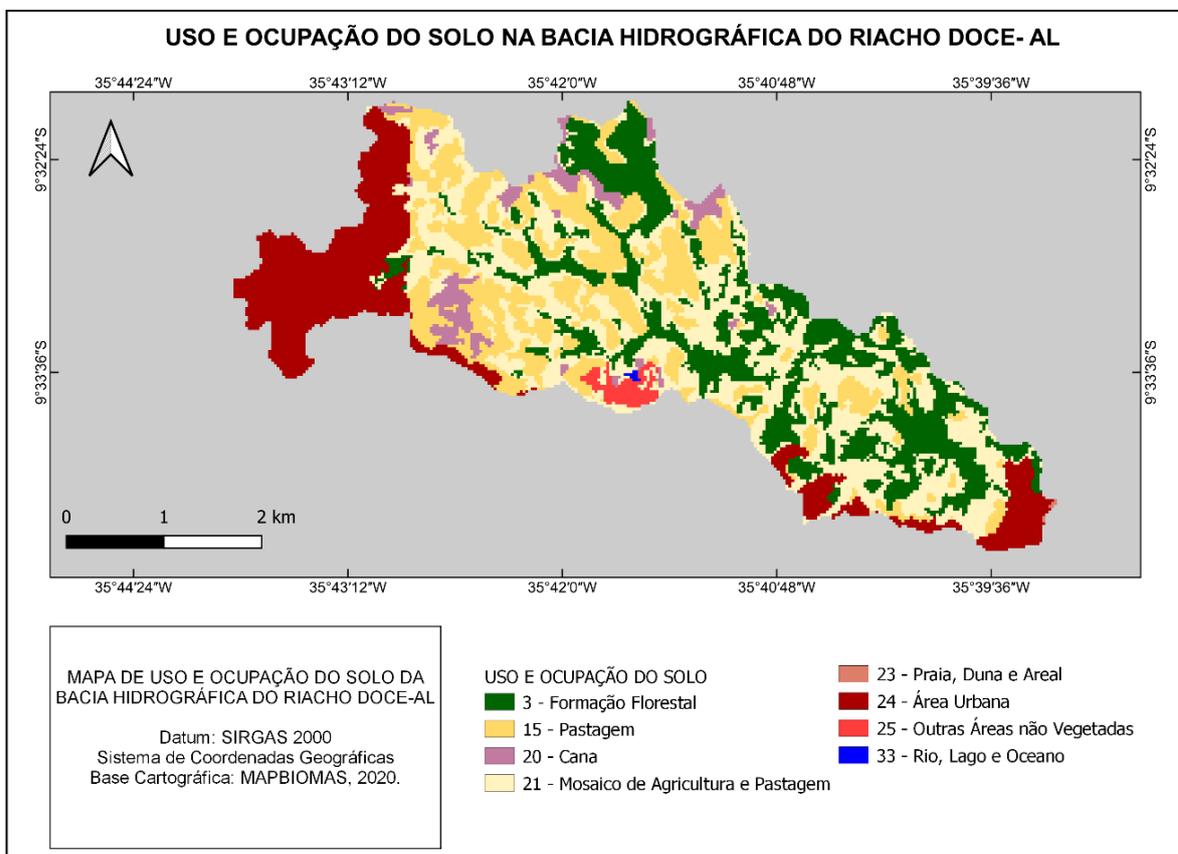


Figura 9 - Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica do Riacho Doce
Fonte: Autor (2022)

Quadro 4 - Caracterização de uso e ocupação do solo

N. CLASSE	COR	CLASSE	ÁREA (KM ²)	ÁREA (%)
3		Formação florestal	3,86	24,14%
15		Pastagem	3,58	22,38%
20		Cana	0,62	3,85%
21		Mosaico de agricultura e pastagem	4,84	30,30%
23		Praia, duna e areal	0,01	0,04%
24		Área urbana	2,88	18,05%
25		Outras áreas não vegetadas	0,19	1,17%
33		Rio, lago e oceano	0,01	0,07%
Área total			15,98	100,00%

Fonte: Autor (2022)

Ao analisar as classes, observa-se que as áreas destinadas a práticas agrícolas possuem maior domínio na Bacia do Riacho Doce correspondendo a aproximadamente 56,5%. A formação florestal corresponde a 24,1%, a área não vegetada a 1,2% da bacia e a área urbana a 18,1%. A menor classe são os corpos hídricos com 0,07%.

Nas áreas de práticas agrícolas (56,5%), o solo pode conter nitrogênio (N) e fósforo (P), visto que no seu preparo são enriquecidos com fertilizantes, além disso, partículas do solo podem ser carregadas em maior quantidade e velocidade para o riacho quando desprotegido. Logo essas áreas merecem atenção, pois Guerreiro *et al* (2020) citam que o manejo inadequado pode aumentar a carga orgânica, as concentrações de N, P e DBO, e diminuição de OD nos corpos hídricos.

Por outro lado, verifica-se que ainda há formação florestal (24%) na área central da bacia, como ilustrado na Figura 10. Essa vegetação pode contribuir para o controle da qualidade da água retendo o transporte de sedimentos e contaminantes, proveniente das áreas de práticas agrícolas, e evitando o seu depósito no leito do riacho.

Segundo Menezes *et al.* (2016) essa retenção de sedimentos e contaminantes pela vegetação pode proporcionar o aumento do OD e reduzir a turbidez e os nutrientes como N e P. Assim, essas áreas de vegetação conservada devem ser mantidas e ampliadas para todo o curso d'água.



Figura 10 - Área vegetada na Bacia Hidrográfica do Riacho Doce
Fonte: Autor (2022)

A área não vegetada (1,2%) observada, com solo exposto, na borda da área central, diz respeito a área da CTR de Maceió, e deve ser monitorada.

A área urbana (18,1%) se encontra predominantemente na cabeceira e na foz da bacia. Essas áreas construídas aceleram o escoamento superficial e, conseqüentemente, o transporte de poluentes para o riacho. Na área urbana da cabeceira da foz é onde está situada a ETE da SANAMA, mesmo assim nem todas as habitações e demais construções que compõem essa região, possuem coleta e tratamento adequados dos seus esgotos, principalmente a área da foz, constituindo em fonte difusa de poluição. Devido à dificuldade de controlar as fontes não pontuais de poluição é fundamental o monitoramento dessa área.

Em relação aos corpos hídricos da bacia, estes ocupam apenas 0,07% e destaca-se a necessidade de conservação e proteção através de ações de gestão e planejamento, visto que o processo de urbanização favorece a presença de porções de solo exposto e de poluição difusa, que pode resultar no assoreamento e comprometimento da qualidade das águas do riacho Doce.

Então, as características de uso e ocupação do solo demonstram a necessidade de se criar uma base de dados sólida que sirva de referência para a composição da lista de parâmetros mínimos, tais como DBO, oxigênio dissolvido, fósforo, nitrogênio, turbidez, cloretos e sólidos sedimentáveis, que precisam ser monitoradas com maior frequência visando manter a qualidade da água da bacia.

5.2 Identificação dos usos da água da Bacia

Segundo o banco de dados da SEMARH, os usos formais da água da Bacia do Riacho Doce são destinados apenas para lançamento de efluentes, cujas outorgas são concedidas a V2 Ambiental Spe S/A, para descarte de lixiviado tratado do aterro sanitário da Central de Tratamento de Resíduos (CTR) de Maceió, e SANAMA para descarte do esgoto sanitário tratado, proveniente da parte alta de Maceió (Tabela 5).

Tabela 5 - Outorgas de uso de água da Bacia do Riacho Doce

USUÁRIO	FINALIDADE	VALIDADE (ANOS)	DATA DE VENCIMENTO
V2 Ambiental Spe S/A	Lançamento de efluente (lixiviado tratado)	8	04/2026
SANAMA - Saneamento Alta Maceió Sa	Lançamento de efluente (esgoto tratado)	30	04/2047

Fonte: SEMARH (2022)

A ETE Benedito Bentes operada pela SANAMA tem capacidade de tratar 360 L/s de esgoto e utiliza a tecnologia de lodos ativados com MBBR (*Moving Bed Biofilm Reactors*). Ela é composta de pré-tratamento por gradeamento médio e fino, e caixa de areia na entrada do poço de sucção da elevatória que recalca o esgoto pré-tratado para um tanque de equalização, em seguida o efluente é encaminhado para duas linhas em paralelo, compostas de dois tanques de aeração em série, onde ficam as biomédias.

O efluente tratado segue para o decantador circular, de onde o efluente decantado segue para o tanque de contato é aplicado hipoclorito de sódio para desinfecção, e depois é descartado no riacho Grota da Esperança, um afluente do Riacho Doce. O lodo dos decantadores segue para adensadores mecanizados e depois são destinados ao aterro sanitário de Maceió. Figura 11 ilustra a referida ETE.



Figura 11 - Vista aérea da ETE da SANAMA
Fonte: <http://www.sanama.com.br/esgotamento-sanitario/>

Quanto às características do esgoto bruto, verifica-se na Tabela 6 que o mesmo não atende os padrões de lançamento da CONAMA 430/2011.

Nas condições de efluente tratado, no período analisado, a DBO apresenta conformidade de acordo com o estabelecido pela CONAMA 430/2011. Embora a resolução CONAMA 430/2011 não defina os valores máximos permitidos para DQO, turbidez e coliformes termotolerantes, houve remoção de 50% das concentrações do esgoto bruto.

Além disso, apresenta as características do esgoto bruto e do efluente tratado na ETE da SANAMA, em período seco e de chuva, assim como a eficiência de tratamento empregado.

Tabela 6 - Esgoto bruto que chega na ETE

Período	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	N-amon (mg/L)	Fósf. (mg/L)	Cor (uC)	Turb. (NTU)	pH	Termot. (UFC/100ML)
Esgoto bruto								
Méd.Seco	167,7	1154,2	23,9	4,86	276	90,6	7,19	3.767
Méd.Chuva	452,0	860,4	28,8	5,59	295	113,2	7,30	4.173
Esgoto tratado								
Méd.Seco	9,5	83,6	20,8	1,90	6,81	5,5	34,5	102
Méd.chuva	9,6	86,0	8,7	-	5,69	8,8	11,7	166
Eficiência seco	94%	92%	12%	60%	97%	93%		97%
Eficiência chuvoso	97%	90%	69%		98%	92%		96%

Fonte: SANAMA (2022)

Mesmo que a ETE do Beneditos Bentes recebe esgoto doméstico de uma parte da população da parte alta de Maceió e alcance os padrões de lançamento, as rápidas modificações de uso e ocupação do solo não são acompanhadas pelos sistemas de coleta e tratamento, sendo o esgoto doméstico lançado na linha d'água e a poluição difusa fontes que aumentam as concentrações máximas permitidas dos parâmetros de qualidade água, na bacia de drenagem (Figura 12).



Figura 12 - Ponto de descarte doméstico no bairro Riacho Doce
Fonte: G1 (2017)

Esse tipo de lançamento sem atender os padrões determinados pela legislação, aumenta a concentração de matéria orgânica e microrganismos patogênicos, e depleção de oxigênio. Von Sperling (2014), cita que o controle dessas fontes e conseqüentemente da qualidade da água é dispendioso e a turbidez, pH, cloretos, nitrogênio, fósforo e DBO são parâmetros essenciais de monitoramento para atingir o alcance das metas de enquadramento de médio e longo prazo.

A ETE da CTR de Maceió é composta de um pré-tratamento biológico seguido de pós-tratamento físico-químico. O tratamento biológico é formado por 4 lagoas assim especificadas: 1 anaeróbia, 2 pré-aeradas e 1 aerada. Esse sistema faz o pré-tratamento de todo o lixiviado gerado e busca enquadrar o seu efluente aos padrões requerido pelo pós-tratamento, composto de coagulação/floculação/decantação, filtração em carvão ativado e zeólitas, e nanofiltração e osmose reversa, principalmente no que diz respeito a concentração de nitrogênio amoniacal e DBO, para o descarte do lixiviado tratado no corpo receptor de água doce, o Riacho Doce. Figura 13 ilustra a ETE da CTR de Maceió.



Figura 13 – ETE da CTR de Maceió

Fonte: <https://www.agendaa.com.br/negocios/economia/8391/2020/06/12/10-anos-sem-lixao-como-maceio-virou-referencia-com-um-dos-mais-modernos-aterros-sanitarios-do-pais>

A capacidade do pós-tratamento é de 30 m³/h (8,3 L/s), e o da outorga de lançamento é de 350 m³/dia, equivalente a uma vazão média diária de 4,05 L/s, com processo de solicitação de aumento da outorga de lançamento para 700 m³/dia (8,1

L/s) assim o efluente tratado é armazenado em lagoas de equalização de vazão para descarte no corpo receptor. Em períodos de chuva torna-se necessário enviar o excedente do lixiviado pré-tratado para o emissário submarino de Maceió ou para empresas que tratam efluentes industriais.

No lixiviado pode ser encontrado quatro grupos de poluentes em sua composição: matéria orgânica dissolvida, compostos macroinorgânicos, metais pesados, compostos xenobióticos e micro-organismo (PENG, 2017). Mesmo com o desenvolvimento de tratamentos mais eficientes ou a combinações desses, o tratamento para remoção de parâmetros como DBO, DQO e compostos recalcitrantes ainda podem ser limitados (KAWAHIGASHI *et al.*, 2014; HOFFMANN *et al.*, 2020).

A Tabela 7 apresenta as características do lixiviado pré-tratado e do lixiviado tratado na ETE da CTR, lançado no Riacho, em período seco e chuvoso, assim como a eficiência do tratamento empregado.

Tabela 7 – Lixiviado proveniente da CTR Maceió

Data	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	N-amon (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Fósforo (mg/L)	Cor (uC)	Turb. (NTU)	pH
Lixiviado pré-tratado									
Méd.Seco	368	1.962	62,9	1499	325	1,00	1289	39,5	7,54
Méd.chuva	671	2.530	465,4	1437	124	3,07	1189	38,8	7,63
Lixiviado tratado									
Méd. Seco	8,6	233	3,3	194	8	0,58	85	1,73	7,43
Méd.Chuva	14,3	43	7,6	262	51	0,88	63	2,07	7,14
Eficiência seco	97%	88%	94%	87%	97%	42%	93%	95%	
Eficiência chuvoso	97%	98%	98%	81%	58%	71%	94%	94%	

Fonte: Autor (2022)

Em relação às concentrações do lixiviado tratado, o parâmetro DBO atende ao limite estabelecido pela CONAMA 430/2011. Embora a resolução CONAMA 430/2011 não estabeleça valores limites para os parâmetros nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, cor e turbidez houve remoção acima 50% em comparação com o lixiviado pré-tratado.

Apesar do riacho doce receber apenas duas descargas pontuais de efluentes tratados, dentro dos padrões exigidos pela CONAMA 430/2011, existem contribuições de poluição difusa, e em 2019, órgãos fiscalizadores do Estado de Alagoas, como o Instituto do Meio Ambiente (IMA) e Batalhão de Polícia Ambiental (BPA), apontaram o lançamento de efluentes na foz do Riacho Doce (Figura 14 e 15).



Figura 14 - Área de várzea na BH do Riacho Doce (mar/2015)
Fonte: IMA (2019)



Figura 15 - Água contaminada por efluentes difusos da ocupação desordenada
Fonte: IMA (2019)

Além da descarga de efluentes, as visitas de campo mostraram que o leito do riacho é utilizado pela população ribeirinha para recreação e pesca, especialmente na sua foz com o oceano Atlântico, além disso, a qualidade da água pode não atender os critérios de balneabilidade e os parâmetros na legislação vigente.

5.3 Proposta de segmentação e enquadramento da Bacia

A segmentação da Bacia do Riacho Doce foi dividida em trechos de acordo com os usos e ocupação do solo, os pontos de coleta e os usuários outorgados da

Bacia. Como previsto nas resoluções CONAMA 357/2005 e CNRH 91/2008 o processo de enquadramento pode determinar classes diferenciadas por trecho.

Nesse sentido, a proposta de enquadramento feita por trechos permite avaliar a qualidade da água de acordo com a classe proposta (Figura 16).

- **T1, que compreende t1 e t2, com aproximadamente 2,94 km de extensão:** trecho de área urbanizada onde fica localizado o bairro do Benedito Bentes, com despejo de esgoto doméstico inadequado. São observadas áreas destinadas para atividades agrícolas, com uso indiscriminado de fertilizantes que pode prejudicar a qualidade da água, e supressão de vegetação que favorece a contaminação do riacho, facilitando a entrada de poluentes de fontes difusas. Além disso, nesse trecho ocorre o despejo do efluente tratado da ETE da SANAMA no riacho da Grota da Esperança.

- **Proposta de enquadramento:** Classe 3, águas que podem ser destinadas: ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional ou avançado; à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; à pesca amadora; à recreação de contato secundário; e à dessedentação de animais.

- **T2, que compreende t3, t4, t5 e t6, com cerca de 4,68 km de extensão:** Trecho com maior presença de formação florestal e mosaico de agricultura e pastagem. A presença de vegetação atua como barreira, controlando o fluxo de poluentes e sólidos. Nesse trecho há o lançamento de lixiviado tratado da CTR.

- **Proposta de enquadramento:** Classe 2, águas que podem ser destinadas: ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e à aquicultura e à atividade de pesca.

- **T3, compreendendo t7, com 1 km de extensão:** trecho com predomínio de área urbana e fragmentos de vegetação, áreas de pastagem e agricultura. É a área onde fica a foz da Bacia do Riacho Doce.

- **Proposta de enquadramento:** Proposta de enquadramento: Classe 2, águas que podem ser destinadas: ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques,

jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e à aquicultura e à atividade de pesca.

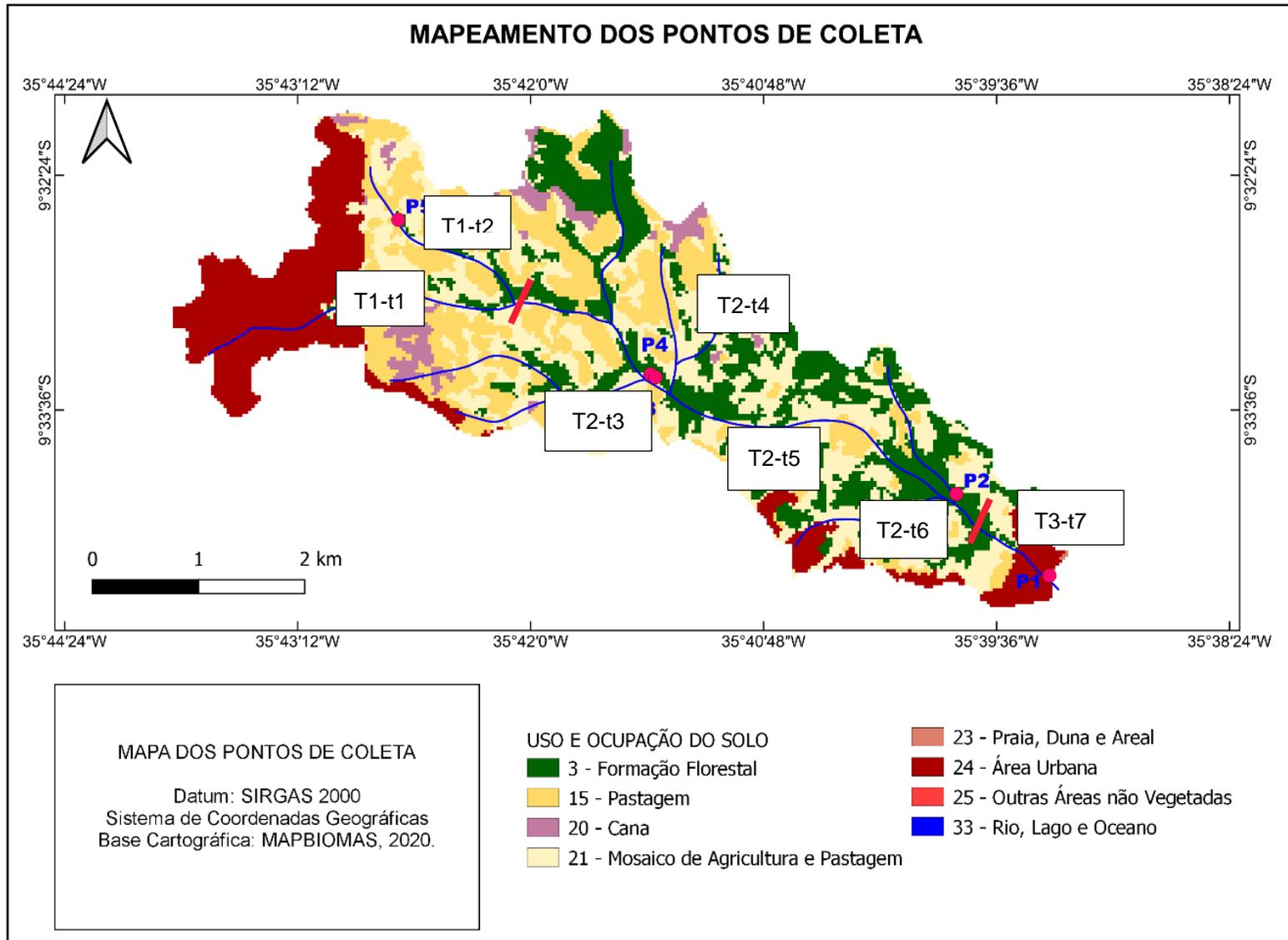


Figura 16 - Proposta de segmentação da Bacia do Riacho Doce

5.4 Seleção dos parâmetros prioritários

Para a seleção dos parâmetros prioritários a serem aplicados à bacia do Riacho Doce, inicialmente foram encaminhadas solicitações para diferentes laboratórios de análises ambientais (físico-químicos e biológicos) locais, para levantar quais parâmetros são possíveis de se realizar localmente. Esses dados estão apresentados conforme o Quadro 5.

Quadro 5 - Valores das análises dos parâmetros em laboratórios ambientais

Laboratório	Parâmetros analisados	Nº de parâmetros analisados
Laboratório 1 Local	1,1-dicloroetano, 1,2-dicloroetano, 2,4,5-t, 2,4,5-tp, 2,4,6-triclorofenol, 2,4-d, 2,4-diclorofenol, 2-clorofenol, acrilamida, alacloro, aldrin + dieldrin, alumínio dissolvido, antimônio, arsênio total, atrazina, bário total, benzeno, benzydina, benzo(a)antraceno, benzo(a)pireno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, berílio total, boro total, cádmio total, carbaril, chumbo total, cianeto livre clordano (cis + trans), cloreto total, cloro residual total (combinado + livre), clorofila a, cobalto total, cobre dissolvido, coliformes termotolerantes, cor verdadeira, corantes provenientes de fontes antrópicas, criseno, cromo total, DBO, DDT (p,p'-ddt + p,p'-dde + p,p'-ddd), demeton (demeton-o + demeton-s), densidade de cianobactérias, dibenzo(a,h), antraceno, diclorometano, dodecacloro pentaciclodecano, endossulfan (a + b + sulfato), endrin, estireno, etilbenzeno fenóis totais (substâncias que reagem com 4- aminoantipirina), ferro dissolvido, fluoreto total, fósforo total ,glifosato, gution, heptacloro epóxido + heptacloro, hexaclorobenzeno, indeno (1,2,3-cd)pireno, lindano (g-hch), lítio total, malation, manganês total, materiais flutuantes, mercúrio total, metolacloro, metoxicloro, níquel total, nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal total, odor, óleos e graxas, OD, paration, pcbs - bifenilas policloradas, pentaclorofenol, pH, prata total, resíduos sólidos objetáveis, sabor, selênio total, simazina, sólidos dissolvidos totais, substâncias tensoativas que reagem com o azul de metileno, sulfato total, sulfeto, tetracloroeto de carbono, tetracloroetano, tolueno, toxafeno, tributilestanho, triclorobenzeno (1,2,3-tcb + 1,2,4-tcb), tricloroetano, trifluralina, turbidez , urânio total, vanádio total, xileno, zinco total	100/100 referenciados na CONAMA 357/2005
Laboratório 2 Local	DBO, cor verdadeira, sólidos dissolvidos totais, materiais flutuantes, pH, OD, cloreto total, cloro total, cobre dissolvido, ferro dissolvido, fósforo total, manganês total, nitrato, nitrito, turbidez, nitrogênio amoniacal total, sulfato total, zinco total, clorofila-a, óleos e graxas, coliformes termotolerantes	21/100 referenciados na CONAMA 357/2005
Laboratório 3 estado vizinho	alumínio dissolvido, arsênio, bário, cádmio, cloretos, cobre dissolvido, coliformes termotolerantes, cor verdadeira, corantes artificiais, cromo total, fósforo total, nitrogênio amoniacal, lítio, manganês total, pH, mercúrio, níquel total, nitrato, nitrito, sulfatos, gosto, odor, materiais flutuantes, clorofila-a, densidade de cianobactérias, turbidez, OD, zinco total, DBO	29/100 referenciados na CONAMA 357/2005

Fonte: Dados levantados pelo autor (2022)

A resolução CONAMA 357/2005 estabelece valores limites para 100 parâmetros. Após o levantamento foi verificado que o laboratório 1 faz análise de todos os parâmetros da resolução vigente, porém, 71 parâmetros são encaminhados para o provedor externo.

No laboratório 2 são analisados 21 parâmetros de qualidade da água sem a necessidade de serem enviados para fora, e em relação ao laboratório 3 são analisados 29 parâmetros.

Diante disso, foi possível identificar que os parâmetros analisados localmente não ultrapassam 25% do conjunto de parâmetros estabelecido pela CONAMA 357/2005 e que as análises externas podem elevar os custos para o monitoramento frequente.

O levantamento realizado a respeito de propostas de enquadramento de cursos d'água, por diferentes planos de bacia, não utilizam todos os parâmetros da CONAMA 357/2005, como por exemplo:

- Plano da Bacia do Rio Tibagi localizada no Paraná (INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ, 2013).
 - Plano da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, localizada no Rio Grande do Sul (SEMA/RS, 2014);
 - Plano das Bacias do Alto Iguaçu e Afluentes do Alto Ribeira, localizadas no Paraná (INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ, 2015).
 - Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Benevente, localizada no Espírito Santo (SEAMA/ES, 2015);
 - Plano das Bacias Hidrográficas dos Rios Descoberto, Corumbá, Paranoá, São Bartolomeu, São Marcos, localizadas no Distrito Federal (ADASA, 2019).
 - Plano de 11 microbacias que estão inseridas nas Unidades de Planejamento e Gerenciamento de Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul (Córrego Água Boa, Córrego Laranja Doce, Córrego Baile, Rio São João, Córrego da Fazendinha, Rio Vacaria, Córrego Jovino Dias, Córrego Araras, Córrego da Ponte, Córrego Dioguinho, Ribeirão do Retiro), no Mato Grosso do Sul (SANESUL, 2022).
-

Os parâmetros monitorados utilizados nas propostas de enquadramento para as respectivas bacias, estão apresentados no Quadro 6.

Quadro 6 - Parâmetros de qualidade de águas monitoradas em corpos hídricos enquadrados

Parâmetros monitorados	Bacias Hidrográficas
DBO, fósforo total	Bacia do Rio Tibagi e Bacias do Alto Iguaçu e Afluentes do Alto Ribeira
DBO	Unidades de Planejamento e Gerenciamento de Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul
OD, turbidez, fósforo total, nitrogênio amoniacal total, e coliformes termotolerantes / <i>Escherichia coli</i>	Bacia Hidrográfica do Rio Benevente
DBO, OD, coliformes termotolerantes	Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos
DBO, OD, coliformes termotolerantes	Rios Descoberto, Corumbá, Paranoá, São Bartolomeu, São Marcos

Fonte: Adaptado de Instituto da Águas do Paraná (2013), SEMA/RS (2014), Instituto da Águas do Paraná (2015), SEAMA/ES (2015); ADASA (2019), SANESUL (2022).

Então, foi possível observar os parâmetros analisados em comum nos enquadramentos das bacias hidrográficas supracitadas são DBO, OD, fósforo e coliformes termotolerantes, de maneira que também podem ser adicionados nas propostas de enquadramento em Alagoas visto que são analisados nos laboratórios locais.

Buscando avaliar quais parâmetros são importantes para a bacia em estudo, tendo em vista os dois principais efluentes lançados na Bacia do Riacho Doce, e sua proposta de enquadramento, foram levantados os parâmetros de qualidade dos efluentes monitoradas e seus valores foram comparados com o estabelecido pela CONAMA 357/2005. Os dados dos parâmetros de monitoramento do esgoto tratado na ETE da SANAMA foram referentes ao mês de abril de 2022 e do lixiviado tratado pela ETE da CTR foram referentes ao período de janeiro a junho de 2021.

Os parâmetros analisados pela SANAMA compõem um conjunto de 27 parâmetros, em que os metais são predominantes. Desse conjunto, 12 parâmetros estão em desacordo com a classe 3 proposta conforme o destacado na Tabela 8. Visto que essas águas podem ser destinadas para consumo de abastecimento humano, dessedentação de animais e contato secundário, esses parâmetros precisam ser monitorados com frequência.

Tabela 8 - Dados do efluente tratado na ETE da SANAMA

Parâmetro	Concentração	Valor máximo permitido pela CONAMA 357/2005
Berílio total (mg/L)	0,100	0,1
Cobalto total (mg/L)	0,095	0,2
Boro total (mg/L)	0,462	0,75
Cádmio total (mg/L)	0,047	0,01
Chumbo total (mg/L)	0,092	0,033
Alumínio dissolvido (mg/L)	0,988	0,2
Ferro dissolvido (mg/L)	0,976	5
Bário total (mg/L)	0,101	1
Cobre dissolvido (mg/L)	0,096	0,013
Cromo total (mg/L)	0,097	0,05
Lítio total (mg/L)	0,101	2,5
Manganês total (mg/L)	0,093	0,5
Níquel total (mg/L)	0,095	0,025
Prata total (mg/L)	0,092	0,05
Selênio total (mg/L)	0,098	0,05
Vanádio total (mg/L)	0,096	0,1
Zinco total (mg/L)	0,097	5
Urânio total (mg/L)	0,102	0,02
Fluoreto (mg/L)	0,922	1,4
Sulfato total (mg/L)	4,783	250
Cloreto total (mg/L)	4,761	250
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	15,53	13,3
Nitrito (mg/L)	0,451	1
Nitrato (mg/L)	4,697	10
Fósforo total (mg/L)	5,69	0,15
DBO (mg/L)	21,54	10
Coliformes termotolerantes	1	2500

Fonte: SANAMA (2022)

Os dados secundários da CTR compõem um conjunto de 33 parâmetros obtidos durante o período de janeiro a junho de 2021, e 17 destes estão em desacordo com o limite máximo estabelecido para classe 2 como destacado na Tabela 9.

Tabela 9 - Dados secundários do efluente tratado CTR

Parâmetro	Valor máximo no período analisado	Valor máximo permitido pela CONAMA 357/2005
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	6.482	500
Turbidez (NTU)	5,010	100
Arsênio Total (mg/L)	0,005	0,01
Bário Total (mg/L)	0,044	0,7
Benzeno (mg/L)	0,002	0,05
Boro Total (mg/L)	100	0,5
Cádmio Total (mg/L)	0,100	0,001
Chumbo Total (mg/L)	0,500	0,01
Cobre Dissolvido (mg/L)	0,100	0,009
Cromo Total (mg/L)	0,500	0,05
Ferro Dissolvido (mg/L)	0,520	0,3
Mercúrio Total (mg/L)	0,000	0,0002
Níquel Total (mg/L)	0,500	0,025
Prata Total (mg/L)	0,050	0,01
Selênio Total (mg/L)	0,005	0,01
Zinco Total (mg/L)	0,100	0,18
Estireno (µg/L)	0,005	0,02
Etilbenzeno (µg/L)	0,004	90
Fenóis totais (mg/L)	0,100	0,003
Fluoreto Total (mg/L)	1,100	1,4
Tetracloroeto de Carbono (mg/L)	0,002	0,002
Tolueno (µg/L)	0,002	2
Tricloroeteno (µg/L)	0,002	0,03
Xilenos (µg/L)	0,002	300
Sulfato total (mg/L)	25,040	250
Sulfetos (mg/L)	0,500	0,002
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	19,780	3,7
Nitrito (mg/L)	18,261	1
Nitrato (mg/L)	10.500	10
Fósforo Total (mg/L)	0,413	0,1
DBO (mg/L)	9,480	5
pH	7,920	9
Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	35.000	1.000

Fonte: CTR (2022)

Visto isso, ao considerar as altas concentrações dos parâmetros da série nitrogenada, coliformes termotolerantes e metais pesados, e os riscos que causam à saúde e ao corpo hídrico, esses parâmetros precisam ser monitorados com frequência.

Nesse sentido, para melhor representação da qualidade da água, os parâmetros foram selecionados a partir dos critérios de abrangência das bacias supracitadas, os dados de qualidade de água disponíveis, as análises locais que podem ser realizadas e os parâmetros que estão desconformes.

A lista apresentada na Tabela 3 (pág. 36) contém 45 parâmetros, então, após os critérios supracitados, foi obtido um conjunto de 25 parâmetros prioritários, para bacia do Riacho Doce, conforme apresentado na Tabela 10.

Cabe destacar que, os pontos com os valores de metais fora dos limites estabelecidos pela legislação CONAMA 357/2005, são limitados caso sejam destinados para abastecimento humano, devido aos efeitos nocivos à saúde humana e ao meio ambiente, evidenciando a preocupação com a cadeia alimentar.

Tabela 10 - Parâmetros prioritários da Bacia do Riacho Doce nos respectivos trechos

Parâmetros	Trecho 1	Trecho 2	Trecho 3
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	x		
Cor verdadeira (uC)	x	x	x
Turbidez (NTU)	x	x	x
Alumínio dissolvido (mg/L)		x	
Arsênio total (mg/L)		x	
Bário total (mg/L)		x	
Cádmio total (mg/L)		x	
Cobre dissolvido (mg/L)		x	
Cromo total (mg/L)		x	
Lítio total (mg/L)		x	
Manganês total (mg/L)	x	x	x
Mercúrio total (mg/L)		x	
Níquel total (mg/L)		x	
Sulfato total (mg/L)	x	x	x
Cloreto total (mg/L)	x	x	x
Clorofila-a (µg/L)	x	x	
DBO (mg/L)	x		x
Oxigênio dissolvido (mg/L)	x	x	x
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	x	x	x
Nitrito (mg/L)	x	x	x
Nitrato (mg/L)	x	x	x
Fósforo total (mg/L)	x	x	x
pH	x	x	x
Coliforme termotolerante (NMP/100 mL)	x	x	x
Densidade de cianobactérias (cel/mL)		x	

Fonte: Autor (2022)

5.5 Avaliação quantitativa das águas da bacia do riacho Doce

Os dados de levantamento de campo de vazão estão contidos no Apêndice D e ilustrados no gráfico da Figura 17, e os valores mínimo, médio e máximo observado em cada ponto monitorado estão apresentados na Tabela 11.

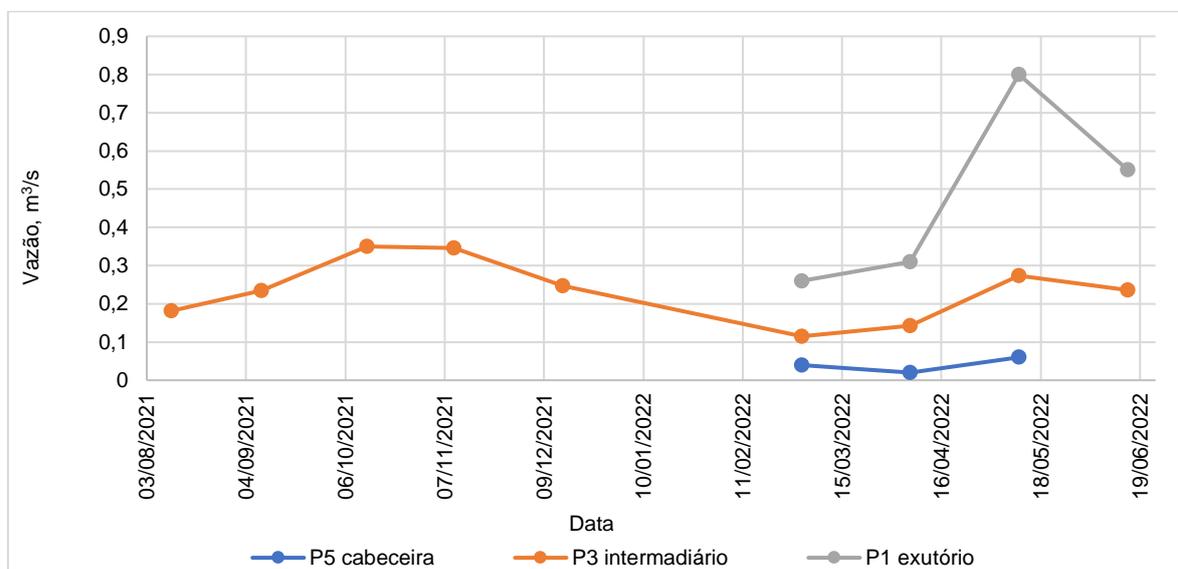


Figura 17 - Ilustração da variação de vazão do Riacho Doce
Fonte: Autor (2022)

Tabela 11 - Dados de medição de vazão na bacia do Riacho doce

Vazão	P5 (cabeceira)	P3 (Intermediário)	P1 (exutório)
Qmédia	0,04	0,236	0,48
Qmínima	0,02	0,115	0,26
Qmáxima	0,06	0,350	0,80
DP	0,021	0,087	0,247

Fonte: Autor (2022)

Foi verificado que na cabeceira da bacia a vazão varia de 0,02 m³/s a 0,06 m³/s, no trecho intermediário varia de 0,115 m³/s a 0,35 m³/s, e no exutório 0,26 m³/s a 0,80 m³/s. O maior valor de vazão obtido foi no ponto 1, exutório da bacia, durante o período chuvoso com vazão máxima de 0,80 m³/s e o menor valor observado foi no ponto 5, cabeceira da bacia, com vazão mínima de 0,02 m³/s.

Este estudo das vazões proporciona uma visão do comportamento da bacia do Riacho Doce para o planejamento da gestão, tanto com relação a capacidade de diluição dos efluentes, em diferentes condições de vazão, como concessão de outorgas, etc., visto que não existiam dados de referência de vazões para essa bacia.

5.6 Avaliação qualitativa das águas da bacia do riacho Doce

A avaliação qualitativa das águas do Riacho Doce foi realizada em 3 cenários:

- Ponto de lançamento de efluente tratado pela SANAMA (P5), no período de jan/2018 a dez/2020 (dados secundários SANAMA).
- Ponto a montante (P4) e jusante (3) de lançamento de lixiviado tratado da ETE da CTR, de jan/2019 a dez/2021 (dados secundários V2 Ambiental).
- Nos 5 pontos da bacia para o período de nov/2021 e mai/2022 (dados primários).

5.6.1 Ponto de lançamento de esgoto tratado (P5)

Os dados secundários de qualidade de água do ponto de lançamento de esgoto tratado na grota da Esperança disponibilizados pela SANAMA compõem um conjunto de 20 parâmetros, entre o período de 2018 a 2020, que estão apresentados no Apêndice C. Esse monitoramento de qualidade da água é realizado bimestralmente para o atendimento às condicionantes de lançamento de efluente tratado.

Então, foram selecionados parâmetros que possuem limites estabelecidos conforme a resolução vigente CONAMA 357/2005, cujos parâmetros selecionados foram: cor, turbidez, pH, sólidos dissolvidos, sulfato, OD, DBO, N-amoniaco, N-nitrito, N-nitrato, fósforo total, clorofila-a e coliformes termotolerantes.

Para os dados selecionados, foram aplicados os testes de hipóteses para observar a influência da sazonalidade nas concentrações dos parâmetros (Tabela 12), onde se verificou que os parâmetros cor, sulfatos, DBO, DQO, nitrato e coliformes termotolerantes não seguiram uma distribuição normal. Em oposição, seguiram uma distribuição normal os parâmetros turbidez, sólidos dissolvidos totais, pH, OD, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrogênio total fósforo e clorofila-a.

Tabela 12 - Teste de hipóteses aplicado à qualidade da água em P5-lançamento de esgoto tratado.

Parâmetro	Teste K-S	Teste T/U
Cor	<0,01	0,49 ^U
Turbidez	0,10	0,92 ^T
Sólidos dissolvidos totais	>0,15	0,64 ^T
pH	0,11	0,83 ^T
Sulfatos	<0,01	0,88 ^U
OD - Oxigênio dissolvido	>0,15	0,54 ^T
DBO	<0,01	0,17 ^U
Nitrogênio amoniacal	>0,15	0,36 ^T
Nitrito	>0,15	0,78 ^T
Nitrato	<0,01	0,59 ^U
Fósforo total	0,11	0,12 ^T
Clorofila a	0,12	0,69 ^T
Coliforme termotolerantes	<0,01	0,89 ^U

Fonte: Autor (2022)

Após aplicação dos testes T e U foi possível identificar que a sazonalidade não interferiu na concentração dos parâmetros pois os valores-p foram acima do nível de significância (0,05), logo, não apresentaram diferença estatisticamente significativa.

Através dos desvios padrão e os *boxplots* foi possível caracterizar as diferenças entre o período de estiagem e chuvoso onde se verifica que os parâmetros físicos cor e turbidez apresentaram maior amplitude interquartil, desvio padrão e concentração máxima durante período de estiagem (Figuras 18 e 19). As maiores concentrações de cor durante o período de estiagem podem estar sob influência de despejos domésticos com ocorrem na área.

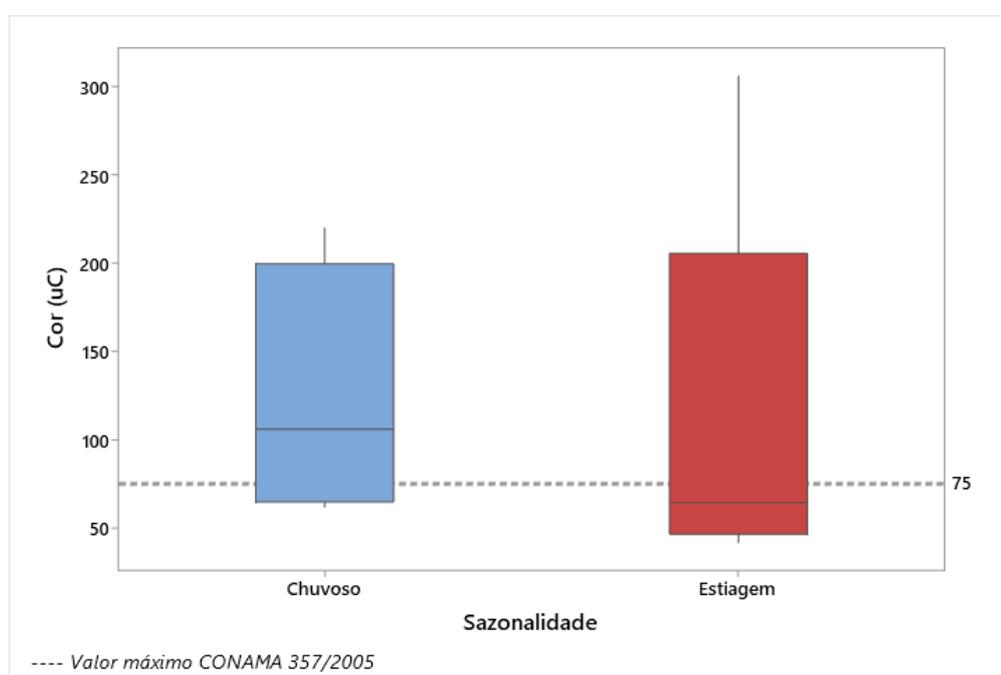


Figura 18 - *Boxplot* de Cor (P5)
Fonte: Autor (2022)

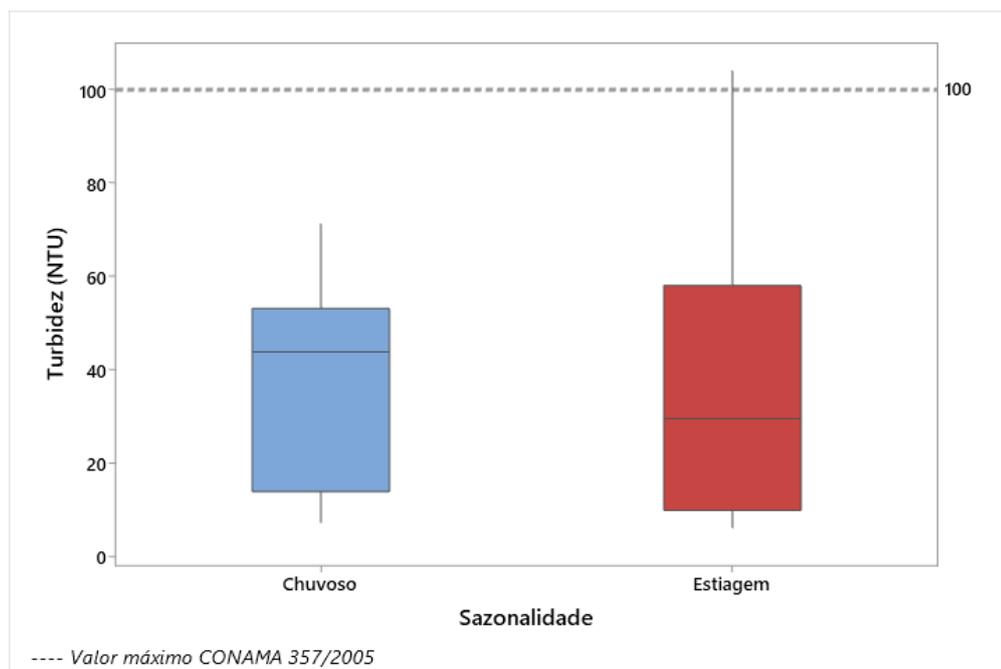


Figura 19 - Boxplot de Turbidez (P5)
Fonte: Autor (2022)

O oposto ocorreu com as concentrações de sólidos dissolvidos totais (Figura 20). Embora os sólidos dissolvidos tenham apresentado maiores concentrações durante o período chuvoso, aparentemente isso não interferiu nos valores da cor, visto que estão associados.

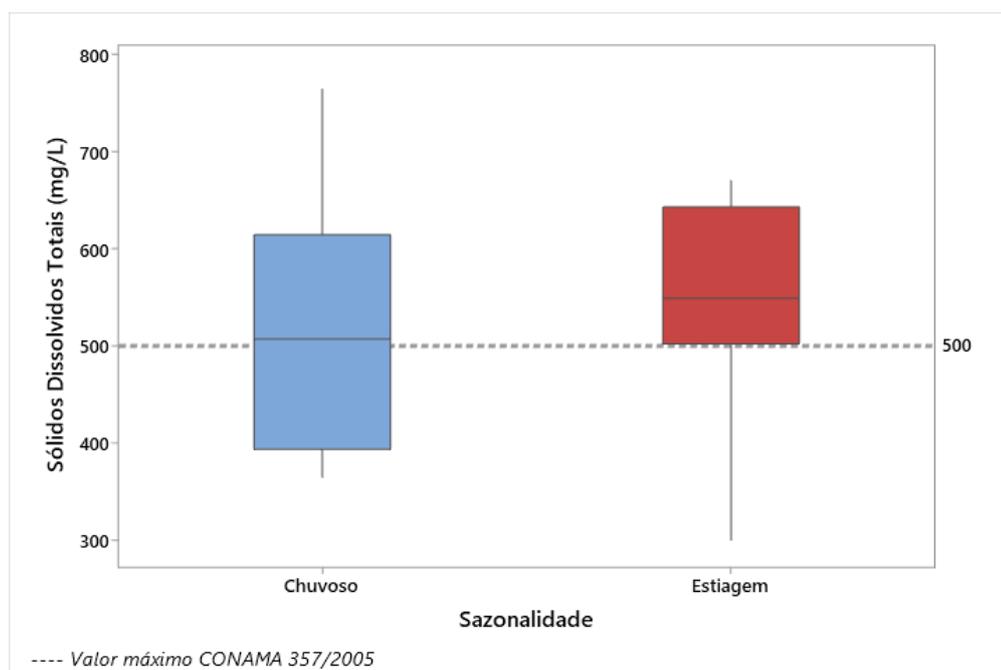


Figura 20 - Boxplot de Sólidos Dissolvidos Totais (P5)
Fonte: Autor (2022)

O pH apresentou maior dispersão de dados durante o período chuvoso, assim como as concentrações de sulfatos como pode ser observado nas Figuras 21 e 22.

As concentrações de sulfatos estão relacionadas a esgoto doméstico, nesse sentido, as contribuições de fontes de despejo irregular podem aumentar durante esse período em áreas urbanas.

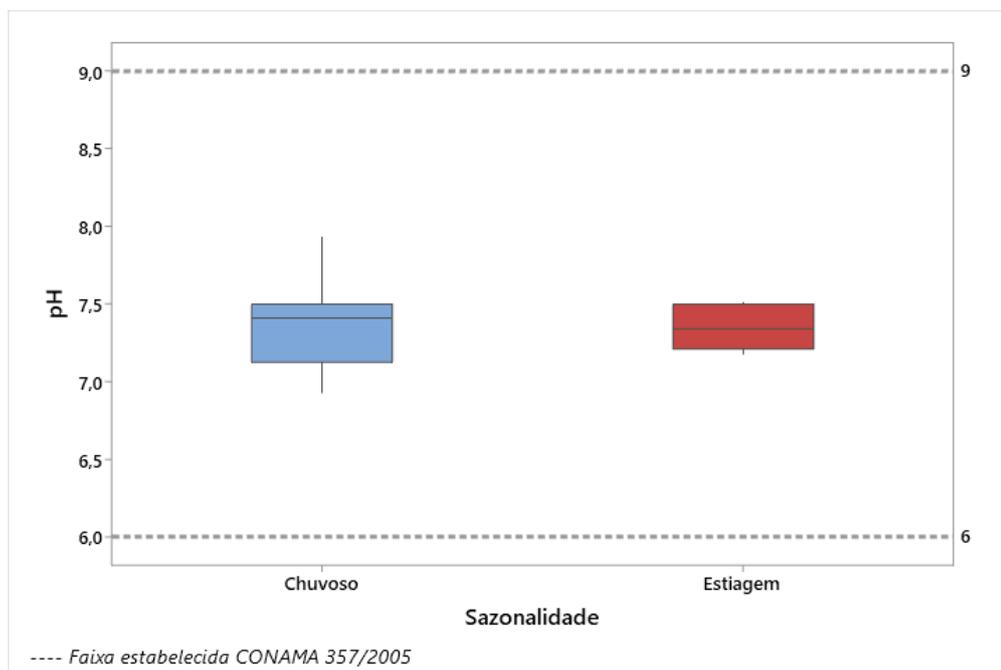


Figura 21 - Boxplot de pH (P5)
Fonte: Autor (2022)

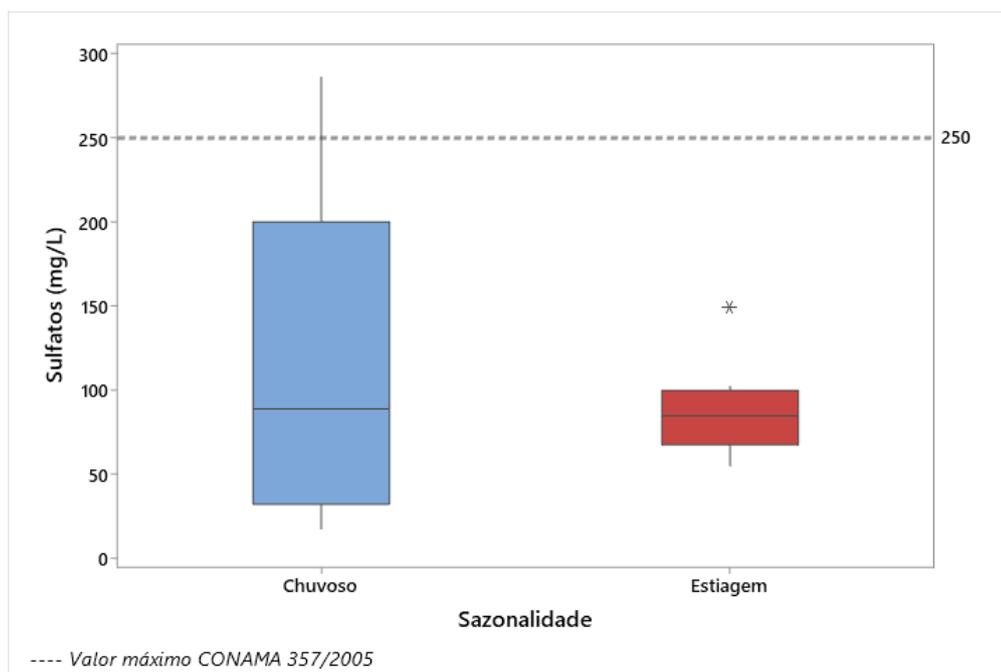


Figura 22 - Boxplot de Sulfatos (P5)
Fonte: Autor (2022)

A variação da presença de matéria orgânica medidas como DBO e DQO, assim como a concentração de oxigênio dissolvido no ponto 5 do riacho estão presentes nos gráficos *boxplot* das Figuras 23, 24 e 25.

Verificou-se que as concentrações máximas de DBO no período de estiagem e chuvoso foram, respectivamente, 130 mg/L e 170 mg/L, e as concentrações máximas de OD foram 3,54 mg/L e 4,70 mg/L. Essas concentrações de DBO e OD não atendem a classe 3, cujos limites são 10 mg/L e 4,0 mg/L, respectivamente. O que indica que a qualidade da água, já na cabeceira da bacia está comprometida, certamente por fontes de poluição difusas de esgotos sanitários, como foi verificado nas visitas de campo.

A partir das concentrações máximas que foram observadas no período chuvoso a relação DQO/DBO foi 1,68 (287/170) o que indica que a matéria orgânica presente é de fácil degradação.

Em relação às diferenças sazonais, DBO, DQO e OD apresentaram maior dispersão dos dados no período chuvoso. As fontes de poluição difusa podem ter contribuído para essa variação.

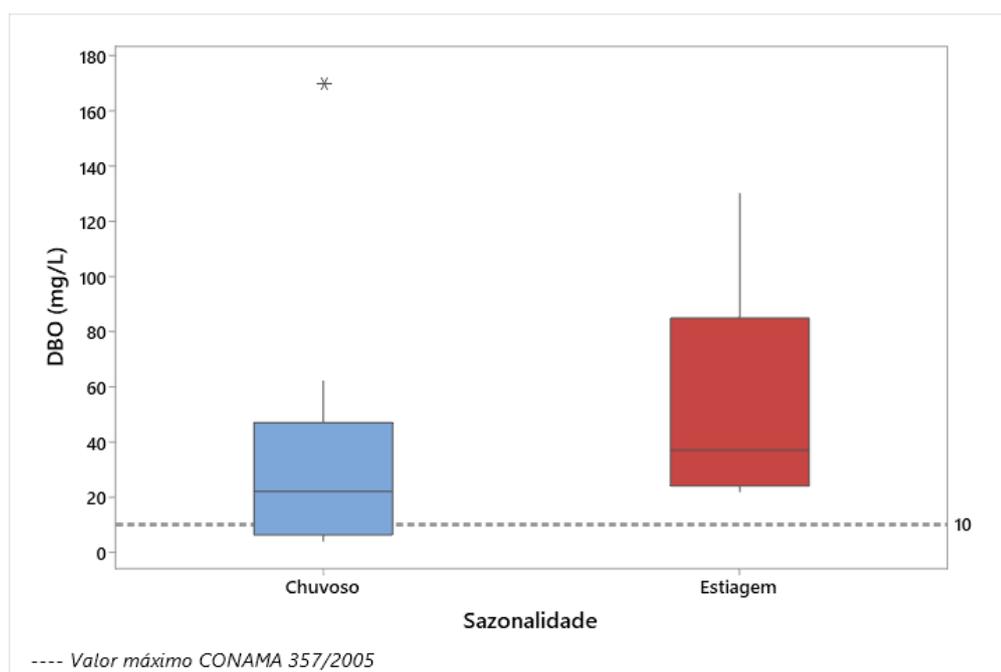


Figura 23 - *Boxplot* de DBO (P5)
Fonte: Autor (2022)

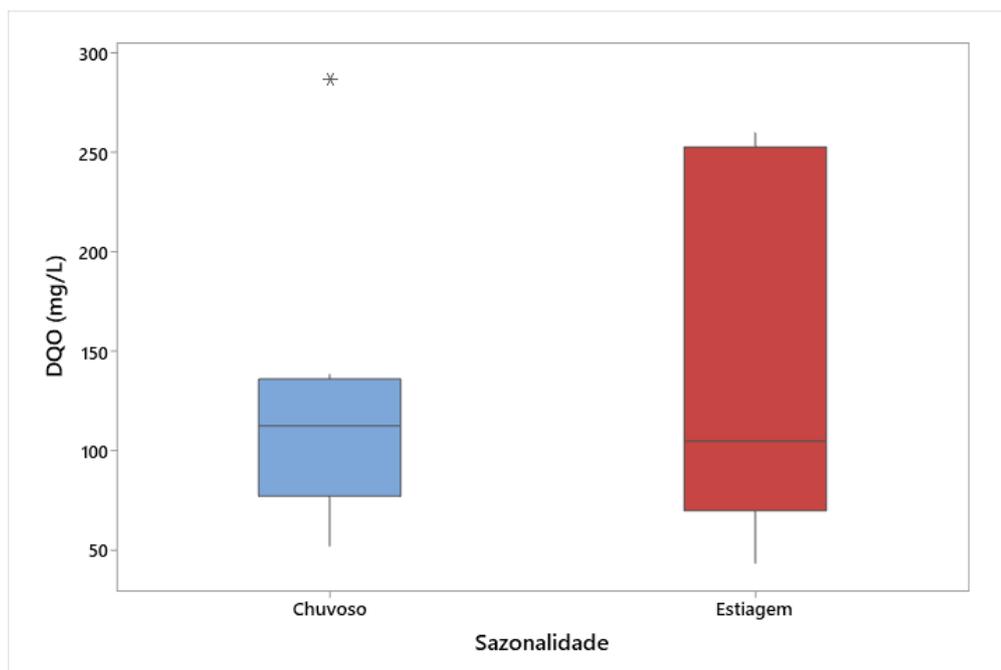


Figura 24 - Boxplot de DQO (P5)
Fonte: Autor (2022)

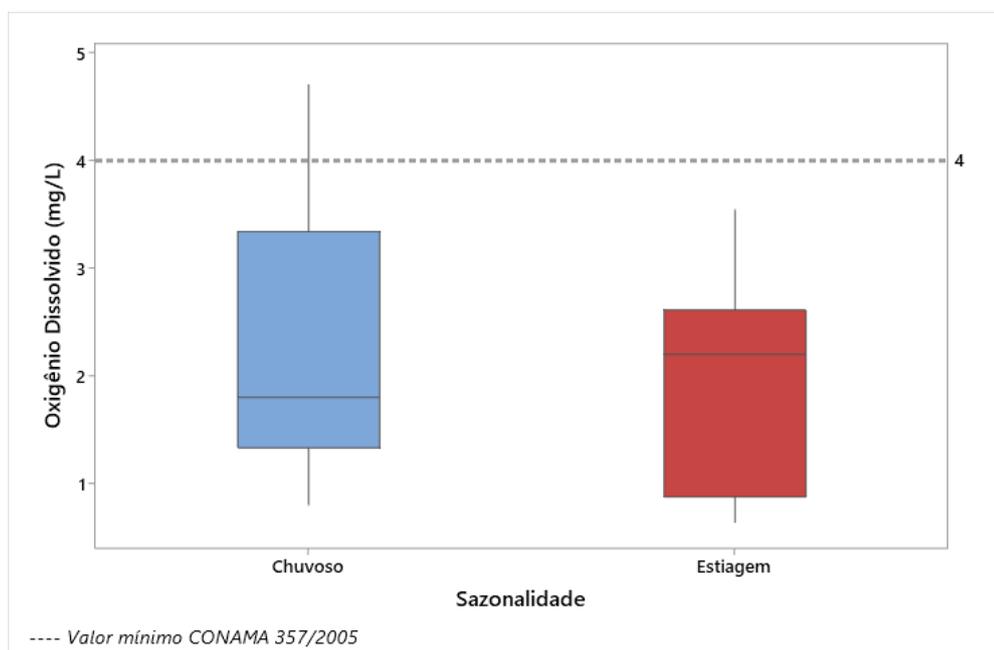


Figura 25 - Boxplot de OD (P5)
Fonte: Autor (2022)

A variação da concentração de fósforo e nitrogênio em suas diferentes formas está presente nas Figuras 26 e 27.

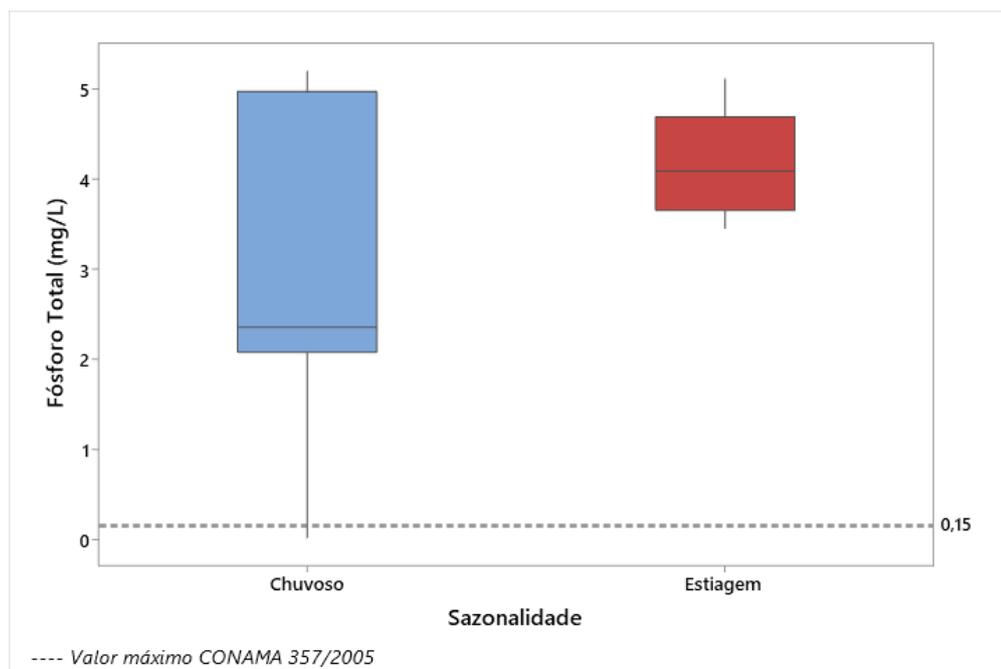


Figura 26 – *Boxplot* de Fósforo total (P5)
Fonte: Autor (2022)

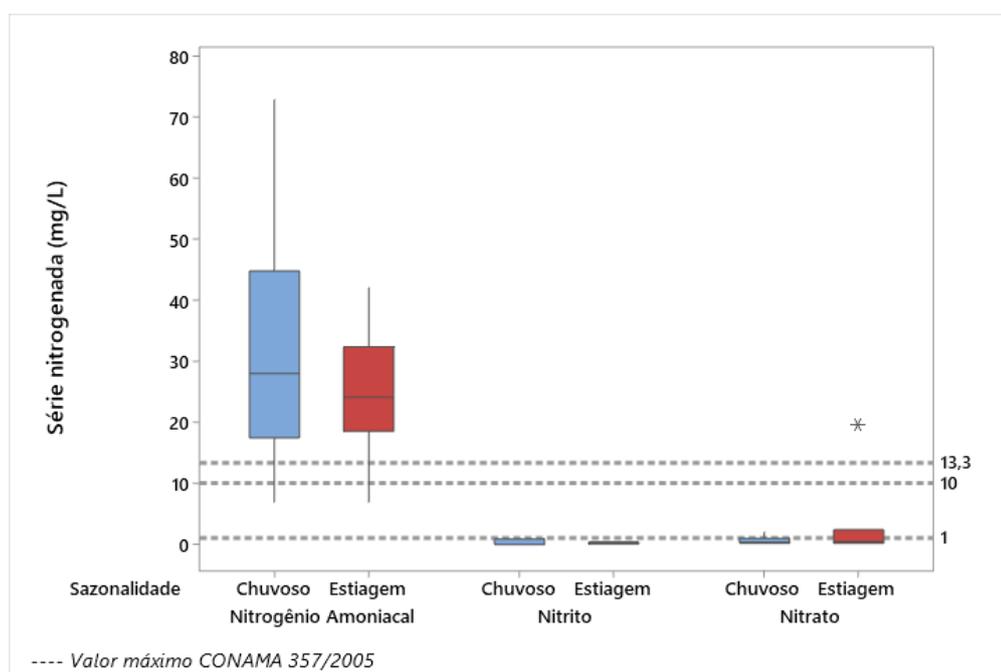


Figura 27 - *Boxplot* de N-Amoniacal, Nitrito e Nitrato (P5)
Fonte: Autor (2022)

As concentrações de fósforo ultrapassaram o limite estabelecido pela CONAMA 357/2005, classe 3. A maior dispersão de dados foi verificada no período chuvoso com amplitude interquartil de 2,9, durante o período de estiagem foi 1,04.

Verifica-se que da série nitrogenada, apenas nitrito não ultrapassou o limite estabelecido para classe 3. Em relação a sazonalidade, apenas nitrato apresentou maior dispersão de dados durante o período de estiagem.

Como resultado desse aporte de nutrientes verifica-se que já na cabeceira o riacho apresenta indícios de eutrofização, confirmados pela presença de clorofila-a cuja concentração, durante o período analisado, foi 110 µg/L, ultrapassando o limite de 60 µg/L para classe 3. A maior dispersão dos dados foi observada durante o período chuvoso.

A Figura 28 apresenta a variação da clorofila-a em função da sazonalidade, onde pode ser observado maior dispersão dos dados no período chuvoso. A amplitude interquartil e o desvio padrão no período chuvoso foram respectivamente 89 e 52,2. No período de estiagem esses valores foram 43,5 e 24,6.

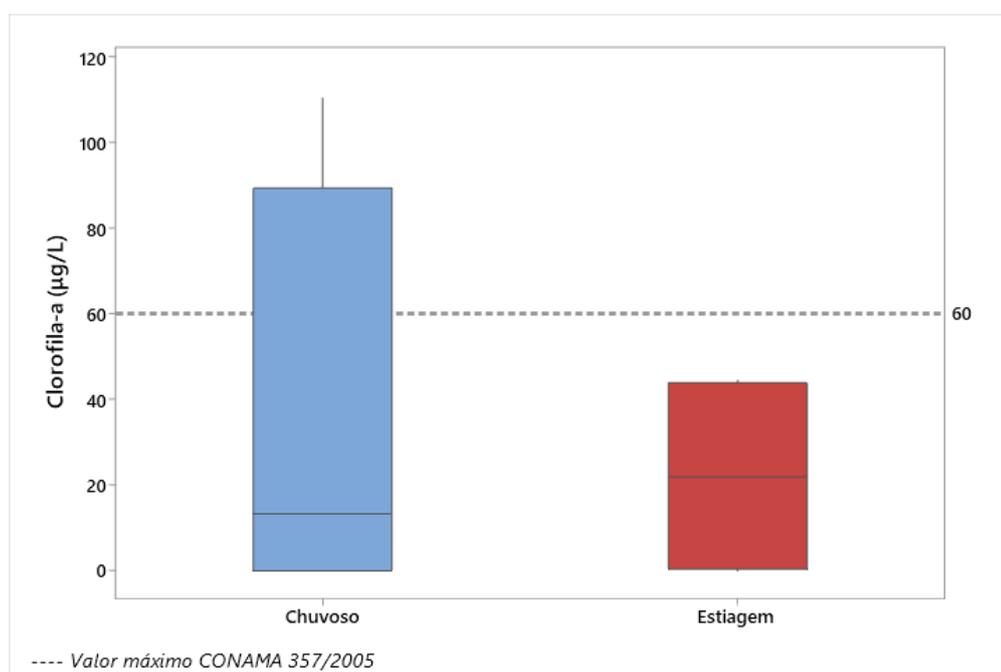


Figura 28 - *Boxplot* de clorofila-a, no ponto de lançamento de esgoto tratado (P5)
Fonte: Autor (2022)

5.6.2 Pontos de montante e jusante lançamento de lixiviado tratado (P4 e P3)

Foram disponibilizados pela CTR 124 parâmetros de monitoramento de qualidade da água do Riacho Doce no ponto de lançamento do lixiviado tratado, no entanto, foram selecionados 2 parâmetros físicos (cor e turbidez), 3 parâmetros relacionados à acidez e salinidade (pH, cloretos e sulfatos), 7 relacionados à eutrofização (OD, DBO, DQO, N-amoniaco, nitrito, nitrato e fósforo), 11 metais, e 2

relacionado à biológicos (coliformes termotolerantes, cianobactérias) cujos valores médio e desvio padrão, mínimo e máximo, estão apresentados no Apêndice C.

Foi considerado como critério de seleção desses parâmetros a fonte do efluente descartado (lixiviado tratado) e os parâmetros que são analisados mensalmente, com o intuito de obter um conjunto mínimo de parâmetros e sua frequência de monitoramento. Aos dados secundários selecionados foram aplicados testes de hipóteses com intuito de verificar a interferência de sazonalidade na qualidade da água nos pontos montante (P4) e jusante (P3) de lançamento da CTR, cujos resultados obtidos estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Testes de hipóteses aplicados à qualidade da água nos pontos P4 e P3.

Parâmetro	Teste K-S	Teste T/U
Cor	0,010	0,540 ^U
Turbidez	0,010	0,004 ^U
pH	0,150	1,00 ^T
Cloretos	0,010	0,002 ^U
Sulfatos	0,010	0,389 ^U
Oxigênio dissolvido	0,150	0,92 ^T
DBO	0,010	0,475 ^U
DQO	0,010	0,066 ^U
Nitrogênio amoniacal	0,010	0,452 ^U
Nitrito	0,010	0,826 ^U
Nitrato	0,010	0,906 ^U
Fósforo total	0,010	0,488 ^U
Clorofila a	0,010	0,004 ^U
Densidade de cianobactérias	0,010	0,934 ^U
Alumínio dissolvido	0,010	0,058 ^U
Arsênio total	0,010	0,001 ^U
Bário total	0,010	0,001 ^U
Cádmio total	0,010	0,072 ^U
Cobre dissolvido	0,010	0,133 ^U
Cromo total	0,010	0,226 ^U
Lítio total	0,010	0,00 ^U
Manganês total	0,010	0,001 ^U
Mercúrio total	0,010	0,186 ^U
Níquel total	0,010	0,127 ^U
Zinco total	0,010	0,292 ^U
Coliforme termotolerantes	0,010	0,036 ^U

Fonte: Autor (2022)

Após a aplicação dos testes, foi possível identificar que os parâmetros pH e OD seguem uma distribuição normal (teste T) e os demais parâmetros seguiram uma distribuição não paramétrica (teste U). Desta forma, ao avaliar os valores-p de cada teste específico, os parâmetros arsênio, bário, clorofila-a, coliformes termotolerantes,

lítio, manganês e turbidez demonstram que a sazonalidade é estatisticamente significativa.

Embora, as concentrações de arsênio, clorofila-a e lítio estejam dentro do limite estabelecido pela CONAMA 357/2005, a variabilidade durante o período torna a necessidade do monitoramento constante.

Os gráficos *boxplot* que apresentam a variação da cor e da turbidez, nos pontos P4 e P3, em função da sazonalidade estão apresentados nas Figuras 29 e 30.

Os valores de cor apresentaram maior amplitude interquartil durante o período chuvoso nos pontos 4 e 3 como pode ser observado na Figura 29. No ponto 4, os valores máximos de cor, durante o período estiagem e período chuvoso, foram respectivamente 120 uC e 72 uC, enquanto no ponto 3, foram 125 uC e 179 uC.

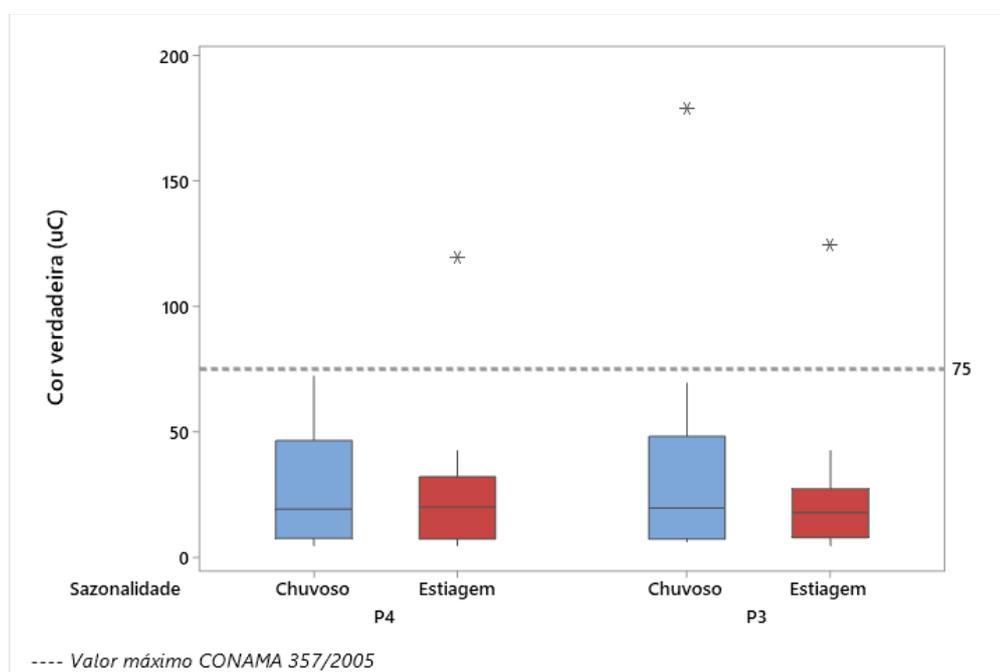


Figura 29 - *Boxplot* de Cor (P4 e P3)
Fonte: Autor (2022)

Em relação a turbidez no ponto 4, o maior valor foi 123 NTU durante o período chuvoso, assim como maior desvio padrão e maior amplitude interquartil.

No ponto 3, os valores de turbidez também apresentam maior dispersão de dados durante o período chuvoso e com valor máximo de 1723 NTU. Esse aumento considerável em relação ao P4 (montante do lançamento de lixiviado tratado) não aparenta estar relacionado ao descarte do lixiviado tratado, visto que as coletas de amostras de água no riacho sempre ocorriam por volta das 10 horas da manhã, e o

descarte de lixiviado só é feito a partir das 17 horas por um período de 8 h, ou seja, não estava havendo lançamento de lixiviado no corpo de água.

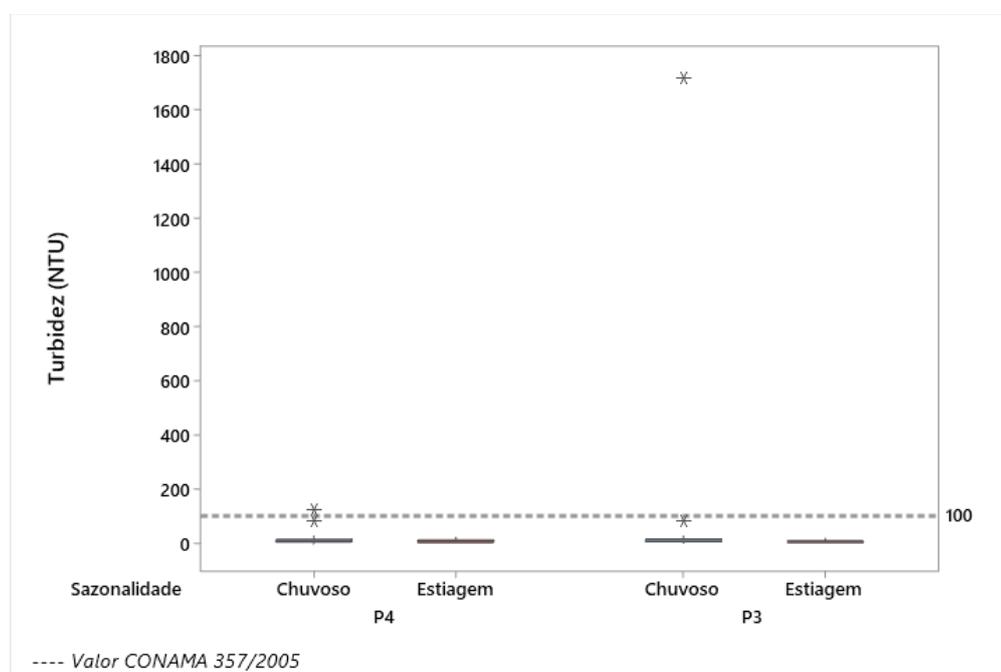


Figura 30 - *Boxplot* de Turbidez (P4 e P3)
Fonte: Autor (2022)

Os dados mostram que os parâmetros físicos cor e turbidez, tanto a montante quanto a jusante do ponto de lançamento, estão em desacordo com os padrões estabelecidos pela resolução CONAMA nº 357/2005 para as águas doces de classe 2, o que merece atenção, pois a CETESB (2019) alerta que altos valores de cor e turbidez dificultam a passagem da luz no corpo d'água, diminuindo a concentração de oxigênio, conseqüentemente, dificultando a sobrevivência de espécies.

Quanto ao pH da água, os valores são muito semelhantes em P4 e P3 (Figura 31). A maior dispersão ocorre durante o período chuvoso. Os valores encontrados, além de similares, em ambos os pontos, atendem os limites estabelecidos pela CONAMA 357/2005.

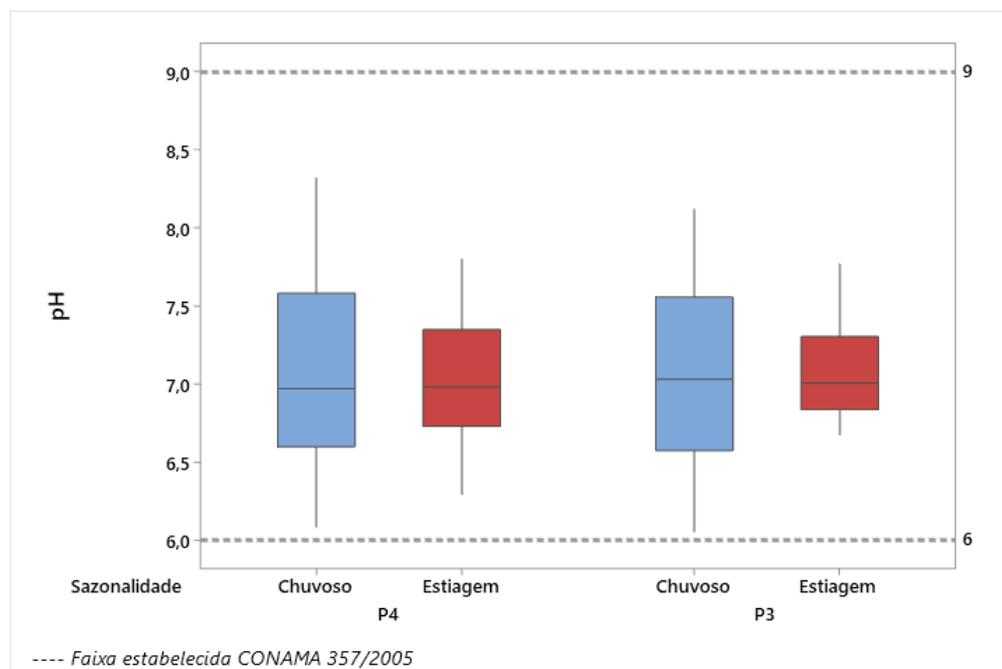


Figura 31 - Boxplot de pH (P4 e P3)

Fonte: Autor (2022)

As concentrações de cloretos foram maiores no período de estiagem, além disso, maior desvio padrão e amplitude (Figura 32). Em oposição, às concentrações de sulfatos apresentaram maior sensibilidade no período chuvoso, com maiores concentrações, desvio padrão e amplitude (Figura 33).

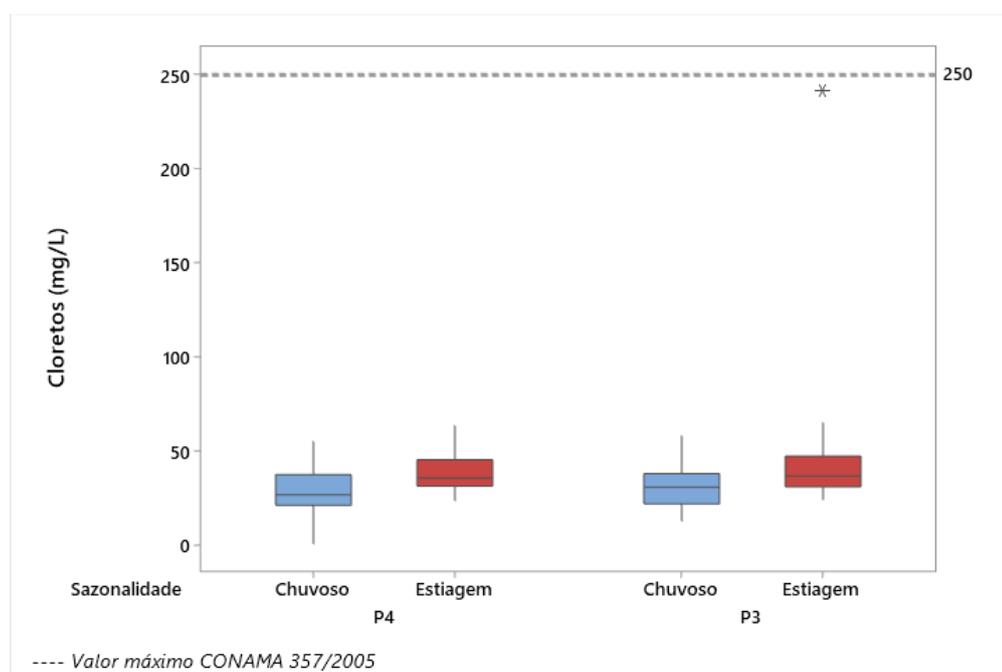


Figura 32 - Boxplot de Cloretos (P4 e P3)

Fonte: Autor (2022)

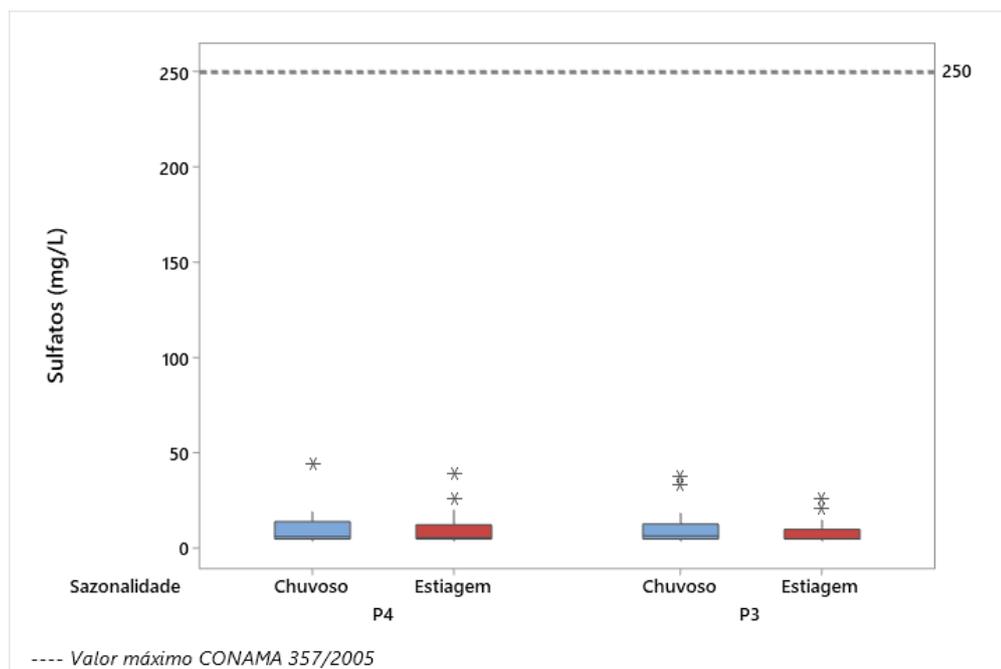


Figura 33 - *Boxplot* de Sulfatos (P4 e P3)
Fonte: Autor (2022)

Em relação a presença de matéria orgânica nesses pontos, medidas como DQO e DBO, assim como a concentração de OD na água, a dinâmica sazonal das suas concentrações nos pontos 4 e 3 estão apresentadas nas Figuras 34, 35 e 36.

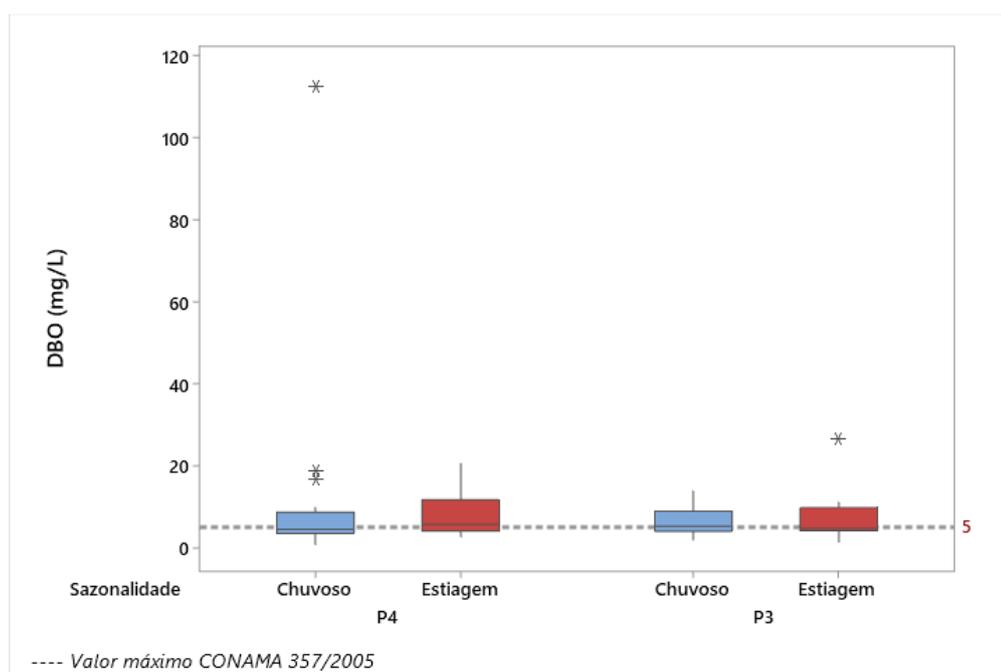


Figura 34 - *Boxplot* de DBO (P4 e P3)
Fonte: Autor (2022)

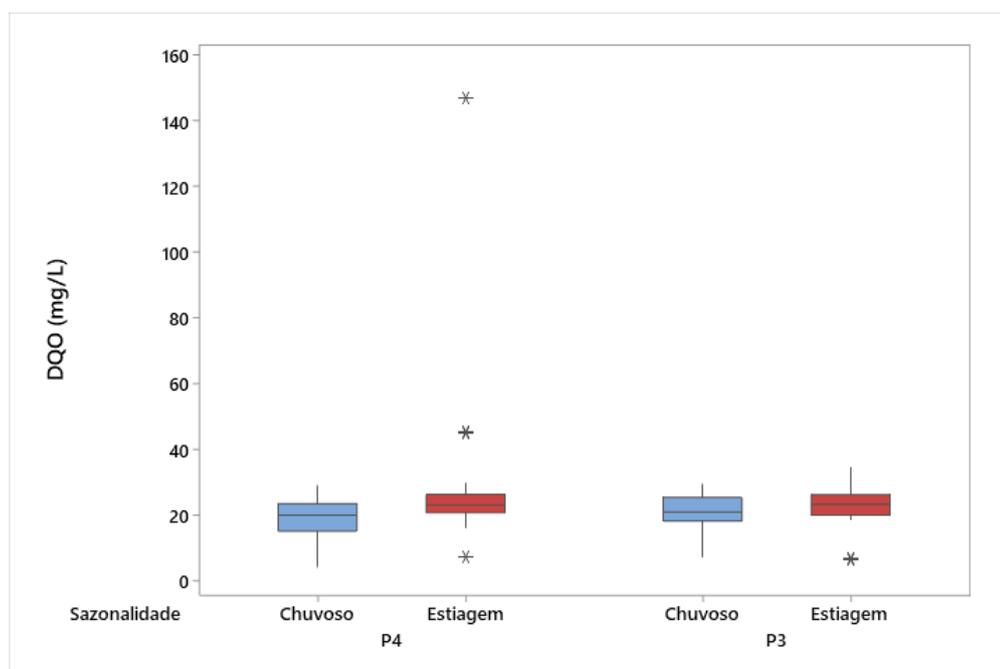


Figura 35 - *Boxplot* de DQO (P4 e P3)
Fonte: Autor (2022)

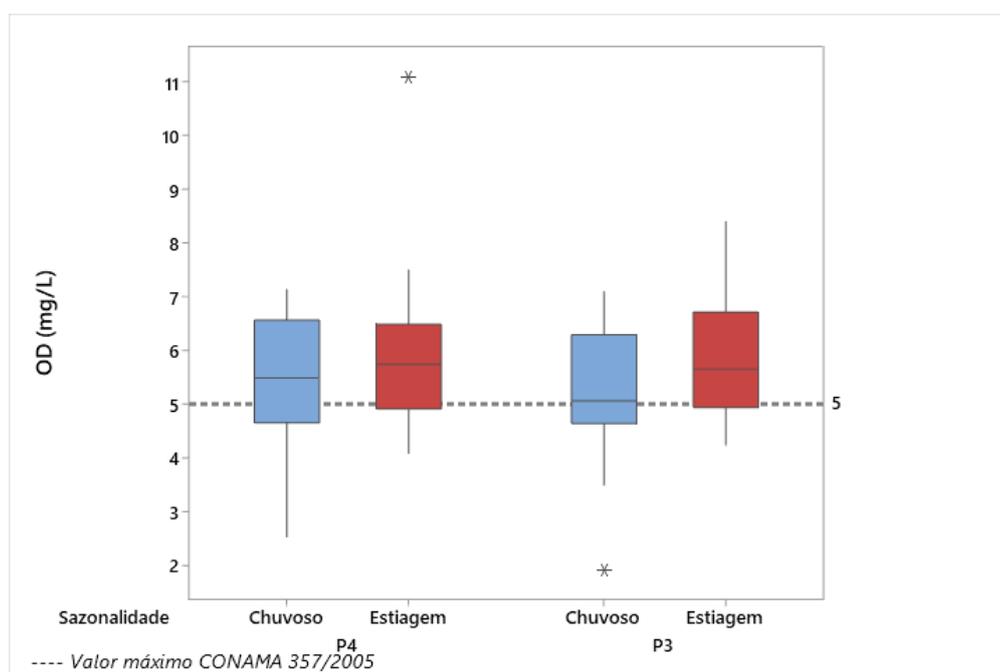


Figura 36 - *Boxplot* de OD (P4 e P3)
Fonte: Autor (2022)

Em relação a dinâmica sazonal, as concentrações de DBO apresentaram maior amplitude de dados durante o período de estiagem. No entanto, a concentração máxima obtida no P4 foi durante o período chuvoso, isso pode ter ocorrido devido a presença de dejetos de animais próximos à área.

As concentrações de DBO ultrapassam o limite máximo estabelecido pela CONAMA 357/2005 para classe 2. A partir das concentrações máximas, a relação DQO/DBO foi maior no P4 durante o período de estiagem e no ponto 3 durante o período chuvoso, os valores obtidos da relação indicam elevada fração biodegradável (Tabela 14).

Também foi possível identificar que durante o período de estiagem, a partir da diluição do lançamento de lixiviado tratado no corpo hídrico, houve redução das concentrações.

Tabela 14 - Relação DQO/DBO nos P4 e P3

	Chuvoso	Estiagem
P4	0,26	7,14
P3	2,12	1,29

Fonte: Autor (2022)

Em ambos os pontos, as concentrações de DBO e OD apresentaram maior amplitude interquartil durante o período de estiagem e DQO durante o período chuvoso.

O aumento da quantidade de matéria orgânica diminui a concentração de oxigênio no corpo hídrico além de prejudicar as espécies aquáticas, a DBO pode produzir sabores e odores desagradáveis e conseqüentemente a rejeição da água para usos como abastecimento humano e animal (CETESB, 2019).

Os gráficos que exibem as variações dos parâmetros que indicam a presença de nutrientes P e N estão apresentados nas Figuras 37 a 40. As concentrações de fósforo total, nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato também estão em desacordo com os valores da resolução CONAMA 357/2005.

As concentrações de fósforo total apresentaram maior amplitude interquartil durante o período de estiagem no P4, enquanto no P3 foi durante o período chuvoso. Também foi possível verificar que as concentrações no P3 apresentaram menor amplitude de dados em relação ao P4, isso pode ter ocorrido devido ao lançamento de efluente de lixiviado tratado que contribuiu para a diluição das concentrações de fósforo.

Em relação às concentrações de nitrogênio amoniacal, conforme apresentado na Figura 38, o P4 apresentou maior amplitude interquartil foi durante o período chuvoso e no P3 no período de estiagem.

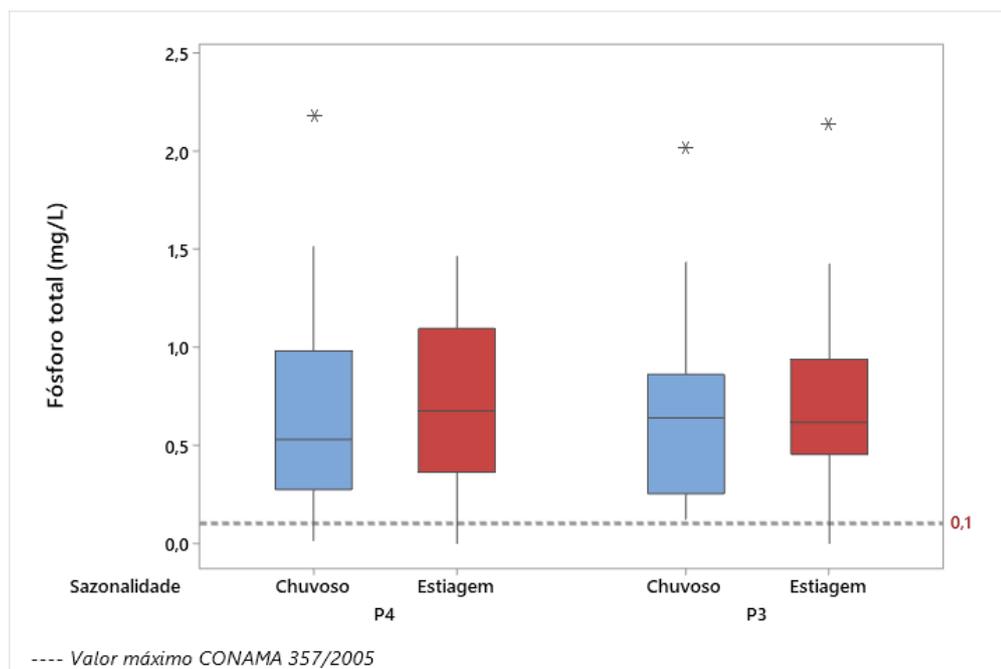


Figura 37 - Boxplot de Fósforo total (P4 e P3)
Fonte: Autor (2022)

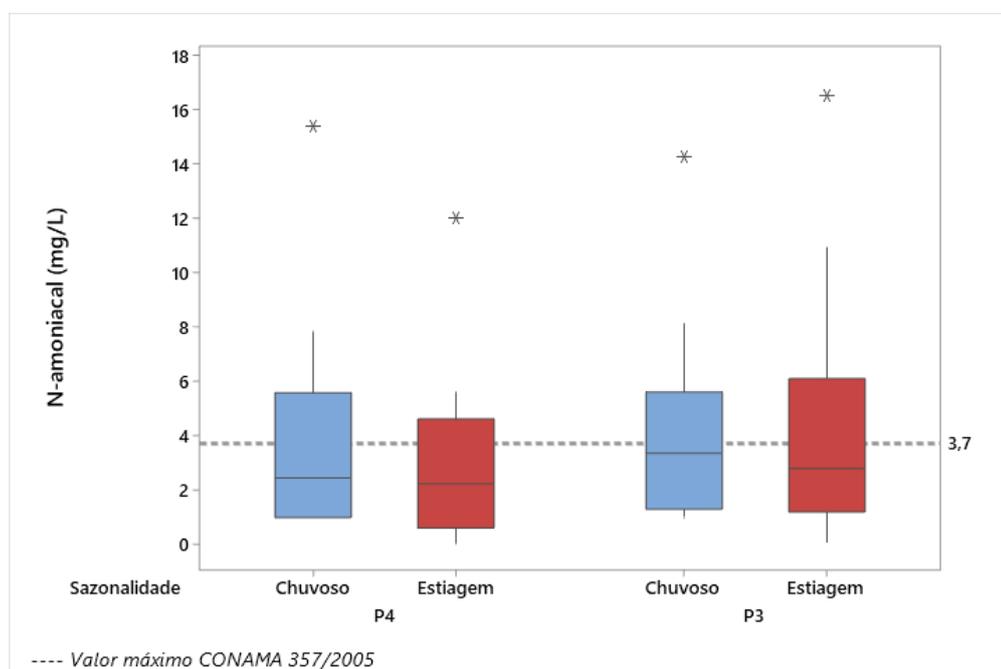


Figura 38 – Boxplot de N-Amoniacal (P4 e P3)
Fonte: Autor (2022)

Em relação a nitrito, as concentrações nos P4 e P3 apresentaram maior amplitude interquartil durante o período chuvoso (Figura 39).

Em relação às concentrações de nitrato nos P4 e P3, a maior amplitude interquartil foi observada durante o período de estiagem (Figura 40).

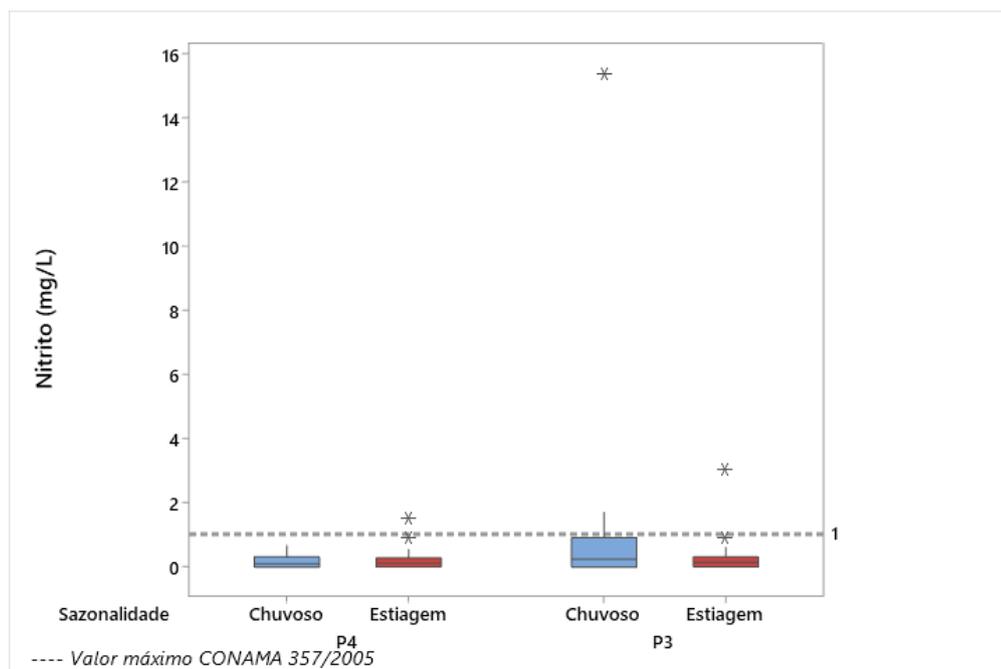


Figura 39 – Boxplot de Nitrito (P4 e P3)
Fonte: Autor (2022)

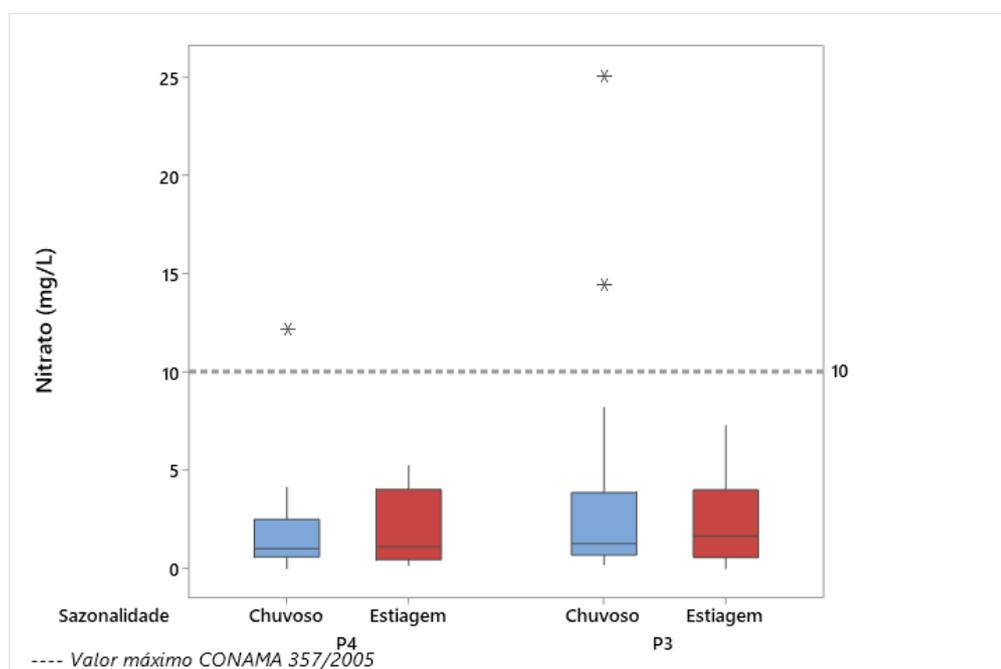


Figura 40 – Boxplot de Nitrato (P4 e P3)
Fonte: Autor (2022)

Uma das consequências do excesso de nutrientes é a eutrofização, que leva a um *boom* algal. Nesse sentido, a eutrofização e poluição das águas podem ocasionar problemas como eventuais mortandades de peixes, proliferação de algas, como cianobactérias que geram secreções tóxicas, além de maiores dificuldades e elevação nos custos para tratar a água.

As concentrações de clorofila-a apresentaram maior amplitude interquartil durante o período chuvoso no P4 e durante o período de estiagem no P3 (Figura 41).

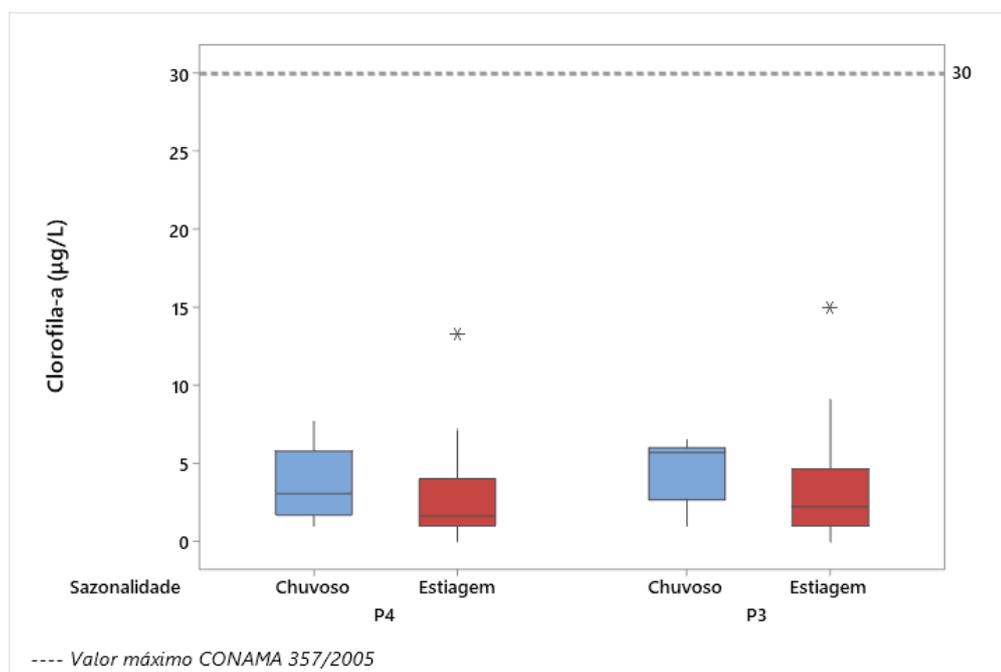


Figura 41 - Boxplot de Clorofila-a (P4 e P3)
Fonte: Autor (2022)

Em relação às cianobactérias, a dinâmica sazonal interferiu na amplitude interquartil consideravelmente, no P4 a maior amplitude foi durante o período de estiagem e no P3 durante o período chuvoso (Figura 42).

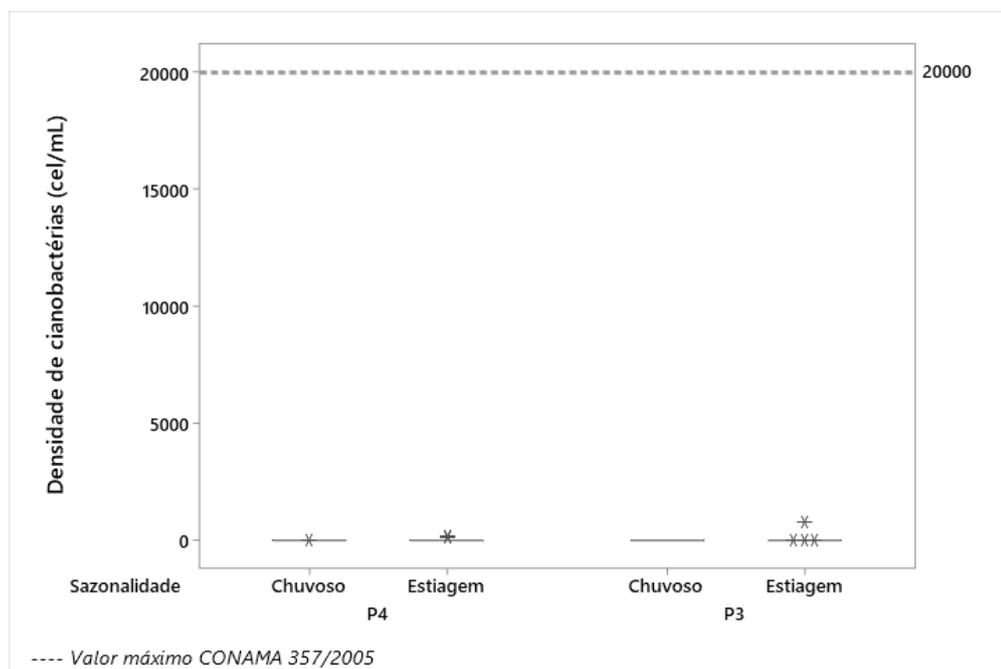


Figura 42 - Boxplot de Densidade de cianobactérias (P4 e P3)
Fonte: Autor (2022)

No ponto 4, os metais alumínio dissolvido, cádmio total, cobre dissolvido, manganês total, zinco total apresentaram desconformidade durante o período analisado para classe 2.

Em relação a sazonalidade, os parâmetros lítio total, bário total, cádmio total, cobre dissolvido apresentaram as maiores amplitudes interquartis durante o período chuvoso. No período de estiagem, os parâmetros foram lítio total, alumínio dissolvido e manganês total (Figura 43).

No ponto 3, os metais alumínio dissolvido, cádmio total, cobre dissolvido, manganês total, zinco total apresentaram desconformidade durante o período analisado para classe 2.

Em relação a sazonalidade, os parâmetros lítio total, bário total, cádmio total, cobre dissolvido apresentaram as maiores amplitudes interquartis durante o período chuvoso. No período de estiagem, os parâmetros foram lítio total, bário total e arsênio total (Figura 44).

Embora sejam encontrados na composição das rochas ígneas, metamórficas e sedimentares e distribuídos pelo ambiente através dos processos intemperismo e erosão, as atividades antrópicas têm contribuído com o aumento desses metais pesados na natureza e sua presença no corpo humano pode causar morte (BAGGIO, 2008).

Os metais como alumínio (Al), bário (Ba), cádmio (Cd), cobre (Cu), manganês (Mn), mercúrio (Hg), zinco (Zn), causam efeitos nocivos aos organismos vivos e aos ecossistemas.

Porém, cabe ressaltar que a qualidade do lixiviado tratado não interfere significativamente na qualidade da água do Riacho Doce, visto que a qualidade do lixiviado tratado é melhor em comparação à qualidade do corpo hídrico, considerando que a coletas foram realizadas fora do horário de lançamento.

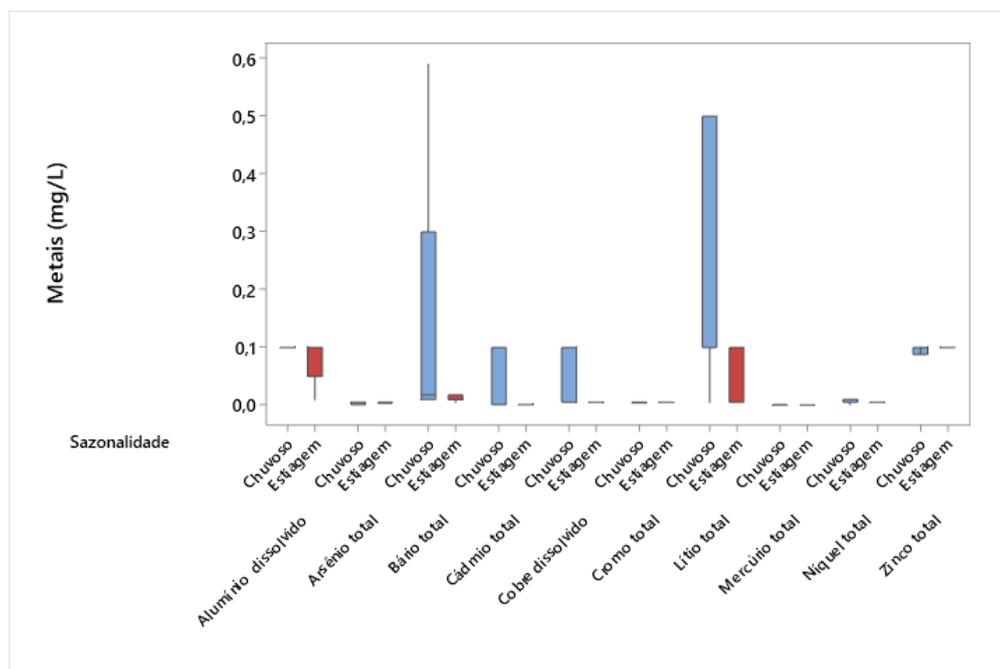


Figura 43 - Boxplot de metais (P4)
Fonte: Autor (2022)

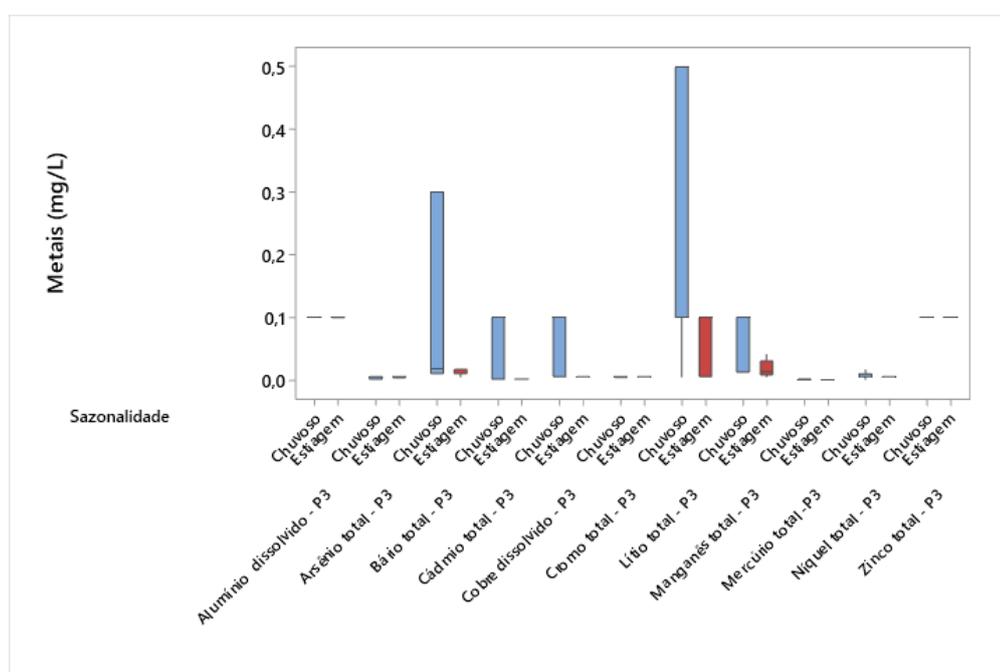


Figura 44 - Boxplot de metais (P3)
Fonte: Autor (2022)

A estatística descritiva a partir do uso de diagramas de caixa permitiu identificar a distribuição dos valores das concentrações dos parâmetros e definir uma frequência de monitoramento para obtenção de dados para o enquadramento.

5.6.3 Avaliação qualitativa das águas da bacia no período nov/2021 a mai/2022

- **Avaliação físico-química**

Os valores médios e o desvio padrão dos dados de qualidade da água, referentes ao período de 2021 e 2022 dos pontos estudados da Bacia do Riacho Doce e seus afluentes, agrupados em período de estiagem e período chuvoso, estão apresentados no Apêndice C.

As Figuras 45 e 46 apresentam o gráfico *boxplot* da variação dos parâmetros físicos cor e turbidez no período de estiagem e chuvoso.

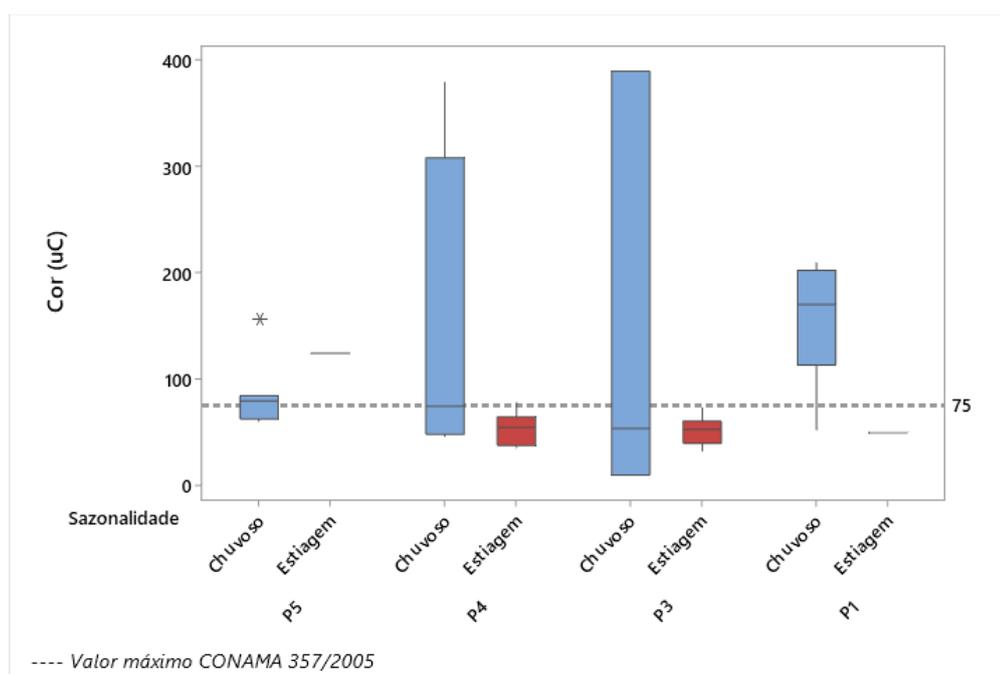


Figura 45 - *Boxplot* de Cor
Fonte: Autor (2022)

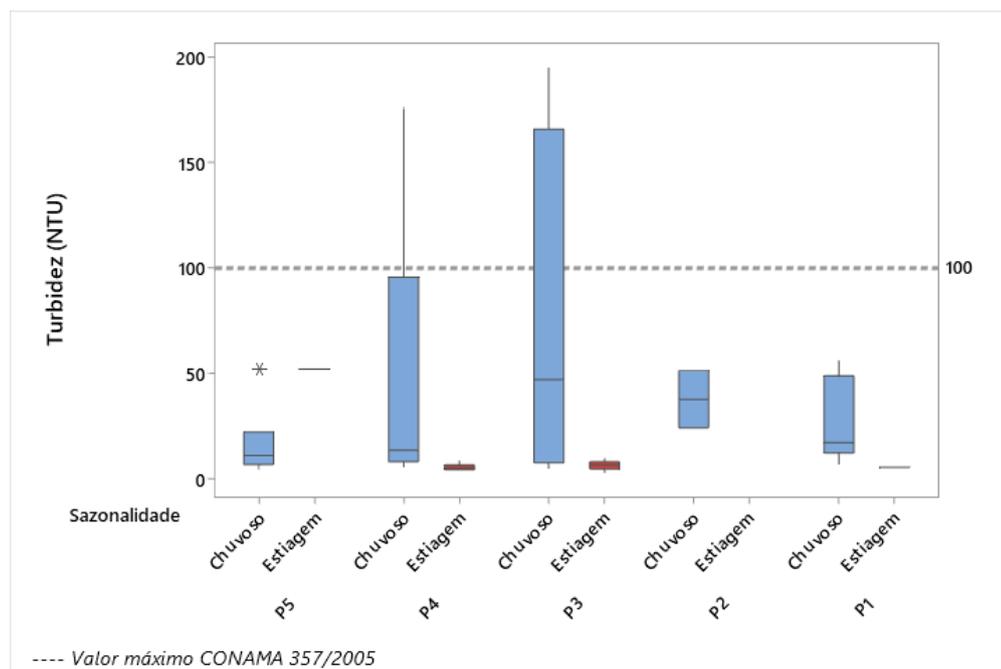


Figura 46 - Boxplot de Turbidez
Fonte: Autor (2022)

Durante o período de estiagem, os valores de cor e turbidez foram menores em relação ao período chuvoso e permaneceram nas classes do enquadramento proposto com exceção do ponto 4.

No período chuvoso, a cor ultrapassou o limite da classe estabelecida em todos os pontos. Além disso, foi o parâmetro que apresentou maior amplitude interquartil durante o período observado.

A maior diferença entre os períodos de estiagem e chuvoso foi observado no ponto 3, que recebe lixiviado tratado, o desvio padrão foi 12,7 e 170,2 respectivamente.

Em relação à turbidez, apenas nos pontos P4 e P3 os valores não atendem os padrões da resolução vigente. O P3 foi o que apresentou maiores concentrações de turbidez de todo o conjunto de dados com desvio padrão de 87,51 durante o período chuvoso.

Nos pontos P1, P2 e P5, as concentrações de turbidez não ultrapassaram os limites estabelecidos para cada classe de enquadramento, embora nos P1 e P5 estejam situados em áreas urbanizadas com despejo de efluente irregular.

As origens antropogênicas relacionadas a cor e turbidez são os despejos industriais e domésticos. No ponto 1 e 5, na área urbanizada há lançamento direto no corpo hídrico, nesse sentido, os sólidos em suspensão presente na água podem estar associados à origem de organismos patogênicos (VON SPERLING, 2014).

Ademais, durante o período chuvoso esses parâmetros apresentaram maior amplitude interquartil (Figuras 47 e 48). O ponto 1 apresentou maior desvio padrão em relação a cloretos e sulfatos durante o período, respectivamente 631,8 e 143,6 mg/L.

A variabilidade desses parâmetros é evidenciada pelos usos da água e as características naturais. No ponto localizado na foz da bacia é observado a interferência de águas salinas visto que este ponto fica localizado próximo ao mar, além disso, o despejo de efluentes domésticos que ocorre nos pontos P1 e P5 também aumenta as concentrações cloretos e sulfatos (VON SPERLING, 2014).

As concentrações de sulfatos e cloretos estão fora do limite estabelecido durante o período de estiagem e chuvoso no ponto 1, e no ponto 5, cloretos ultrapassam os limites no período chuvoso.

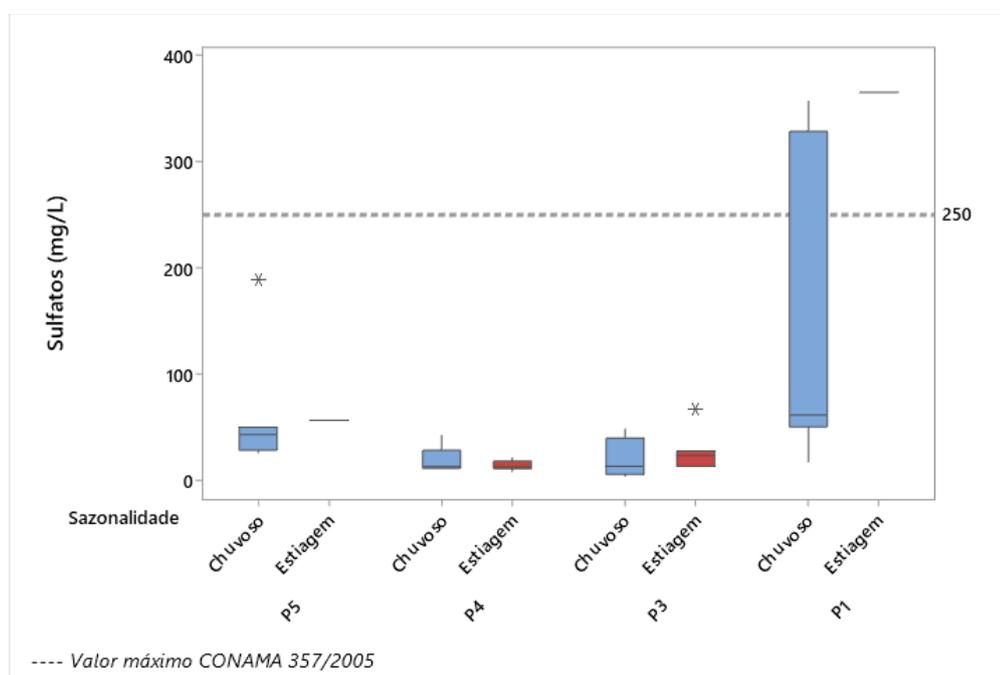


Figura 47 - Boxplot de Sulfatos
Fonte: Autor (2022)

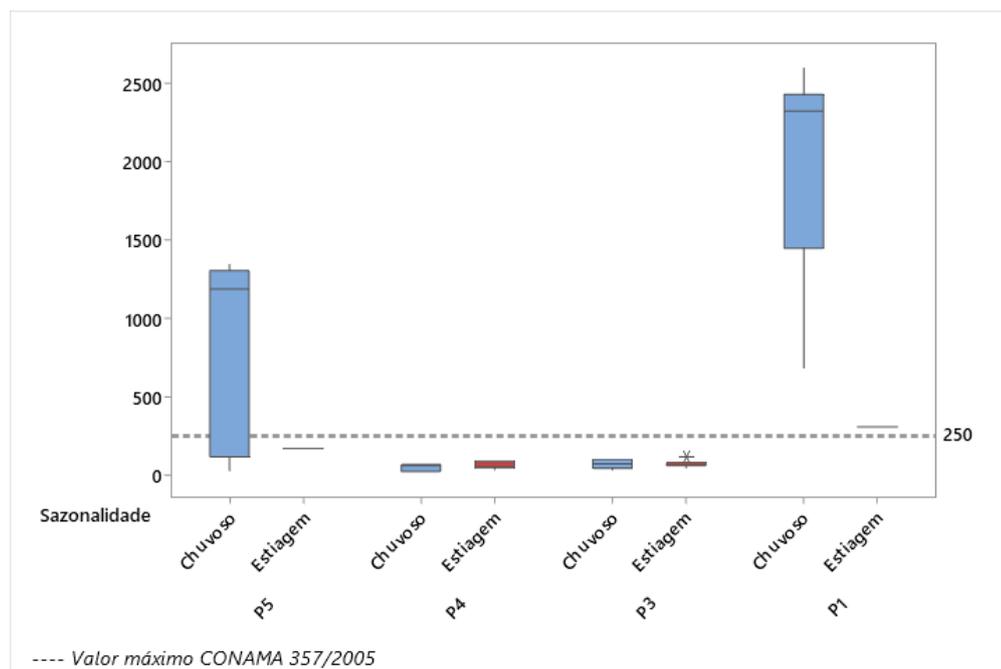


Figura 48 - Boxplot de Cloretos
Fonte: Autor (2022)

A presença de cloretos não apresenta toxicidade ao ser humano, mas em determinadas concentrações confere sabor salino à água sendo um padrão de aceitação quando destinadas a abastecimento público (CETESB, 2019).

O sulfato pode interferir no odor da água e ser tóxico quando transformado em sulfeto, além disso pode provocar efeitos laxativos, portanto, seu controle é fundamental nas águas de abastecimento público (CETESB, 2019).

O pH está em conformidade com o limite estabelecido e apresentou baixos valores de desvio padrão, principalmente durante o período chuvoso, sendo o menor desvio encontrado no P3 com 0,23 e o maior desvio foi no P2 com 0,56 (Figura 49).

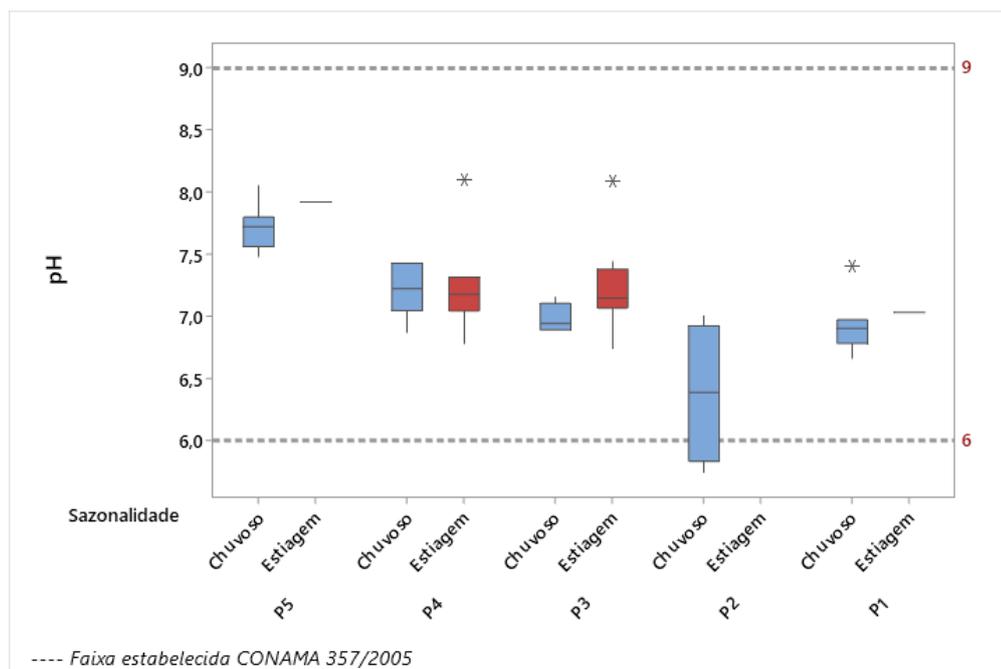


Figura 49 - Boxplot de pH
Fonte: Autor (2022)

Apesar da CONAMA 357/2005 não definir padrões para alcalinidade existe associação com o pH. O processo de nitrificação consome alcalinidade reduzindo os valores de pH afetando a própria taxa de crescimento de microrganismos (VON SPERLING, 2014). Em relação a sazonalidade, nos P5, P4, P1 houve maior variabilidade de dispersão dos dados no período chuvoso, e no P3 durante o período de estiagem (Figura 50).

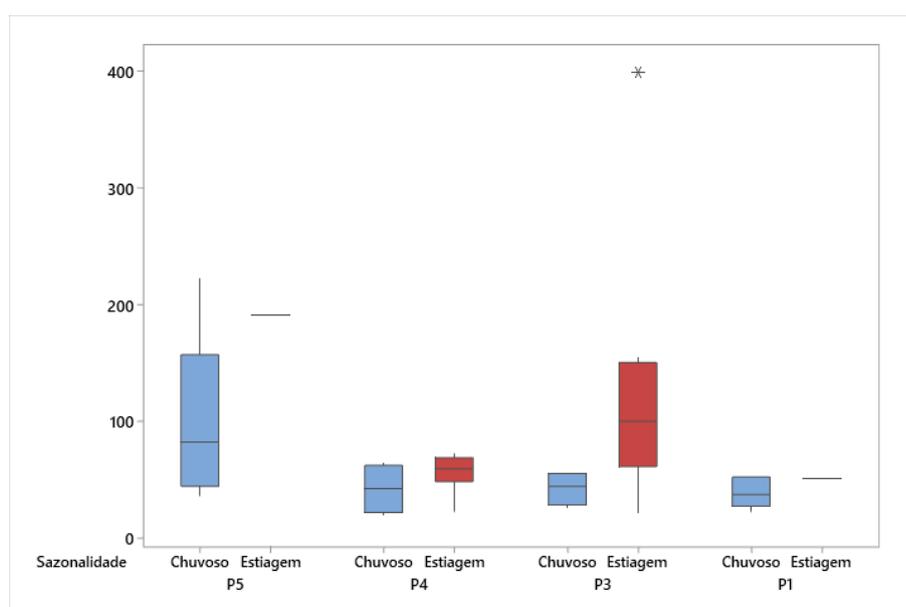


Figura 50 - Boxplot de Alcalinidade
Fonte: Autor (2022)

As variações da DBO e do OD estão presentes nas Figuras 51 e 52. Durante o período de estiagem a amplitude interquartil de dados foi maior em comparação ao período chuvoso. Durante esse período, o P3 apresentou maior desvio padrão (21,67) em relação a DBO. Já o OD, apresentou maior desvio padrão (1,82) no P4.

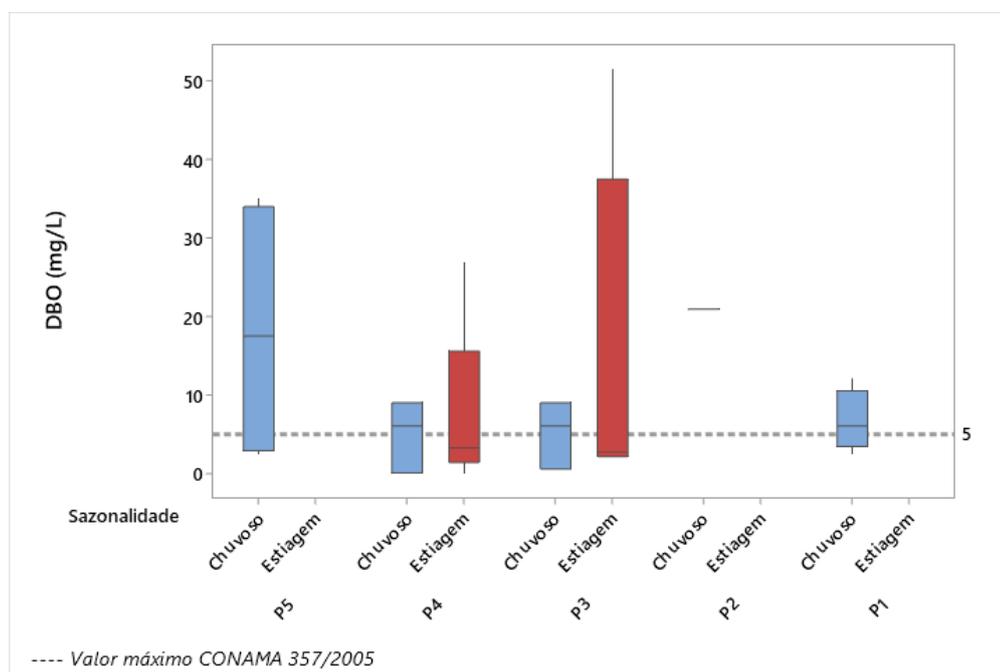


Figura 51 - Boxplot de DBO
Fonte: Autor (2022)

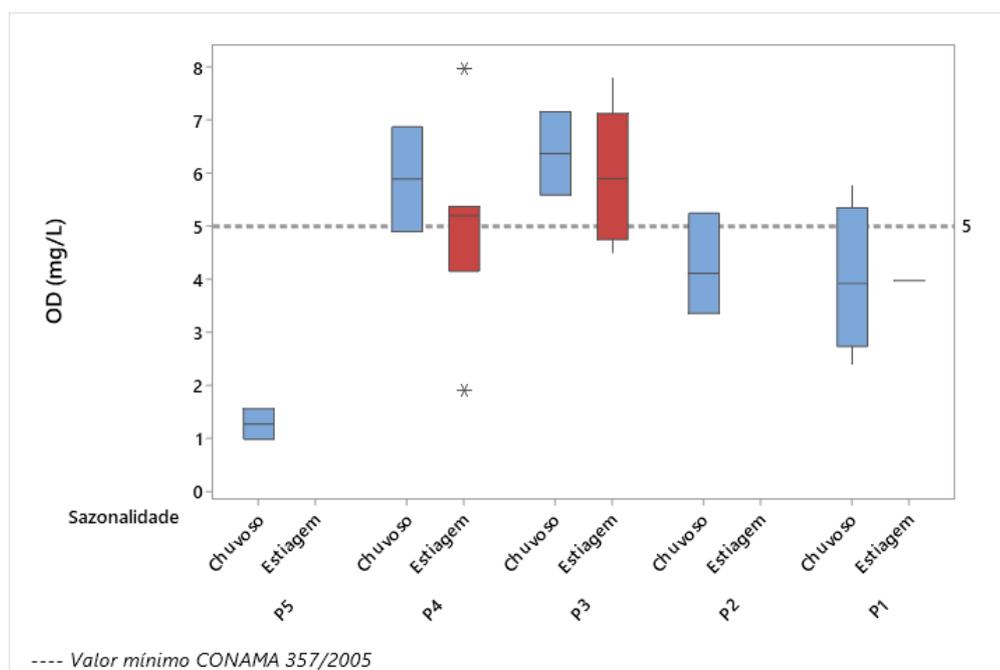


Figura 52 - Boxplot de OD
Fonte: Autor (2022)

A DBO e OD não atenderam aos padrões definidos para as classes propostas para todos os pontos. A DBO máxima foi observada no ponto 3 e menor valor de OD

no ponto 5. As concentrações mais satisfatórias em relação a DBO e OD foram respectivamente nos pontos da foz (P1) e a jusante do lixiviado tratado (P3) apesar dos lançamentos que ocorrem próximo.

Com a dinâmica sazonal a variação da temperatura é um fator que interfere nas concentrações desses parâmetros, visto que, em maiores temperaturas a atividade metabólica dos microrganismos é maior e a solubilização dos gases diminui (FIA *et al.*, 2015; SILVA, 2018).

Em relação a interferência da sazonalidade na distribuição de DQO, durante o período chuvoso foi observado maior amplitude interquartil, os maiores desvios padrão foram no P1 (61,88) e P3 (24,30), P4 (25,10) (Figura 53).

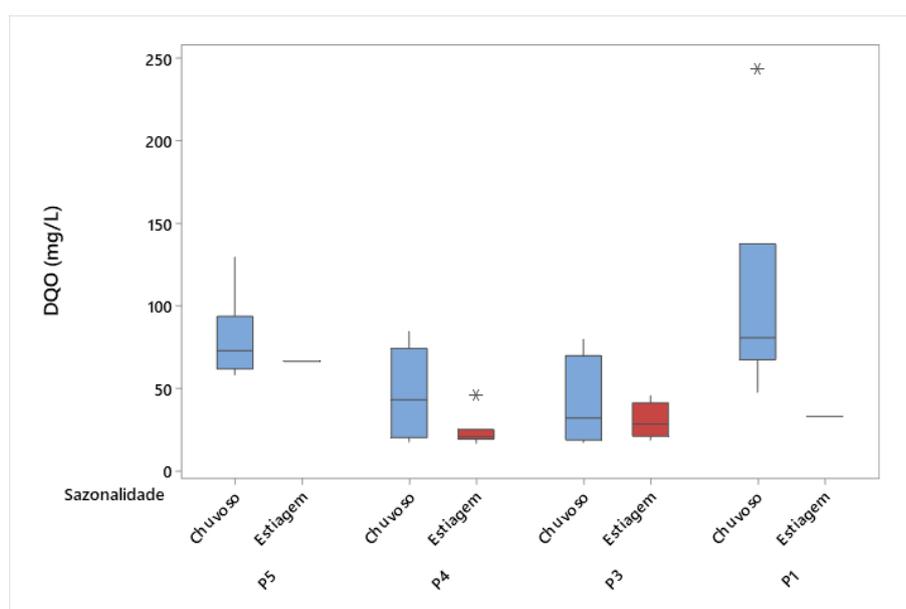


Figura 53 - *Boxplot* de DQO
Fonte: Autor (2022)

A relação com os valores máximos DQO/DBO de cada ponto são apresentados na Tabela 15. Os maiores valores obtidos foram nos pontos 1 e 4 durante a estação chuvosa.

No P1 indica que quase a totalidade da matéria orgânica presente é recalcitrante, ou seja, de difícil degradação, enquanto em P3, P4 e P5 que possuem uma relação baixa a matéria orgânica é de fácil degradação.

Tabela 15 - Relação DQO/DBO nas águas da Bacia do Riacho Doce

Ponto	Período	DQO/DBO
P5	Chuvoso	3,70
	Estiagem	-
P4	Chuvoso	9,39
	Estiagem	1,71
P3	Chuvoso	8,86
	Estiagem	0,89
P1	Chuvoso	20,36
	Estiagem	-

Fonte: Autor (2022)

Em relação a presença de nitrogênio, as Figuras 54, 55 e 56 apresentam as suas formas verificadas ao longo da bacia.

Quanto ao nitrogênio amoniacal, apenas o P2 está conforme o limite estabelecido pela legislação vigente, os demais pontos estão em desacordo, sendo as maiores concentrações identificadas no ponto 5.

Ao analisar o período de estiagem e chuvoso, as maiores concentrações de nitrogênio amoniacal foram obtidas durante o período chuvoso, sendo o maior desvio padrão (8,64) no ponto 5 (Figura 54).

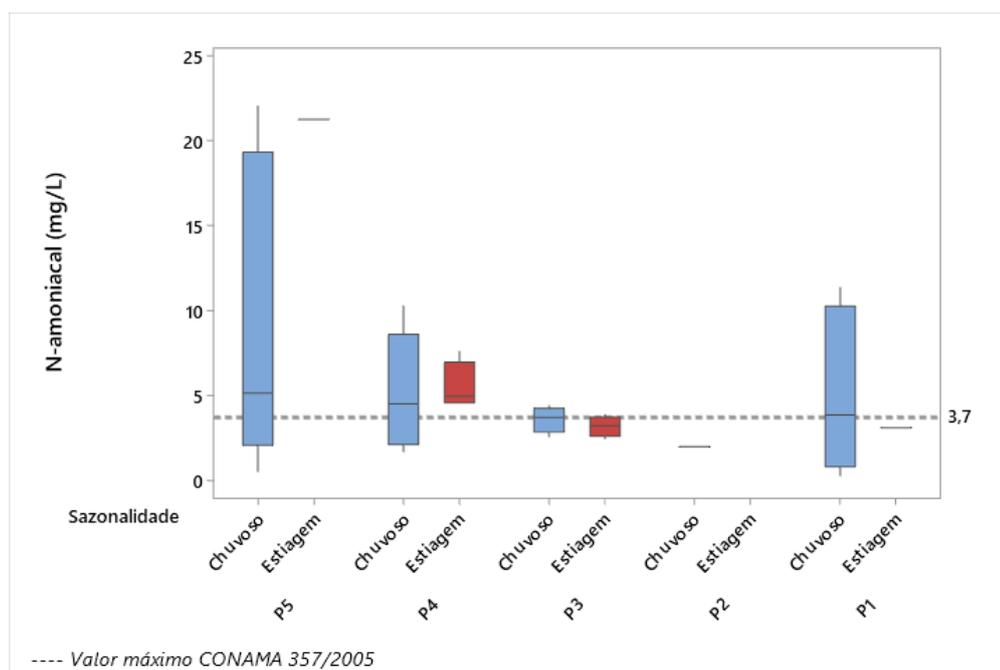


Figura 54 - Boxplot de Nitrogênio Amoniacal
Fonte: Autor (2022)

O nitrito e nitrato também estão em desacordo com os limites estabelecidos para cada classe proposta nos pontos P1, P3, P4 e P5, sendo as maiores concentrações de nitrito nos pontos P3 e P4 e de nitrato nos pontos P1 e P5.

As concentrações de nitrito foram maiores durante o período de estiagem, e o maior desvio padrão obtido foi 203,5 no P3 (Figura 55).

As concentrações de nitrato foram maiores durante o período chuvoso com exceção do P3, sendo o maior desvio padrão observado no P5 (14,6) (Figura 56).

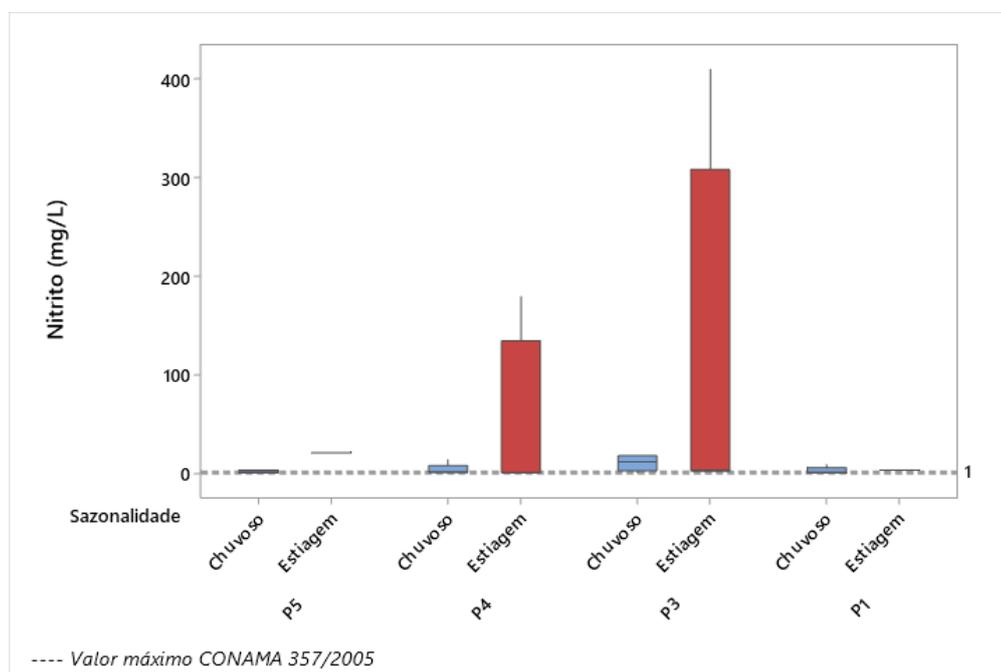


Figura 55 - Boxplot de Nitrito
Fonte: Autor (2022)

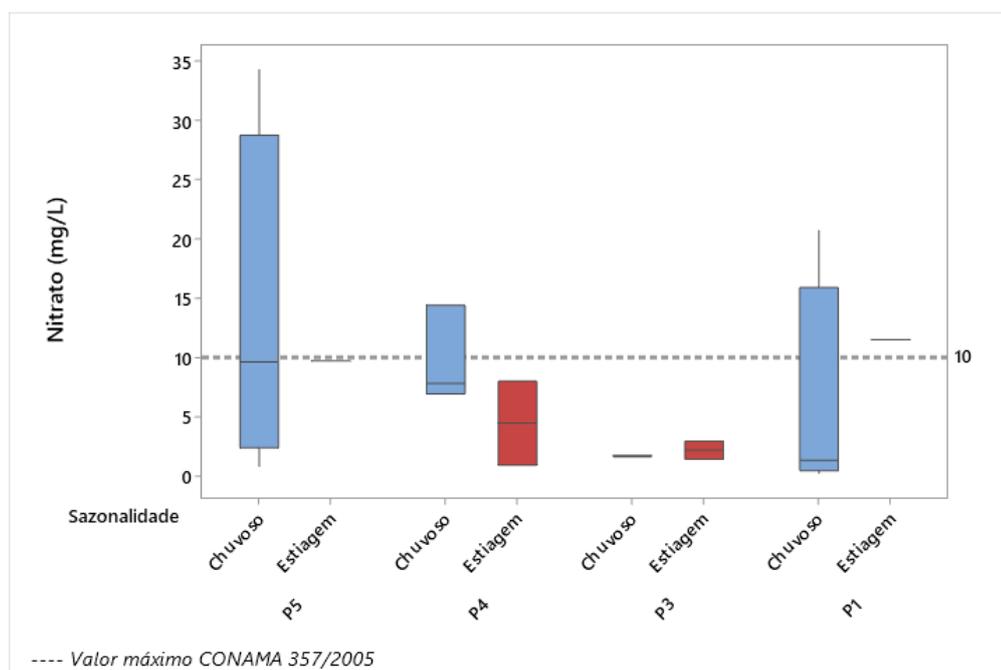


Figura 56 - Boxplot de Nitrato
Fonte: Autor (2022)

Segundo Von Sperling (2014), a forma predominante do nitrogênio pode caracterizar o estágio de poluição de um corpo hídrico ocasionado por despejos de efluentes.

Nesse sentido, maiores concentrações de nitrato indicam poluição antiga onde foi observado nos pontos 1 e 5.

Os pontos 3 e 4 possuem maiores concentrações de nitrito em relação aos demais, desta forma, o processo de nitrificação implicará maior consumo de oxigênio dissolvido nesses pontos.

A partir dos dados obtidos, foi possível verificar que a série nitrogenada apresentou dinâmica de acordo com os usos atuais das águas da Bacia do Riacho Doce e a sazonalidade.

O nutriente fósforo, limitante para ocorrência de eutrofização, não atendeu os limites estabelecidos pela CONAMA 357/2005 para as classes 2 e 3. Adicionalmente, a maior concentração foi observada no P5 e menor concentração no P1.

Em relação a dinâmica sazonal, apesar da amplitude interquartil ser baixa, as maiores concentrações foram obtidas durante o período chuvoso com exceção do ponto 1 (Figura 57). O maior desvio padrão (1,40) foi observado no ponto da foz da bacia (P1).

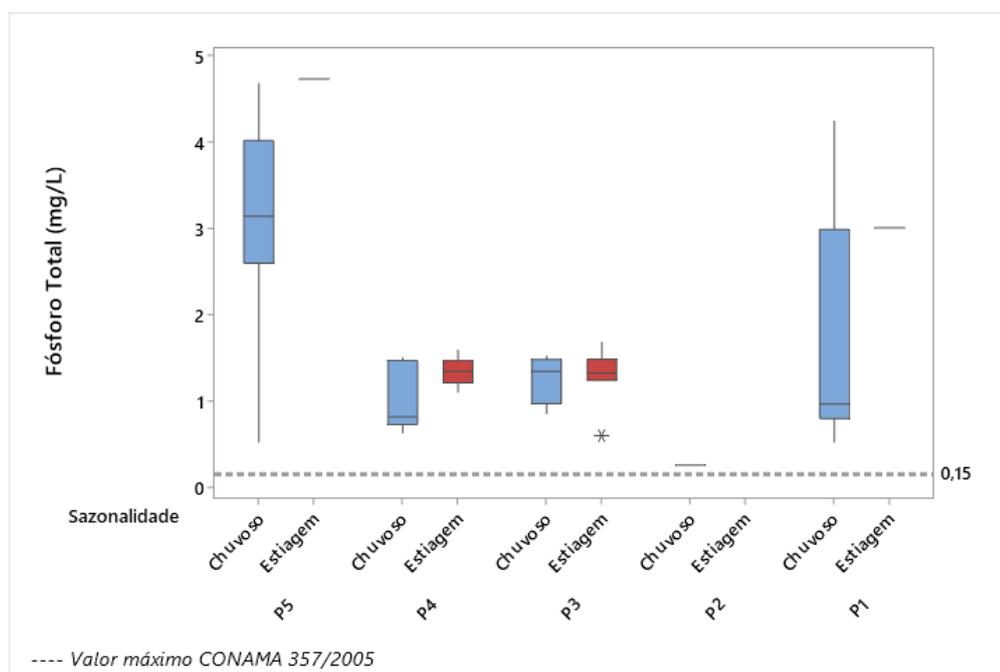


Figura 57 - Boxplot de Fósforo
Fonte: Autor (2022)

A variabilidade dos nutrientes nitrogênio e fósforo pode ocorrer devido as atividades antrópicas realizadas próximas aos pontos estudados. Durante a estação chuvosa, o esgoto doméstico descartado inadequadamente somado às fontes de poluição difusa aumentam as concentrações desses parâmetros.

Nesse sentido, os parâmetros monitorados representam os usos e ocupação do solo podem agravar a qualidade da água e favorecer o processo de eutrofização.

Os parâmetros ferro e manganês em determinadas concentrações podem ocasionar mudanças na cor, sabor e odor da água, portanto, se água for destinada para abastecimento público é importante o controle (VON SPERLING, 2014).

As concentrações nos pontos 1, 3, 4 e 5 ultrapassaram o padrão estabelecido pela resolução CONAMA 357/2005 para as classes propostas.

Durante o período de estiagem, concentrações de manganês não foram detectadas com exceção do ponto (P4) a montante do lixiviado tratado. Durante o período chuvoso a maior concentração foi observada no P5, ponto localizado próximo a área urbana e ao lançamento tratado de esgoto da SANAMA.

Ao avaliar as diferenças de sazonalidade, a amplitude interquartil dos dados foi maior durante o período de estiagem. O maior desvio padrão (4,04) foi observado no ponto 3 em período de estiagem, e durante o período chuvoso foi no ponto 1 (Figura 58).

O ferro total não possui limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357/2005, mas possui características similares ao manganês. A maior concentração observada foi no P3 (11,05 mg/L). Além disso, maior amplitude interquartil foi durante o período de estiagem (Figura 59).

A origem natural de manganês e ferro é a dissolução de composto do solo, se as concentrações forem altas, pode ser um indicativo da recomposição e proteção da mata ciliar como medidas essenciais para reduzir o aporte de partículas devido aos processos erosivos (CETESB, 2014).

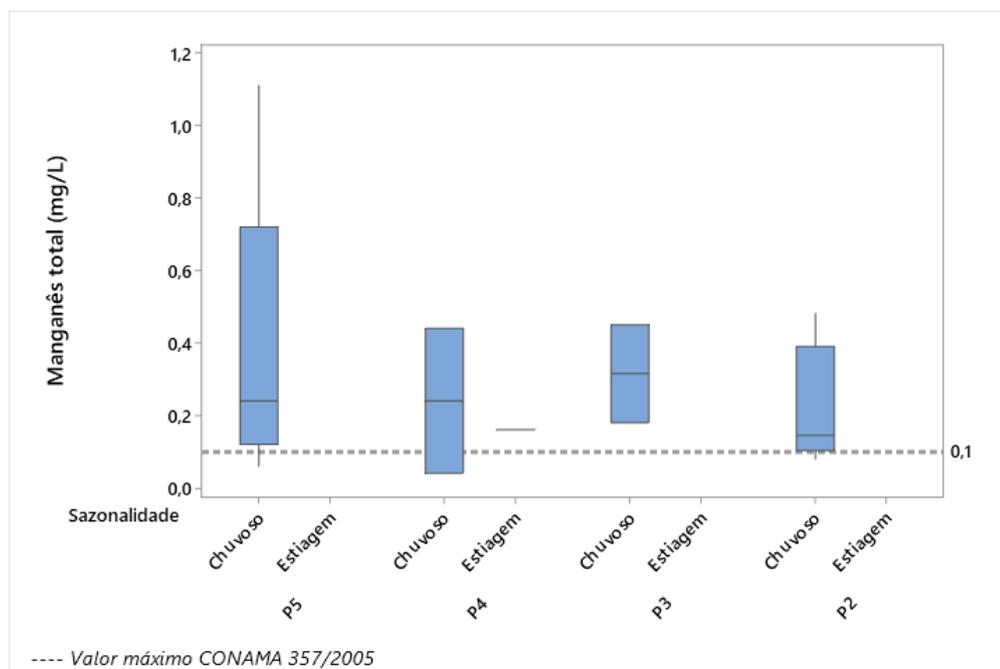


Figura 58 - Boxplot de Manganês total
Fonte: Autor (2022)

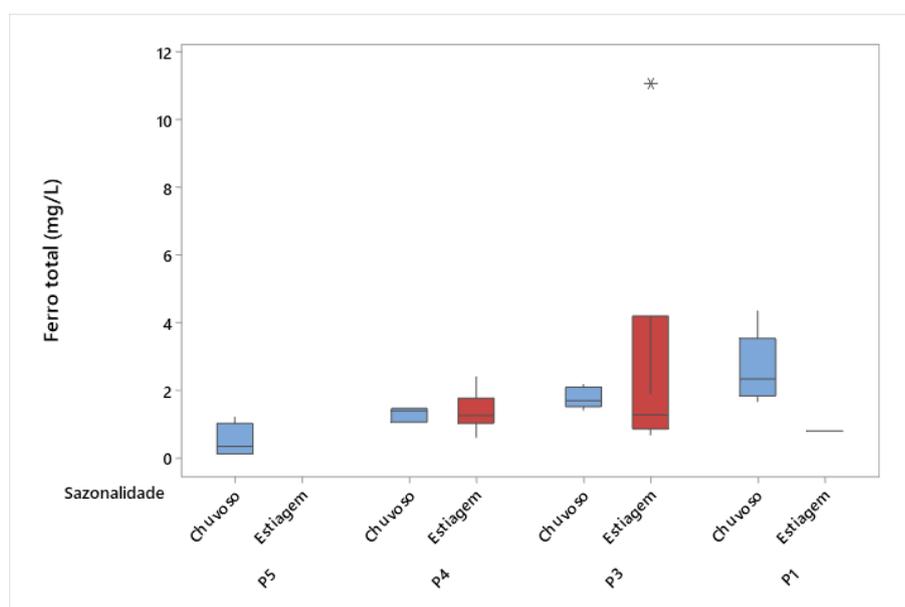


Figura 59 - Boxplot de Ferro total
Fonte: Autor (2022)

- **Avaliação bacteriológica**

Os coliformes termotolerantes são importantes indicadores de contaminação fecal. Apesar de serem predominantemente não patogênicos, indicam quando a água está contaminada por fezes humanas ou de animais, e consequentemente, a potencialidade de transmitir doenças (VON SPERLING, 2014). Desta forma, esse

parâmetro é fundamental para monitoramento e controle visto que às águas doces de classe 2 e 3 podem ser destinadas para abastecimento público.

A Tabela 16 apresenta os dados primários de E. coli ao longo do curso de água. Adicionalmente, a estatística descritiva (Tabela 17), e o gráfico *boxplot* dos dados levantados (Figura 60).

Tabela 16 – Dados primários de E. coli ao longo do curso de água da Bacia do Riacho Doce

Período	P5	P4	P3	P2	P1
Estiagem	2,4x10 ³	200	1,1x10 ³		4x10 ³
		31	15		
		2	49		
Chuvoso	1,3x10 ⁴	20	2,1x10 ³	3,6	1,2x10 ³
	3,2x10 ³	1,6x10 ³	11		1x10 ⁴
	4,3x10 ³	3,6x10 ³	800		9,2x10 ³
	1,4x10 ⁴	1,2x10 ³	700		1,1x10 ⁴
	3,2x10 ³				4,5x10 ³
	1				
	7,1x10 ³				96

Fonte: Autor (2022)

Tabela 17 - Estatística descritiva de E. coli na Bacia do Riacho Doce

Ponto	Sazonalidade	Média	DP	Mínimo	Máximo	Amplitude	Amplitude interquartil
P5	Chuvoso	6,2x10 ³	5,10 x10 ³	1	1,3x10 ⁴	1,39x10 ⁴	9x10 ³
	Estiagem	2,4x10 ³		2,4x10 ³	2,4x10 ³		
P4	Chuvoso	1,6x10 ³	1,49 x10 ³	20	3600	3,58x10 ³	2,79x10 ³
	Estiagem	78	107	2,0	200	198	198
P3	Chuvoso	903	872	11	2,1x10 ³	2,09x10 ³	1,59x10 ³
	Estiagem	388	617	15	1,1x10 ³	1,09x10 ³	1,09x10 ³
P2	Chuvoso	3,6		3,6	3,6		
	Estiagem						
P1	Chuvoso	5,95x10 ³	4,65x10 ³	96	1,5x10 ⁴	1,04x10 ⁴	9,35x10 ³
	Estiagem	4 x10 ³		4x10 ³	4x10 ³		

Fonte: Autor (2022)

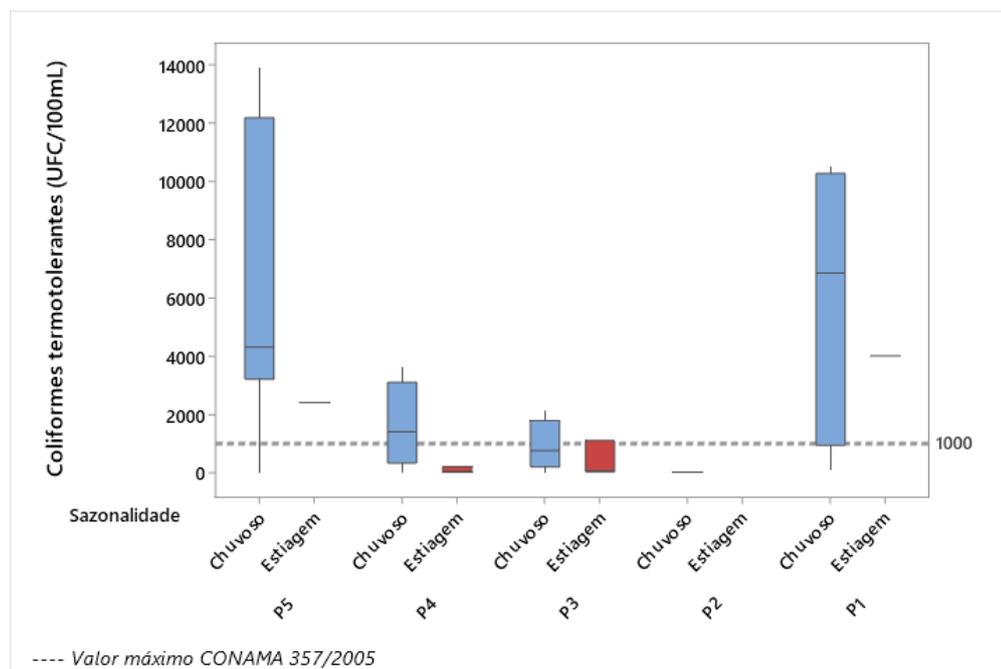


Figura 60 - Boxplot dos dados primários de E. coli da Bacia do Riacho Doce
Fonte: Autor (2022)

Os coliformes termotolerantes ultrapassaram os limites estabelecidos com exceção do ponto 2, e ponto 4 durante o período de estiagem.

Foi possível observar que durante o período chuvoso a variação do conjunto de dados foi maior. Os maiores desvios e amplitudes foram observados nos pontos P1 e P5 em comparação com os demais pontos. Nestes pontos supracitados ocorre o descarte de efluentes domésticos que favorece o aumento de coliformes.

O número de coliformes termotolerantes do Riacho Grotta da Esperança (Tabela 18) apresenta valor máximo durante o período chuvoso ($1,70 \times 10^7$) e maior desvio padrão ($6,89 \times 10^6$), onde apresentou maior amplitude interquartil durante esse período (Figura 61).

Tabela 18 - Estatística descritiva de termotolerantes, ponto de lançamento da ETE da SANANA

Variável	Período	Média	DP	Mínimo	Máximo	Amplitude	Amplitude interquartil
Coliformes Termotolerantes	Chuvoso	$2,9 \times 10^6$	$6,8 \times 10^6$	260	$1,7 \times 10^7$	$1,7 \times 10^7$	$4,5 \times 10^6$
	Estiagem	$2,7 \times 10^6$	$5,6 \times 10^6$	$5,4 \times 10^3$	$1,6 \times 10^7$	$1,6 \times 10^7$	$4,1 \times 10^6$

Fonte: Autor (2022)

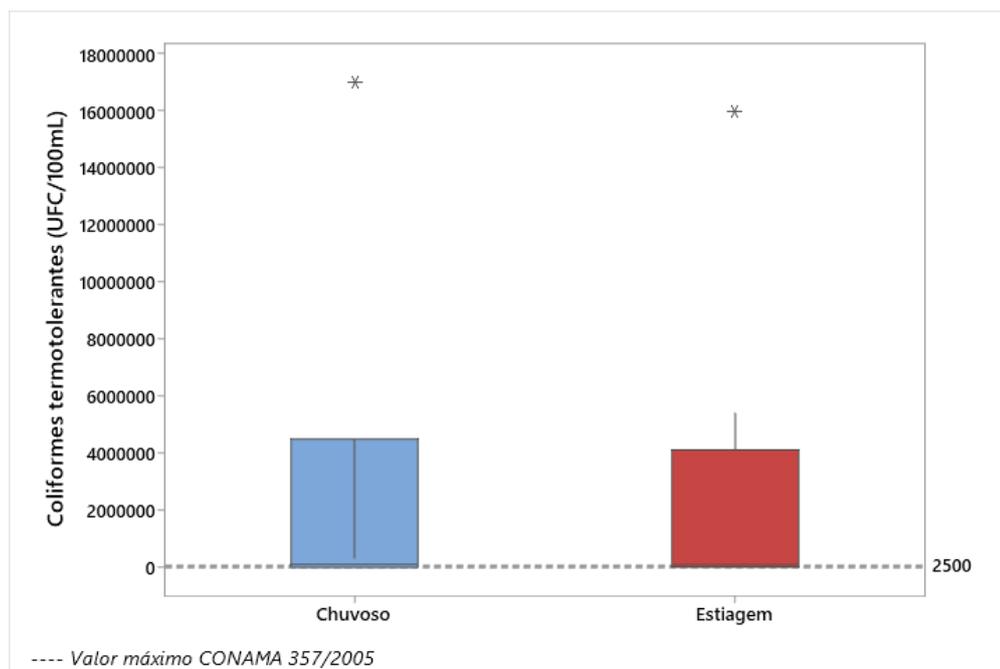


Figura 61 - *Boxplot* de termotolerantes, ponto de lançamento da SANAMA (P5)
Fonte: Autor (2022)

Os coliformes termotolerantes dos dados secundários do Riacho Doce apresentam valor máximo durante o período chuvoso no P3 ($2,10 \times 10^6$) e maior desvio padrão ($4,9 \times 10^5$) (Tabela 19), onde apresentou maior amplitude interquartil durante esse período (Figura 62), e com presença de outliers em ambos os pontos.

Tabela 19 - Estatística descritiva de termotolerantes, no ponto de lançamento da CTR

Ponto	Período	Média	DP	Mínimo	Máximo	Amplitude	Amplitude interquartil
P4	Chuvoso	$2,4 \times 10^4$	$6,7 \times 10^4$	1	$2,8 \times 10^5$	$2,8 \times 10^5$	$1,1 \times 10^4$
	Estiagem	$1,4 \times 10^3$	$1,7 \times 10^3$	2	$5,4 \times 10^3$	$5,4 \times 10^3$	$2,2 \times 10^3$
P3	Chuvoso	$1,4 \times 10^5$	$4,9 \times 10^5$	1	$2,1 \times 10^6$	$2,1 \times 10^6$	$2,5 \times 10^4$
	Estiagem	$1,1 \times 10^3$	$1,2 \times 10^3$	1	$3,5 \times 10^3$	$3,5 \times 10^3$	$2,1 \times 10^3$

Fonte: Autor (2022)

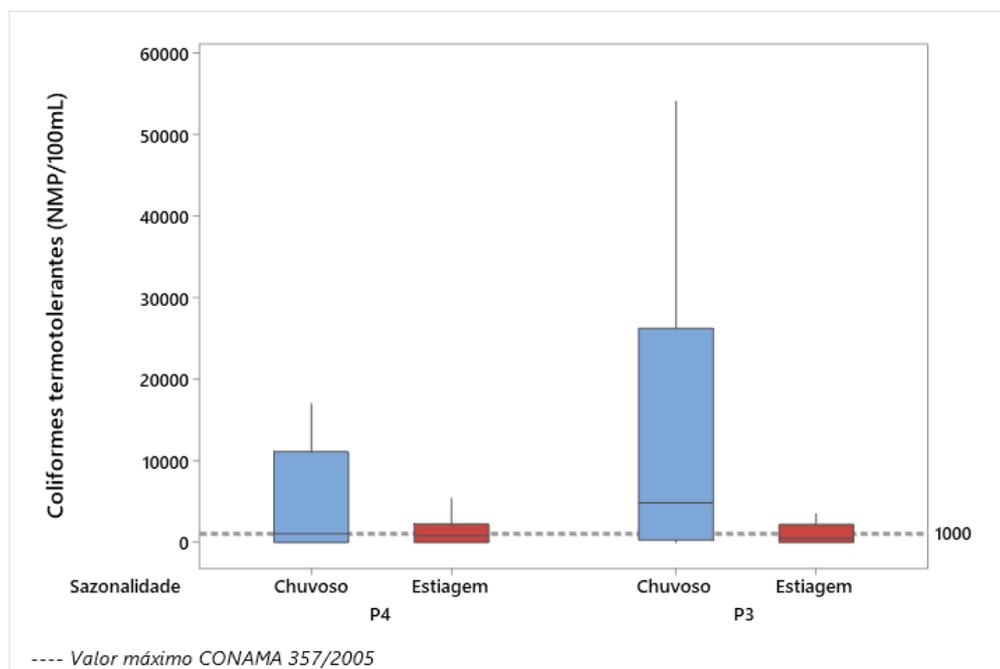


Figura 62 - Boxplot de termotolerantes (P4 e P3)
Fonte: Autor (2022)

Para os cursos d'água que entre os usos há a recreação de contato primário e secundário é preciso estabelecer metas bem definidas de monitoramento como por exemplo, quando será iniciado, frequência e quais os parâmetros.

Os parâmetros e os valores máximos permitidos que devem ser analisados são coliformes fecais (termotolerantes), *Escherichia coli* e enterococos conforme a Resolução CONAMA nº 274/00.

Ademais, os parâmetros supracitados podem ser adicionados considerando o uso recreativo na foz da bacia do Riacho Doce, visto que a proximidade do curso d'água com oceano facilita o contato primário.

- **Considerações finais da qualidade da água da bacia**

Após as análises do conjunto formado por 25 parâmetros, apenas pH e densidade de cianobactérias apresentaram conformidade de acordo com a legislação vigente em todos os pontos.

A Tabela 20 contém os parâmetros desconformes divididos por trechos e classes após a análise de todo o conjunto de dados primários e secundários.

Tabela 20 - Parâmetros em desconformidade com a resolução CONAMA 357/2005

Parâmetros	Trecho 1		Trecho 2		Trecho 3	
	Conc. máxima	Conc. Classe 3	Conc. máxima	Conc. Classe 2	Conc. máxima	Conc. Classe 2
Sólidos Diss. Totais (mg/L)	764	500				
Cor verdadeira (uC)	306	75	390	75	209	75
Turbidez (NTU)	104	100	1723	100	55,60	100
Alumínio dissolvido (mg/L)			2,28	0,1		
Arsênio total (mg/L)			0,01	0,01		
Bário total (mg/L)			5	0,7		
Cádmio total (mg/L)			0,1	0,001		
Cobre dissolvido (mg/L)			0,1	0,009		
Cromo total (mg/L)			0,01	0,05		
Lítio total (mg/L)			0,5	2,5		
Manganês total (mg/L)	1,11	0,5	1,01	0,1	0,48	0,1
Mercurio total (mg/L)			0,003	0,0002		
Níquel total (mg/L)			0,0155	0,025		
Sulfato total (mg/L)	285,9	250	66,83	250	365,27	250
Cloreto total (mg/L)	1341,9	250	241,90	250	2599,93	250
Clorofila-a (µg/L)	130,2	60	15,01	30		
DBO (mg/L)	170	10	112,76	5	12	5
Oxigênio dissolvido (mg/L)	0,64	4*	1,90	5*	2,40	5*
N-amoniaco (mg/L)	72,8	13,3 mg/L N, em pH ≤ 7,5	16,52	3,7mg/L N, para pH ≤ 7,5	11,34	3,7mg/L N, para pH ≤ 7,5
Nitrito (mg/L)	20,70	1	409,76	1	8,16	1
Nitrato (mg/L)	34,3	10	25,1	10	20,7	10
Fósforo total (mg/L)	5,2		2,18	0,1	4,23	0,1
Coliforme termotolerantes (NMP/100 mL)	1,7x10 ⁷	2,5x10 ³	2,1x10 ⁶	1x10 ³	1,05x10 ⁴	1x10 ³

*(valor mínimo)

Então, pode ser estabelecida a frequência de monitoramento desses parâmetros a partir dos critérios de variação sazonal, usos da água e as características de uso e ocupação.

Além disso, a lista de parâmetros pode ser modificada, no entanto, é importante estabelecer o tempo de atualização da lista, considerando critérios como a variação e sensibilidade dos dados, e se podem impedir o alcance das metas do enquadramento.

A definição de parâmetros otimiza o monitoramento e pode direcionar melhor os custos para o alcance e efetivação do enquadramento da bacia hidrográfica (GUERREIRO *et al.*, 2020).

5.7 Validação dos parâmetros prioritários

O ICE foi aplicado ao conjunto dos 25 parâmetros apresentados na Tabela 17 (pág.78).

O Quadro 7 contém os valores do ICE separados por ano e por pontos de análise. O melhor atendimento da qualidade da água ao enquadramento foi observado

em 2020 no ponto a montante do lixiviado tratado (P4) onde o ICE foi 81, inserido na categoria **Conforme**, que indica que a maioria ou todas as medições estão dentro dos padrões de qualidade definidos pelo enquadramento proposto.

Em oposição, o menor valor observado do conjunto foi em 2019 no P5, onde o ICE foi 21, inserido na categoria **não conforme**, que significa que a maioria ou a totalidade das medições não obedece aos limites da classe de enquadramento.

Ao avaliar todos os valores de ICE, aproximadamente 57% foram enquadrados como **não conforme**, 36% afastado e 7% conforme.

Conforme a descrição do ICE, a maioria dos pontos analisados se encontram com qualidade de água quase sempre ameaçada e as condições atuais distantes dos níveis naturais ou desejáveis do enquadramento.

Vale ressaltar a importância da quantidade de parâmetros analisados e o número de medições. Em 2020 e 2021, o número de parâmetros e medições foi o maior em relação aos demais anos e maior ICE.

Em 2022, apenas dados primários foram avaliados nos pontos P1, P3, P4 e P5 e possuem a mesma quantidade de parâmetros e valores de ICE semelhantes. No P2 foram 7 parâmetros avaliados e apresentou melhores condições em relação aos demais pontos, no entanto, um número maior de parâmetros pode representar melhor a qualidade da água.

Quadro 7 - ICE da Bacia Hidrográfica do Riacho Doce

	PONTO	TESTES	VARIÁVEIS	INCONF	F1	F2	F3	ICE
2018	P5	62	13	29	77	47	100	23
	P4							
	P3							
	P2							
	P1							
2019	PONTO	TESTES	VARIÁVEIS	INCONF	F1	F2	F3	ICE
	P5	80	13	37	85	46	97	21
	P4	291	25	44	48	15	75	48
	P3	259	25	50	56	19	93	37
	P2							
2020	PONTO	TESTES	VARIÁVEIS	INCONF	F1	F2	F3	ICE
	P5	68	13	33	54	49	92	32
	P4	301	25	40	28	13	12	81
	P3	301	25	32	44	11	54	59
	P2							
2021	PONTO	TESTES	VARIÁVEIS	INCONF	F1	F2	F3	ICE
	P5							
	P4	257	25	37	28	14	41	70
	P3	332	25	42	28	13	36	73
	P2							
2022	PONTO	TESTES	VARIÁVEIS	INCONF	F1	F2	F3	ICE
	P5	88	13	40	77	45	74	33
	P4	93	13	37	77	40	77	33
	P3	83	13	30	69	36	87	32
	P2	13	7	3	43	23	38	64
	P1	88	13	39	85	44	73	30

Testes: medições, Variáveis: parâmetros de qualidade da água, Fator 1: abrangência das desconformidades, Fator 2: frequência da desconformidade, Fator 3: amplitude da conformidade, Inconformidade: número total de medições que não atenderam a meta proposta, ICE: Índice de Conformidade ao Enquadramento

A área da Bacia do Riacho Doce está em processo de urbanização e com o Trecho 2 ainda em condições de vegetação preservada. A melhoria da qualidade da água para o uso prioritário requer medidas de prevenção e controle não só dos usos e ocupação, como também das fontes de poluição, e eventualmente melhoria dos índices e, conseqüentemente, o alcance das metas de enquadramento.

Nesse sentido, para definição de parâmetros prioritários para enquadramento, o monitoramento mais frequente e maior número de variáveis avaliadas pode representar melhor a qualidade.

5.8 Estudo de autodepuração nos pontos de lançamento de efluentes

A aplicação do modelo de Streeter e Phelps nas sub-bacias do riacho da Grotta da Esperança e do Riacho Doce, assim como o estudo de diluição dos nutrientes e coliformes termotolerantes foi realizado para as condições de vazão mínima, média e máxima levantadas no ponto de lançamento do corpo hídrico receptor, considerando os efluentes bruto e tratado.

Ademais, cabe destacar que no modelo de Streeter e Phelps, como descrito anteriormente, o critério utilizado foi o período que apresentou OD mais crítico. Nesse sentido, os dados dos parâmetros utilizados no P5 foram referentes ao período chuvoso, enquanto no P4, foram utilizados dados do período de estiagem.

Na zona diluição foram considerados os dados em que as concentrações dos parâmetros do esgoto e do efluente lançado foram maiores, nesse sentido, os dados do período chuvoso.

A síntese dos parâmetros de qualidade está apresentada nas Tabelas 21 e 22, e o banco de dados estão apresentados no Apêndice C.

Tabela 21 - Síntese dos parâmetros de qualidade do riacho em P5

PONTO	DBO	OD
Esgoto bruto	452,80	0
Esgoto tratado	9,63	0,3
Riacho Grotta da Esperança	18,13	1,26

Fonte: Autor (2022)

Tabela 22 - Síntese dos parâmetros de qualidade do riacho em P4

PONTO	DBO	OD
Lixiviado pré-tratado	368,02	0
Lixiviado tratado	8,55	6,97
Riacho Doce	7,40	4,87

Fonte: Autor (2022)

As Tabelas 23 e 24 apresentam os dados utilizados no estudo nos dois pontos de lançamento.

Tabela 23 - Dados utilizados para o ponto de lançamento da SANAMA.

Efluente tratado e bruto		Água do riacho	
Parâmetro	Valores	Parâmetro	Valores
Vazão	0,06 m ³ /s	Vazão méd. chuvoso	0,04 m ³ /s
		Vazão mín. chuvoso	0,02 m ³ /s
		Vazão máx. chuvoso	0,06 m ³ /s
OD tratado	0,3 mg/L	ODrio	1,26 mg/L
OD bruto	0,0 mg/L	DBOrio	18,13 mg/L
DBO tratado	9,63mg/L	Temperatura	27 °C
DBO bruto	452,80 mg/L	K2	$5,3 \times 0,26^{0,67} \times 0,1^{-1,85} / 86400 = 2,08 \times 10^{-3}$
Temperatura	27 °C	OD saturação	8,06 mg/L
K1 tratado (s ⁻¹)	$0,24 \times 1,047^{(27-20)} / 86400 = 3,83111 \times 10^{-6}$	Profundidade	0,1 m
K1 bruto (s ⁻¹)	$0,45 \times 1,047^{(27-20)} / 86400 = 7,18 \times 10^{-6}$	Velocidade	0,26 m/s

Fonte: Autor (2022)

Tabela 24 - Dados utilizados para o ponto de lançamento da CTR.

Efluente tratado e pré-tratado		Água do riacho	
Parâmetro	Valores	Parâmetro	Valores
Vazão	0,0083 m ³ /s	Vazão méd. seco	0,29 m ³ /s
		Vazão mín. seco	0,23 m ³ /s
		Vazão máx. seco	0,35 m ³ /s
OD tratado	6,97 mg/L	ODrio	4,87 mg/L
OD pré-tratado	0,0 mg/L	DBOrio	7,4 mg/L
DBO tratado	8,55 mg/L	Temperatura	27
DBO pré-tratado	368,02 mg/L	K2 (s ⁻¹)	$5,3 \times 0,36^{0,67} \times 0,36^{-1,85} / 86400 = 2,42 \times 10^{-4}$
Temperatura	27 °C	OD saturação	8,06 mg/L
K1 tratado (s ⁻¹)	$0,24 \times 1,047^{(27-20)} / 86400 = 3,83 \times 10^{-6}$	Profundidade	0,36 m
K1 pré-tratado (s ⁻¹)	$0,5 \times 1,047^{(27-20)} / 86400 = 7,98 \times 10^{-6}$	Velocidade	0,36 m/s

Fonte: Autor (2022)

5.8.1 Ponto de lançamento do efluente da ETE da SANAMA

Inicialmente, verifica-se que neste ponto, a vazão do efluente lançado é 200% maior que a vazão mínima do rio, e 50% maior em condições de vazão média. Em relação de DBO, as concentrações do efluente tratado e bruto correspondem respectivamente a 53% e 2.497% em relação a DBO do riacho.

Perfil de oxigênio dissolvido

O perfil de oxigênio dissolvido (OD) a partir de Streeter e Phelps, do trecho estudado no riacho da Grotta da Esperança que recebe o esgoto tratado da ETE da SANAMA, na cabeceira da bacia do Riacho Doce, foi traçado para as condições de vazão mínima, média e máxima levantadas no ponto de lançamento do corpo hídrico receptor dois cenários foram considerados: o esgoto bruto e tratado (Figuras 63 e 64).

Após a mistura, a recuperação das concentrações iniciais de OD no rio é atingido mais rápido em condições de vazão máxima, posteriormente, média e mínima. O mesmo ocorre no alcance das concentrações de 40% de saturação de OD e ao atendimento à classe 3, sendo esta última a ser alcançada.

As concentrações de OD para o atendimento mínimo da classe 3 só é alcançado próximo aos 300 m do P5. Em condições de vazão máxima, esse alcance ocorre mais rápido.

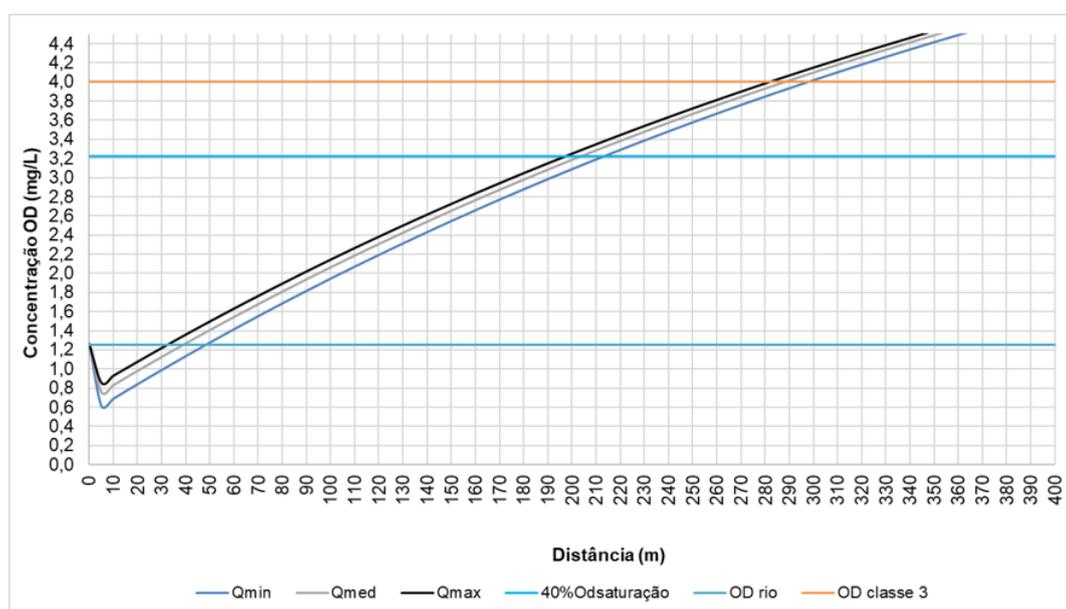


Figura 63 - Perfil de OD do lançamento de Esgoto tratado, para as vazões mín, méd e máx do riacho
Fonte: Autor (2022)

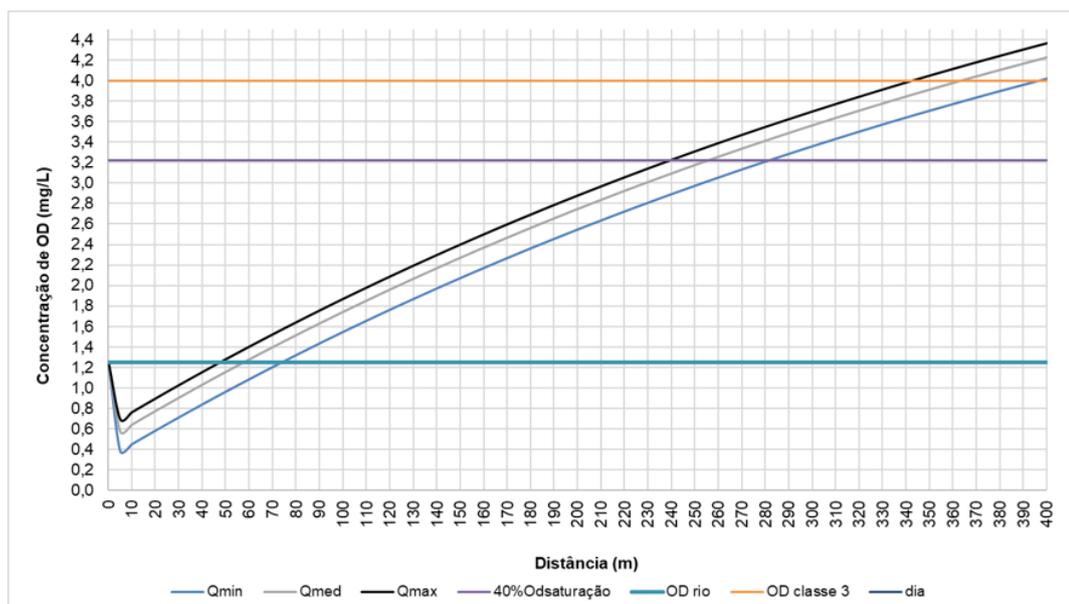


Figura 64 - Perfil de OD do lançamento de Esgoto bruto, para as vazões mín, méd e máx do riacho
Fonte: Autor (2022)

O perfil de OD nas condições de efluente bruto é mais crítico no cenário de vazão mínima, visto que o alcance das concentrações iniciais de OD, 40% da saturação e a do limite mínimo para classe 3, é atingido após as vazões máxima e média. Isso pode ocorrer devido a vazão do lançamento ser superior a vazão do rio, e as altas concentrações de DBO, nessas condições, portanto, será necessário consumido mais OD para decomposição da matéria orgânica.

Adicionalmente, só após 300m o limite mínimo é alcançado para classe 3. Em comparação com as condições de efluente tratado essa distância foi maior, isto evidencia a importância do tratamento para manter melhores condições da qualidade da água e evitar a eutrofização do corpo hídrico.

Então, em cenários que o corpo hídrico receba despejos clandestinos ou sem tratamento adequado é importante que os parâmetros sejam monitorados com mais frequência. Além disso, cabe destacar que com o aumento das concentrações de matéria orgânica também aumentam os custos para o tratamento de água para o uso de abastecimento humano ou inviabiliza atividades de contato primário e secundário.

- **Concentrações na zona de mistura com esgoto tratado**

As Tabela 25, 26 e 27 apresentam as concentrações de nutrientes e coliformes termotolerantes na zona de mistura, resultante do lançamento de esgoto tratado no riacho Doce, para as 3 vazões de referência.

Tabela 25 - Concentrações na zona de mistura em condições de efluente tratado e vazão mínima

Parâmetros	Riacho	Esg.tratado	Mistura	357/2005
Vazão mínima (m ³ /s)	0,02	0,06	0,08	-
DBO (mg/L)	18,13	9,63	11,76	10
Fósforo total (mg/L)	4,72	8,75	7,74	0,15
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	9,2	28,8	23,9	13,3
Termotolerantes (UFC/100ML)	6.272	166	1.693	2500

Fonte: Autor (2022)

Tabela 26 - Concentrações na zona de mistura em condições de efluente tratado e vazão média

Parâmetros	Riacho	Esg.tratado	Mistura	357/2005
Vazão média (m ³ /s)	0,04	0,06	0,10	-
DBO (mg/L)	18,13	9,63	13,03	10
Fósforo total (mg/L)	4,72	8,75	7,14	0,15
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	9,20	28,78	20,95	13,3
Termotolerantes (UFC/100ML)	6.272	166	2.609	2500

Fonte: Autor (2022)

Tabela 27 - Concentrações na zona de mistura em condições de efluente tratado e vazão máxima

Parâmetros	Riacho	Esg.tratado	Mistura	357/2005
Vazão máxima (m ³ /s)	0,06	0,06	0,12	-
DBO (mg/L)	18,13	9,63	13,9	10
Fósforo total (mg/L)	4,72	8,75	6,74	0,15
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	9,20	28,78	19,0	13,3
Termotolerantes (UFC/100ML)	6.272	166	3.219	2500

Fonte: Autor (2022)

Na condição de esgoto tratado e vazão mínima, as concentrações de DBO e coliformes termotolerantes na zona de mistura foram menores em relação às concentrações obtidas no rio. Ou seja, o efluente tratado contribui para melhoria desses parâmetros da água do riacho.

A redução mais significativa foi observada no número de coliformes termotolerantes (73%), e posteriormente a DBO (35%). As concentrações de nitrogênio amoniacal e fósforo total superam a do rio respectivamente em 159% e 63%.

Adicionalmente, DBO, fósforo total, e nitrogênio amoniacal tem concentrações que ultrapassam os limites para classe 3 na zona de mistura, desta forma, são parâmetros que precisam ser monitorados com frequência para melhoria da qualidade da água.

A concentração de coliformes termotolerantes está dentro do limite estabelecido e isso pode ter ocorrido devido à baixa concentração de coliformes termotolerantes no despejo de efluente e a vazão favoreceu essa redução.

Na condição de esgoto tratado e vazão média, foi possível observar que a concentração de DBO no riacho reduziu 28% e o número de coliformes termotolerantes em 58%, todavia, houve aumento das concentrações de fósforo total em 51% e nitrogênio amoniacal em 127% em relação a concentração do riacho.

Assim, a vazão média do rio favoreceu a diluição das concentrações de fósforo total e nitrogênio amoniacal do efluente tratado quando comparado às condições de vazão mínima.

Na condição de esgoto tratado e vazão máxima, foi possível observar que a concentração de DBO no riacho reduziu 23% e o número de coliformes termotolerantes em 48%, mas houve aumento de nitrogênio amoniacal em 106% e fósforo em 42% em relação a concentração do rio.

Portanto, para os três cenários de vazões, o esgoto tratado dilui a concentração de DBO e coliformes termotolerantes, mas aumenta as concentrações de N-amoniacal e fósforo.

Apenas o número de coliformes termotolerantes no cenário de vazão mínima está de acordo com o limite estabelecido para classe 3 de enquadramento. Os nutrientes fósforo e nitrogênio encontram-se fora do padrão estabelecido nos três cenários, portanto, pode favorecer a ocorrência de eutrofização.

- **Concentrações na zona de mistura com esgoto bruto**

As Tabela 28, 29 e 30 apresentam as concentrações de nutrientes e coliformes termotolerantes na zona de mistura, resultante do lançamento de esgoto bruto no riacho Doce.

Tabela 28 - Concentrações na zona de mistura em condições de efluente bruto e vazão mínima

Parâmetros	Rio	Esg. bruto	Mistura	357/2005
Vazão mínima (m ³ /s)	0,02	0,06	0,08	-
DBO (mg/L)	18,13	453	344	10
Fósforo total (mg/L)	4,72	5,59	5,37	0,15
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	9,20	23,90	20,23	13,3
Termotolerantes (UFC/100mL)	6.272	4.172	4.697	2500

Fonte: Autor (2022)

Tabela 29 - Concentrações na zona de mistura em condições de efluente bruto e vazão média

Parâmetros	Rio	Esg. bruto	Mistura	357/2005
Vazão média (m ³ /s)	0,04	0,06	0,10	-
DBO (mg/L)	18,1	453	279	10
Fósforo total (mg/L)	4,72	5,59	5,24	0,15
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	9,20	23,90	18,02	13,3
Termotolerantes (UFC/100ML)	6.272	4.172	5.012	2500

Fonte: Autor (2022)

Tabela 30 - Concentrações na zona de mistura em condições de efluente bruto e vazão máxima

Parâmetros	Rio	Esg. bruto	Mistura	357/2005
Vazão máxima (m³/s)	0,06	0,06	0,12	-
DBO (mg/L)	18,1	453	236	10
Fósforo total (mg/L)	4,72	5,59	5,16	0,15
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	9,20	23,90	16,55	13,3
Termotolerantes (UFC/100ML)	6.272	4.172	5.222	2500

Fonte: Autor (2022)

Na condição de esgoto bruto e vazão mínima, na zona de mistura houve aumento das concentrações de DBO de 1.798%, fósforo total de 13%, e nitrogênio amoniacal de 119%, mas o número de coliformes termotolerantes diminuíram 25%.

Na condição de esgoto bruto e vazão média o aumento das concentrações na zona de mistura em relação a do riacho foram: 1.438% para DBO, 95% para nitrogênio amoniacal e 11% para fósforo total. O número de coliformes termotolerantes diminuiu 20%.

Na condição de efluente bruto e vazão máxima o aumento das concentrações na zona de mistura em relação a do riacho foram: DBO (1.198%), nitrogênio amoniacal (79%) e fósforo total (9,3%) e redução de coliformes termotolerantes (16%).

Além dos aumentos das concentrações, neste cenário, é possível visualizar que as águas do riacho diluem as concentrações do esgoto bruto.

Portanto, com o lançamento de esgoto bruto nem a vazão máxima é capaz de promover a sua diluição de forma a atender a CONAMA 357/2005 na zona de mistura. Se acontecer esse lançamento a qualidade da água do riacho fica ainda mais comprometida, pois a vazão de lançamento é igual a vazão máxima do riacho.

Por fim, para lançamento de esgoto bruto, em todos os cenários simulados, as concentrações se distanciam para a classe 3 proposta, o que evidencia o controle da qualidade da água e o seu monitoramento constante.

5.8.2 Ponto de lançamento do lixiviado da ETE da CTR

Neste ponto, a vazão do efluente tratado representa apenas 2,3% da vazão máxima e 6,7% da vazão mínima. Nesse sentido, a capacidade de diluição na zona de mistura pode reduzir consideravelmente as concentrações das substâncias presentes no lixiviado descartado.

Já com relação a presença de matéria orgânica os valores das concentrações de DBO do lixiviado tratado e pré-tratado correspondem, respectivamente, a 193% e 9.054% da DBO do rio. Então, na ocorrência de lançamento de lixiviado pré-tratado

pode ocorrer eutrofização e comprometer a capacidade de assimilação da matéria orgânica do rio devido ao aumento expressivo da concentração.

Em relação às concentrações de OD, o lançamento de lixiviado tratado possui 21% a mais de OD que o corpo hídrico. Essas concentrações na zona de mistura podem favorecer a melhoria da qualidade visto que a matéria orgânica pode ser degradada pelos microrganismos sem déficits de OD e o corpo hídrico restabelecer as condições de qualidade natural.

• Perfil de oxigênio dissolvido

O perfil de oxigênio dissolvido (OD) a partir de Streeter e Phelps, do trecho estudado no Riacho Doce que recebe o lixiviado tratado da ETE da CTR, na parte intermediária da bacia, foi traçado para as condições de vazão mínima, média e máxima levantadas no ponto de lançamento do efluente, considerando dois cenários: o lixiviado tratado e pré-tratado (Figuras 65 e 66).

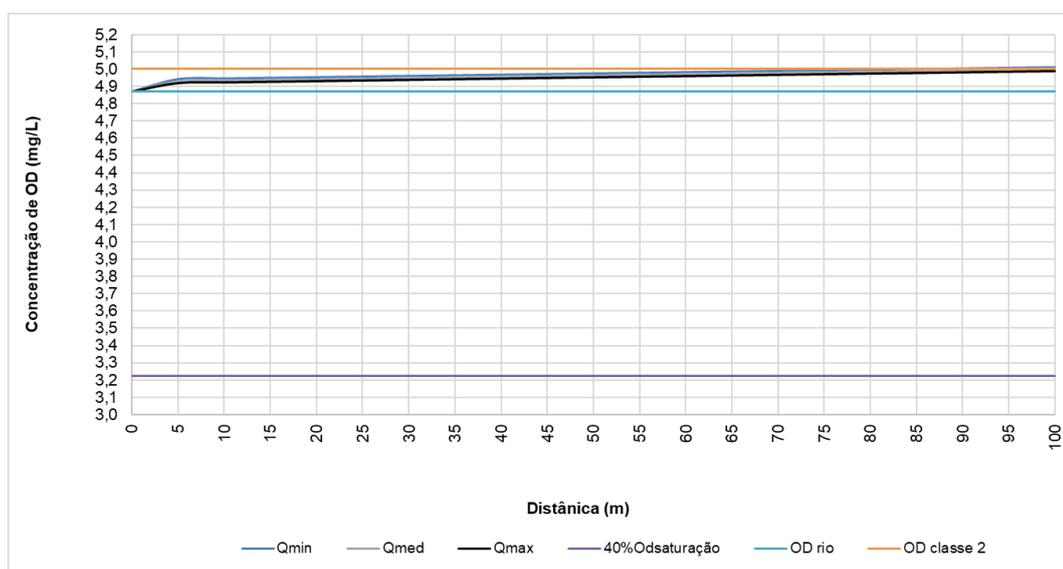


Figura 65 - Perfil de OD do lançamento de lixiviado tratado nas vazões min, med e max do riacho.
Fonte: Autor (2022)

Nas condições de lançamento de lixiviado tratado, como o OD do lixiviado é maior que a do riacho, as concentrações de OD em todas as vazões são superiores aos valores de 40% de concentração de OD de saturação (3,2 mgO₂/L), o que indica que o riacho não entra na zona séptica com o lançamento desse resíduo, e somente a partir de 100m de distância a concentração de OD supera o limite mínimo de OD para classe 2 nas condições de vazão média e máxima.

A melhoria dessas condições é importante para o equilíbrio e o alcance das metas de enquadramento, visto que, os custos que seriam destinados para

despoluição poderão ser destinados para a formação de banco de dados de monitoramento dos parâmetros e auxiliar os tomadores de decisão quanto às medidas necessárias.

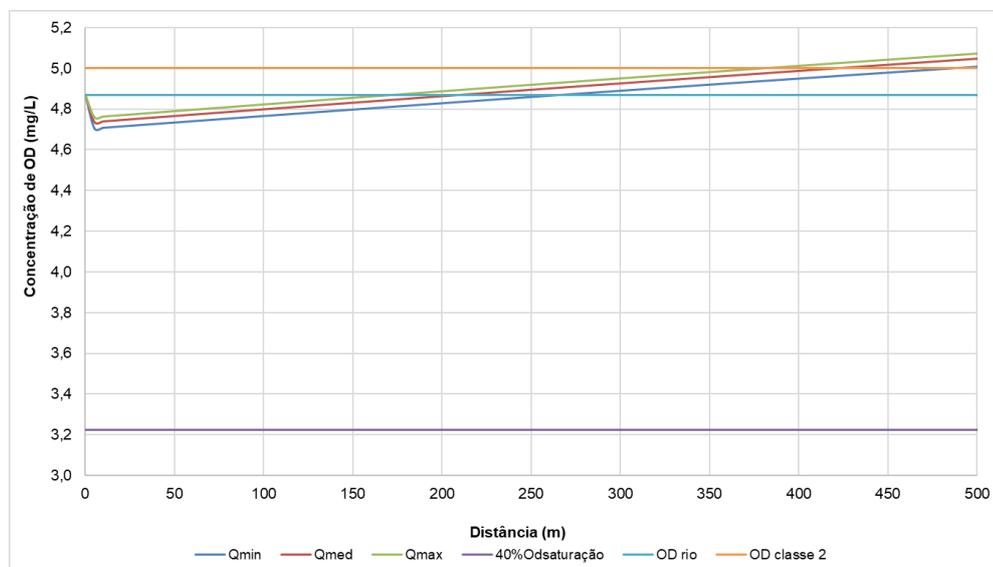


Figura 66 - Perfil de OD do lançamento de lixiviado pré-tratado nas vazões min, med e max do riacho. Fonte: Autor (2022)

Nas condições de lixiviado pré-tratado, o OD do lixiviado é menor que a do riacho, mesmo assim as concentrações de OD do riacho permanecem superiores a 40% concentração de saturação, e a partir de 400m o riacho atinge o limite mínimo de concentração estabelecido para classe 2 (5,0 mgO₂/L), mesmo o lançamento apresentando altas concentrações de DBO.

A melhor condição foi observada na vazão máxima, posteriormente, vazão média e mínima. Portanto, o processo de autodepuração é mantido mesmo em condições de lixiviado pré-tratado.

- **Concentrações na zona de mistura com lixiviado tratado**

Nas condições de lixiviado tratado, em todas as vazões, os parâmetros DBO, fósforo total e nitrogênio amoniacal resultaram num aumento na concentração na zona de mistura. Isso ocorreu devido às concentrações do efluente lançado que são maiores que as concentrações do rio como apresentado nas Tabelas 31 a 33.

Tabela 31 - Concentrações na zona de mistura em condições de lixiviado tratado e vazão mínima

Parâmetros	Riacho	Lixiv.Tratado	Mistura	357/2005
Vazão mínima (m ³ /s)	0,12	0,008	0,123	-
DBO (mg/L)	7,40	14,3	7,85	5
Fósforo total (mg/L)	1,33	0,88	1,30	0,15
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	5,47	7,61	5,61	3,7
Termotolerantes (UFC/100ML)	1.605	3.949	1.757	1000

Fonte: Autor (2022)

Tabela 32 - Concentrações na zona de mistura em condições de lixiviado tratado e vazão média

Parâmetros	Riacho	Lixiv.Tratado	Mistura	357/2005
Vazão média (m ³ /s)	0,24	0,008	0,244	-
DBO (mg/L)	7,40	14,27	7,63	5
Fósforo total (mg/L)	1,33	0,88	1,32	0,15
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	5,47	7,61	5,54	3,7
Termotolerantes (UFC/100ML)	1.605	3.949	1.682	1000

Fonte: Autor (2022)

Tabela 33 - Concentrações na zona de mistura em condições de lixiviado tratado e vazão máxima

Parâmetros	Riacho	Lixiv.Tratado	Mistura	357/2005
Vazão máxima (m ³ /s)	0,35	0,008	0,358	-
DBO (mg/L)	7,40	14,3	7,55	5
Fósforo total (mg/L)	1,33	0,88	1,32	0,15
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	5,47	7,61	5,52	3,7
Termotolerantes (UFC/100ML)	1.605	3.949	1.657	1000

Fonte: Autor (2022)

Como a vazão de lixiviado é muito menor que a vazão do riacho, na zona de mistura, as maiores concentrações observadas na zona de mistura foram na vazão mínima, logo, em comparação com as concentrações das Riacho Doce esse aumento foi insignificante: DBO 6%, fósforo total 2,2% e nitrogênio amoniacal 2,5%.

Assim, a vazão favoreceu a diluição visto que as concentrações na zona de mistura se aproximam das concentrações do rio, na vazão máxima o aumento de DBO foi 2,02%, fósforo total foi 0,7% e nitrogênio amoniacal 0,9%.

Apenas o número de coliformes termotolerantes reduziram, em relação às concentrações do riacho, houve redução 9% na vazão mínima e 3,2% na vazão máxima.

Os parâmetros DBO, fósforo total, nitrogênio amoniacal, coliformes termotolerantes não atendem os padrões estabelecidos para classe 2 de enquadramento nos três cenários. Além disso, as concentrações dos nutrientes fósforo e nitrogênio acima do limite permitido podem ocasionar eutrofização.

- **Concentrações na zona de mistura com lixiviado pré-tratado**

Nos cenários de efluente pré-tratado também houve aumento das concentrações na zona de mistura em relação às concentrações do Riacho Doce como apresentado nas Tabelas 34 a 36, o maior aumento foi observado na vazão mínima, a DBO foi 582%, fósforo total 8% e nitrogênio amoniacal foi 346%.

Tabela 34 - Concentrações na zona de mistura para lixiviado pré-tratado e vazão mínima

Parâmetros	Rio	Lixiv. pré-tratado	Mistura	357/2005
Vazão mínima (m ³ /s)	0,12	0,008	0,123	-
DBO (mg/L)	7,40	670,53	50,53	5
Fósforo (mg/L)	1,33	3,07	1,44	0,15
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	5,47	465,36	35,38	3,7

Fonte: Autor (2022)

Tabela 35 - Concentrações na zona de mistura para lixiviado pré-tratado e vazão média

Parâmetros	Rio	Lixiv. pré-tratado	Mistura	357/2005
Vazão média (m ³ /s)	0,24	0,008	0,244	-
DBO (mg/L)	7,40	670,5	29,14	5
Fósforo (mg/L)	1,33	3,07	1,39	0,15
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	5,47	465,36	20,55	3,7

Fonte: Autor (2022)

Tabela 36 - Concentrações na zona de mistura para lixiviado pré-tratado e vazão máxima

Parâmetros	Rio	Lixiv. pré-tratado	Mistura	357/2005
Vazão média (m ³ /s)	0,35	0,008	0,358	-
DBO (mg/L)	7,40	670,53	22,22	5
Fósforo (mg/L)	1,33	3,07	1,37	0,15
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	5,47	465,36	15,75	3,7

Fonte: Autor (2022)

Para o descarte do lixiviado pré-tratado resulta que na zona de mistura, em todos os cenários de vazões, houve aumento das concentrações de todos os parâmetros e ficando fora dos limites máximos estabelecidos pelo CONAMA 357/2005 para mananciais classe 2.

Desta forma, a DBO, o fósforo total, os coliformes termotolerantes e nitrogênio amoniacal precisam ser monitorados frequentemente para alcance das metas de enquadramento, principalmente durante o período da vazão mínima.

6 CONCLUSÕES

O conjunto de parâmetros sólidos dissolvidos totais, cor verdadeira, turbidez, pH, alumínio dissolvido, arsênio total, bário total, cádmio total, cobre dissolvido, cromo total, lítio total, manganês total, mercúrio total, níquel total, sulfato total, cloreto total, clorofila-a, DBO, OD, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, fósforo total, coliforme termotolerantes/e. coli e densidade de cianobactérias podem ser utilizados como prioritários.

A partir dos parâmetros selecionados, foi identificado que a qualidade da água dos pontos estudados ao longo do percurso da Bacia do Riacho Doce não atende as classes propostas.

Então, o conjunto de metodologias pode ser utilizado para definição de parâmetros prioritários em bacias em processo de urbanização, amparando os tomadores de decisões, auxiliar na destinação de recursos e posteriormente alcance das metas intermediárias e final de enquadramento.

As características de uso e ocupação do solo tem efeito direto na qualidade da água, isso pode ser observado nos pontos próximos aos lançamentos de efluentes em que, por exemplo, os parâmetros cor e turbidez apresentaram altas concentrações, e os coliformes termotolerantes/e. coli evidenciando a ocupação do solo sem a estrutura adequada.

A dinâmica sazonal também interfere nas concentrações dos parâmetros evidenciados pelas análises estatísticas. Isso foi observado no período de estiagem, visto que temperaturas mais altas e o menor volume de água precipitada interferiram na DBO e OD aumentando as concentrações.

As simulações da capacidade de autodepuração do corpo hídrico e das concentrações na zona de mistura podem ser indicativas dos parâmetros que precisam ser monitorados com mais frequência, visto que foi possível identificar que os parâmetros DBO, fósforo total, nitrogênio amoniacal, coliformes termotolerantes ultrapassaram o limite da legislação vigente mesmo em condições de efluente tratado e vazões máximas.

Com o conjunto de dados utilizado, foi possível identificar que 57% dos ICes apresentaram não conformidade. Nesse sentido, a aplicação do ICE pode direcionar a quantidade de parâmetros a serem monitorados e conseqüentemente fomentar uma base de dados e reduzir custos.

7 REFERÊNCIAS

ADASA - Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. ELABORAÇÃO DO PLANO DE RECURSOS HÍDRICOS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS AFLUENTES DISTRITAIS DO RIO PARANAÍBA (PRH – PARANAÍBA-DF). Diretrizes para Implantação dos Instrumentos de Gestão e Arranjo Institucional. Distrito Federal, Nov. 2019. Disponível em: < http://repositorio-img-cbhparanaibadf.adasa.df.gov.br/portal_recursos_hidricos/Plano_recursos_hidricos/prh_paranaiba/Relatorios/produto_8/Produto8_banco_dados.pdf>. Acesso em: 8 ago. 2022.

SENT, Giulia; BIGUINO, Beatriz; FAVARETO, Luciane; CRUZ, Joana; SÁ, Carolina; DOGLIOTTI, Ana Inés; PALMA, Carla; BROTAS, Vanda; BRITO, Ana C. Deriving water quality parameters using sentinel-2 imagery: A case study in the Sado Estuary, Portugal. **Remote Sensing**, vol. 13, no. 5, p. 1–30, 1 Mar. 2021. <https://doi.org/10.3390/rs13051043>.

ALAGOAS. REVOGA O DECRETO ESTADUAL Nº 3.766, DE 30 DE OUTUBRO DE 1978, QUE ENQUADRA OS CURSOS D'ÁGUA DO ESTADO DE ALAGOAS NA CLASSIFICAÇÃO ESTABELECIDADA PELA PORTARIA Nº GM-0013, DE 15 DE JANEIRO DE 1976, DO MINISTÉRIO DO INTERIOR, E DÁ PROVIDÊNCIAS CORRELATAS. **Decreto Nº 4.062, de 7 de outubro de 2008**. Alagoas, 7 out. 2008.

ALAGOAS. SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS DE ALAGOAS. **SEMARH**. 2021. Disponível em: <http://www.semarh.al.gov.br/>. Acesso em: 30 abr. 2021.

ALTENBURGER, Rolf; BRACK, Werner; BURGESS, Robert M.; BUSCH, Wibke; ESCHER, Beate I.; FOCKS, Andreas; MARK HEWITT, L.; JACOBSEN, Bo N.; DE ALDA, Miren López; AIT-AISSA, Selim; BACKHAUS, Thomas; GINEBREDA, Antoni; HILSCHEROVÁ, Klára; HOLLENDER, Juliane; HOLLERT, Henner; NEALE, Peta A.; SCHULZE, Tobias; SCHYMANSKI, Emma L.; TEODOROVIC, Ivana; ... KRAUSS, Martin. Future water quality monitoring: improving the balance between exposure and toxicity assessments of real-world pollutant mixtures. **Environmental Sciences Europe**, vol. 31, no. 1, 1 Dec. 2019. <https://doi.org/10.1186/s12302-019-0193-1>.

ALVAREZ-VAZQUEZ, Héctor; JEFFERSON, Bruce; JUDD, Simon J. Membrane bioreactors vs conventional biological treatment of landfill leachate: a brief review. **Journal Of Chemical Technology & Biotechnology**, [S.L.], v. 79, n. 10, p. 1043-1049, 14 set. 2004. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/jctb.1072>.

ANA. Agência Nacional de Águas (ANA). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2009 / Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2009.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019: informe anual. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2019.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). Enquadramento dos corpos d'água em classes. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Brasília: ANA, 2020.

BADERNA, D.; MAGGIONI, S.; BORIANI, E.; GEMMA, S.; MOLteni, M.; LOMBARDO, A.; COLOMBO, A.; BORDONALI, S.; ROTELLA, G.; LODI, M. A combined approach to investigate the toxicity of an industrial landfill's leachate: chemical analyses, risk assessment and in vitro assays. **Environmental Research**, [S.L.], v. 111, n. 4, p. 603-613, maio 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2011.01.015>.

BAGGIO, Hernando; HORN, Adolf Heinrich. Contribuições naturais e antropogênicas para a concentração e distribuição de metais pesados em sedimento de corrente no rio do Formoso, município de Buritizeiro–MG. **Geonomos**, 2008.

BITENCOURT, CAMILA; FERNANDES, Cristóvão; GALLEGO, Carlos. Panorama do enquadramento no Brasil: Uma reflexão crítica. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, [S. l.], v. 16, n. 1, p. 9–9, 2019. DOI: 10.21168/reg.v16e9.

BRITES, Ana Paula Zubiaurre. **ENQUADRAMENTO DOS CORPOS DE ÁGUA ATRAVÉS DE METAS PROGRESSIVAS**: probabilidade de ocorrência e custos de despoluição hídrica. 2010. 174 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

BRITTO, Fábio Brandão; VASCO, Anderson Nascimento Do; AGUIAR NETTO, Antenor de Oliveira; GARCIA, Carlos Alexandre Borges; MORAES, Gilsia Fabiane Oliveira; DA SILVA, Marinoé Gonzaga. Surface water quality assessment of the main tributaries in the lower São Francisco River, Sergipe. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S. l.], v. 23, 2018. DOI: 10.1590/2318-0331.231820170061.

CALMON, Ana Paula Santos; SOUZA, Joseline Corrêa; DOS REIS, José Antonio Tosta; MENDONÇA, Antonio Sérgio Ferreira. Uso combinado de curvas de permanência de qualidade e modelagem da autodepuração como ferramenta para suporte ao processo de enquadramento de cursos d'água superficiais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S. l.], v. 21, n. 1, p. 118–133, 2016. DOI: 10.21168/rbrh.v21n1.p118-133.

CARVALHO, Laurence; MACKAY, Eleanor B.; CARDOSO, Ana Cristina; BAATTRUP-PEDERSEN, Annette; BIRK, Sebastian; BLACKSTOCK, Kirsty L.; BORICS, Gábor; BORJA, Angel; FELD, Christian K.; FERREIRA, Maria Teresa. Protecting and restoring Europe's waters: an analysis of the future development needs of the water framework directive. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 658, p. 1228-1238, mar. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.255>.

CETESB. Qualidade das águas subterrâneas do estado de São Paulo 2016-2018 (Série Relatórios). São Paulo. 291 p. Disponível em: < <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/publicacoes-e-relatorios/> >. Acesso em: julho 2022.

CETESB. Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2014 [recurso eletrônico] / CETESB. São Paulo: CETESB, 2014. Disponível em: < https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/Cetesb_QualidadeAguasSuperficiais2014_Partel_vers%C3%A3o2015_Web.pdf>. Acesso em: julho 2022.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE ALAGOAS. Disponível em: <https://www.casal.al.gov.br/capital/>. Acesso em: 9 de abril de 2021.

CONSULTORIA ESTUDOS E PROJETOS S/C LTDA (org.). Plano Diretor da Região Hidrográfica Pratagy. Maceió: Cohidro, 2006.

COSTA, M; CONEJO, J. A Implementação do Enquadramento dos Corpos d'água em Bacias Hidrográficas: Conceitos e Procedimentos. In: XVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, Campo Grande, Anais/CD-ROOM, Campo Grande, 2009.

DHARMARATHNE, Nirmala; GUNATILAKE, Jagath. Leachate Characterization and Surface Groundwater Pollution at Municipal Solid Waste Landfill of Gohagoda, Sri Lanka. **International Journal Of Scientific And Research Publications**, Sri Lanka, v. 3, n. 11, p. 1-7, nov. 2013.

ELZWAYIE, Adnan; AFAN, Haitham Abdulmohsin; ALLAWI, Mohammed Falah; EL-SHAFIE, Ahmed. Heavy metal monitoring, analysis and prediction in lakes and rivers: state of the art. **Environmental Science And Pollution Research**, [S.L.], v. 24, n. 13, p. 12104-12117, 29 mar. 2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-017-8715-0>.

ENGELMANN, Pâmela de Medeiros; SANTOS, Victor Hugo Jacks Mendes dos; MOSER, Letícia Isabela; BRUZZA, Eduardo do Canto; BARBIERI, Cristina Barazzetti; BARELA, Pâmela Susin; MORAES, Diogo Pompéu de; AUGUSTIN, Adolpho Herbert; GOUDINHO, Flávio Soares; MELO, Clarissa Lovato. Environmental monitoring of water resources around a municipal landfill of the Rio Grande do Sul state, Brazil. **Environmental Science And Pollution Research**, [S.L.], v. 24, n. 26, p. 21398-21411, 25 jul. 2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-017-9725-7>.

FIA, Ronaldo; TADEU, Hugo; MENEZES, João Paulo; FIA, Fátima Resende Luiz; OLIVEIRA, Luiz Fernando Coutinho de. Qualidade da água de um ecossistema lótico urbano. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, vol. 20, no. 1, p. 267-275, 2015. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v20n1.p267-275>.

FINALIZAÇÃO DO PLANO DA BACIA DO RIO TIBAGI, Ago. 2015. Disponível em : https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-10/produto_05_proposta_de_enquadramento_-_revisao_5.pdf. Acesso em: 11 ago. 2022.

FINALIZAÇÃO DO PLANO DAS BACIAS DO ALTO IGUAÇU E AFLUENTES DO ALTO RIBEIRA. Curitiba, Jul. 2013. Disponível em: https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-05/finalizacao_plano.pdf. Acesso em: 8 ago. 2022.

FONSECA, Wagner Cleyton; TIBIRIÇÁ, Carlos Eduardo Junqueira de Azevedo. Avaliação da influência da estação de tratamento de efluente de Catanduva (SP) na qualidade da água do rio São Domingos. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 26, n. 1, p. 181-191, fev. 2021. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-415220180157>.

GOMES, Naiara Angelo; ALMEIDA, Márbara Vilar de Araújo; MELO, Márcio Camargo de; MONTEIRO, Veruschka Escarião Dessoles; OLIVEIRA, Rui de. Influência de parâmetros físico-químicos na composição de constituintes tóxicos em lixiviado de aterro sanitário. **Matéria (Rio de Janeiro)**, [S.L.], v. 23, n. 3, p. 1-11, 18 out. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620180003.0489>.

GUERREIRO, Maria Simas; ABREU, Isabel Maria; MONTEIRO, Álvaro; JESUS, Teresa; FONSECA, Ana. Considerations on the monitoring of water quality in urban streams: a case study in Portugal. **Environmental Monitoring and Assessment**, vol. 192, no. 6, 1 Jun. 2020. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-8245-y>.

GUIMARÃES, Brunna Oliveira; REIS, José Antonio Tosta dos; MENDONÇA, Antônio Sérgio Ferreira; AKABASSI, Lucien. Análise probabilística de parâmetros de qualidade da água para suporte ao processo de enquadramento de cursos d'água. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 21, n. 4, p. 807-815, dez. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522016143190>.

HAJIGHOLIZADEH, Mohammad; MONCADA, Angelica; KENT, Samuel; MELESSE, Assefa M. Land–Lake Linkage and Remote Sensing Application in Water Quality Monitoring in Lake Okeechobee, Florida, USA. **Land**, [S.L.], v. 10, n. 2, p. 147, 3 fev. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/land10020147>.

HARRISON, Simon; MCAREE, Cassandra; MULVILLE, William; SULLIVAN, Timothy. The problem of agricultural ‘diffuse’ pollution: Getting to the point. **Science of the Total Environment**, vol. 677, p. 700–717, 10 Ago. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.169>.

HOBBIE, Sarah E.; FINLAY, Jacques C.; JANKE, Benjamin D.; NIDZGORSKI, Daniel A.; MILLET, Dylan B.; BAKER, Lawrence A. Contrasting nitrogen and phosphorus budgets in urban watersheds and implications for managing urban water pollution. **Proceedings Of The National Academy Of Sciences**, [S.L.], v. 114, n. 16, p. 4177-

4182, 3 abr. 2017. Proceedings of the National Academy of Sciences. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1618536114>.

HOFFMANN, Leticia Tamara; JORGE, Matheus Caneles Batista; AMARAL, Adriana Garcia do; BONGIOVANI, Milene Carvalho; SCHNEIDER, Roselene Maria. Ozonation as a pre-treatment of landfill leachate. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, [S.L.], v. 15, n. 6, p. 1, 3 nov. 2020. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.2592>.

Instituto das Águas do Paraná. FINALIZAÇÃO DO PLANO DA BACIA DO RIO TIBAGI. Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SEGRH/PR, 2013.

Instituto das Águas do Paraná. FINALIZAÇÃO DO PLANO DAS BACIAS DO ALTO IGUAÇU E AFLUENTES DO ALTO RIBEIRA. Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SEGRH/PR. Paraná. 2015.

INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE DE MATO GROSSO DO SUL. ENQUADRAMENTO DOS CORPOS D'ÁGUAS. Campo Grande, 2020. Disponível em: <<https://www.imasul.ms.gov.br/enquadramento-dos-corpos-daguas/>>. Acesso em: 11 ago. 2022.

KAWAHIGASHI, Flávia; MENDES, Marcos Batista; ASSUNÇÃO JÚNIOR, Vilson Gomes da; GOMES, Vitor Hugo; FERNANDES, Fernando; HIROOKA, Elisa Yoko; KURODA, Emília Kiyomi. Pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário com carvão ativado. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 19, n. 3, p. 235-244, set. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522014019000000652>.

LIMA, Diego Roberto Sousa; TONUCCI, Marina Caldeira; LIBÂNIO, Marcelo; DE AQUINO, Sérgio Francisco. Fármacos e desreguladores endócrinos em águas Brasileiras: Ocorrência e técnicas de remoção. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S. l.], v. 22, n. 6, p. 1043–1054, 2017. DOI: 10.1590/s1413-41522017165207.

MACHADO, Enéas Souza; KNAPIK, Heloise Garcia; BITENCOURT, Camila de Carvalho Almeida de. Considerações sobre o processo de enquadramento de corpos de água. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 24, n. 2, p. 261-269, abr. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522019181252>.

MAPBIOMAS. O projeto. Disponível em: < <https://mapbiomas.org/o-projeto>>. Acesso em 7 jul. 2022.

MARTINS, L. K. L. A. Contribuições para monitoramento de balneabilidade em águas doces no Brasil. 2012. Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.

MENESES, B. M.; REIS, R.; VALE, M. J.; SARAIVA, R. Land use and land cover changes in Zêzere watershed (Portugal) - Water quality implications. **Science of the**

Total Environment, vol. 527–528, p. 439–447, 5 Sep. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.04.092>.

MENEZES, João Paulo Cunha et al. Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, p. 519-534, 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos. **Resolução no 91, de 05 de novembro de 2008**.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**. Brasília, 2005

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Secretaria de Recursos Hídricos. **Política Nacional de Recursos Hídricos. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Brasília, 1997.

NOERFITRIYANI, Eki; HARTONO, Djoko M.; MOERSIDIK, Setyo S.; GUSNIANI, Irma. Impact of Leachate Discharge from Cipayung Landfill on Water Quality of Pesanggrahan River, Indonesia. **Iop Conference Series: Earth and Environmental Science**, [S.L.], v. 120, p. 012002, mar. 2018. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/120/1/012002>.

OKUMAH, Murat; CHAPMAN, Pippa J.; MARTIN-ORTEGA, Julia; NOVO, Paula. Mitigating agricultural diffuse pollution: Uncovering the evidence base of the awareness-behaviour-water quality pathway. **Water (Switzerland)**, vol. 11, no. 1, 24 Dec. 2018. <https://doi.org/10.3390/w11010029>.

OLIVEIRA, Clélia Nobre de; CAMPOS, Vânia P.; MEDEIROS, Yvonilde Dantas Pinto. Avaliação e identificação de parâmetros importantes para a qualidade de corpos d'água no semiárido baiano. Estudo de caso: bacia hidrográfica do rio salitre. **Química Nova**, [S.L.], v. 33, n. 5, p. 1059-1066, 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422010000500010>.

OLOLADE, Olusola O.; MAVIMBELA, Sabelo; OKE, Saheed A.; MAKHADI, Rinae. Impact of leachate from northern landfill site in Bloemfontein on water and soil quality: Implications for water and food security. **Sustainability (Switzerland)**, [S. l.], v. 11, n. 15, 2019. DOI: 10.3390/su11154238.

PASSOS, Ana Luiza Litz. Seleção de melhores parâmetros na definição de um índice de qualidade de água para o Distrito Federal. 2018. 74 f., il. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais)—Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

PENG, Yao. Perspectives on technology for landfill leachate treatment. **Arabian Journal Of Chemistry**, [S.L.], v. 10, p. 567-574, maio 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.09.031>.

RODRIGUES, Roberta Baptista. SISTEMA DE SUPORTE A DECISÃO PROPOSTO PARA A GESTÃO QUALI-QUANTITATIVA DOS PROCESSOS DE OUTORGA E COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA. **Dissertação**, São Paulo, 2005.

SANESUL - Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul. ESTUDOS PARA SUBSIDIAR O ENQUADRAMENTO DE 11 (ONZE) HIDROGRAFICAS LOCALIZADAS NO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL. Mato Grosso do Sul. 2022 Disponível em: <https://enq11mbhs.wixsite.com/recursoshidricos/produtos-finais>. Acessado em: jun/2022.

SEAMA - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos / ES. ENQUADRAMENTO DOS CORPOS DE ÁGUA E PLANO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BENEVENTE. Espírito Santo, Jul. 2015. Disponível em: https://agerh.es.gov.br/Media/agerh/Documenta%C3%A7%C3%A3o%20CBHs/Benevente/CBH%20Benevente%20-%20Relat%C3%B3rio%20Etapa%20C_Plano%20de%20Recursos%20H%C3%ADricos.pdf. Acesso em; 11 ago. 2022.

SEMA/RS – Secretaria de Meio Ambiente do Rio Grande do Sul. Relatório Técnico 2 - RT2 Fase B: Complementação do Enquadramento. CONTRATAÇÃO DE SERVIÇOS DE CONSULTORIA RELATIVOS AO PROCESSO DE PLANEJAMENTO BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOS SINOS – FASE C. PROFILL ENGENHARIA E AMBIENTE LTDA. Porto Alegre, junho de 2014. Disponível em: <http://www.comitesinos.com.br/arquivos/1--plano-de-bacia---relatorio-tecnico-2---fase-b--complementacao-do-enquadramento-2017-07-03-1499109791.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2022.

SENT, Giulia; BIGUINO, Beatriz; FAVARETO, Luciane; CRUZ, Joana; SÁ, Carolina; DOGLIOTTI, Ana Inés; PALMA, Carla; BROTAS, Vanda; BRITO, Ana C. Deriving Water Quality Parameters Using Sentinel-2 Imagery: a case study in the sado estuary, portugal. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 13, n. 5, p. 1043, 9 mar. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs13051043>.

SILVA, Selma Maria de Arruda. ANÁLISE FÍSICA, QUÍMICA E BIOLÓGICA DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO IGARAPÉ DOIS DE ABRIL, NO MUNICÍPIO DE JI-PARANÁ/RO. Porto Velho, , p. 3–149, 2018.

TEODOSIU, Carmen; BARJOVEANU, George; TELEMAN, Daniela. SUSTAINABLE WATER RESOURCES MANAGEMENT 1. RIVER BASIN MANAGEMENT AND THE EC WATER FRAMEWORK DIRECTIVE. **Environmental Engineering And**

Management Journal, [S.L.], v. 2, n. 4, p. 377-394, 2003. OAIMDD - EcoZone Publishing House. <http://dx.doi.org/10.30638/eemj.2003.033>.

UNIÃO EUROPEIA. **Diretiva 2013/39/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 12 de agosto de 2013 que altera as diretivas 2000/60/CE e 2008/105/CE no que respeita às substâncias prioritárias no domínio da política da água**. Jornal Oficial da União Europeia, 24 ago. 2013.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014. 472 p.

ZEINALZADEH, Kamran; REZAEI, Elnaz. Determining spatial and temporal changes of surface water quality using principal component analysis. **Journal Of Hydrology: Regional Studies**, [S.L.], v. 13, p. 1-10, out. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.07.002>.

ZHAO, Jing; ZHANG, Fujie; CHEN, Shuisen; WANG, Chongyang; CHEN, Jinyue; ZHOU, Hui; XUE, Yong. Remote Sensing Evaluation of Total Suspended Solids Dynamic with Markov Model: a case study of inland reservoir across administrative boundary in south china. **Sensors**, [S.L.], v. 20, n. 23, p. 6911, 3 dez. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/s20236911>.

8 APÊNDICE A

Tabela 37 - Esgoto bruto que chega na ETE da SANAMA

Data	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	N-amon (mg/L)	Fósf. (mg/L)	Cor (uC)	Turb. (NTU)	pH	Alc. (mg/L)	Termot. (UFC/100ML)
16/12/22		1066,8							
19/1/22	19,0	220,5		4,66	312,0	71,8	6,92	211,4	3000
9/2/22	242,0	1591,4	17,6	5,39	315,0	101,0	7,76	664,3	2700
23/2/22	242,0	1650,8	30,2	4,54	202,0	99,0	6,88	244,3	5600
Méd.Seca	167,7	1154,2	23,9	4,86	276,3	90,6	7,19	373,3	3.767
10/3/22	242,0	1042,9	36,6	3,80	334,00	96,10	7,43	583,77	4200
30/3/22	242,0	423,13	16,9	6,32	290,00	108,00	7,42	270,84	3700
20/4/22	595,0	652,56	9,4	5,64	276,00	107,00	7,04	201,30	3000
4/5/22	595,0	1631,4	27,3	5,42	317,00	163,00	6,86	137,25	4600
8/6/22		546,0	9,5	6,35	272,00	96,00	7,51	34,31	5500
22/6/22	590,0	865,7	25,1	6,03	283,00	109,00	7,51	125,36	4038
Méd.Chuva	452,0	860,4	20,8	5,59	295,33	113,18	7,30	225,47	4.173

Fonte: Autor (2022)

Tabela 38 - Esgoto tratado descartado no Riacho Grota da Esperança

Data	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	N-amon (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Fósf. (mg/L)	Turb. (NTU)	Termotol. (NMP/100mL)
7/10/21	11,2						45,8	200
15/10/21	13,7		23,80	5,70	5,80	4,83	19,90	1
21/10/21	6,5						34,60	180
2/12/21	16,5		19,60	0,82	10,70	5,66	60,40	100
9/12/21	3,1						58,10	180
16/12/21	3,5						52,70	180
20/12/21	9,8		39,10	0,34	1,67	6,94	24,00	1
7/1/22	19,6	90,4	24,30	1,62	6,55	4,02	13,80	1
13/1/22	1,5	77,0					17,80	180
20/1/22	9,9	83,4	37,10	1,00	9,31	5,8	17,50	1
Méd.Seco	9,5	83,6	28,78	1,90	6,81	5,45	34,46	102
3/3/22	2,5	97,0	3,10		4,40	11,40	18,00	200
10/3/22	25,0	80,0	24,80		9,14	3,70	7,20	85
17/3/22	8,5	85,0	4,30		5,20	9,30	10,20	180
24/3/22	2,5	82,0	2,50		4,00	10,60	11,50	200
Méd.chuva	9,6	86,0	8,68		5,69	8,75	11,73	166

Fonte: SANAMA (2022)

9 APÊNDICE B

Tabela 39 – Lixiviado pré-tratado, parte enviado ao pós-tratamento e parte ao emissário submarino

Data	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	N-amoniacoal (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Fósforo (mg/L)	Cor (uC)	Turbidez (NTU)	Ferro total (mg/L)	Manganês (mg/L)	pH	Alcalinidade (mg/L)
03/11/2021	540,00	2658,33	27,00	2000,00	370,00	0,79	720,00	21,50	1,75	0,18	7,53	280,50
17/11/2021		1838,43		1147,41	478,09		1090,00	41,10	1,70	0,23	7,58	800,00
11/12/2021	279,30	2762,23				0,43	1520,00	62,00	0,05		7,80	2800,00
22/12/2021		2002,33	105,00	1073,87	313,57		1310,00	40,80		1,11	7,93	366,00
19/01/2022	370,70	1659,63		1072,67	430,40	0,88	1250,00	45,00	2,69		7,77	325,00
28/01/2022		3477,43	42,00	1903,55	399,88		1550,00	20,30	3,28	2,10	7,70	366,00
16/02/2022	349,00	1406,33	21,00	1451,49	248,24	0,79	1500,00	20,00	3,87	1,15	7,18	457,50
23/02/2022		2106,63	147,00	1451,49	304,04		1590,00	54,70	1,75	0,24	7,18	732,00
10/03/2022	301,10	968,36	63,00	1662,45	254,43	2,10	1480,00	59,50	4,13	2,32	7,41	1189,50
23/03/2022		735,83	35,00	1728,75	125,68		880,00	30,20	1,75	4,09	7,29	1189,50
Méd.Seco	368,02	1961,55	62,86	1499,07	324,92	1,00	1289,00	39,51	2,33	1,43	7,54	850,60
06/04/2022	211,10	1331,83	42,00	1849,30	133,31	2,74	1125,00	52,90	7,70	0,13	6,94	640,00
20/04/2022		1689,43		915,04	129,97		1580,00	27,80	3,14	0,65	7,83	1372,50
04/05/2022	882,10	4237,33	478,80	1406,85	89,34	4,13	1130,00	33,40	0,84	1,52	7,67	1582,95
18/05/2022		2404,63	525,00	1501,63	132,07		1129,00	42,00	1,11	0,77	7,36	2397,30
01/06/2022	918,40	1331,83	609,00	1520,67	129,78	2,34	980,00	50,10	2,21	0,90	7,79	1555,50
20/06/2022		4186,33	672,00	1427,38	129,78			26,30	0,84		8,18	1098,00
Méd.chuva	670,53	2530,23	465,36	1436,81	124,04	3,07	1188,80	38,75	1,39	0,83	7,63	1441,04

Fonte: Dados primários obtidos no LSA (2022)

Tabela 40 - Lixiviado tratado descartado no riacho Doce

Data	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	N-amoniacal (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Fósforo (mg/L)	Cor (uC)	Turbidez (NTU)	Ferro total (mg/L)	Manganês (mg/L)	pH	Alcalinidade (mg/L)
3/11/21	0,50	76,56				0,52		0,97			7,49	62,22
17/11/21	1,00	83,01				0,58	33,00	0,85	1,16		7,88	48,50
11/12/21	20,80	76,56	1,67		11,15	0,52	73,00	1,44			7,50	66,80
22/12/21	9,30	83,01		2,18		0,61	81,00	3,11			7,78	
19/1/22	11,15	622,79				0,57	74,00	1,55			7,95	27,45
28/1/22		633,22	9,48			0,54	102,00	1,52	0,08		6,53	73,20
16/2/22		250,29	0,13	1,85		0,67	31,00	3,50			6,94	
23/2/22		38,43	1,79	578,41	5,08	0,63	202,00	0,91	0,76	0,36	7,33	204,05
Méd. Seco	8,55	232,98	3,27	194,15	8,12	0,58	85,14	1,73	0,67	0,36	7,43	80,37
9/3/22	14,80	42,07	1,28	285,48	85,12	1,15	140,00	3,06	0,48	0,55	6,85	93,33
23/3/22	3,00	31,58	1,15	855,68	63,06	0,64			0,45	0,55	7,01	333,06
6/4/22	25,00	69,50	1,67	158,90		0,61		1,21	0,45	0,01	7,11	32,03
4/5/22			26,39	5,02	4,03	1,30	4,00	0,02	0,69		7,66	
17/5/22		27,14	7,56	3,44		0,68	46,00	4,00	0,41		7,09	15,56
Méd.Chuva	14,27	42,57	7,61	261,70	50,74	0,88	63,33	2,07	0,50	0,37	7,14	118,50

Fonte: Dados primários obtidos no LSA (2022)

10 APÊNDICE C

Tabela 41– Dados de qualidade da água da Bacia Hidrográfica do Riacho Doce

Data	Ponto	Cor	Turb.	OD	DBO	DQO	N-amon	Nitrito	Nitrato	Fósforo	Cloreto	Sulfato	Colif. term.	Ferro	Mangânês	Alcalinidade	pH
nov/21	P4		3,98			19,5		nd	nd	1,2					nd	56,7	6,8
	P3		3,91			45,7		nd	nd	1,2					nd	88,8	7,4
	P4	77	8,02	1,9	3,2	26,1		nd	nd	1,5	65,9	20,6		2,4	nd	60,4	7,3
	P3	72	9,04	4,75	2,7	33,4		nd	nd	1,2	60,6	66,8		11,1	nd	154,6	7,2
dez/21	P4	54	5,07	4,3	26,8	20,5	5,1	nd	8	1,1	46	12,2		1,2	nd	72,3	7,2
	P3	57	6,01	7,79	23,5	23,9	3,8	nd	2,9	0,6	57,5	24,6		1,1	nd	139,1	7,1
	P4	64	6,35	5,2		19,9		0,5	0,9	1,4	44,6	11,5	200	1,2	nd	58,6	7,3
	P3	60	7,78	7,13		36,8		3,7	1,4	1,4	43,4	21,2	1100	0,70	nd	58,6	7,1
jan/22	P4	37	4,27	4,15	4,3	21,1		nd	nd	1,4	48,9	8,3	31	0,4	nd	45,8	8,1
	P3	39	5,81	5,35	51,5	42,9		nd	nd	1,3	112,9	12,1	15	0,4	nd	111,6	8,1
	P4	35	3,43	5,23	0	23,1	7,6	nd	nd	1,3	30,9	10,5	400	1,6	nd	65	7,1
	P3	32	2,76	4,5	2,1	19,1	3,3	1,9	nd	1,5	59,2	23		1,5	nd	399,9	6,7
fev/22	P4	44	5,91	7,99	2,7	45,9	4,7	0,7	nd	1,6	84,8	17,6		0,6	nd	22,9	7
	P3	43	6,68	6,62	2,1	20,5	3,1	2,5	nd	1,7	75,7	27,1	2	0,9	nd	22	7,2
	P5	129	51,9	6,34	1	66,7	21,3	20,7	9,7	4,7	166,8	56,2	1	0,18	nd	191,2	7,9
	P1	49	5,08	3,97	4,3	33,2	3,1	2,9	11,5	3	304,3	365,3	2400	0,8	nd	51,2	7
	P4	55	4,89	5,37		17	4,5	178,9	nd	1,2	86	13,8	4000	1,3	0,2	70,5	7,1
	P3	52	7,72	5,9		23,5	2,4	409,8	nd	1,3	78,6	12,7		1,9	nd	69,5	7
mar/22	P5	72	21,9	0,97		58,6	2	1,1	nd	4,7	26,4	42,7		0,9	0,2	82,4	7,8
	P1	202	16,9	3,72		71,1	0,8	2,6	nd	3	2599,9	356,7	12200	2,3	0,5	0	6,8
	P4	52	5,51	4,9	0	17,8	1,7	1,7	nd	1,4	57	14,2	1200	1,0	0	57,6	7,2
	P3	53	4,86	5,59	0,5	17,5	4,4	16,2	nd	1,5	105,4	15,3	20	1,6	0,2	55,8	7
	P2		51,1	3,35	20,9		2			0,3			3,6				6,7
	P4	379	176	6,88		23,1	6,9	13,2	14,4	0,8	14,6	41,8	1300	1,4	0,4	20,1	7,4

Tabela 42- Estatística descritiva dos dados de qualidade da água da bacia, referentes ao período de 2021 a 2022

		P5		P4		P3		P2		P1	
		Chuvoso	Estiagem								
Cor	Média	85,3	124	143,3	52,29	151	50,71	*	*	151,3	49
	DesvPad	32,7	*	158,7	15,05	208	13,71	*	*	59,3	*
	Mínimo	60	124	46	35	9	32	*	*	52	49
	Máximo	156	124	379	77	390	72	*	*	209	49
	Amplitude	96	*	333	42	381	40	*	*	157	*
	DIQ	22	*	260,8	27	381	21	*	*	89	*
Turbidez	Média	17,42	51,9	43,9	5,24	73,4	6,214	37,5	*	28,71	5,08
	DesvPad	16,42	*	73,9	1,482	87,5	2,083	19,3	*	20,21	*
	Mínimo	4,47	51,9	5,5	3,43	4,9	2,76	23,8	*	6,75	5,08
	Máximo	52	51,9	176	8,02	195	9,04	51,1	*	55,6	5,08
	Amplitude	47,53	*	170,5	4,59	190,1	6,28	27,3	*	48,85	*
	DIQ	15,4	*	87,7	2,187	158,7	3,38	*	*	36,7	*
pH	Média	7,7171	7,92	7,232	7,246	6,9775	7,24	0,568	*	6,9271	7,03
	DesvPad	0,1848	*	0,227	0,385	0,1195	0,394	5,74	*	0,2323	*
	Mínimo	7,48	7,92	6,87	6,78	6,88	6,74	7	*	6,66	7,03
	Máximo	8,05	7,92	7,43	8,1	7,15	8,09	1,26	*	7,4	7,03
	Amplitude	0,57	*	0,56	1,32	0,27	1,35	1,093	*	0,74	*
	DIQ	0,24	*	0,38	0,275	0,2125	0,315	*	*	0,19	*
Alcalinidade	Média	97,2	191,24	42,3	56,5	42,78	130,5	*	*	39,53	51,24
	DesvPad	73,5	*	21,8	15,95	14,42	117,1	*	*	13,04	*
	Mínimo	36,6	191,24	20,1	22,88	26,54	22	*	*	22,88	51,24
	Máximo	222,3	191,24	64	72,29	55,82	399,9	*	*	53,07	51,24
	Amplitude	185,8	*	43,9	49,41	29,28	377,9	*	*	30,19	*
	DIQ	113	*	40,5	20,59	26,77	89,4	*	*	25,16	*
Sulfato	Média	59,6	56,15	18	13,52	19,14	26,78	*	*	133,8	365,27
	DesvPad	57,6	*	13,39	4,29	19,54	18,57	*	*	143,9	*
	Mínimo	25,6	56,15	10,28	8,25	3,65	12,05	*	*	17	365,27
	Máximo	188,6	56,15	41,8	20,64	47,57	66,83	*	*	356,7	365,27

		P5		P4		P3		P2		P1	
		Chuvoso	Estiagem								
	Amplitude	163	*	31,52	12,39	43,92	54,78	*	*	339,6	*
	DIQ	21,6	*	17,23	7,12	34,26	14,35	*	*	278,5	*
Cloreto	Média	856	166,78	44,5	58,16	68,3	69,7	*	*	1960	304,32
	DesvPad	567	*	23,5	21,25	30,9	22,41	*	*	682	*
	Mínimo	26	166,78	14,6	30,91	29,9	43,37	*	*	683	304,32
	Máximo	1342	166,78	65,4	86,03	105,4	112,86	*	*	2600	304,32
	Amplitude	1316	*	50,8	55,12	75,5	69,49	*	*	1917	*
	DIQ	1193	*	44,3	40,26	57,4	21,09	*	*	985	*
DBO	Média	18,13	*	5	7,4	5,17	16,38	20,9	*	6,63	*
	DesvPad	17,26	*	4,58	10,96	4,31	21,67	*	*	3,94	*
	Mínimo	2,5	*	0	0	0,5	2,1	20,9	*	2,5	*
	Máximo	35	*	9	26,8	9	51,5	20,9	*	12	*
	Amplitude	32,5	*	9	26,8	8,5	49,4	*	*	9,5	*
	DIQ	31,13	*	9	14,2	8,5	35,4	*	*	7,13	*
DQO	Média	83,26	66,67	46,6	24,13	40,4	30,72	*	*	107,7	33,19
	DesvPad	24,61	*	28,1	9,2	28,1	10,39	*	*	66,8	*
	Mínimo	58,61	66,67	17,8	17,01	17,5	19,07	*	*	48,1	33,19
	Máximo	129,65	66,67	84,5	45,9	79,7	45,7	*	*	244,3	33,19
	Amplitude	71,04	*	66,7	28,89	62,2	26,63	*	*	196,2	*
	DIQ	31,81	*	54	5,8	51,1	20,13	*	*	70,2	*
OD	Média	1,26	*	5,89	4,877	6,375	6,006	3,83	*	3,998	3,97
	DesvPad	0,41	*	1,4	1,821	1,11	1,232	1,26	*	1,384	*
	Mínimo	0,97	*	4,9	1,9	5,59	4,5	2,88	*	2,4	3,97
	Máximo	1,55	*	6,88	7,99	7,16	7,79	5,25	*	5,76	3,97
	Amplitude	0,58	*	1,98	6,09	1,57	3,29	2,37	*	3,36	*
	DIQ	*	*	*	1,22	*	2,38	2,37	*	2,618	*
					5,475	3,572	3,167	1,96	*	4,6	3,07

		P5		P4		P3		P2		P1	
		Chuvoso	Estiagem								
N-amoniaco	Média	9,2	21,26	5,17							
	DesvPad	8,64	*	3,49	1,415	0,75	0,587	*	*	4,52	*
	Mínimo	0,51	21,26	1,67	4,48	2,56	2,43	1,96	*	0,26	3,07
	Máximo	22,03	21,26	10,25	7,56	4,36	3,84	1,96	*	11,34	3,07
	Amplitude	21,52	*	8,58	3,08	1,8	1,41	*	*	11,08	*
	DIQ	17,27	*	6,49	2,405	1,398	1,122	*	*	9,48	*
Nitrito	Média	1,53	20,7	3,39	45	10,43	104	*	*	2,38	2,94
	DesvPad	1,354	*	5,52	89,2	8,21	204	*	*	3,38	*
	Mínimo	0,17	20,7	0,36	0,1	0,66	2	*	*	0,11	2,94
	Máximo	3,2	20,7	13,22	178,9	18,19	410	*	*	8,16	2,94
	Amplitude	3,03	*	12,86	178,8	17,53	408	*	*	8,05	*
	DIQ	2,96	*	7	134,2	15,51	306	*	*	5,18	*
Nitrito	Média	1,53	20,7	3,39	45	10,43	104	*	*	2,38	2,94
	DesvPad	1,354	*	5,52	89,2	8,21	204	*	*	3,38	*
	Mínimo	0,17	20,7	0,36	0,1	0,66	2	*	*	0,11	2,94
	Máximo	3,2	20,7	13,22	178,9	18,19	410	*	*	8,16	2,94
	Amplitude	3,03	*	12,86	178,8	17,53	408	*	*	8,05	*
	DIQ	2,96	*	7	134,2	15,51	306	*	*	5,18	*
Nitrito	Média	13,57	9,7	9,7	4,45	1,65	2,15	*	*	5,88	11,5
	DesvPad	14,58	*	4,1	5,02	0,0707	1,061	*	*	9,9	*
	Mínimo	0,8	9,7	6,9	0,9	1,6	1,4	*	*	0,2	11,5
	Máximo	34,3	9,7	14,4	8	1,7	2,9	*	*	20,7	11,5
	Amplitude	33,5	*	7,5	7,1	0,1	1,5	*	*	20,5	*
	DIQ	26,42	*	7,5	*	*	*	*	*	15,47	*
Fósforo	Média	3,051	4,72	1,034	1,3337	1,258	1,282	0,25	*	1,64	3
	DesvPad	1,311	*	0,396	0,1634	0,285	0,32	*	*	1,404	*
	Mínimo	0,52	4,72	0,63	1,1	0,85	0,58	0,25	*	0,52	3
	Máximo	4,67	4,72	1,49	1,58	1,51	1,67	0,25	*	4,23	3

		P5		P4		P3		P2		P1	
		Chuvoso	Estiagem								
	Amplitude	4,15	*	0,86	0,48	0,66	1,09	*	*	3,71	*
	DIQ	1,42	*	0,74	0,26	0,513	0,245	*	*	2,19	*
Ferro	Média	0,503	*	1,298	1,378	1,79	2,86	*	*	2,62	0,81
	DesvPad	0,498	*	0,216	0,588	0,305	4,04	*	*	0,977	*
	Mínimo	0,1	*	1,04	0,62	1,42	0,7	*	*	1,68	0,81
	Máximo	1,21	*	1,49	2,4	2,17	11,05	*	*	4,34	0,81
	Amplitude	1,11	*	0,45	1,78	0,75	10,35	*	*	2,66	*
	DIQ	0,897	*	0,415	0,738	0,575	3,33	*	*	1,7	*
Manganês	Média	0,384	*	0,24	0,16	0,315	*	*	*	0,22	*
	DesvPad	0,418	*	0,283	*	0,191	*	*	*	0,1628	*
	Mínimo	0,06	*	0,04	0,16	0,18	*	*	*	0,08	*
	Máximo	1,11	*	0,44	0,16	0,45	*	*	*	0,48	*
	Amplitude	1,05	*	0,4	*	0,27	*	*	*	0,4	*
	DIQ	0,6	*	*	*	*	*	*	*	0,2875	*
Coliformes term.	Média	6272	2400	1605	77,7	903	388	3,6	*	5949	4000
	DesvPad	5101	*	1490	106,9	872	617	*	*	4653	*
	Mínimo	1	2400	20	2	11	15	3,6	*	96	4000
	Máximo	13900	2400	3600	200	2100	1100	3,6	*	10500	4000
	Amplitude	13899	*	3580	198	2089	1085	*	*	10404	*
	DIQ	9000	*	2785	198	1592	1085	*	*	9351	*

Fonte: Autor (2022)

Tabela 43 - Estatística descritiva dos dados secundários de qualidade da água da bacia no ponto 4

Parâmetro	Sazonalidade	Média	DP	Mínimo	Máximo	Amplitude	Amplitude interquartil
Alumínio dissolvido	Chuvoso	0,1337	0,078	0,099	0,312	0,213	0
	Estiagem	0,081	0,03257	0,009	0,1	0,091	0,05
Arsênio total	Chuvoso	0,002222	0,001833	0,001	0,005	0,004	0,004
	Estiagem	0,004218	0,001733	0,001	0,007	0,006	0,001585
Bário total	Chuvoso	0,1253	0,1746	0,01	0,59	0,58	0,29
	Estiagem	0,0481	0,0962	0,005	0,3	0,295	0,0085
Cádmio total	Chuvoso	0,0285	0,0456	0,001	0,1	0,099	0,099
	Estiagem	0,01194	0,03204	0,0005	0,1	0,0995	0
Clorofila a	Chuvoso	3,712	2,157	1	7,7	6,7	4,11
	Estiagem	2,851	3,299	0	13,33	13,33	3,045
Cloretos	Chuvoso	28,98	12,75	1	55	54	16,2
	Estiagem	37,93	10,13	24	63,5	39,5	14,02
Cobre dissolvido	Chuvoso	0,0314	0,0438	0,005	0,1	0,095	0,095
	Estiagem	0,01506	0,03094	0,0005	0,1	0,0995	0
Coliforme termotolerantes	Chuvoso	24413	67291	1	280000	279999	11149
	Estiagem	1492	1754	2	5400	5398	2256
Cor verdadeira	Chuvoso	26,82	22,06	5	72,2	67,2	38,9
	Estiagem	25,24	27,51	5	119,56	114,56	24,79
Cromo total	Chuvoso	0,004722	0,000461	0,004	0,005	0,001	0,001
	Estiagem	0,004889	0,000323	0,004	0,005	0,001	0
DBO	Chuvoso	12,18	25,56	1	112,76	111,76	5,15
	Estiagem	8,29	5,57	2,82	20,6	17,78	7,6
Densidade de cianobactérias	Chuvoso	2,647	3,427	1	12	11	2
	Estiagem	16,2	43,4	1	163	162	4
DQO	Chuvoso	18,76	7,31	4,18	28,98	24,8	8,38
	Estiagem	30,97	30,28	7,24	147	139,76	5,63
Fósforo total	Chuvoso	0,686	0,555	0,016	2,18	2,164	0,706
	Estiagem	0,727	0,436	0,002	1,46	1,458	0,732

Lítio total	Chuvoso	0,3614	0,2028	0,005	0,5	0,495	0,4
	Estiagem	0,1075	0,1499	0,005	0,5	0,495	0,095
Manganês total	Chuvoso	0,0708	0,0425	0,005	0,1	0,095	0,085
	Estiagem	0,02903	0,03411	0,005	0,103	0,098	0,01613
Mercúrio total	Chuvoso	0,000356	0,000412	0,0001	0,001	0,0009	0,0009
	Estiagem	0,000206	0,000291	0,00005	0,001	0,00095	0,000025
Níquel total	Chuvoso	0,006183	0,002479	0,001	0,0097	0,0087	0,0047
	Estiagem	0,0053	0,001856	0,001	0,0097	0,0087	0
Nitrito	Chuvoso	0,1789	0,2066	0,003	0,67	0,667	0,3185
	Estiagem	0,2521	0,3958	0,003	1,522	1,519	0,2825
Nitrogênio amoniacal	Chuvoso	3,529	3,647	1	15,4	14,4	4,58
	Estiagem	2,919	3,016	0,04	12,04	12	4,01
Nitrato	Chuvoso	2,064	2,774	0,02	12,2	12,18	1,904
	Estiagem	2,16	1,952	0,18	5,239	5,059	3,577
Oxigênio dissolvido	Chuvoso	5,468	1,23	2,55	7,14	4,59	1,91
	Estiagem	5,919	1,621	4,1	11,1	7	1,575
pH	Chuvoso	7,06	0,596	6,09	8,32	2,23	0,982
	Estiagem	7,008	0,431	6,3	7,8	1,5	0,62
Sulfatos	Chuvoso	10,69	9,6	4	44,2	40,2	9
	Estiagem	10,32	9,29	4	39,04	35,04	7,4
Turbidez	Chuvoso	21,55	32,18	0,5	122,7	122,2	9,82
	Estiagem	8,84	6,3	2,3	22,48	20,18	9,55
Zinco total	Chuvoso	0,08278	0,03409	0,01	0,1	0,09	0,0125
	Estiagem	0,368	1,157	0,009	5	4,991	0

Fonte: CTR (2022)

Tabela 44 - Estatística descritiva dos dados secundários de qualidade da água da bacia no ponto 3

Parâmetro	Sazonalidade	Média	DP	Mínimo	Máximo	Amplitude	Amplitude interquartil
Alumínio dissolvido	Chuvoso	0,241	0,513	0,099	2,283	2,184	0
	Estiagem	0,1076	0,0643	0,025	0,351	0,326	0,0003
Arsênio total	Chuvoso	0,002111	0,001844	0,001	0,005	0,004	0,004
	Estiagem	0,004107	0,001608	0,001	0,005	0,004	0,001533
Bário total	Chuvoso	0,1143	0,1366	0,01	0,3	0,29	0,29
	Estiagem	0,321	1,208	0,005	5	4,995	0,007
Cádmio total	Chuvoso	0,0285	0,0456	0,001	0,1	0,099	0,099
	Estiagem	0,01194	0,03204	0,0005	0,1	0,0995	0
Clorofila a	Chuvoso	4,389	1,924	1	6,52	5,52	3,355
	Estiagem	3,299	3,759	0	15,01	15,01	3,652
Cloretos	Chuvoso	31,84	11,08	13,2	58	44,8	16
	Estiagem	50,7	49,1	24,5	241,9	217,4	16,1
Cobre dissolvido	Chuvoso	0,0314	0,0438	0,005	0,1	0,095	0,095
	Estiagem	0,01583	0,03082	0,0005	0,1	0,0995	0,00025
Coliforme termotolerantes	Chuvoso	146626	492470	1	2100000	2099999	25945
	Estiagem	1110	1203	1	3500	3499	2187
Cor verdadeira	Chuvoso	34,6	42,7	6,4	179,3	172,9	41
	Estiagem	23,76	28,11	5	124,62	119,62	19,34
Cromo total	Chuvoso	0,004722	0,000461	0,004	0,005	0,001	0,001
	Estiagem	0,004889	0,000323	0,004	0,005	0,001	0
DBO	Chuvoso	6,571	3,591	2,1	13,87	11,77	4,982
	Estiagem	7	5,64	1,6	26,7	25,1	5,65
Densidade de cianobactérias	Chuvoso	2,765	3,133	1	10	9	4
	Estiagem	42,6	173,6	1	738	737	1
DQO	Chuvoso	20,59	5,93	7,31	29,34	22,03	7,23
	Estiagem	22,12	6,9	6,2	34,32	28,12	6,33
Fósforo total	Chuvoso	0,679	0,493	0,126	2,02	1,894	0,608
	Estiagem	0,735	0,517	0,002	2,14	2,138	0,485

Lítio total	Chuvoso	0,3614	0,2028	0,005	0,5	0,495	0,4
	Estiagem	0,1076	0,1499	0,005	0,5	0,495	0,095
Manganês total	Chuvoso	0,0706	0,0428	0,01	0,1	0,09	0,088
	Estiagem	0,0831	0,2417	0,005	1,014	1,009	0,0221
Mercúrio total	Chuvoso	0,000356	0,000412	0,0001	0,001	0,0009	0,0009
	Estiagem	0,000322	0,000702	0,00005	0,003	0,00295	0,0001
Níquel total	Chuvoso	0,006667	0,003314	0,001	0,0155	0,0145	0,0047
	Estiagem	0,0053	0,001856	0,001	0,0097	0,0087	0
Nitrito	Chuvoso	1,22	3,572	0,003	15,4	15,397	0,917
	Estiagem	0,359	0,713	0,003	3,043	3,04	0,316
Nitrogênio amoniacal	Chuvoso	4,07	3,292	1	14,28	13,28	4,312
	Estiagem	4,12	4,28	0,1	16,52	16,42	4,91
Nitrato	Chuvoso	3,89	6,38	0,23	25,1	24,87	3,19
	Estiagem	2,434	2,237	0,009	7,271	7,262	3,445
Oxigênio dissolvido	Chuvoso	5,217	1,286	1,92	7,1	5,18	1,655
	Estiagem	5,821	1,113	4,25	8,4	4,15	1,773
pH	Chuvoso	7,04	0,593	6,06	8,12	2,06	0,982
	Estiagem	7,0922	0,3038	6,68	7,77	1,09	0,4675
Sulfatos	Chuvoso	10,98	9,69	4	37,4	33,4	7,85
	Estiagem	8,51	6,25	4	26,24	22,24	4,99
Turbidez	Chuvoso	116	414	2	1723	1721	10
	Estiagem	7,59	5,52	1,18	19,17	17,99	6,67
Zinco total	Chuvoso	0,08778	0,03557	0,01	0,14	0,13	0
	Estiagem	0,363	1,158	0,005	5	4,995	0

Fonte: CTR (2022)

Tabela 45 - Estatística descritiva dos dados secundários de qualidade da água no ponto de lançamento de esgoto tratado

Parâmetro	Sazonalidade	Média	DP	Mín.	Máx.	Amplitude	DIQ
Oxigênio Dissolvido	Chuvoso	2,291	1,264	0,8	4,7	3,9	2,01
	Estiagem	1,961	0,977	0,64	3,54	2,9	1,735
pH	Chuvoso	7,3633	0,2921	6,93	7,93	1	0,375
	Estiagem	7,34	0,1352	7,18	7,51	0,33	0,29
Sólidos Dissolvidos	Chuvoso	517,9	132,1	365	764	399	221
	Estiagem	545,6	113,1	300	670	370	141
Nitrito	Chuvoso	0,374	0,513	0	0,97	0,97	0,935
	Estiagem	0,3025	0,2039	0,04	0,6	0,56	0,3625
Nitrato	Chuvoso	0,689	0,633	0,17	2,01	1,84	0,833
	Estiagem	3	6,29	0,07	19,6	19,53	2,21
Nitrogênio Amoniacal	Chuvoso	33,5	22,04	7	72,8	65,8	27,3
	Estiagem	24,68	10,61	7	42	35	13,83
Nitrogênio Total	Chuvoso	37,06	18,65	11,2	56	44,8	35,2
	Estiagem	34,69	13,48	11,2	56	44,8	17,02
Fósforo Total	Chuvoso	2,919	1,825	0,02	5,2	5,18	2,9
	Estiagem	4,173	0,58	3,46	5,12	1,66	1,042
Sulfato	Chuvoso	113,9	95,7	17,5	285,9	268,4	168,1
	Estiagem	88,03	27,43	54,9	148,8	93,9	32,35
Cor	Chuvoso	123,5	72,8	62	220	158	135
	Estiagem	121,3	99,4	42	306	264	159,3
Turbidez	Chuvoso	37,5	22,95	7,31	71,2	63,89	39,31
	Estiagem	36,2	32,6	6,2	104	97,8	48,3
DBO	Chuvoso	38,8	52,5	4,1	170	165,9	40,8
	Estiagem	54,3	39,4	22	130	108	61
DQO	Chuvoso	124,9	71,9	52,5	287	234,5	59
	Estiagem	146,8	92,3	44	260	216	182,8
Clorofila a	Chuvoso	34,2	52,2	0	110,3	110,3	89,4
	Estiagem	22,1	24,6	0	44,4	44,4	43,5
Coliformes Termotolerantes	Chuvoso	2.928.461	6.894.796	260	1.7000.007	16.999.747	4.504.562
	Estiagem	2.742.225	5.670.968	5.400	16.000.000	15.994.600	4.107.150

Fonte: CTR (2022)

Tabela 46 - Dados secundários do lixiviado tratado

Parâmetros	janeiro/21	fevereiro/21	março/21	abril/21	maio/21	jun/21	
Coliformes Termotolerantes	18,000	1,8	18	35.000,00	68	110	35.000
Nitrato (como N)	10.500	1,129	5,758	3,24	1,027	0,149	10.500
pH – Potencial Hidrogeniônico	7,410	7,92	7,44	7,51	6,09		7,920
Sulfato	5,000	5,15	9,63	5,62	25,04	18,47	25,040
Arsênio Total (As)	0,005	0,005	0,001	0,004	0,004	0,005	0,005
Bário Total (Ba)	0,040	0,01	0,01	0,02	0,044	0,0069	0,044
Benzeno	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002
Boro Total (B)	0,441	1,274	0,1	0,217	0,1	0,4638	0,1
Cádmio Total (Cd)	0,001	0,001	0,1	0,1	0,1	0,1	0,100
Chumbo Total (Pb)	0,005	0,005	0,5	0,5	0,5	0,5	0,500
Cobre Dissolvido	0,020	0,005	0,1	0,1	0,1	0,10	0,100
Cromo Total (Cr)	0,005	0,005	0,5	0,5	0,5	0,5	0,500
DBO 5,20°C	6,150	4,61	9,48	5,89	9,04	4,3	9,480
Estireno	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,005	0,005
Etilbenzeno	0,002	0,002	0,002	0,002	0,004	0,001	0,004
Fenóis totais	0,100	0,01	0,1	0,1	0,1	0,1	0,100
Ferro Dissolvido	0,210	0,03	0,37	0,32	0,52	0,26	0,520
Fluoreto Total (F-)	1,100	0,14	0,78	0,1	0,22	0,3	1,100
Fósforo Total (P)	0,028	0,4126	0,016	0,016	0,0562	0,0334	0,413
Manganês Dissolvido	0,040	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,100
Merúrio Total (Hg)	0,000	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,000
Níquel Total (Ni)	0,005	0,005	0,5	0,5	0,5	0,5	0,500
Nitrito (como N)	1,065	18,261	6,087	3,043	0,03	0,01	18,261
Nitrogênio Amoniacal	19,320	14,56	16,52	13,72	3,92	19,78	19,780
Óleos e Graxas Totais (O&G)	5,500	6	5	5	5	5	6,000
Prata Total (Ag)	0,004	0,004	0,05	0,004	0,004	0,05	0,050
Selênio Total (Se)	0,005	0,005	0,001	0,001	0,001	0,01	0,005
Sólidos Dissolvidos Totais – SDT	6.482	1.201	1.467	5.712	4.544	2517	6.482
Sulfetos	0,500	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,500
Tetracloroeto de Carbono	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002
Tolueno	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002
Tricloroeteno (TCE)	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002
Turbidez	0,500	0,5	4,12	0,5	5,01	3,22	5,010
Xilenos (o+m+p)	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002
Zinco Total (Zn)	0,100	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,100

Fonte: CTR (2022)

Tabela 47 - Dados secundários do esgoto tratado

Parâmetro	Valor da concentração
	abril/22
Berílio	0,100
Cobalto	0,095
Boro	0,462
Cádmio	0,047
Chumbo	0,092
Alumínio	0,988
Ferro	0,976
Bário	0,101
Cobre	0,096
Cromo	0,097
Fósforo	0,095
Lítio	0,101
Manganês	0,093
Níquel	0,095
Prata	0,092
Selênio	0,098
Tálio	0,093
Vanádio	0,096
Zinco	0,097
Urânio	0,102
Nitrato	4,697
Sulfato	4,783
Fluoreto	0,922
Nitrito	0,451
Cloreto	4,761

Fonte: SANAMA (2022)

11 APÊNDICE D

Tabela 48 - Dados de medição de vazão no ponto 1

Data	Veloc. (m/s)	Área molhada (m ²)	Vazão (m ³ /s)	Largura da superfície líquida (m)	Prof. média (m)
mar/22	0,52	0,51	0,26	4,67	0,11
abr/22	0,68	0,45	0,31	2,40	0,19
mai/22	0,94	0,86	0,80	3,30	0,26
jun/22	0,88	0,62	0,55	3,60	0,17
Média	0,75	0,61	0,48	3,49	0,18
Máx.	0,94	0,86	0,80	4,67	0,26
Mín.	0,52	0,45	0,26	2,40	0,11

Fonte: Autor (2022)

Tabela 49 - Dados de medição de vazão no ponto 3

Data	Veloc. (m/s)	Área molhada (m ²)	Vazão (m ³ /s)	Largura da superfície líquida (m)	Prof. média (m)
ago/21	0,10	1,82	0,181	3,20	0,57
set/21	0,53	0,44	0,234	2,20	0,20
out/21	0,46	0,79	0,350	2,40	0,33
nov/21	0,29	1,19	0,346	3,30	0,36
dez/21	0,15	1,64	0,247	3,00	0,55
mar/22	0,54	0,21	0,115	1,40	0,15
abr/22	0,49	0,29	0,142	2,25	0,13
mai/22	0,71	0,39	0,273	2,90	0,13
Média	0,41	0,85	0,236	2,58	0,30
Máx.	0,71	1,82	0,350	3,30	0,57
Mín.	0,10	0,21	0,115	1,40	0,13

Fonte: Autor (2022)

Tabela 50 - Dados de medição de vazão no ponto 5

Data	Veloc. (m/s)	Área molhada (m ²)	Vazão (m ³ /s)	Largura da superfície líquida (m)	Prof. média (m)
mar/22	0,27	0,14	0,04	1,50	0,09
abr/22	0,21	0,09	0,02	1,10	0,08
mai/22	0,31	0,20	0,06	1,60	0,13
Média	0,26	0,14	0,04	1,40	0,10
Vazão máxima	0,31	0,20	0,06	1,60	0,13
Vazão mínima	0,21	0,09	0,02	1,10	0,08

Fonte: Autor (2022)