

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

**GEDIELSON ALVES DA SILVA LIMA**

**USO DA TERRA E QUALIDADE DE ÁGUA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS:  
ESTUDO DE CASO NO RIBEIRÃO DOS RANCHOS E CÓRREGO GRAMADO**

Ilha Solteira  
2021

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**GEDIELSON ALVES DA SILVA LIMA**

**USO DA TERRA E QUALIDADE DE ÁGUA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS:  
ESTUDO DE CASO NO RIBEIRÃO DOS RANCHOS E CÓRREGO GRAMADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Rosane Freire Boina  
**Orientador**

Alexandre Teixeira de Souza  
**Coorientador**

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

L732u Lima, Gedielson Alves da Silva.  
Usos da terra e qualidade de água em bacias hidrográficas: estudo de caso no  
Ribeirão dos Ranchos e Córrego Gramado / Gedielson Alves da Silva Lima. --  
Ilha Solteira: [s.n.], 2021  
134 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de  
Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Recursos Hídricos, 2021

Orientador: Rosane Freire Boina  
Coorientador: Alexandre Teixeira de Souza  
Inclui bibliografia

1. Índices . 2. Indicadores. 3. Monitoramento ambiental. 4. Estatística . 5.  
Variação sazonal.

*Raiane da Silva Santos*  
Raiane da Silva Santos


**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: USO DA TERRA E QUALIDADE DE ÁGUA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS DE PEQUENO PORTE: ESTUDO DE CASO NO RIBEIRÃO DOS RANCHOS E CÓRREGO GRAMADO

**AUTOR: GEDIELSON ALVES DA SILVA LIMA**

**ORIENTADORA: ROSANE FREIRE BOINA**

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em ENGENHARIA CIVIL, área: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais pela Comissão Examinadora:

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. ROSANE FREIRE BOINA (Participação Virtual)   
Departamento de Química e Bioquímica / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente - UNESP

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. LILIANE LAZZARI ALBERTIN (Participação Virtual)  
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Profa. Dra. ROSELENE MARIA SCHNEIDER (Participação Virtual)  
Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais / Universidade Federal do Mato Grosso - Câmpus Universitário de Sinop

Ilha Solteira, 17 de dezembro de 2021

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, pela vida.

À minha orientadora, Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Rosane Freire Boina pelo apoio incondicional, intensas correções, pelas broncas necessárias, pela ajuda nos laboratórios e no trabalho de campo e que hoje tenho a honra de dizer que é uma segunda mãe.

Ao Prof. Dr. Alexandre Teixeira em conjunto com a UNIFAI - Centro Universitário de Adamantina, pelo apoio com equipamentos e dicas valiosas para a conclusão deste trabalho.

Aos meus pais, João Batista de Lima e Gedalia Lima, pela educação e apoio em todas as escolhas e acima de tudo, por serem exemplo de perseverança em minha trajetória.

À minha noiva, Rafaela Santos, que sempre me ouviu reclamar, apoiou e ajudou a ter paciência para cumprir as etapas.

À minha irmã, Jesana Lima, que com seu método “gentil” impulsionou esta jornada.

Aos meus avós Aristeu da Silva e Raimunda Alves da Silva (in memoriam), que depositaram em mim seu tempo, orações e ensinaram amar a Deus sobre todas as coisas.

Aos meus tios e tias pelas orações.

Ao grupo de Pesquisa LAARR.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES).

“Se não puder voar, corra. Se não puder correr, ande. Se não puder andar, rasteje, mas continue em frente de qualquer jeito”.

Martin Luther King

## RESUMO

Um dos problemas ambientais recorrentes ao uso da água está relacionado ao lançamento pontual de resíduos líquidos de forma incoerente com a classe de enquadramento de uso do corpo hídrico. Outras contribuições podem ser oriundas de fontes dispersas pela área da bacia hidrográfica, que incrementam características diversas aos rios, ribeirões e córregos devido ao efeito de lavagem superficial promovido pela precipitação pluviométrica. É indiscutível a importância de acompanhar as alterações do estado de qualidade das águas em bacias hidrográficas (BH) para propostas de medidas preventivas e conservacionistas, sobretudo, em ribeirões e córregos, pelas condições de assimilação de poluentes, fortemente dependente da sazonalidade. Contudo, gerenciar um banco de dados volumoso gera transtorno para os gestores responsáveis pela tomada de decisão. Tal fato, proporciona projeção para o uso de ferramentas estatísticas no apoio à transformação de dados em informações relevantes, bem como na elaboração de índices de qualidade customizados. Com o exposto, o presente estudo tem por objetivo monitorar o estado de qualidade das águas de duas bacias hidrográficas, consideradas de pequeno porte, com padrão de uso e ocupação da terra semelhante - Ribeirão dos Ranchos, localizada em Adamantina/SP, e Córrego do Gramado, localizada em Presidente Prudente/SP - sendo possível avaliar os impactos pontuais e difusos causados pelo uso da terra nas BHs. Para tanto, foram demarcados 5 pontos amostrais estratégicos ao longo de cada BH, com o monitoramento de 24 parâmetros de qualidade de água. Os resultados obtidos foram categorizados em períodos seco e chuvoso, por meio de dados hidrológicos. Os cômputos analíticos seguiram as recomendações de literatura consagrada, bem como o uso de equipamentos portáteis para análise *in loco*. A compilação e análise destes dados foram realizadas com a aplicação de testes estatísticos, como Análise de Cluster (AC) e a Análise de Componentes Principais (ACP), que possibilitaram o agrupamento, a redução das variáveis e por fim, a criação de dois índices de qualidade de água para cada BH de acordo com a influência temporal.

**Palavras-chave:** Índices. Indicadores. Monitoramento Ambiental. Variação Sazonal. Estatística.

## ABSTRACT

One of the recurrent environmental problems related to water use is the punctual waste release in an inconsistent way with the classification class of the use of the water body. Other contributions can come from sources scattered throughout the watershed area, which add diverse characteristics of rivers, creeks, and streams due to the surface washing effect promoted by rainfall. The importance of monitoring the changes in water quality in watersheds for the proposal of preventive and conservationist measures is unquestionable, especially in creeks and streams, due to the assimilation conditions of pollutants, strongly depend on seasonality. However, managing a voluminous database creates a hassle for decision-makers. This fact provides a projection for the use of statistical tools to support the transformation of data into relevant information, as well as the elaboration of customized quality indexes. Given the above, the present study aims at monitoring the water quality status of two watersheds, considered small, with similar land use and occupation patterns - Ribeirão dos Ranchos, located in Adamantina/SP, and Córrego do Gramado, located in Presidente Prudente/SP - is possible to evaluate the point and diffuse impacts caused by land use in the watersheds. To this end, 5 strategic sampling points were demarcated along each watershed, with the monitoring of 24 water quality parameters. The results obtained were categorized into dry and rainy periods, employing hydrological data. The analytical procedures followed the recommendations by established literature, as well as the use of portable equipment for on-site analysis. The compilation and analysis of these data were performed by the application of statistical tests, such as Cluster Analysis (CA) and Principal Component Analysis (PCA), which allowed the grouping, reduction of variables and, finally, the creation of two indexes of water quality for each BH according to the temporal influence.

**Keywords:** Indexes. Indicators. Environmental monitoring. Seasonal variation. Statistic.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Curva de qualidade para parâmetros do IQA-NSF .....	25
Figura 2 - Curva de qualidade para parâmetros do IQA-CETESB.....	28
Figura 3 – Mapa de localização da área de Estudo mediante RH do Paraná.....	40
Figura 4 – Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo .....	41
Figura 5 - Localização dos pontos amostrais – BH do Ribeirão dos Ranchos.....	46
Figura 6 – Pontos de coleta do Ribeirão dos Ranchos – Ponto 1 (A), Ponto 2 (B), Ponto 3 (C), Ponto 4 (D) e Ponto 5 (E). .....	48
Figura 7 - Localização dos pontos amostrais – BH do Córrego do Gramado .....	49
Figura 14 – Pontos de coleta do Córrego do Gramado – Ponto 1 (A), Ponto 2 (B), Ponto 3 (C), Ponto 4 (D) e Ponto 5 (E). .....	51
Figura 7 – Medição de pH, Temperatura, CE, STD, OD e ODSat com sonda multiparâmetros em campanha amostral realizada no mês de Maio no Córrego do Gramado.....	53
Figura 8 – Procedimentos para ensaios de DBO (A), DQO (B), Fósforo Total (C), Coliformes e E. Coli (D), Íons Metálicos (E) e (F). .....	55
Figura 9 – Mapa de Uso e ocupação da terra – BH Ribeirão dos Ranchos.....	61
Figura 10 – Mapa de Uso e ocupação da terra – BH do Córrego do Gramado ....	62
Figura 15 – Dados de Precipitação ao longo do período de monitoramento em Presidente Prudente.....	65
Figura 16 – Dados de Precipitação ao longo do período de monitoramento em Adamantina. ....	65
Figura 17 – Variação do pH ao longo do período de monitoramento - BHCG .....	67
Figura 18 – Variação do pH ao longo do período de monitoramento - BHRR .....	67
Figura 19 – Variação da temperatura ao longo do período de monitoramento - BHCG.....	68
Figura 20 – Variação da temperatura ao longo do período de monitoramento - BHRR .....	69
Figura 21 – Variação da condutividade elétrica ao longo do período de monitoramento - BHCG .....	70
Figura 22 – Variação da condutividade elétrica ao longo do período de monitoramento - BHRR .....	71

Figura 23 – Variação da turbidez ao longo do período de monitoramento - BHCG .....	72
Figura 24 – Variação da turbidez ao longo do período de monitoramento - BHRR .....	72
Figura 25 – Variação dos Sólidos Totais ao longo do período de monitoramento - BHCG .....	73
Figura 26 – Variação dos Sólidos Totais ao longo do período de monitoramento - BHRR .....	74
Figura 27 – Variação dos Sólidos Dissolvidos Totais ao longo do período de monitoramento - BHCG .....	74
Figura 28 – Variação dos Sólidos Dissolvidos Totais ao longo do período de monitoramento - BHRR .....	74
Figura 29 – Variação dos Sólidos Suspensos ao longo do período de monitoramento - BHCG .....	75
Figura 30 – Variação dos Sólidos Suspensos ao longo do período de monitoramento - BHRR .....	75
Figura 31 – Variação de OD ao longo do período de monitoramento - BHCG .....	77
Figura 32 – Variação de OD ao longo do período de monitoramento - BHRR.....	77
Figura 33 – Variação de O <sub>2</sub> sat ao longo do período de monitoramento - BHCG.	78
Figura 35 – Variação de Fósforo Total ao longo do período de monitoramento - BHCG .....	80
Figura 36 – Variação de Fósforo Total ao longo do período de monitoramento - BHRR .....	80
Figura 37 – Variação de DQO ao longo do período de monitoramento - BHCG...	82
Figura 38 – Variação de DQO ao longo do período de monitoramento - BHRR...	82
Figura 39 – Variação de DBO ao longo do período de monitoramento - BHCG ...	83
Figura 40 – Variação de DBO ao longo do período de monitoramento - BHRR ...	83
Figura 41 – Variação de Nitrato ao longo do período de monitoramento - BHCG	85
Figura 42 – Variação de Nitrato ao longo do período de monitoramento - BHRR.	85
Figura 43 – Variação de Coliformes ao longo do período de monitoramento - BHCG .....	87
Figura 44 – Variação de Coliformes ao longo do período de monitoramento - BHRR .....	87
Figura 45 – Variação de <i>E. Coli</i> ao longo do período de monitoramento – BHCG.	88
Figura 46 – Variação de <i>E. Coli</i> ao longo do período de monitoramento – BHRR.	88

Figura 47 – Análise de Cluster – BHCG.....	89
Figura 48 – Análise de Cluster – BHRR. ....	90
Figura 49 – ACP entre as variáveis e os pontos de monitoramento no período seco – BHCG. ....	93
Figura 50 – ACP entre as variáveis e os pontos de monitoramento no período chuvoso – BHCG. ....	95
Figura 51 – ACP no período seco – BHRR. ....	97
Figura 52 – ACP no período chuvoso – BHRR.....	99

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Relação da origem dos poluentes e a relevância ambiental dos parâmetros de qualidade d'água .....	21
Quadro 2 - Parâmetros de qualidade d'água no IQA-NSF e o respectivo peso significativo .....	24
Quadro 3 - Classificação da qualidade da água em função do IQA NSF.....	26
Quadro 4 - Classificação da qualidade da água em função do IQA-CETESB .....	27
Quadro 5 - Recipientes e tratamento para realização das campanhas amostrais	52
Quadro 6 – Parâmetros analisados e cômputos analíticos .....	52
Quadro 7 - Recipientes e tratamento para realização das campanhas amostrais	59
Quadro 8 - Classificação da qualidade da água em função do IQABH.....	60
Quadro 9 – Componentes Principais - BHCG .....	91
Quadro 10 – Componentes Principais - BHRR.....	91
Quadro 11 – Peso das componentes principais na estação seca - BHCG .....	92
Quadro 12 – Peso das componentes principais na estação chuvosa - BHCG .....	94
Quadro 13 – Peso das componentes principais na estação seca - BHRR .....	96
Quadro 14 – Peso das componentes principais na estação chuvosa - BHRR.....	98
Quadro 15 – Variáveis selecionadas para a composição do novo IQABH.....	101
Quadro 16 – Pesos calibrados para o IQABHCG .....	101
Quadro 17 – Pesos calibrados para o IQABHRR .....	101
Quadro 18 – Resultados do IQABHCG e IQANSF .....	103
Quadro 19 – Resultados do IQANSFe IQABHRR .....	104

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Caracterização geográfica dos pontos utilizados no estudo – Ribeirão dos Ranchos.....	46
Tabela 2: Caracterização geográfica dos pontos utilizados no estudo – Córrego do Gramado .....	49
Tabela 3 - Quantificação das classes de uso e ocupação da terra - Bacia do Ribeirão dos Ranchos - Adamantina/SP.....	62
Tabela 4 - Quantificação das classes de uso e ocupação da terra - Bacia do Córrego do gramado – Presidente Prudente/SP .....	63

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACP	Análise de Componentes Principais
AF	Análise Fatorial
ANOVA	Análise de Variância
APP	Área de Preservação Permanente
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
OD	Oxigênio Dissolvido
BD	Banco de Dados
BH	Bacia Hidrográfica
CE	Condutividade Elétrica
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
IQA	Índice de Qualidade da Água
pH	Potencial Hidrogeniônico
PT	Fósforo Total
T	Temperatura
TH	Turbidez
UGRHI	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos
ICG	Instituto Geográfico e Cartográfico
IT	Índice de Toxicidade

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
1.1	OBJETIVO.....	19
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>20</b>
2.1	QUALIDADE DE ÁGUA .....	20
2.2	ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA (IQA).....	23
<b>2.2.1</b>	<b>IQA-NSF e o IQA-CETESB</b> .....	<b>23</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Índices Customizados por Métodos Estatísticos</b> .....	<b>29</b>
2.3	ESTATÍSTICA MULTIVARIADA.....	31
<b>2.3.1</b>	<b>Análise fatorial (AF)</b> .....	<b>31</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Análise de Componentes Principais (ACP)</b> .....	<b>33</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Análise de Variância (ANOVA)</b> .....	<b>36</b>
<b>2.3.4</b>	<b>Análise de Cluster</b> .....	<b>38</b>
<b>3</b>	<b>ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>40</b>
3.1	UGRHI'S AGUAPEÍ E PEIXE .....	42
3.2	BH DO CÓRREGO DO GRAMADO E BH RIBEIRÃO DOS RANCHOS.....	42
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>45</b>
4.1	DEFINIÇÃO DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA DAS BH.....	45
<b>4.1.1</b>	<b>Atualização do uso e ocupação da terra e alocação dos pontos amostrais</b> .....	<b>45</b>
4.2	MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA .....	51
4.3	DADOS DE PLUVIOSIDADE .....	55
4.4	ANÁLISE DOS DADOS E ELABORAÇÃO DOS ÍNDICES ESTATÍSTICOS	56
<b>4.4.1</b>	<b>Formulação matemática do IQABHCG e IQABHRR</b> .....	<b>57</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>61</b>
5.1	CARACTERÍSTICAS DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NAS BH DO RIBEIRÃO DOS RANCHOS E CÓRREGO DO GRAMADO .....	61
5.2	MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE ÁGUA .....	64
<b>5.2.1</b>	<b>Dados de Precipitação Pluviométrica</b> .....	<b>64</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Características Físico-Químicas</b> .....	<b>66</b>
<b>5.2.3</b>	<b>Características Químicas</b> .....	<b>73</b>
<b>5.2.3</b>	<b>Características Microbiológicas</b> .....	<b>85</b>
<b>5.3</b>	<b>ANÁLISE DE DADOS E PROPOSTA DOS ÍNDICES ESTATÍSTICOS</b> .....	<b>89</b>
<b>5.3.1</b>	<b>Aplicação da Análise de Cluster nos dados de monitoramento</b> .....	<b>89</b>
<b>5.3.2</b>	<b>Análise de Componentes Principais</b> .....	<b>91</b>
<b>5.3.2</b>	<b>Componentes dos Índices Customizados para cada Bacia Hidrográfica</b> .....	<b>100</b>

<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>106</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>108</b>
	<b>ANEXO A – Teste de DBO (5 dias) com diluição e sem inóculo.....</b>	<b>116</b>
	<b>ANEXO B – Método por Refluxo fechado, Colorimétrico.....</b>	<b>121</b>
	<b>ANEXO C – Sólidos Totais por método Gravimétrico .....</b>	<b>124</b>
	<b>ANEXO D – Nitrato por Método do Ácido Fenoldissulfônico .....</b>	<b>126</b>
	<b>ANEXO E – Fósforo por Método do Aminoácido.....</b>	<b>130</b>
	<b>ANEXO F – DETERMINAÇÃO DE TURBIDEZ .....</b>	<b>131</b>
	<b>ANEXO G – DETERMINAÇÃO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES E E. COLI .....</b>	<b>132</b>
	<b>ANEXO H – ÍONS METÁLICOS (CA, PB, MN, MG, CR, NI, CD, FE, ZN, CU, AL) POR MÉTODO DE ESPECTROMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA.....</b>	<b>133</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A água é um elemento essencial para a manutenção da vida. Logo, tê-la disponível em quantidade e qualidade é um direito de todo ser vivo. Nesse escopo, faz-se primordial proteger os mananciais hídricos superficiais e subterrâneos (GOKALP e MOHAMMED, 2019). No Brasil, as águas superficiais são segregadas em classes de uso. A Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005) estabelece um conjunto de condições e padrões de qualidade necessários ao atendimento de cada classe de enquadramento.

A qualidade da água pode ser influenciada por lançamentos pontuais ou difusos (LIMA *et al.* 2016). Os lançamentos pontuais são de fácil identificação e são condicionados pelos parâmetros dispostos na Resolução CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2011). Os lançamentos difusos, por sua vez, estão relacionados a uma área de contribuição e condicionada a lavagem superficial, promovida pelas chuvas, transportando os poluentes ali presentes para os corpos d'água.

Estudos de monitoramento das variáveis de qualidade de água são de importância substancial para preservação dos recursos hídricos. Segundo Mello *et al.* (2018), o crescimento urbano acelerado somado à falta de planejamento para expansão territorial contribui para o incremento das alterações das características de qualidade de água por meio do carreamento de resíduo, expansão de terras agrícolas, lançamento de esgoto industrial e doméstico. Para Xiao *et al.* (2018), os efluentes lançados pelas estações de tratamento de esgotos (ETE) ao corpo receptor contribuem para que o ecossistema seja desestabilizado, aumentando, especialmente, a carga de nutrientes e a demanda de oxigênio. O conhecimento e divulgação dos resultados desses trabalhos colaboram para a implementação de medidas corretivas pelos órgãos gestores locais e regionais, sobretudo para o cumprimento das metas e diretrizes propostas pela ONU (Organização das Nações Unidas) em 2015, buscando atender a Agenda 2030 (ONU, 2020).

Há várias formas para análise e compreensão da influência dos lançamentos pontuais e difusos sobre a qualidade de água. Mello *et al.* (2018) correlacionaram o uso e ocupação da terra com a qualidade da água por escalas espaciais ao longo do Rio Sarapuí, localizado em Sorocaba/SP. Zangui *et al.* (2019) realizaram um estudo de qualidade de água utilizando o conceito da autodepuração no rio

urbano Yuejin, localizado em Suzhou, China, com o objetivo de verificar os impactos ambientais e propor medidas para o controle da poluição. Ainda, o uso de índices e indicadores se destacaram nos últimos anos devido sua facilidade de aplicação, síntese e comunicação dos resultados (RODRIGUES *et al.* 2018; CECCONELLO; CENTENO; GUEDES; 2018).

Embora práticos, o uso de índices genéricos deve ser aplicado com cautela no gerenciamento de recursos hídricos, visto que cada local possui características específicas quanto a edafoclimatologia, tipologias de ocupação e o uso que se faz da água.

Segundo Carrasco *et al.* (2019), as pesquisas recentes incentivam a empregar métodos estatísticos que auxiliam o estudo da qualidade de água, pois, os resultados das campanhas amostrais geram bancos de dados complexos que são compostos por unidades de medida distintas que, ao receberem tratamento matemático específico, facilitam a compreensão dos problemas enfrentados e auxiliam os gestores locais na tomada de decisão.

Ustaoğlu, Tepe e Taş (2020) apontam que a análise por meio de métodos estatísticos ajuda a identificar possíveis fatores/fontes de deterioração da qualidade da água.

Tripathi e Singal (2018) destacam que o uso de métodos estatísticos no monitoramento ambiental, auxilia na seleção dos parâmetros analisados, reduzindo os custos da pesquisa e viabilizando avaliações regulares da qualidade de água.

Tais estudos envolvendo tratamento estatístico e qualidade da água são relevantes em BH, principalmente de pequeno porte (<100 km<sup>2</sup>), pelas suas características peculiares de uso e ocupação e pelo interesse na manutenção da qualidade da água, resguardando os usos que se destina (HARMEL *et al.* 2006; TOLERA, CHUNG e CHANG *et al.*, 2018; MARIN *et al.* 2020).

Segundo Oliveira *et al.* (2019), a relevância dos estudos dos corpos hídricos está na contribuição à jusante, principalmente pelo transporte de sedimentos e matéria orgânica. Portanto, a compreensão da interação entre o uso e a integridade do meio ambiente é imprescindível para sua preservação e auxiliará os comitês de BH, prefeituras e demais órgãos responsáveis pela fiscalização a delinear estratégias visando o controle, recuperação e preservação do meio.

Com o exposto, este estudo tem-se por finalidade verificar a influência das atividades antropogênicas na qualidade da água em bacias hidrográficas de pequeno porte, com a aplicação de análise estatística para correlacionar o uso e ocupação da terra às variáveis de qualidade da água, assim como, as fontes pontuais e difusas de poluição. Os resultados desta pesquisa podem auxiliar os gestores na tomada de decisão buscando a proteção do meio ambiente e conservação da qualidade da água, utilizando como base a legislação e normas vigentes.

### 1.1 OBJETIVO

Teve-se por objetivo neste trabalho aplicar métodos estatísticos para avaliação da qualidade de água em bacias hidrográficas de pequeno porte.

### 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para atender o objetivo proposto, seguem-se os objetivos específicos:

- Caracterizar as bacias hidrográficas quanto aos aspectos físicos, morfológicos e de uso e ocupação da terra, de modo a ser possível alocar os pontos amostrais por área de influência;
- Elaborar um Banco de Dados (BD) sistematizado espacial e temporalmente contendo características físicas, químicas e biológicas levantadas ao longo do monitoramento, confrontando seus resultados com a legislação pertinente;
- Produzir informações sobre os aspectos de qualidade tornando possível elencar parâmetros de qualidade preponderantes, interdependentes com o uso da terra e, até mesmo, desenvolver um índice de qualidade customizado e válido para bacias hidrográficas de pequeno porte.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 QUALIDADE DE ÁGUA

A água é um bem natural finito e vital para existência de vida, que sofre alterações de origem natural (fatores geológicos, topográficos e vegetação) e antropogênica (agricultura, urbanização, descargas industriais e domésticas) (RODRIGUES *et al.* 2018; GOKALP; MOHAMMED, 2019).

As variações de origem antropogênica geram problemas de maior intensidade, especialmente em corpos hídricos de pequeno porte, pelo uso consuntivo e conseqüente despejo do efluente que pode incorrer em problemas para a saúde humana e ecossistema aquático (XIAO, 2017; NONG *et al.* 2020; FLACH *et al.* 2020). Tarawally *et al.* 2019 destacam entre os usos consuntivos com maior potencial para deteriorar a qualidade da água, o agropecuário, doméstico e industrial.

Além dos usos e lançamentos citados, o escoamento superficial também é causador de poluição ao corpo hídrico, principalmente em BHs com clima tropical, em que a sazonalidade e o uso e ocupação da terra impactam negativamente a qualidade d'água (DEGIFE *et al.* 2019).

Historicamente, os parâmetros físicos, químicos e biológicos e a análise temporal e espacial, compõem o rol de variáveis de avaliação dos impactos sobre a qualidade d'água (LIMA *et al.* 2018; OLIVEIRA *et al.* 2019; NONG *et al.* 2020; HEIß *et al.* 2020). Rodrigues *et al.* (2018) evidencia que o monitoramento temporal e espacial parâmetros supracitados possibilita que a evolução da qualidade da água seja analisada, criando apoio técnico para a tomadas de decisão.

Peluso *et al.* (2020), constataram por meio de parâmetros físicos, químicos e biológicos, que o córrego De la Cruz e o rio Arrecifes, localizados na bacia do rio Paraná, estão sendo afetados pelas atividades humanas, principalmente por um polo industrial e agricultura, que por meio de seus lançamentos, estão destruindo a fauna aquática prejudicando a qualidade das águas.

Heiß *et al.* (2020) verificaram em seus estudos realizados na BH de Wadi Tata, Marrocos, que, após serem considerados os padrões de uso e ocupação da terra, a vulnerabilidade à poluição das águas passou de baixa para moderada, indicando a influência do escoamento superficial sobre a qualidade da água.

A Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005) estabelece condições e padrões de qualidade necessários para atender o enquadramento de corpos hídricos em classes de uso previsto, de modo que alterações sobre os parâmetros físicos, químicos e biológicos podem prejudicar e impossibilitar os usos preponderantes.

Diante disto, o monitoramento dos parâmetros físicos, químicos e biológicos da qualidade d'água são imprescindíveis para a compreensão dos efeitos relacionados com o uso dos corpos hídricos, possibilitando ações conservacionistas por meio da gestão ambiental (OLIVEIRA *et al.* 2019).

O Quadro 1 adaptado de Sperling (2007) e Libânio (2010), mostra o vínculo entre as variáveis e a origem antropogênica ou natural, correlacionando-os com os efeitos produzidos nos parâmetros de qualidade da água.

**Quadro 1 – Relação da origem dos poluentes e a relevância ambiental dos parâmetros de qualidade d'água**

Parâmetro	Origem		Relevância
	Antropogênica	Natural	
<b>Demanda Química de Oxigênio (DQO)</b>	Efluentes industriais e domésticos	Matéria orgânica vegetal e animal	Indica a presença de matéria orgânica, responsável pela redução de OD (Oxigênio Dissolvido)
<b>Série Nitrogenada</b>	Lançamento, em corpos d'água, de despejos domésticos, industriais e de criatórios de animais, assim como de fertilizantes	Na forma de proteínas e outros compostos orgânicos	Nutriente importante para o crescimento de algas e macrófitas. Na forma de amônia é tóxica a vários organismos aquáticos, já o nitrato é relacionado com a doença da metaemoglobinemia

<b>Potencial hidrogeniônico (pH)</b>	Despejos domésticos e industriais	Dissolução de rochas, fotossíntese	Para a adequada manutenção da vida aquática, o pH deve situar-se geralmente na faixa de 6 a 9
<b>Fósforo</b>	Lançamento de esgotos, detergentes, fertilizantes, pesticidas	Dissolução de rochas, carreamento do solo, decomposição de matéria orgânica, chuva	Nutriente mais importante para o crescimento de plantas aquáticas, em excesso gera eutrofização
<b>Cloretos</b>	Lançamento de despejos industriais, domésticos e águas de irrigação	Dissolução de minerais	Altera o sabor
<b>Temperatura</b>	Lançamento de despejos industriais	Insolação, influenciada significativamente pelo clima e latitude	Influência na transferência de gases, velocidade das reações, solubilidade de substâncias e concentração de OD
<b>ST (Sólidos Totais)</b>	Lançamento Doméstico, industrial e erosão	Escoamento superficial e fragmentos de rochas	Presente em qualquer curso d'água
<b>Turbidez</b>	Lançamento Doméstico, industrial e erosão	Fragmentos de argila, silte, plâncton, microrganismos, e matéria orgânica e inorgânica particulada	Dificulta a fotossíntese por meio da redução de luz penetrante.
<b>Coliformes</b>	Despejos domésticos	Excrementos de animais de sangue quente	Quanto maior a população de coliformes em uma amostra de água, maior é a chance de que haja contaminação por organismos patogênicos

Adaptado de Sperling (2007) e Libânio (2010)

## 2.2 ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA (IQA)

A apresentação da concentração de poluentes para o público em geral não é representativa por envolver conhecimentos técnicos para a interpretação e, portanto, foram criados índices globais que representam a qualidade da água em “notas” (SPERLING, 2007).

O IQA é um modelo matemático capaz de representar de maneira sintética um conjunto de parâmetros de qualidade de água previamente estabelecidos a fim de facilitar a interpretação e comunicação com o público e com outras áreas de pesquisa (LIBÂNIO, 2010; MUKATE *et al.* 2019; NONG *et al.* 2020).

O desenvolvimento destes modelos ganha relevância, pois, o monitoramento com fins ambientais costumeiramente necessita de vários pontos amostrais, que geram bancos de dados complexos que ao receber o tratamento adequado auxiliam na criação de medidas intervencionistas pelos gestores (AGUILAR *et al.* 2019).

A primeira proposta de IQA surgiu em 1965, quando Horton, em conjunto com a comissão de saneamento do rio Ohio, desenvolveu o índice como parte das propostas para redução da poluição e propagação da informação (PEREIRA, 2015).

No Brasil, diversos índices de qualidade de água foram construídos ou adaptados, de acordo com a finalidade ou localidade estudada. Entre eles estão o IAP (Índice de Qualidade de Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público), IVA (Índice de Preservação da Vida Aquática) e o IET (Índice de Estado Trófico) (CETESB, 2018).

O primeiro IQA aplicado em solo brasileiro, IQA-CETESB, é fruto de uma adaptação do IQA NSF (National Sanitation Foundation), desenvolvida pela CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) em 1975 e ambos serão apresentados detalhadamente a seguir.

### 2.2.1 IQA-NSF e o IQA-CETESB

O IQA-NSF foi criado em 1970 por uma equipe de pesquisadores com apoio da NSF por meio da metodologia DELPHI (PEREIRA, 2015). Esta

metodologia foi desenvolvida em 1950 e consistiu na aplicação de questionários aos especialistas para definir pontos consensuais (AGUILAR *et al.* 2019).

Foram aplicadas duas rodadas de questionários, contendo 35 parâmetros de qualidade d'água para verificar a necessidade de sua inclusão e a representatividade por meio do respectivo peso de significância (SPERLING, 2007).

Por fim, com o tratamento dos dados coletados, foram selecionados nove parâmetros para compor o índice, sendo eles: Sólidos Totais, Turbidez, Temperatura, Fósforo Total, Nitrato, DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), pH, Coliformes Termotolerantes e OD (EFFENDI; ROMANTO; WARDIATNO, 2015).

O peso ( $w_i$ ) de cada parâmetro utilizado pelo IQA-NSF está exposto no Quadro 2 e o somatório dos pesos é obrigatoriamente igual a 1.

**Quadro 2 - Parâmetros de qualidade d'água no IQA-NSF e o respectivo peso significativo**

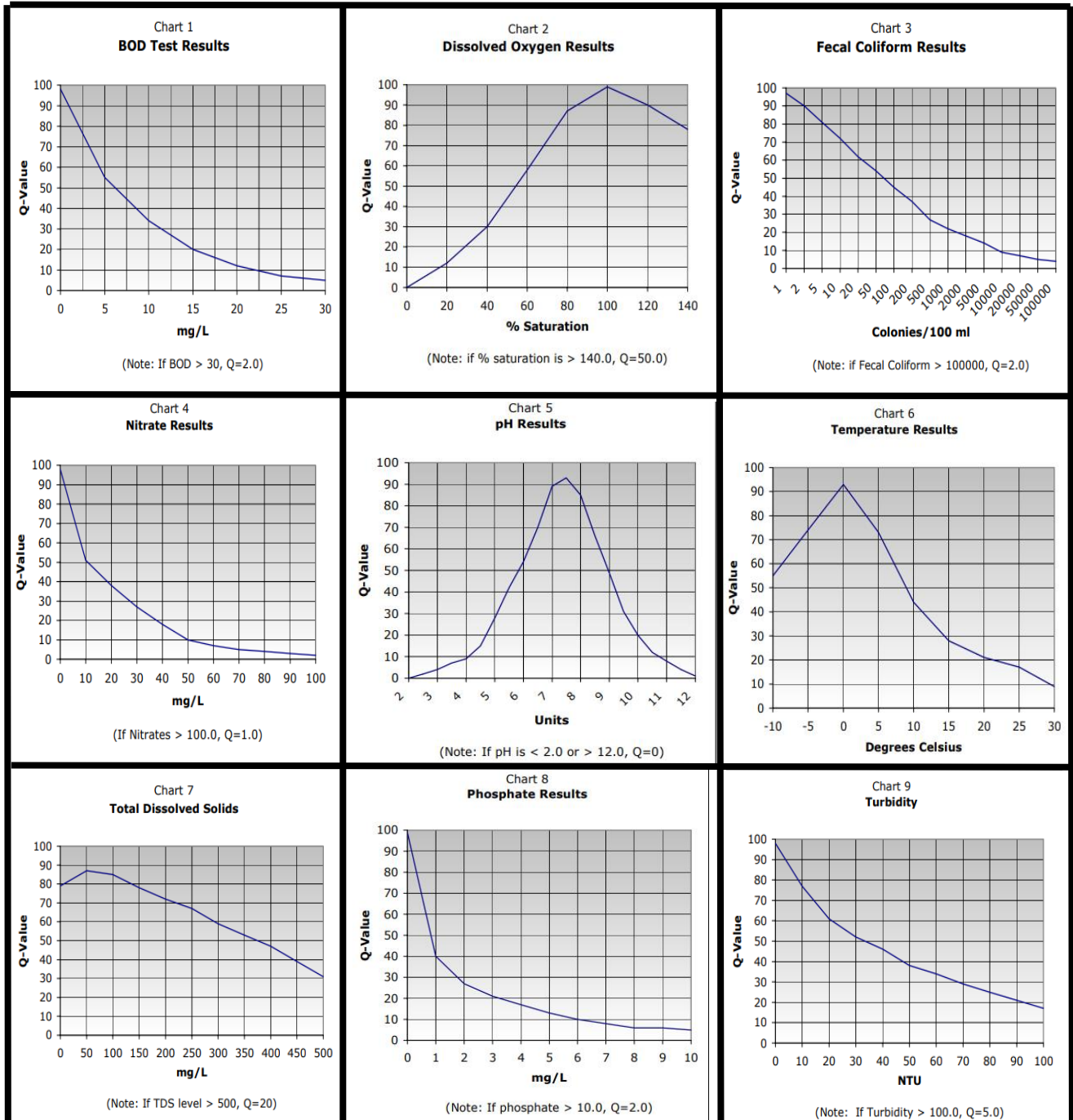
Parâmetro	Unidade	Peso
Sólidos Totais	mg L <sup>-1</sup>	0,08
Turbidez	NTU	0,08
Temperatura	°C	0,10
Fósforo Total	mg L <sup>-1</sup>	0,10
Nitrato	mg L <sup>-1</sup>	0,10
DBO <sub>5</sub>	mg L <sup>-1</sup>	0,10
pH	-	0,12
Coliformes Termotolerantes	NMP 1000mL <sup>-1</sup>	0,15
OD	% saturação	0,17
	<b>Somatório</b>	<b>1,00</b>

Adaptado de Sperling, 2007.



Os especialistas elaboraram curvas para cada um dos parâmetros demonstrados no Quadro 2, representadas na Figura 1, que, após o tratamento dos dados representa a variabilidade da qualidade d'água de acordo com possíveis medidas para os parâmetros.

Figura 1 – Curva de qualidade para parâmetros do IQA-NSF



Adaptado de Pathfinder Science, 2018.

Sucessivamente, especialistas propuseram que os pesos fossem aplicados como potência para os pontos obtidos, diminuindo as chances de que valores baixos para os parâmetros tivessem queda representativa. Pesos estes, representados na Equação 1.1:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (1.1)$$

Em que:

$w_i$  é o peso do parâmetro  $i$ ;

$q_i$  são os pontos recebidos pelo parâmetro  $i$  (disponíveis nas curvas de variação de qualidade da NSF);

$n$  é o número de parâmetros;

$i$  é o número de parâmetros, que varia de 1 a 9, sendo 9, o total de parâmetros que compõem o IQA.

Fundamentado nos resultados obtidos pela aplicação da Equação 1.2, é definido o nível de qualidade do corpo d'água por meio da relação do intervalo em que o IQA calculado está inserido e uma cor de referência, conforme demonstrado no Quadro 3.

**Quadro 3 - Classificação da qualidade da água em função do IQA NSF**

Intervalo do IQA	Nível de Qualidade	Cor de referência
$IQA > 90$	Excelente	Azul
$70 < IQA \leq 90$	Bom	Verde
$50 < IQA \leq 70$	Médio	Amarelo
$25 < IQA \leq 50$	Ruim	Laranja
$0 < IQA \leq 25$	Muito Ruim	Vermelho

Adaptado de Sperling, 2007

Akkoyunlu e Akiner (2012) compararam os resultados obtidos por meio do IQA – NSF, IQA – CCME (*Canadian Council of Ministers of the Environment Water*

Quality Index), OWQI (*Oregon Water Quality Index*) e um IQA customizado para a BH do lago Sapanca e córregos que o alimentam, localizado na Turquia. Entre os métodos aplicados, o IQA – NSF foi o de melhor representatividade, comparado ao Índice desenvolvido propriamente para a BH.

Aguilar *et al.* (2019) verificaram 42 IQAs distintos em 67 pontos fixos de amostragem dos rios Turia e Jucar, localizados na Espanha com o objetivo de avaliar a aplicabilidade das variáveis coletadas para análise contínua com os índices de qualidade da água. Foi aferido por meio de testes estatísticos que apenas 7 foram eficazes para as variáveis coletadas, entre eles o IQA – NSF, IQA - O (*Oregon Water Quality Index*), IQA - U (*Universal Water Quality Index*), IQA - Dinius, IQA - *Dinius' second*, IQA – Idaho e IQA – Said.

O IQA adaptado pela CETESB possui como principal objetivo a detecção da contaminação dos corpos hídricos por lançamento de esgotos domésticos, avaliando a qualidade da água para a utilização no abastecimento público (CETESB, 2018; MENCARINI, 2018). Para tanto, foram realizadas modificações, com destaque para a substituição do parâmetro nitrato para nitrogênio total, com a manutenção dos pesos e curvas, possibilitando que as demais formas de nitrogênio (amoniacal e orgânico) presentes no esgoto sanitário com maior concentração, fossem avaliadas (OLIVEIRA *et al.* 2019).

Segundo Mencarini (2018), a adaptação também contou com adequações aos pesos relativos de algumas variáveis estudadas (DBO, pH, coliformes fecais e sólidos totais) e como resultado, as faixas de classificação foram alteradas, conforme demonstra o Quadro 4.

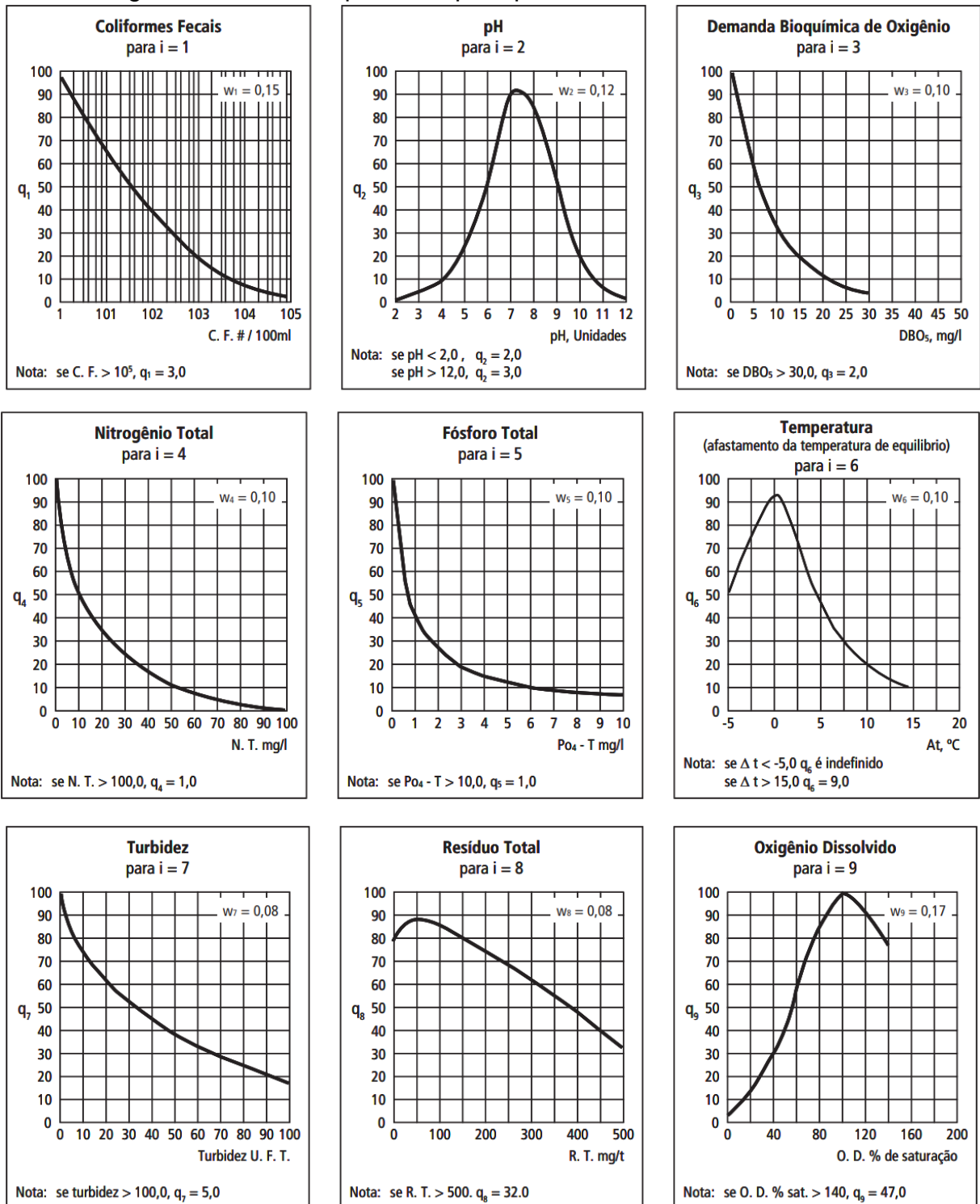
**Quadro 4 - Classificação da qualidade da água em função do IQA-CETESB**

Intervalo do IQA	Nível de Qualidade	Cor de referência
$79 < \text{IQA} \leq 100$	Ótima	Azul
$51 < \text{IQA} \leq 79$	Boa	Verde
$36 < \text{IQA} \leq 51$	Regular	Amarelo
$19 < \text{IQA} \leq 36$	Ruim	Vermelho
$\text{IQA} \leq 19$	Péssima	Roxo

Adaptado de Sperling 2007

As variáveis que não foram alteradas tiveram as curvas de qualidade mantidas, conforme demonstra a Figura 2.

Figura 2 - Curva de qualidade para parâmetros do IQA-CETESB



Fonte: CETESB, 2018.

Medeiros *et al.* (2017), utilizaram o IQA-CETESB para avaliar a qualidade das águas do rio Murucupi, localizado na cidade de Barcarena/PA e constataram que a atividade industrial e o crescimento urbano sem infraestrutura foram os fatores preponderantes para a classificação do corpo hídrico como regular.

Mello *et al.* (2020) avaliaram a qualidade das águas por meio da aplicação do IQA-CETESB e do IET em 11 rios e córregos localizados na região norte do Estado de São Paulo, e, comprovaram que 8 das amostras foram classificadas como regular, demonstrando a contaminação dos corpos hídricos.

Medeiros *et al.* (2017) afirmaram que os IQAs com maior uso no país têm como foco principal a matéria orgânica (MEDEIROS *et al.* 2017). Contudo, outros poluentes podem ter maior predominância em determinados cursos d'água devido ao uso da terra na BH (TRIPATHI E SINGAL, 2019). Portanto, a aplicação, o estudo e a comparação de diversos IQAs possibilitam a compreensão da real qualidade da água, bem como, averiguar as variabilidades regionais que exercem papel fundamental sobre os parâmetros e motivam a criação de índices customizados.

### **2.2.2 Índices Customizados por Métodos Estatísticos**

Os parâmetros aferidos para determinação da qualidade da água são passíveis de variações temporais e espaciais, portanto, um IQA aplicado usualmente pode não conferir mesma significância para todos os corpos hídricos, levando pesquisadores a desenvolver índices customizados observando o contexto regional com o objetivo de ampliar a representatividade do índice (TRIPATHI; SINGAL, 2019). Unda-calvo *et al.* (2020) destacam que embora tenham sido criados índices em todo o mundo, não existe um consenso para o desenvolvimento e, portanto, dá liberdade para a escolha dos indicadores e os pesos correspondentes.

Yan *et al.* (2015) desenvolveram um IQA dinâmico, com foco na aplicação de modelos matemáticos que geram curvas de concentração, selecionando os parâmetros com maior influência no valor final. Ao concluir a modelagem do IQA, o modelo foi aplicado no Rio Changjiang, localizado na China e apresentou resultados satisfatórios (YAN *et al.* 2015).

Tripathi e Singal (2019) desenvolveram um IQA para o rio Ganga na Índia com estudo inicial de 28 parâmetros de qualidade, que após o tratamento dos dados por meio de métodos estatísticos, foram reduzidos para 9 parâmetros, sendo eles OD, pH, condutividade elétrica, DBO, coliformes totais, cloretos, magnésio, sulfato e sólidos totais dissolvidos. Os autores destacaram que o tratamento estatístico auxiliou na viabilidade do estudo economicamente e temporalmente (TRIPATHI E SINGAL, 2019).

Unda-calvo *et al.* (2020) verificaram a influência da sazonalidade na qualidade d'água da BH do Rio Deba localizado em Bilbao e constataram a relação entre a presença de íons metálicos e o decréscimo da qualidade, sugerindo a implantação das análises dos íons metálicos no desenvolvimento de índices de qualidade d'água.

Nong *et al.* (2020) estudaram a qualidade d'água em um manancial de abastecimento localizado na China. Inicialmente, haviam 16 parâmetros aferidos periodicamente, os quais foram reduzidos para 5, com significância maior que 90% e, com destaque para a presença do Mercúrio e a retirada de parâmetros como a DBO e o pH.

Oliveira *et al.* (2019) realizaram adaptação do Índice de Qualidade de Água Bruta Fuzzy, formulado por Libânio e Souza (2009), que possui como premissa a análise de oito parâmetros de qualidade (E. coli, Cianobactérias, Clorofila-a, Turbidez, Cor aparente, pH, metais e Mn), divididos em três grupos (Índice Biológico, Índice Físico e Índice Químico) e por fim, avaliou que é uma importante ferramenta para suporte de decisão protetiva para a BH, visando economia no tratamento de água.

Mukate *et al.* (2019) criaram um Índice de Qualidade de Água Integrado, que verifica a concentração inferior e superior aos limites estabelecidos aos parâmetros escolhidos. Os estudos foram desenvolvidos na cidade de Solapur, localizada na Índia e o diferencial deste IQA é que os limites permitidos e desejáveis são verificados individualmente, tornando possível que ações protetivas sejam tomadas em fontes potáveis de água.

A aplicação de um índice com variáveis e pesos rígidos pode não representar as reais condições do corpo hídrico estudado. Essa lacuna destaca a necessidade de estudos regionais e, quando possível, de BH individuais (TRIPATHI e SINGAL, 2019; UNDA-CALVO *et al.* 2020; NONG *et al.* 2020).

Desta forma, é possível afirmar que os índices customizados podem ser elaborados por meio de técnicas estatísticas multivariadas e estas tornam-se ferramentas importantes e indispensáveis aos gestores de BH para compreensão da qualidade da água e proteção dos mananciais (SUTADIAN *et al.* 2018; TRIPATHI e SINGAL, 2019; USTAOĞLU; TEPE; TAŞ. 2020).

## 2.3 ESTATÍSTICA MULTIVARIADA

As técnicas estatísticas multivariadas são utilizadas para analisar múltiplas medidas sobre indivíduos ou algum objeto sob investigação (HONGYU, 2018). De modo aplicado para área de recursos hídricos, estas técnicas possibilitam que os dados coletados sejam estudados com abrangência temporal, sazonal e ao longo da BH (UNDA-CALVO *et al.* 2020).

O estudo da qualidade de água gera bancos de dados complexos e requer recursos para o desenvolvimento de pesquisas laboratoriais, bem como de campanhas amostrais, que podem ser otimizados com a implementação de métodos estatísticos multivariados para a tomada de decisão (UNDA-CALVO *et al.* 2020; NONG *et al.* 2020).

O avanço da computação e a complexidade criada pelo excesso de dados, fez com que muitas técnicas fossem difundidas em estudos que envolvem qualidade de água (VICINI, L.; SOUZA, A. M., 2005). Dentre as técnicas aplicadas estão a AF (Análise Fatorial), ACP (Análise de Componentes Principais), ANOVA e Análise de Cluster, que serão discutidas a seguir:

### 2.3.1 Análise fatorial (AF)

As primeiras pesquisas com esta técnica foram desenvolvidas por Karl Pearson em 1901 e Charles Spearman em 1904. Spearman teve como objetivo estudar o fator inteligência pela correlação dos resultados de testes múltiplos com apenas um fator (JOHNSON; WINCHERN, 2007).

Em 1931, Thurstone iniciou os estudos aplicando fatores múltiplos, disseminando a nomenclatura de AF e então, a técnica passou a ser aplicada para facilitar a interpretação de múltiplas variáveis como estrutura de interdependência (VICINI, L.; SOUZA, A. M., 2005).

A AF é uma técnica estatística que envolve outras técnicas a fim de reduzir o número de variáveis estudadas sem que as informações sejam perdidas. A síntese facilita ainda a interpretação dos dados (GOTELLI; ELLISON, 2011).

Mencarini (2018) definiu que a AF resume as correlações de um grande conjunto de variáveis, resultando em um número reduzido de variáveis latentes com variância comum, chamadas fatores. Após a aplicação desta técnica existem duas saídas oferecidas, a redução de dados e o resumo dos dados (MENCARINI, 2018).

Segundo Vicini e Souza (2005), a AF é comumente confundida com a ACP por extraírem fatores por componentes principais. Gotelli e Ellison (2011) destacam que a ACP cria novas variáveis com combinações das variáveis originais, enquanto que a AF considera cada variável original como uma combinação linear de alguns fatores.

No desenvolvimento da AF, inicialmente são identificados os fatores para cada variável estudada e são encontrados os *scores* (valor numérico), que são utilizados para embasamento em estudos de qualidade de água e diversas análises estatísticas (JOHNSON; WINCHERN, 2007).

Nesta etapa, os dados passam por tratamento matemático, sendo transformados em uma única escala de medida, evitando que falsas correlações ocorram entre as variáveis estudadas (MENCARINI, 2018).

A transformação dos dados ocorre por meio da Equação 1.2, em que é subtraída a média da variável do valor observado e dividido pelo desvio padrão.

$$Z_i = \frac{X_j - \mu_j}{\sigma_i} \quad (1.2)$$

Em que:

$Z_i$  é a Variável escalonada;

$X_i$  é o Valor observado;

$\sigma_i$  é o Desvio padrão da variável;

$\mu_i$  é a Média da variável;

$i$  é a representação da própria variável.



Após a padronização das variáveis, o desenvolvimento e as equações que compõem a AF serão apresentados com base em Ferreira (1996).

O modelo de fatores pode ser apresentado por meio da Equação 1.3 ou em notação matricial, conforme demonstra a Equação 1.4.

$$X_i - \mu_i = l_{i1}F_1 + l_{i2}F_2 + \dots + l_{in}F_n + \varepsilon_i \quad (1.3)$$

Em que:

$l_{ij}$  é a Carga da variável;

$\varepsilon_i$  são as Variáveis aleatórias não observáveis;

$F_i$  são os Fatores.

$$D(X - \mu) = LF + \varepsilon \quad (1.4)$$

Sendo que:

$$(X - \mu)_{px1} = \begin{bmatrix} X_1 - \mu_1 \\ X_2 - \mu_2 \\ \vdots \\ X_p - \mu_p \end{bmatrix}; L_{pxm} = \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} & \dots & L_{1m} \\ L_{21} & L_{22} & \dots & L_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ L_{p1} & L_{p2} & \dots & L_{pm} \end{bmatrix}; F_{px1} = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \vdots \\ F_p \end{bmatrix}; \varepsilon_{px1} = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_p \end{bmatrix}$$

Em que:

$\varepsilon_{px1}$  é o Vetor de erros aleatórios;

$F_{px1}$  é o Vetor de variáveis latentes, responsáveis por encontrar elementos da amostra;

$L_{pxm}$  é a Matriz de variáveis constantes.

Por fim, busca-se encontrar as novas m-variáveis para cálculo dos escores fatoriais (VICINI, L.; SOUZA, A. M., 2005).

### 2.3.2 Análise de Componentes Principais (ACP)

A ACP é uma técnica estatística multivariada desenvolvida por Karl Pearson (1901) e Harold Hotelling (1933) que é classificada como a maneira mais

simples de ordenar dados (GOTELLI e ELLISON 2011). Esta técnica é amplamente aplicada em estudos que envolvem qualidade de água (UNDA-CALVO *et al.* 2019).

Segundo Mencarini (2018), os principais objetivos da ACP são: reduzir a dimensão das variáveis e facilitar a interpretação das análises realizadas. Para isto, são criadas poucas variáveis compostas por um grupo maior de variáveis originais, capaz de representar o todo, perdendo o mínimo de informações possíveis (FERREIRA 1996, GOTELLI e ELLISON 2011, MENCARINI 2018, UNDA-CALVO *et al.* 2019).

Metodologicamente, é encontrada uma correlação linear entre as variáveis para que a variância seja explicada por esta combinação (FERREIRA, 1996). Em seguida a variância é retirada e é formada uma nova combinação linear entre as variáveis restantes, explicando a variância restante, até que a variância de todos os dados seja explicada (MENCARINI, 2018). Ao fim destes cálculos, são formados fatores não correlacionados entre si (ortogonais), denominados componentes principais.

A seguir estão descritos os processos matemáticos para realização da ACP, de acordo com Ferreira (1996), Gotelli e Ellison (2011).

Inicialmente, as variáveis são padronizadas com a aplicação da Equação 1.5 e é calculada a matriz de variância e covariância C, conforme a Equação 1.6.

$$Z_i = \frac{X_j - \mu_j}{\sigma_j} \quad (1.5)$$

Em que:

$Z_i$  é a Variável escalonada;

$X_i$  é o Valor observado;

$\sigma_i$  é o Desvio padrão da variável;

$i$  é a representação da própria variável;

$\mu_i$  é a Média da variável.

$$C = \begin{bmatrix} S_1^2 & c_{12} & \cdots & c_{1,n} \\ c_{21} & S_2^2 & \cdots & c_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{n,1} & c_{n,2} & \cdots & S_n^2 \end{bmatrix} \quad (1.6)$$

Em que:

$S_j^2$  é a Variância amostral da variável  $Y_j$ ;

$i$  é a representação da própria variável;

$c_{j,k}$  é a Covariância amostral entre variáveis.

Então são calculados os autovalores  $\lambda_1, \dots, \lambda_n$  e autovetores  $a_{ij}$  (coeficientes calculados) e por fim, a combinação linear que forma cada componente principal  $Z_j$ , conforme a Equação 1.7.

$$Z_j = a_{i1}Y_1 + a_{i2}Y_2 + \dots + a_{in}Y_n \quad (1.7)$$

Em que:

$Y$  são as Variáveis;

$i$  é a representação da própria variável;

$a_{in}$  são os Autovetores.

Ao fim destes cálculos é necessário definir quais e quantos componentes serão utilizados para o estudo (GOTELLI e ELLISON (2011)). Esta escolha é realizada de acordo com a aplicação da Equação 1.8, que determina a proporção de variância explicada por cada componente.

$$\text{var}_j = \frac{\lambda_j}{\sum_{j=1}^n \lambda_j} \quad (1.8)$$

Em que:

$\lambda_j$  são os autovalores;

$i$  é a representação da própria variável.

Embora não exista um ponto de corte para seleção dos componentes, são retidos os componentes que explicam a maior parte da variação dos dados cumprindo então o objetivo principal da ACP (UNDA-CALVO *et al.* 2019).

### 2.3.3 Análise de Variância (ANOVA)

A Análise de Variância, ou ANOVA é um método estatístico desenvolvido por Fisher que verifica se fatores configuram mudanças em variáveis de interesse com testes de igualdade de média (FONSECA E MARTINS, 2011).

Nos estudos que envolvem a qualidade da água, a ANOVA é aplicada principalmente para analisar as variações temporais e espaciais entre parâmetros de qualidade, buscando discrepâncias entre as médias e, portanto, apontando locais para análise detalhada do fato (USTAOĞLU; TEPE; TAŞ. 2019; TIAN *et al.* 2019; NONG *et al.* 2020).

Nong *et al.* (2020) aplicaram a ANOVA como técnica confirmatória para os dados obtidos de análise multivariada em um manancial para abastecimento público, com o objetivo de detectar alterações espaciais entre os 16 parâmetros de qualidade aferidos em 27 estações fixas de monitoramento.

Ustaoğlu, Tepe e TAş (2019) examinaram o efeito das atividades agrícolas e dos efluentes domésticos na qualidade da água da BH do córrego Turnasuyu, localizado na Turquia e os resultados da ANOVA demonstraram que dos 3 pontos amostrais alocados, apenas o 1º apresentou características compatíveis com a legislação nacional, confirmando as alterações espaciais na qualidade da água.

Tian *et al.* (2019) utilizaram 12 parâmetros de qualidade da água coletados em 85 pontos amostrais fixos localizados na BH do Rio Luanhe e seus principais afluentes, no norte da China. Nesta pesquisa, a execução da ANOVA auxiliou na detecção das variações sazonais e espaciais dos dados, além de comprovar a relação entre as culturas e crescimento urbano com o decréscimo da qualidade da água (TIAN *et al.* 2019).

Fonseca e Martins (2011) destacam que a aplicação da ANOVA depende da aleatoriedade, independência e extração das amostras, além de equidade na variância das populações.

Gotelli e Ellison (2011) dividem a ANOVA em delineamentos com um fator (estudados parâmetros individualmente com diferentes níveis) e multifatoriais (diversos parâmetros analisados simultaneamente).

De maneira simplificada, o método é aplicado com a soma da diferença entre cada variável observada ( $X_i$ ) e a média dos dados ( $\bar{X}$ ), elevada ao quadrado, representando a variação total conforme demonstra a Equação 1.9 (GOTELLI; ELLISON 2011).

A seguir estão dispostos os equacionamentos necessários para a aplicação da ANOVA, segundo o modelo construído por Fonseca e Martins (2011).

$$SQ_{TOTAL} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^{n_j} (X_{ij} - \bar{X})^2 \quad (1.9)$$

Em que:

$a$  é o Número de amostras;

$n_j$  é o Número de observações na amostra;

$X_{ij}$  é a Variável observada;

$i$  é a representação da própria variável;

$\bar{X}$  é a Média dos dados.

A Equação 6.1 reflete por meio do somatório dos quadrados, a variabilidade entre todos os dados amostrais combinados, já a equação 1.10 representa diferenças entre as médias de cada grupo de tratamento.

$$SQ_{ENTRE} = \sum_{j=1}^a n_j (\bar{X}_j - \bar{X})^2 \quad (1.10)$$

Em que:

$a$  é o Número de amostras;

$n_j$  é o Número de elementos na amostra;

$\bar{X}_i$  é a Média da amostra observada;

$\bar{X}$  é a Média dos dados;

$i$  é a representação da própria variável.

### 2.3.4 Análise de Cluster

A análise de cluster, ou análise de agrupamentos é uma técnica estatística que busca segregar as variáveis em grupos homogêneos internamente, heterogêneos entre si e mutuamente exclusivos conforme similaridades preestabelecidas (FÁVERO *et al.* 2009).

Segundo Lattin *et al.* (2011), a análise de cluster é aplicada em diversas áreas do conhecimento por possibilitar o estudo de uma porção do grupo e a interação com as variáveis restantes.

Nos estudos quem envolvem qualidade de água, a análise de cluster é aplicada para definir a similaridade entre parâmetros aferidos em diferentes pontos de um mesmo curso d'água (USTAOĞLU; TEPE; TAŞ. 2019).

O processo de agrupamento é dividido em hierárquico, quando a análise ocorre de maneira estrutural com aumento das partições estudadas, ampliando as classes e, não hierárquico, em que o número de partições e classes é fixo (LATTIN, *et al.* 2011).

A análise de agrupamentos pode ser dividida em análise das variáveis e objetos, seleção da medida de semelhança, seleção do tipo de agrupamento, escolha da quantidade de grupos e por fim, interpretação dos resultados (FÁVERO *et al.* 2009).

Segundo Fávero *et al.* 2009, de maneira sintetizada, as variáveis são padronizadas, com a aplicação da equação 1.11 e então, é calculada a distância Euclidiana, conforme demonstra a equação 1.12. Nesta abordagem, quanto menor a distância, maior a similaridade entre as observações.

$$Z_i = \frac{X_j - \mu_j}{\sigma_i} \quad (1.11)$$

Em que:

$Z_i$  é a Variável escalonada;

$X_i$  é a Representação da variável;

$\sigma_i$  é o Desvio padrão da variável;

$\mu_i$  é a Média da variável;

$i$  é a representação da própria variável.

$$D_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (1.12)$$

Em que:

$x_{ik}$  é o Valor da variável  $k$ , referente à observação  $i$ ;

$x_{jk}$  é o Valor da variável  $k$ , referente à observação  $j$ ;

$i$  é a representação da própria variável.

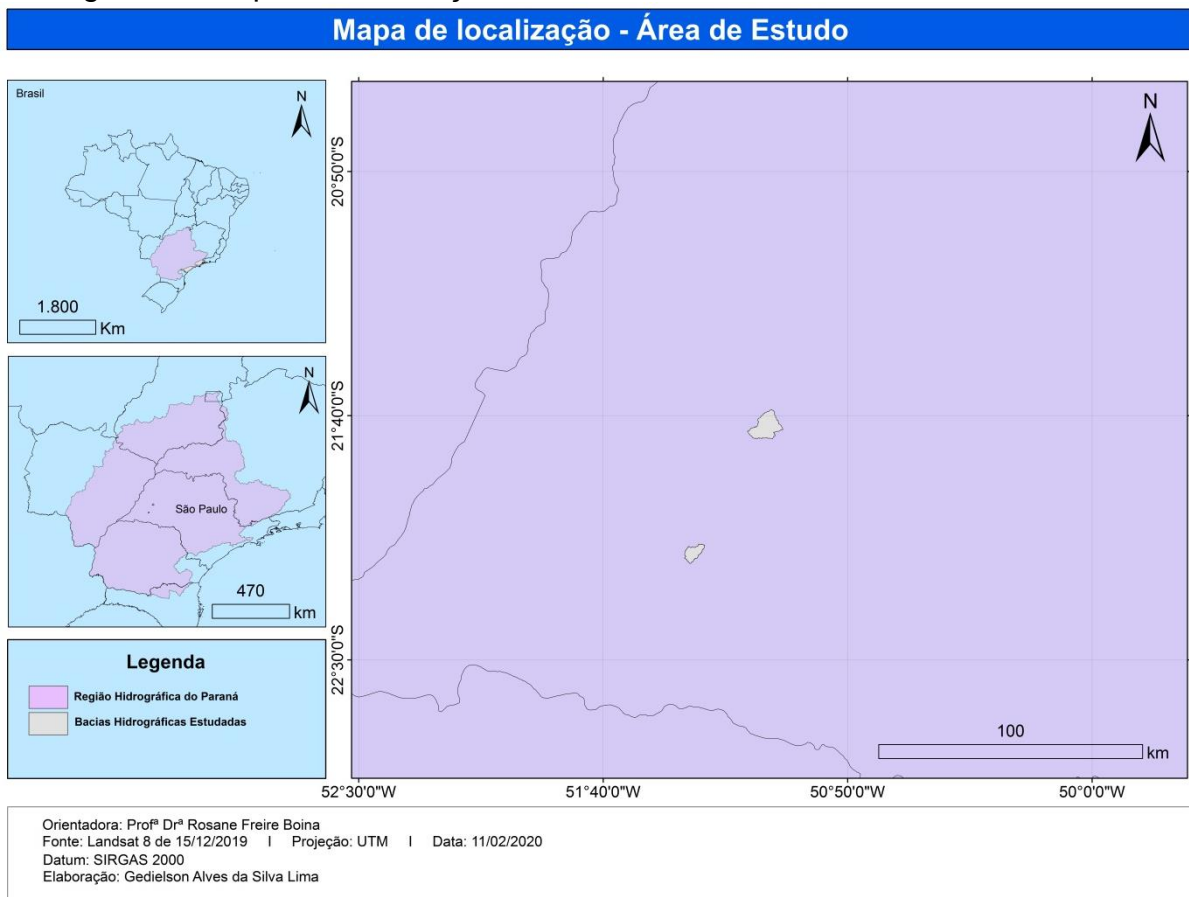
### 3 ÁREA DE ESTUDO

A Lei Estadual nº 7.663, de 30 de Dezembro de 1991, estabeleceu no Estado de São Paulo normas para a gestão de recursos hídricos e integração do gerenciamento, instaurando mecanismos como o Conselho Estadual de Recursos Hídricos e os Comitês de Bacias Hidrográficas (SÃO PAULO, 1991).

Posteriormente, de acordo com a Resolução nº 32/03 do CNRH (Conselho Nacional de Recursos Hídricos), o Brasil foi dividido em 12 Regiões Hidrográficas, onde duas estão localizadas no Estado de São Paulo, sendo elas: a do Atlântico Sudeste e a do Paraná (CNRH, 2003).

A Região Hidrográfica do Paraná, apresentada pela Figura 3, possui 879.860 km<sup>2</sup> de área, destes, 211.787 km<sup>2</sup> estão localizados no Estado de São Paulo, ou seja, 24,1% de sua área total (MMA, 2006).

Figura 3 – Mapa de localização da área de Estudo mediante RH do Paraná



Fonte: Próprio autor



Conseqüentemente, a Lei Estadual nº 9.034, de 27 de Dezembro de 1994 – que dispõe sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos e posteriormente foi atualizada pela Lei Estadual nº 16.337, de 14 de Dezembro de 2016, dividiu o Estado de São Paulo em 22 UGRHI (Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos), conforme apresentado na Figura 4, com base em peculiaridades físicas locais que originam necessidades da gestão dos recursos hídricos (SÃO PAULO, 2016).

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foram escolhidas as BH do Ribeirão dos Ranchos e Córrego do Gramado, localizadas nos municípios de Adamantina e Presidente Prudente respectivamente. O território dos municípios de Presidente Prudente e Adamantina estão sob atuação do CBH-AP (Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Aguapeí e Peixe), conforme estabelecido pela Lei Estadual nº 7663/91, porém as Bacias Hidrográficas de escopo de trabalho estão localizadas integralmente na UGRHI 21, denominada Peixe (SÃO PAULO, 1991).

Figura 4 – Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo



Fonte: IGC (2014)

A seleção destas BHs ocorreu pela localização sobre mesmo extrato geológico, geomorfológico, bioma, além da equidade de fatores como clima e a

semelhança do uso e ocupação da terra, com atividades industriais, agropecuárias e a comum ocupação urbana na cabeceira de drenagem.

### 3.1 UGRHI'S AGUAPEÍ E PEIXE

As UGRHI's 20 e 21 estão sob atuação do CBH-AP (Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Aguapeí e Peixe), criado em 1995 com sede estabelecida à época no município de Tupã/SP e atualmente está localizada no município de Marília/SP (CBH-AP, 1997). Juntas, totalizam 23.965 km<sup>2</sup> de área e são compostas por 92 municípios, com a existência de 26.345 propriedades rurais (MARQUES, 2014).

Localizadas na região oeste do Estado de São Paulo, as principais categorias de uso e ocupação da terra são de pastagens, que ultrapassam 60% da área total dos municípios (MARQUES, 2014). Tal categoria de uso da terra possui influência negativa para a recarga dos aquíferos, bem como o risco de erosão e posterior assoreamento dos rios (ANDRADE, 2014).

O principal uso consuntivo dos recursos hídricos destas bacias são a pecuária extensiva, culturas temporárias e abastecimento público, geralmente oriundo de poços tubulares (PRANDI, 2010).

### 3.2 BH DO CÓRREGO DO GRAMADO E BH RIBEIRÃO DOS RANCHOS

A BH do Córrego do Gramado está localizada no município de Presidente Prudente, com área territorial de 28,45 km<sup>2</sup>. Está situada entre as coordenadas geográficas 22° 07' 32" S e 51° 23' 20" O (IBGE, 2020; PRESIDENTE PRUDENTE, 2020).

A BH do Ribeirão dos Ranchos possui 75,87 km<sup>2</sup>, destes, 9,96 km<sup>2</sup> inseridos no município de Mariápolis/SP e 65,91 km<sup>2</sup> no município de Adamantina/SP. Está situada entre as coordenadas geográficas 21° 40' 32" S e 51° 3' 47" O (IBGE, 2020; ADAMANTINA, 2020).

Esses municípios estão localizados na região oeste do Estado de São Paulo, conforme mostram as Figuras 5 e 6.

As duas áreas de estudo estão situadas na morfoestrutura da Bacia Sedimentar do Paraná, sobre o arenito da Formação Adamantina (Ka), pertencente ao grupo Bauru (ROSS E MOROZ, 1997; IPT, 1981).

Rossi (2017) realizou a classificação pedológica do Estado de São Paulo e caracterizou o solo da região da BH do Córrego do Gramado como Argissolos Vermelho-Amarelo eutrófico abrupto, e a região da BH do Ribeirão dos Ranchos é constituída como Argissolos Vermelho-Amarelos eutróficos típicos.

Segundo IBGE (2020), o bioma predominante nas BH estudadas é a Mata Atlântica.

A publicação São Paulo (2001) apresenta a vegetação existente e predominante no Estado de São Paulo e, foram identificadas nos municípios de Adamantina e Presidente Prudente áreas do bioma mata atlântica e faixas de cerrado.

O clima dominante na região oeste do Estado de São Paulo é tipificado como Aw e seus atributos são baixa pluviosidade no inverno e clima tropical, com temperatura média de 20 °C (KÖPPEN *apud* ROLIM *et al.* 2007).

Na BH do Córrego do Gramado foram realizadas pesquisas referentes à qualidade da água e sua correlação com o uso e ocupação da terra. Pedro (2011) estudou a evolução da expansão territorial do município de Presidente Prudente e a relação intrínseca com a apropriação do relevo em áreas urbanas, demonstrando os efeitos da formação do depósito de lixo na cabeceira de drenagem do Córrego do Gramado sobre a morfologia. Pulido e Rizk (2015) buscaram caracterizar qualitativamente o Córrego do Gramado por meio de mapas e análises físico-química da água, concluindo que as ações antropogênicas são a principal causa dos impactos ambientais observados, destacando a presença do distrito industrial Antônio Crepaldi, o lixão municipal e o conjunto habitacional José Reis. Vieira (2018) confrontou bioindicadores, variáveis químicas e físicas da qualidade de água com o uso e ocupação da terra e verificou que a fauna e flora sofrem importante influência das atividades humanas realizadas em suas margens.

Na BH do Ribeirão dos Ranchos, Santos, Reis e Borim (2015) desenvolveram mapas de uso e ocupação da terra por meio do processamento de imagens de satélite dos anos de 1962, 1971, 2002 e 2013, com a análise dos resultados apontaram que o crescimento urbano do município incorreu na

modificação acentuada das características naturais da BH. Kohori (2017) estudou as mudanças no uso e ocupação da terra entre os anos de 1971 e 2016, concluindo que a expansão urbana sobre as áreas de nascentes corroborou para que áreas de inundação fossem criadas e intensificadas, além de pontos com erosão, degradação nas áreas de mata ciliar e Área de Preservação Permanente (APP) que intensificam a contaminação dos recursos hídricos.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 DEFINIÇÃO DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA DAS BH

#### 4.1.1 Atualização do uso e ocupação da terra e alocação dos pontos amostrais

As bacias hidrográficas foram demarcadas por meio de arquivos *Shapefiles* (.shp), disponibilizados pelo portal da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo, que continham as divisões dos municípios e curvas de nível.

Os corpos hídricos foram vetorizados por meio da análise de Modelos de Elevação Digital (MDE), disponibilizados pelo Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil, administrado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Os processos de demarcação foram efetuados com a extensão ArcHydro, componente do *software* ArcGis 10.6.1. O uso desta ferramenta implica no pré tratamento dos MDE, com o preenchimento de falhas para que sejam apresentados resultados aceitáveis.

Após esta fase, foram feitas inserções para que a direção do escoamento fosse traçada, bem como, pontos de acumulação e a representação da rede de drenagem.

Por fim, com a definição e demarcação do exutório, por meio da análise das curvas de nível, a bacia hidrográfica foi delimitada e vetorizada, possibilitando a edição dos mapas de localização.

Após a delimitação das BH, foram construídos os mapas de uso e ocupação da terra, com o uso de imagens do satélite Landsat8, também disponibilizadas pelo INPE.

A classificação foi realizada por verossimilhança, comparando pontos inseridos pelo usuário com a imagem pré-tratada. Esta metodologia de classificação foi escolhida pelo aumento da precisão no processo com base em cada pixel analisado (DEGIFE *et al.* 2019).

Em síntese, foi criado um recorte na imagem com os vetores da demarcação das BH e os mapas foram editados.

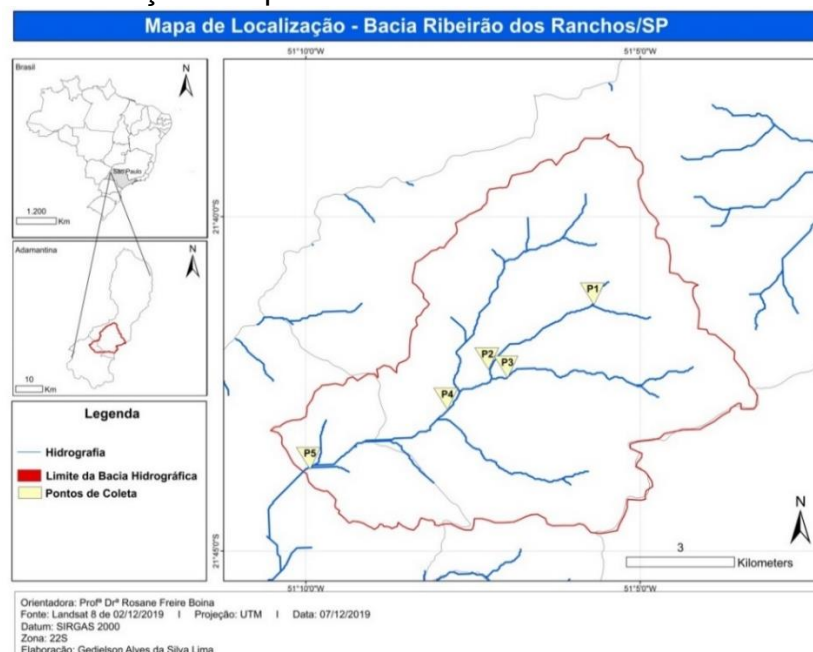
Com o conhecimento das características de uso e ocupação da terra e demarcação das BH, foram realizadas visitas *in loco* para a seleção de 5 pontos amostrais estrategicamente em cada BH, conforme mostram as Figuras 5 e 6. Para a escolha dos pontos foram observados a acessibilidade, potenciais focos de poluição e estudos previamente realizados nas BH's. A localização de acordo com a Latitude e Longitude estão apresentadas nas Tabela 1 e 2, bem como a representação gráfica dos pontos estão apresentadas nas Figuras 5 e 7. A Figura 6 apresenta a delimitação da BH do Ribeirão dos Ranchos e a localização dos pontos amostrais, que foram caracterizados individualmente.

Tabela 1: Caracterização geográfica dos pontos utilizados no estudo – Ribeirão dos Ranchos

Ponto de Monitoramento	Latitude (UTM)	Longitude (UTM)
P1	21°41'09"S	51°05'38"O
P2	21°42'06"S	51°07'08"O
P3	21°42'16"S	51°06'55"O
P4	21°42'55"S	51°07'52"O
P5	51°43'55"S	51°10'12"O

Fonte: Próprio autor

Figura 5 - Localização dos pontos amostrais – BH do Ribeirão dos Ranchos



Fonte: Próprio autor

#### *Ponto P1*

O ponto P1, representado pela Figura 12 A, foi escolhido pela proximidade com a área urbana e por ser área de cabeceira de drenagem do Ribeirão dos Ranchos. A proximidade com loteamentos abertos que foram criados recentemente, denota a tendência de crescimento urbano para essa região, tornando o local foco do despejo de águas pluviais e problemas para a preservação da APP. A água visualmente é cristalina neste ponto, com leito arenoso, sem a presença de vida aquática superior aparente e com a existência de resíduos sólidos de construção civil e carreados pela água pluvial.

#### *Ponto P2*

O ponto P2, apresentado na Figura 12 B, foi escolhido pela proximidade com diversas indústrias, entre elas estão uma que produz ração para animais, madeireiras, uma usina de reciclagem, um aterro sanitário irregular que foi desativado em 2015, um curtume e o matadouro municipal, sendo as duas últimas plantas industriais desativadas atualmente. A região possui odor característico dos processos instalados. A água em períodos chuvosos apresenta coloração esverdeada.

#### *Ponto P3*

Este ponto foi escolhido pela ocorrência de pastagens em suas margens, além da presença de loteamentos na área de cabeceira. O ponto P3, representado pela Figura 12 C, demonstra comprometimento da APP, além de locais com pequenas áreas de cultura em ciclos de rotação, que, em diversos pontos, alcançam as margens do Ribeirão. A água possui a presença de sólidos suspensos e bancos de areia no fundo do corpo hídrico.

#### *Ponto P4*

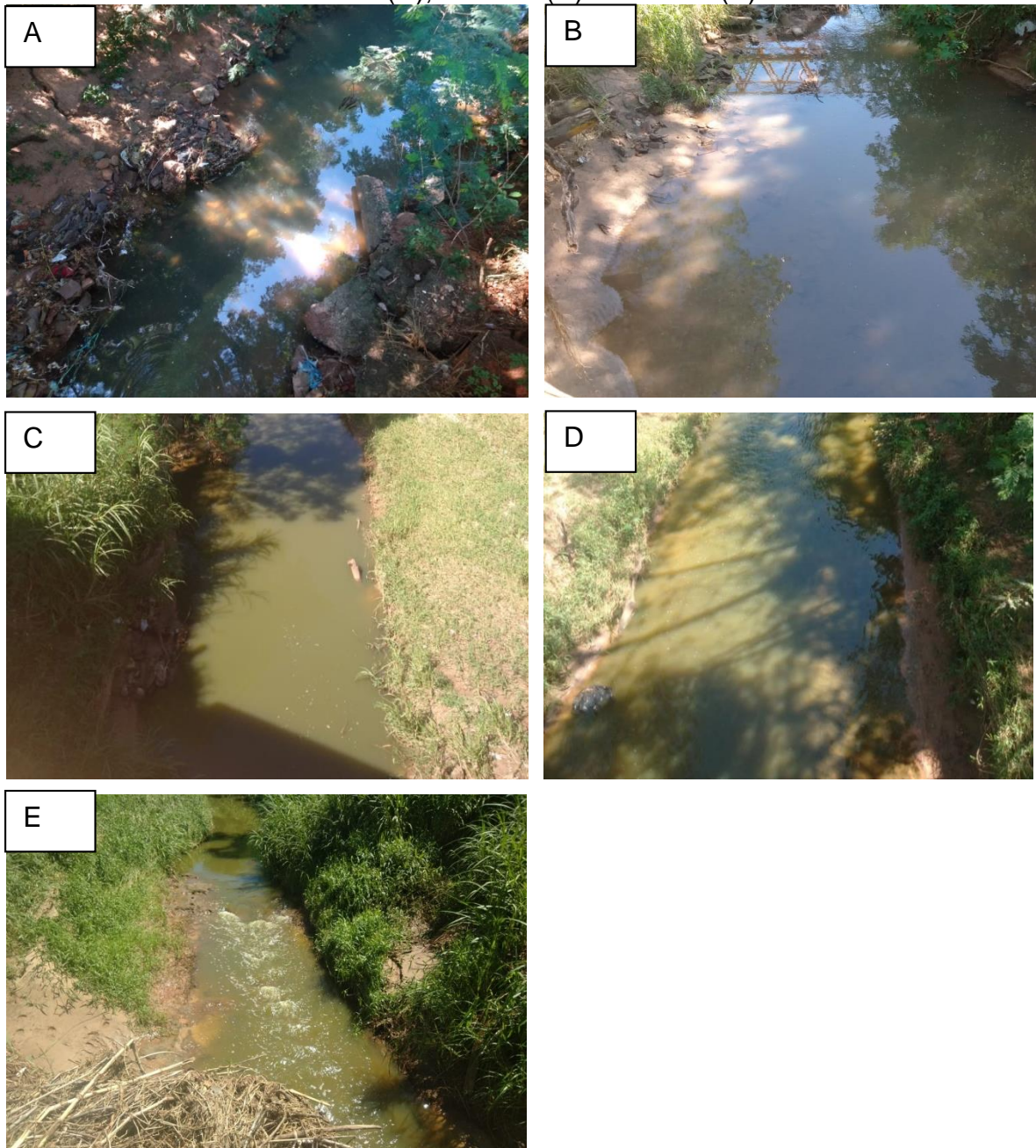
O ponto 4 foi escolhido por estar à jusante do lançamento da ETE. Neste ponto a APP apresenta melhor aspecto de preservação. Porém, a água possui coloração esverdeada, conforme apresentado na Figura 12 D e são visíveis locais com entulho e resíduos domésticos.



### Ponto P5

Este ponto foi escolhido principalmente pela proximidade com o exutório da BH e o seu distanciamento dos pontos anteriores possibilita a verificação da capacidade do corpo hídrico em assimilar os lançamentos à montante. Neste ponto existem pequenas quedas d'água, conforme demonstra a Figura 12 E. Neste ponto, a APP volta a sofrer por falta de preservação. A água neste ponto possui coloração amarelada.

Figura 6 – Pontos de coleta do Ribeirão dos Ranchos – Ponto 1 (A), Ponto 2 (B), Ponto 3 (C), Ponto 4 (D) e Ponto 5 (E).



Fonte: Próprio Autor

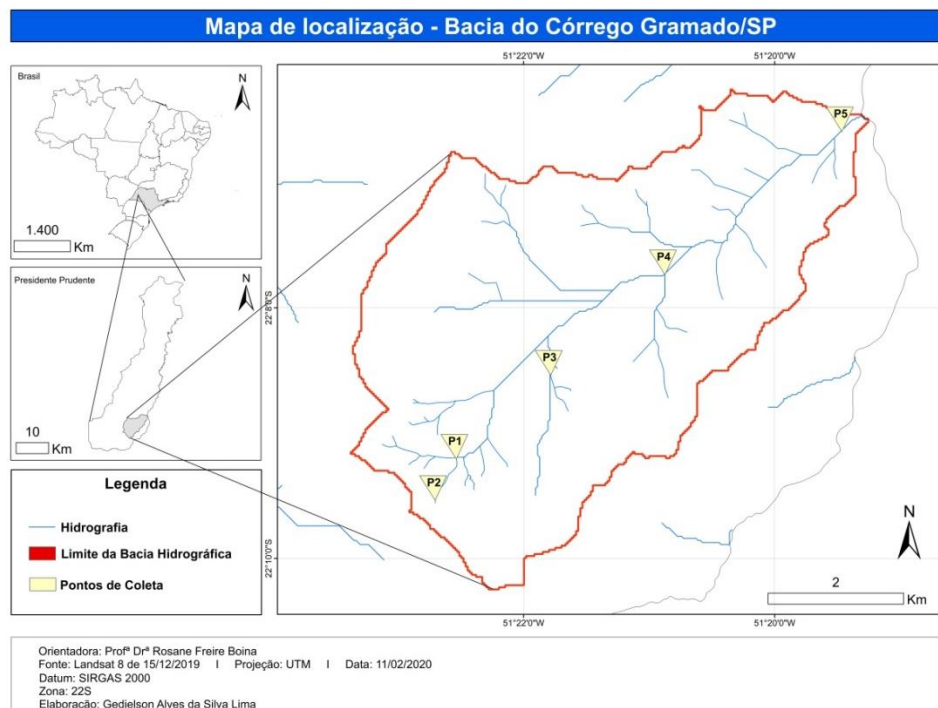


Tabela 2: Caracterização geográfica dos pontos utilizados no estudo – Córrego do Gramado

Ponto de Monitoramento	Latitude (UTM)	Longitude (UTM)
P1	22°09'12"S	51°22'34"O
P2	22°09'34"S	51°22'43"O
P3	22°09'01"S	51°21'50"O
P4	22°07'37"S	51°20'48"O
P5	22°06'24"S	51°19'22"O

Fonte: Próprio autor

Figura 7 - Localização dos pontos amostrais – BH do Córrego do Gramado



Fonte: Próprio autor

Os pontos amostrais e a delimitação da BH estão representados na Figura 8.

#### Ponto P1

Como foi apresentado no mapa de uso e ocupação da terra, na Figura 10, a cabeceira de drenagem desta BH recebe densa influência urbana, que, portanto, foi o fator preponderante para a escolha deste ponto. No local existem pontos de

descarte irregular de resíduos sólidos, bem como de vias com fluxo rodoviário. Conforme demonstra a Figura 14 A, a água apresenta coloração cristalina, com leito pedregoso e existe fauna aquática superior. A área de APP apresenta focos de perturbação, com a existência de pastagens e gado de corte nos arredores.

#### *Ponto P2*

O ponto P2, demonstrado pela Figura 14 B, foi escolhido por tratar-se de uma nascente com importante interferência antropogênica ao redor, com a presença do distrito industrial, em que, empresas com potencial poluidor estão instaladas. Ao longo da APP existem diversos focos com depósito de resíduos e nas proximidades do ponto de coleta o odor de lubrificantes é permanente. A água apresenta camada de óleo e coloração amarelada.

#### *Ponto P3*

O ponto P3, retratado pela Figura 14 C, está localizado dentro de uma propriedade rural. Foi escolhido pela existência de pastagens em suas margens, bem como a ausência de APP e ainda sua localização à jusante do aterro controlado, que pode demonstrar influência nos parâmetros de qualidade pela percolação de resíduos depositados. O fundo de leito no local é pedregoso e a coloração da água é cristalina.

#### *Ponto P4*

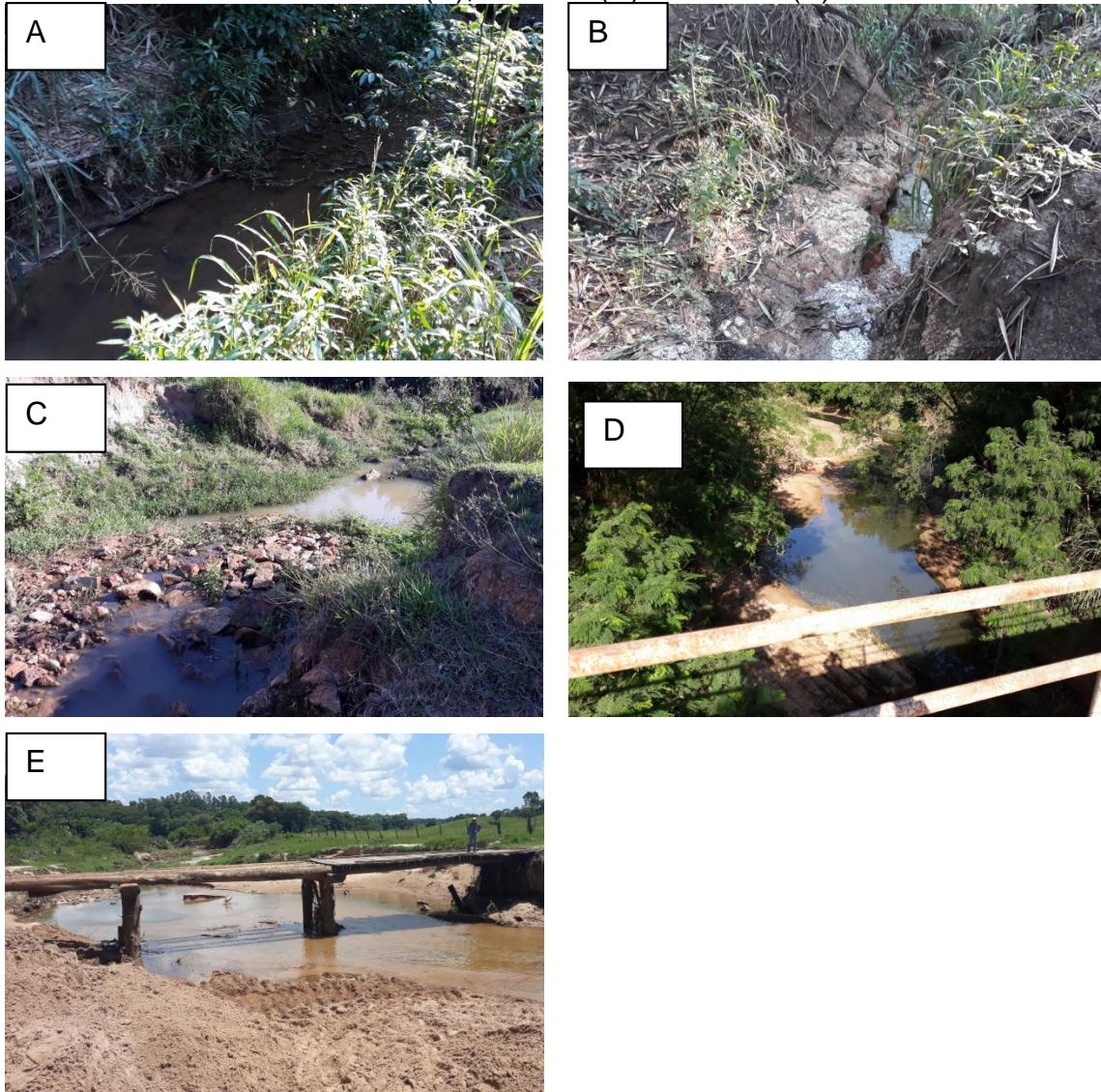
O ponto P4 caracterizado pela Figura 14 D, foi escolhido para que fosse verificada a recuperação dos parâmetros de qualidade da água após os problemas que foram identificados nos pontos anteriores. Neste local, as coletas foram realizadas sobre uma ponte. Em suas margens existem pontos com mata, porém a área de pastagem de chácaras e sítios possui destaque. A coloração da água é esverdeada, com a presença de fundo de leito arenoso e foi verificada a presença de fauna aquática.

#### *Ponto P5*

O ponto P5, exposto na Figura 14 E, está localizado nas proximidades do exutório da BH. Os principais motivos da escolha foram a verificação da capacidade de recuperação da qualidade da água e analisar a confluência de mais

córregos com o Córrego estudado. O fundo de leito é arenoso e a água apresenta coloração cristalina.

Figura 14 – Pontos de coleta do Córrego do Gramado – Ponto 1 (A), Ponto 2 (B), Ponto 3 (C), Ponto 4 (D) e Ponto 5 (E).



Fonte: Próprio Autor

## 4.2 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA

As campanhas amostrais tiveram início em janeiro de 2020, e foram realizadas em períodos intercalados entre as duas BH estudadas, em intervalo bimestral, e, por conseguinte, ao fim terão sido realizadas 06 coletas em cada BH, resultando em 12 meses de monitoramento total. Este modelo foi escolhido para

que os parâmetros de qualidade e a sazonalidade sejam correlacionados, além de otimizar os recursos empregados para o desenvolvimento desta pesquisa.

As coletas foram executadas segundo os procedimentos apontados pela CETESB (2011). A preservação das amostras e cômputos analíticos aplicados seguiram metodologia adotada pelo *Standard Methods for the examination of water and wastewater* (APHA, 1998).

Buscou-se coletar as amostras na seção central do corpo hídrico, com auxílio de um balde, seguindo amostragem simples e com uso dos recipientes e tratamento prévio descritos no Quadro 5.

**Quadro 5 - Recipientes e tratamento para realização das campanhas amostrais**

Ensaio	Tipo de frasco	Capacidade	Tratamento
DQO, DBO, Sólidos Totais e Nitrato	Polietileno tereftalato	2,0 Litros	Lavagem com sabão
Íons Metálicos	Polietileno tereftalato	500 mL	HNO <sub>3</sub> (5%)
Fósforo, Coliformes e E. Coli	Frasco âmbar	200 mL	Autoclavagem

Fonte: Próprio autor

Os parâmetros monitorados e os respectivos métodos para a obtenção dos dados são apresentados no Quadro 6.

**Quadro 6 – Parâmetros analisados e cômputos analíticos**

Parâmetro analisado	Equipamento / Método	Unidade de Medida
pH	Sonda Multiparâmetros (HANNA, HI 9828) / Medição em campo	-
OD		mg L <sup>-1</sup>
Saturação de Oxigênio (ODsat)		%
Condutividade		µS cm <sup>-1</sup>
Temperatura		°C
SD		mg L <sup>-1</sup>
Demanda Bioquímica de	Teste de DBO – 5 dias ( <i>Standard Methods for the</i>	mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>

Oxigênio	<i>examination of water and wastewater – APHA 1998)</i>	
Demanda Química de Oxigênio	Refluxo fechado, Método Colorimétrico ( <i>Standard Methods for the examination of water and wastewater – APHA 1998)</i>	mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>
Sólidos Totais	Gravimétrico ( <i>Standard Methods for the examination of water and wastewater – APHA 1998)</i>	mg L <sup>-1</sup>
Fósforo Total	Adaptação de <i>Standard Methods for the examination of water and wastewater, amino acid method – APHA 1998 / HANNA, HI 83206</i>	mg L <sup>-1</sup>
Nitrato	Espectrofotometria / Método Ácido Fenoldissulfônico – NBR 12620/1992	mg L <sup>-1</sup>
Turbidez	Turbidímetro - Policontrol Ap2000	NTU
Coliformes / E.Coli	Inoculação / 3M Petrifilm 6404	Colônia
Íons metálicos (Ca, Pb, Mn, Mg, Cr, Ni, Cd, Fe, Zn, Cu, Al)	Espectrometria de Absorção Atômica ( <i>Standard Methods for the examination of water and wastewater – APHA 1998</i> ) / Perkin Elmer – Analyst 200	mg L <sup>-1</sup>

Fonte: Próprio autor

*In loco* foram medidos o pH, Temperatura, Condutividade Elétrica (CE), Sólidos Totais Dissolvidos (STD), Oxigênio Dissolvido (OD) e ODSat com o uso de uma sonda Multiparâmetros (HANNA, HI 9828) (Figura 7).

Figura 7 – Medição de pH, Temperatura, CE, STD, OD e ODSat com sonda multiparâmetros em campanha amostral realizada no mês de Maio no Córrego do Gramado



Fonte: Próprio autor



As análises laboratoriais foram realizadas na Central de Laboratórios Didáticos de Química, da Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente – FCT/UNESP, seguindo as metodologias dispostas no Quadro 6.

A análise de DBO, representada pela Figura 8 A, utilizou-se de incubadora à 20 °C e leituras das concentrações iniciais e finais de OD (ANEXO A).

A determinação da DQO, representada pela Figura 8 B, foi realizada por processo de digestão com bloco digestor e a leitura com Espectrofotômetro (ANEXO B).

A concentração de Sólidos Totais seguiu metodologia gravimétrica, (ANEXO C). Utilizando as cápsulas secas no ensaio de Sólidos Totais e a metodologia do Ácido Fenoldissulfônico foi determinada a concentração de Nitrato (ANEXO D).

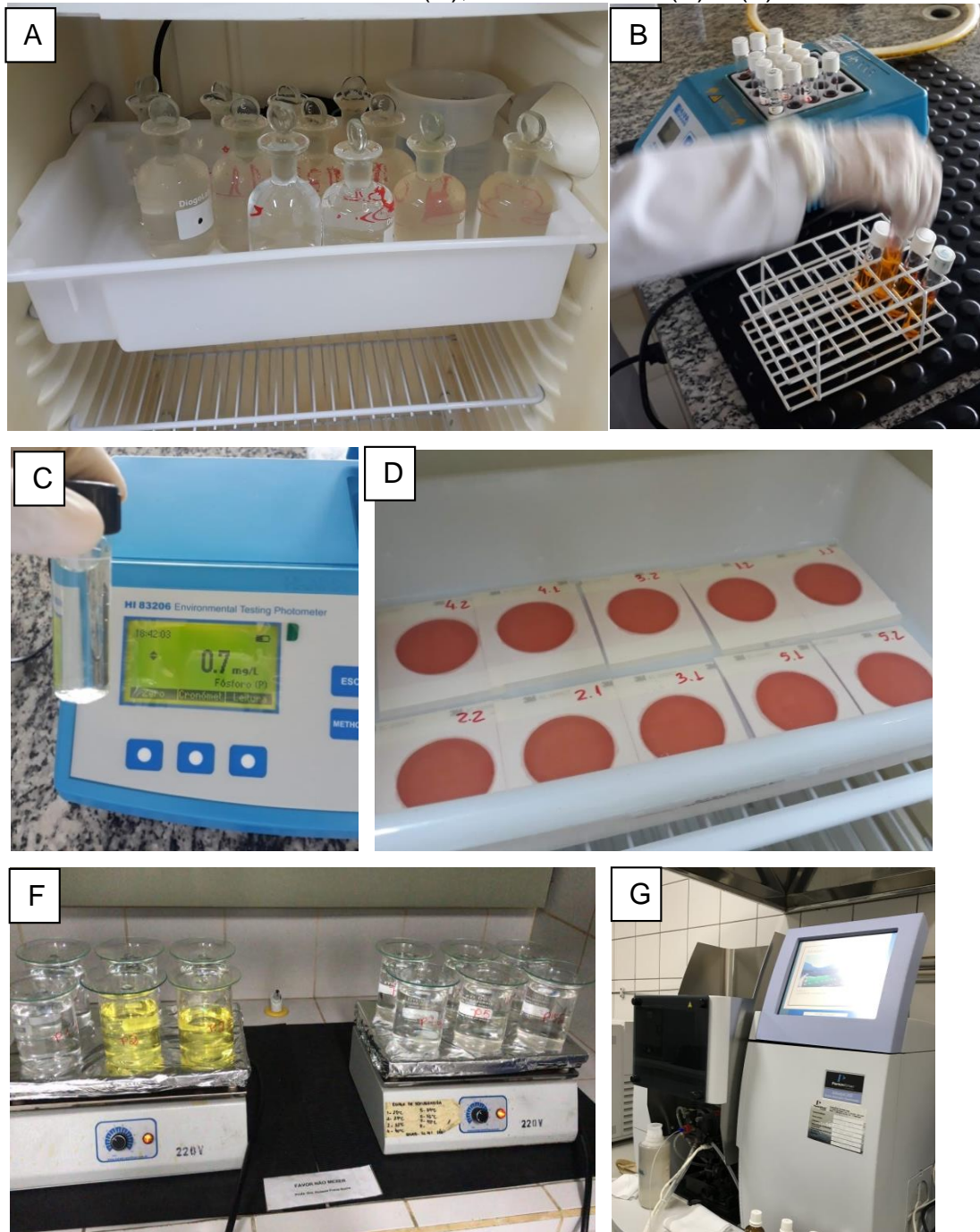
As análises de Fósforo Total, demonstrada pela Figura 8 C, seguiram a metodologia desenvolvida por APHA (1998) e adaptada para o fotômetro HANNA, HI 83206 (ANEXO E).

A turbidez das amostras foi determinada utilizando um Turbidímetro Policontrol (AP 2000) com limite de detecção de 1000 NTU (ANEXO F).

A contagem de Coliformes e E. Coli contou com o uso de placas 3M 6404, em duplicata, representada pela Figura 8 D (ANEXO G).

Para determinar a concentração de Íons Metálicos, as amostras passaram por processo de digestão (Figura 8 F) e a leitura foi realizada com Espectrofotômetro de Absorção Atômica (Figura 8 G) (ANEXO H).

Figura 8 – Procedimentos para ensaios de DBO (A), DQO (B), Fósforo Total (C), Coliformes e E. Coli (D), Íons Metálicos (E) e (F).



Fonte: Próprio autor

#### 4.3 DADOS DE PLUVIOSIDADE

Os dados históricos de precipitação pluviométrica foram coletados no Banco de Dados Hidrológicos do DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo). Para a cidade de Presidente Prudente, foram

coletados dados fornecidos pela Estação de Prefixo D8-003 que contemplam dados de 83 anos (1936-2019), e para a cidade de Adamantina os dados foram fornecidos pela Estação de Prefixo C8-004, em que continham dados de 63 anos (1956-2019).

Os dados coletados para o ano de 2020 estavam disponibilizados em plataformas distintas. Para o município de Presidente Prudente foram utilizados dados obtidos a partir da Estação Meteorológica Automática A-707 disponibilizados na plataforma do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e no município de Adamantina os dados foram disponibilizados pela CIIAGRO (Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas) e APTA (Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios).

Estes dados são ferramentas essenciais para discussão dos resultados obtidos, além de possibilitar que a influência da sazonalidade sobre os parâmetros de qualidade da água seja estudada.

#### 4.4 ANÁLISE DOS DADOS E ELABORAÇÃO DOS ÍNDICES ESTATÍSTICOS

Foram realizadas análises individuais dos parâmetros de qualidade da água, que foram tabulados e apresentados por gráficos gerados com auxílio do *software Origin*. A interpretação dos dados contou com a condição dos dias sem chuva (DSC) inseridos na legenda dos gráficos com a representação de  $\theta$ .

Estes resultados foram confrontados com a Resolução CONAMA nº 357/05, considerando o enquadramento do Córrego do Gramado como classe 2 e o Ribeirão dos Ranchos como classe 4 (SÃO PAULO, 1977). Nesta etapa também foram realizadas estimativas do IQA-NSF, importante para a comparação das metodologias de avaliação da qualidade de água.

Com o banco de dados formado no decorrer de um ano, foram aplicados dois dos testes estatísticos que foram apresentados, sendo eles a ACP e a Análise de *Clusters*. O principal fator limitante para a escolha foi a ausência de normalidade dos dados, que embora seja comum em trabalhos que envolvem estudos ambientais, impossibilita a aplicação da AF e da ANOVA.

Filho; Silva-Júnior (2010), Mencarini (2018) e Unda-Calvo *et al.* (2019) sugerem  $r \geq |0,5|$  como valor considerável para correlação em estudos que



envolvem qualidade de água. Para a investigação dos resultados apresentados pela ACP, foi adotado  $\{r \geq |0,6|\}$  como valor para forte correlação.

Os dados gerados pela aplicação da ACP foram analisados considerando a média histórica de precipitação, em que o ano é dividido em períodos de inverno seco e verão chuvoso, conforme caracterização apresentada posteriormente. Nascimento, Braga e Araújo (2017); Fernandes (2020) corroboram ao considerar que a média histórica em análises estatísticas é primordial para a compreensão da distribuição pluviométrica.

Os autovalores são importantes para a compreensão dos resultados, visto que segundo Ferreira (1996), representam a variância explicada para cada CP.

Nesta pesquisa, foram selecionadas no mínimo 3 (três) componentes principais e que em soma obtivessem 70% da variância total explicada pelos dados (FERREIRA, 1996, GOTELLI; ELLISON 2011, CECCONELLO; CENTENO; GUEDES; 2018).

Após a extração das componentes principais, com base nos estudos de Cecconello; Centeno; Guedes; (2018), foram classificadas as cargas fatoriais em forte correlação quando ( $r > 0,6$ ), média correlação quando ( $0,3 \leq r \leq 0,6$ ) e baixa correlação quando ( $r < 0,3$ ), sendo que para todas as faixas foram considerados os valores em módulo.

Os gráficos disponibilizados pela aplicação da Análise de *Clusters* foram analisados visando a possível escolha de pontos de coleta que possam representar de maneira relevante, os eventos que ocorrem na BH. Esta verificação se dá pela distância euclidiana e pela formação de *clusters*.

Por fim, foi criado um índice customizado para BH de pequeno porte e os resultados obtidos foram comparados com a metodologia aplicada pelo IQA-NSF.

#### 4.4.1 Formulação matemática do $IQA_{BHCG}$ e $IQA_{BHRR}$

Para a criação final dos índices de qualidade de água da BHCG e da BHRR, foi aplicado o método de aglomeração multiplicativa, já adotado por diversos autores no desenvolvimento de índices customizados (LIBÂNIO, 2010; CENTENO, 2017; UNDA-CALVO *et al.*, 2019).

Após a seleção dos parâmetros e em caso de concomitância, foram adotadas as curvas estabelecidas pelo  $IQA_{NSF}$ . Os pesos ( $w_i$ ) adotados para cada

um dos parâmetros foram obtidos por meio de interpolação com os pesos adotados pela NSF. Para as variáveis não contempladas nos índices tradicionais de qualidade, mas que obtiveram scores de boa correlação na ACP, foi adotado uma ponderação específica, aqui denominada Índice de Toxicidade (IT). A Equação 1.13 apresentam a formulação proposta para composição do índice customizado IQA<sub>BH</sub>:

$$IQA_{BH} = \left( \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \right) * IT \quad (1.13)$$

Em que:

$w_i$  é o peso do parâmetro  $i$ ;

$q_i$  são os pontos recebidos pelo parâmetro  $i$  (disponíveis nas curvas de variação de qualidade da NSF);

$n$  é o número de parâmetros;

IT é a componente do índice de toxicidade e caso não ocorra a seleção de nenhuma variável de toxicidade, o IT recebe o valor numérico igual a 1.

Para a definição e cálculo do IT, foram utilizados os moldes aplicados pela CETESB na determinação do IAP.

Os parâmetros selecionados com embasamento nos resultados das técnicas estatísticas receberam curvas de qualidade estabelecendo limite inferior (LI) e limite superior (LS), tais limites constituem dois níveis de qualidade ( $q_i$ ) (Quadro 7). É notável que as classes de enquadramento dos corpos hídricos estudados são distintas e que as normas não estabelecem limites de concentração para íons metálicos em corpos hídricos de Classe 4. Portanto, para a uniformidade das decisões, assim como no IAP, os limites inferior e superior foram determinados pela Portaria de Consolidação nº 888/21 do Ministério da Saúde e padrões de qualidade de água doce de Classe 3 da CONAMA 357/2005 respectivamente.

O íon Cálcio não é contemplado nas duas normativas utilizadas para a criação do IT e para sua utilização seria necessário o estudo da Dureza da água, em que ocorre a associação com o íon Sulfato, que não foi objeto desta pesquisa. Já a CE não foi utilizada diretamente. O IQA desenvolvido neste estudo inclui os

Sólidos Totais que segundo Sperling (2007), englobam as frações de Sólidos Dissolvidos, Sedimentáveis e Suspensos. Estes, por sua vez, estão intimamente ligados à CE.

Os LS e LI dos parâmetros utilizados na criação do IT estão representados no Quadro 7.

**Quadro 7 - Recipientes e tratamento para realização das campanhas amostrais**

Variáveis	Unidade	Limite Inferior	Limite Superior
Chumbo	mg L <sup>-1</sup>	0,010	0,033
Alumínio	mg L <sup>-1</sup>	0,200	2,000
Zinco	mg L <sup>-1</sup>	5,00	5,900

Adaptado de CETESB

O cálculo de IT recebeu a seguinte formulação:

$$IT_{BH} = \bar{X}(q_{Al}; q_{Zn}) * q_{Pb} \quad (1.14)$$

Em que:

$q$  é a faixa de variação de qualidade, determinada por

$$q_i = 0,5 \frac{(\text{Valor medido} - \text{Limite inferior})}{(\text{Limite superior} - \text{Limite inferior})}$$

Os resultados obtidos foram classificados nas mesmas categorias de qualidade utilizada pela NSF, cujos intervalos e cores de referência estão apresentados no Quadro 8. Dessa forma, para comparar com os resultados que foram calculados do IQA<sub>NSF</sub>, para verificar correspondências ou divergências.

**Quadro 8 - Classificação da qualidade da água em função do IQA<sub>BH</sub>**

<b>Intervalo do IQA</b>	<b>Nível de Qualidade</b>	<b>Cor de referência</b>
IQA > 90	Excelente	Azul
70 < IQA ≤ 90	Bom	Verde
50 < IQA ≤ 70	Médio	Amarelo
25 < IQA ≤ 50	Ruim	Laranja
0 < IQA ≤ 25	Muito Ruim	Vermelho

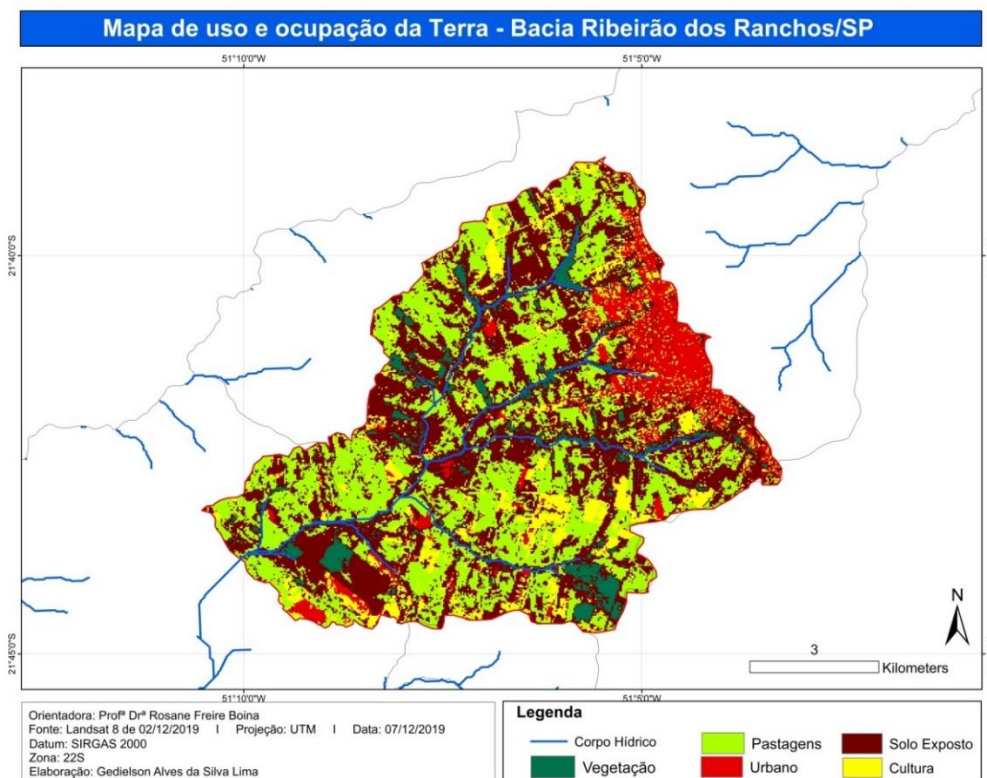
Adaptado de Sperling, 2007

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 CARACTERÍSTICAS DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NAS BH DO RIBEIRÃO DOS RANCHOS E CÓRREGO DO GRAMADO

A classificação do uso e ocupação da terra na Bacia Hidrográfica do Ribeirão dos Ranchos (BHRR) resultou em 5 classes, representadas na Figura 9. As áreas classificadas como solo exposto 42,20%, pastagens 34,59% e vegetação 4,72% foram destacadas (Tabela 3).

Figura 9 – Mapa de Uso e ocupação da terra – BH Ribeirão dos Ranchos



Fonte: Próprio autor

Nas margens do Ribeirão dos Ranchos existem pontos sem a preservação da APP. Estão instaladas uma ETE, com tratamento de 100% do esgoto do município e uma indústria de reciclagem animal. Além destes, os loteamentos existentes na cabeceira de drenagem, comprovam que o município possui tendência de crescimento na direção da rede de drenagem natural, o que, certamente, poderá trazer impactos importantes para esse curso d'água.

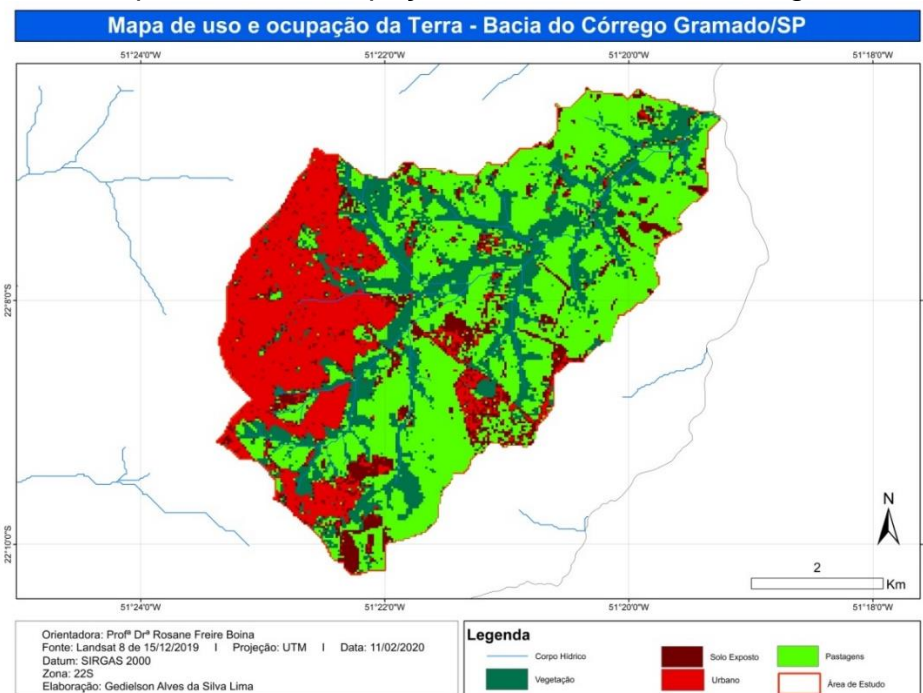
Tabela 3 - Quantificação das classes de uso e ocupação da terra - Bacia do Ribeirão dos Ranchos - Adamantina/SP

Uso do solo	Área (km <sup>2</sup> )	% Relativa ao total
<b>Vegetação</b>	3,58	4,72
<b>Urbano</b>	6,80	8,96
<b>Pastagens</b>	26,24	34,59
<b>Solo Exposto</b>	32,02	42,20
<b>Cultura</b>	7,23	9,53

Fonte: Próprio autor

Os resultados da classificação do uso e ocupação da terra para a Bacia Hidrográfica do Córrego do Gramado (BHCG) apresentaram apenas 4 categorias, conforme demonstra a Figura 10. Das categorias registradas, a área de pastagens com 44,92% e a área urbana (composta por residências e o distrito industrial) com 23,23% possuem maior representatividade (Tabela 4).

Figura 10 – Mapa de Uso e ocupação da terra – BH do Córrego do Gramado



Fonte: Próprio autor

Tabela 4 - Quantificação das classes de uso e ocupação da terra - Bacia do Córrego do gramado – Presidente Prudente/SP

<b>Uso do solo</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>% Relativa ao total</b>
<b>Vegetação</b>	6,45	22,67
<b>Urbano</b>	6,61	23,23
<b>Solo Exposto</b>	2,61	9,18
<b>Pastagens</b>	12,78	44,92

Fonte: Próprio autor.

Na área urbana, um grande destaque deve ser aplicado ao distrito industrial.

O Distrito Industrial “Antônio Crepaldi” é um complexo composto por indústrias de embalagens, óleos lubrificantes, argamassa, materiais de limpeza, bebidas e estruturas metálicas, distribuídas em 44,54 km<sup>2</sup> de extensão e desta área, 6,61 km<sup>2</sup> estão inseridos na BHCG (PULIDO E RIZK, 2015). As atividades industriais desta BH são geradoras de diversos tipos de resíduos que podem incorrer em problemas ambientais, em especial aos mananciais superficiais e ainda nas águas subterrâneas.

Na BHCG existe ainda um aterro controlado que historicamente funcionou como “lixão” e, então, recebeu diversos tipos de rejeitos sem o mínimo tratamento do solo (PULIDO; RIZK, 2015). Leite et. al (2021) inferem que áreas com disposição inadequada de resíduos sólidos podem interferir negativamente na qualidade d’água, sobretudo com a redução de OD, a acidificação do pH e o aumento da carga de P.

As BH’s possuem aspectos semelhantes, tais como, a concentração urbana na cabeceira de drenagem, ampla área com pastagens e as áreas com vegetação preservada são baixas. Portanto, nas duas BHs, campanhas para a reestruturação das APPs, bem como, ações para o uso e ocupação adequado da terra e estudos na área de qualidade das águas são imprescindíveis para a preservação dos corpos hídricos.

Considerando os aspectos de ocupação, é possível pontuar que na BHRR são esperadas altas concentrações de sólidos que conseqüentemente alteram os valores de turbidez, além de grande concentração de microrganismos do grupo Coliformes. Já na BHCG os íons metálicos poderão ter proeminência, pois segundo Tripathi e Singal (2018) e Ustaoglu, Tepe e Taş (2020) o uso e ocupação possuem relação direta com os distúrbios notados nos parâmetros de qualidade da água que por sua vez influenciam o uso preponderante do corpo hídrico.

## 5.2 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE ÁGUA

Foram apresentados dados de toda a campanha amostral que ocorreu entre os meses de janeiro e dezembro do ano de 2020, compilando 6 meses de dados para cada BH.

O primeiro ponto apresentado refere-se aos dados de precipitação. A inclusão destes dados é relevante para a compreensão de sua contribuição na possível diluição de algumas substâncias ou no escoamento superficial, em que o uso e ocupação de suas margens tem efeitos na alteração dos parâmetros de qualidade.

### 5.2.1 Dados de Precipitação Pluviométrica

Os parâmetros que definem a qualidade da água sofrem influências espaciais e sazonais (OLIVEIRA, 2007; DEGIGE *et al.* 2019). Segundo Lima *et al.* (2018), os períodos chuvosos proporcionam alterações nos parâmetros de qualidade por meio do escoamento superficial que transporta sedimentos depositados pela BH e proporciona a ressuspensão de material particulado depositado no fundo dos corpos hídricos.

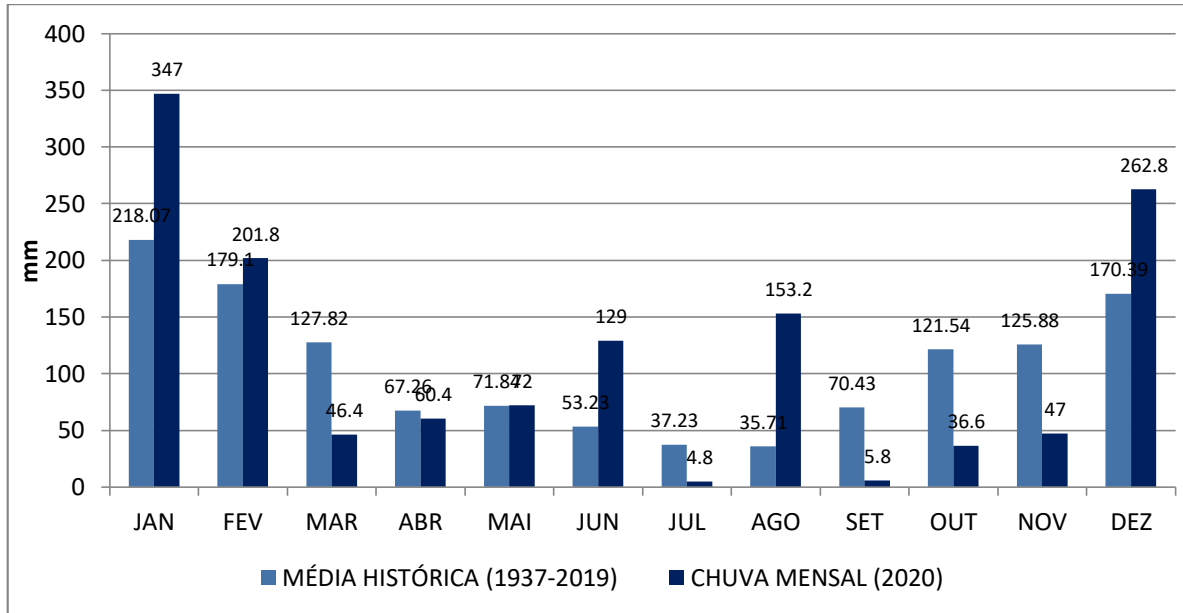
Historicamente, as variações sazonais dos dois municípios possuem comportamento uniforme com períodos secos (abril a setembro) e chuvosos (janeiro a março e outubro a dezembro) bem definidos.

O início do ano de 2020, no município de Presidente Prudente (Figura 15) foi caracterizado por precipitações acumuladas acima da média histórica (1937–2019). Porém, o fator de maior destaque deu-se nos meses de junho e agosto, em



que as precipitações registradas foram acima da média histórica em 142,34% e 329,01% respectivamente, mesmo nos meses que são comumente secos.

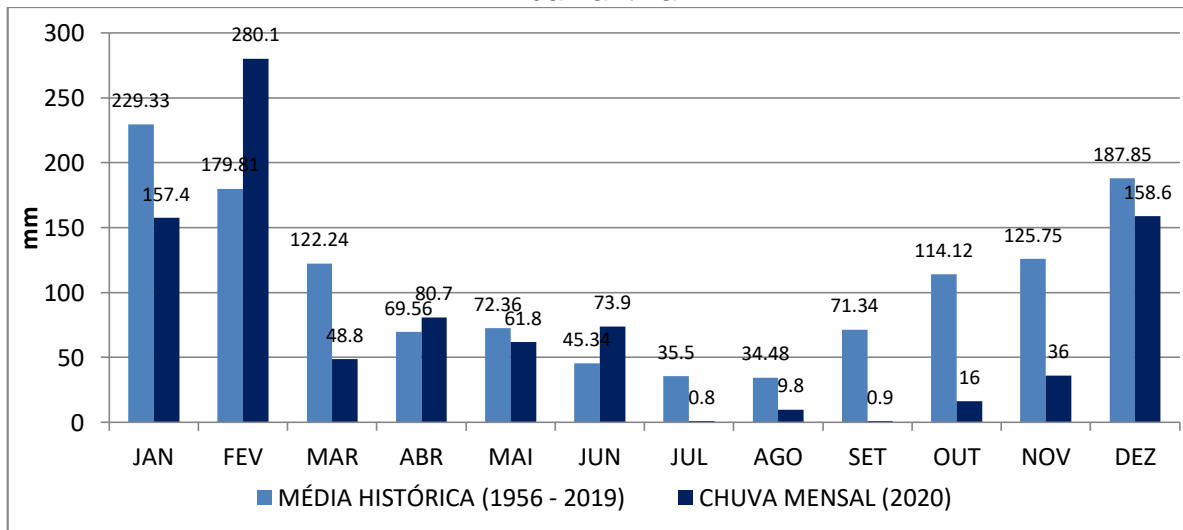
Figura 15 – Dados de Precipitação ao longo do período de monitoramento em Presidente Prudente.



Fonte: Próprio autor

O município de Adamantina (Figura 16) acompanhou o comportamento histórico de maior precipitação nos primeiros meses do ano, mas no mês de fevereiro ultrapassou a média histórica (1956-2019) em 100,29 mm.

Figura 16 – Dados de Precipitação ao longo do período de monitoramento em Adamantina.



Fonte: Próprio autor

## 5.2.2 Características Físico-Químicas

### *pH*

A Resolução CONAMA nº 357/05 estabelece para todas as classes de enquadramento dos corpos hídricos a faixa de pH entre 6,0 e 9,0 visando a preservação da biota (BRASIL, 2005).

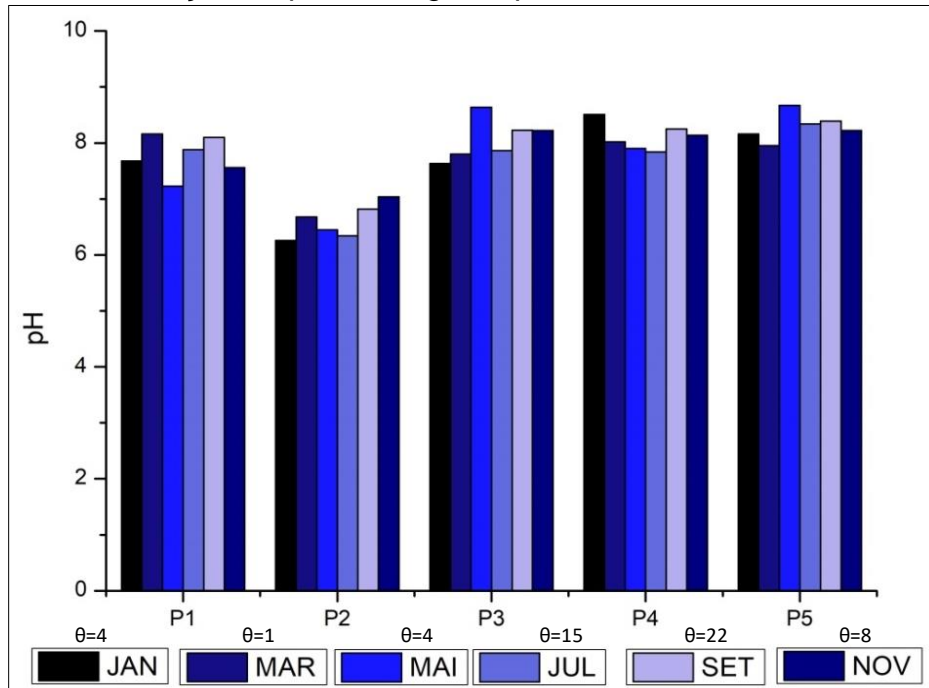
Durante o período apresentado, o valor do pH atendeu a legislação nas duas BH estudadas, com exceção do ponto P2 da BHRR no mês de abril (Figura 18). Conforme descrito na caracterização da área de estudo, este ponto está à jusante de indústrias e de um lixão desativado. As chuvas (26,90 e 2,00 mm) que antecederam a coleta das amostras do mês de abril podem ter influenciado na alteração do parâmetro por meio do escoamento superficial.

A BHCG (Figura 17) possui como destaque os valores registrados no ponto P2 que, em relação aos outros pontos, obteve os menores valores de pH, mas dentro do limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/05. O pH médio para o ponto foi de 6,60 sendo o menor valor registrado no mês de janeiro com 6,26.

O pH é determinado pela presença de íons  $H^+$  e é um parâmetro que possui influência direta na existência de vida aquática. (BRASIL, 2014; EFFENDI; ROMANTO; WARDIATNO, 2015).

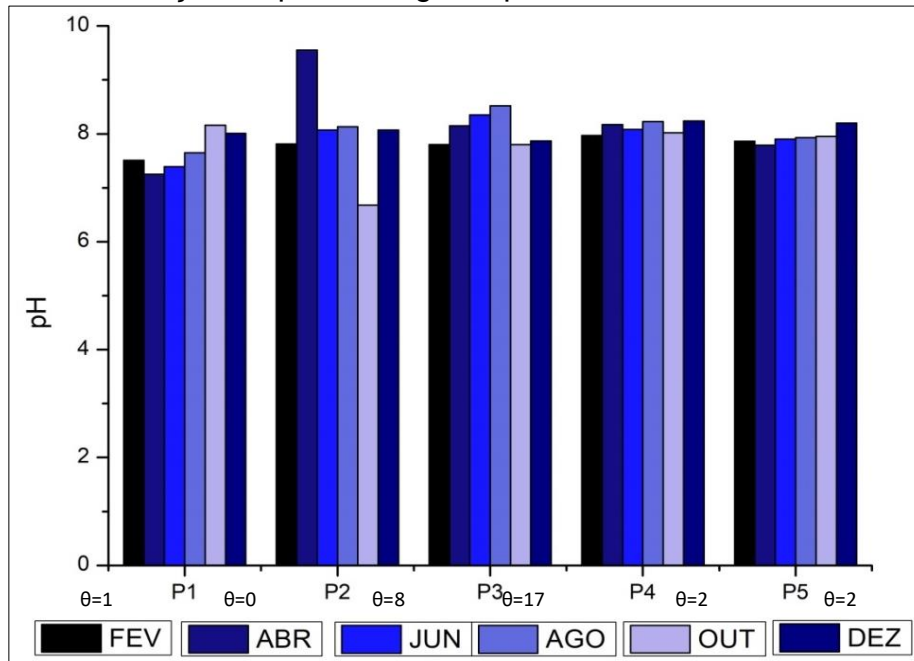
A importância do parâmetro ocorre pela influência na solubilidade de substâncias químicas e ainda por sua capacidade de influenciar o potencial tóxico de diversos elementos químicos (CETESB, 2020). Tais fatores corroboram para que nos pontos estudados fosse verificada a ausência de vida aquática, mesmo que atendam as normas, nos períodos de chuva ocorrem.

Figura 17 – Variação do pH ao longo do período de monitoramento - BHCG



Fonte: Próprio autor

Figura 18 – Variação do pH ao longo do período de monitoramento - BHRR



Fonte: Próprio autor

### Temperatura

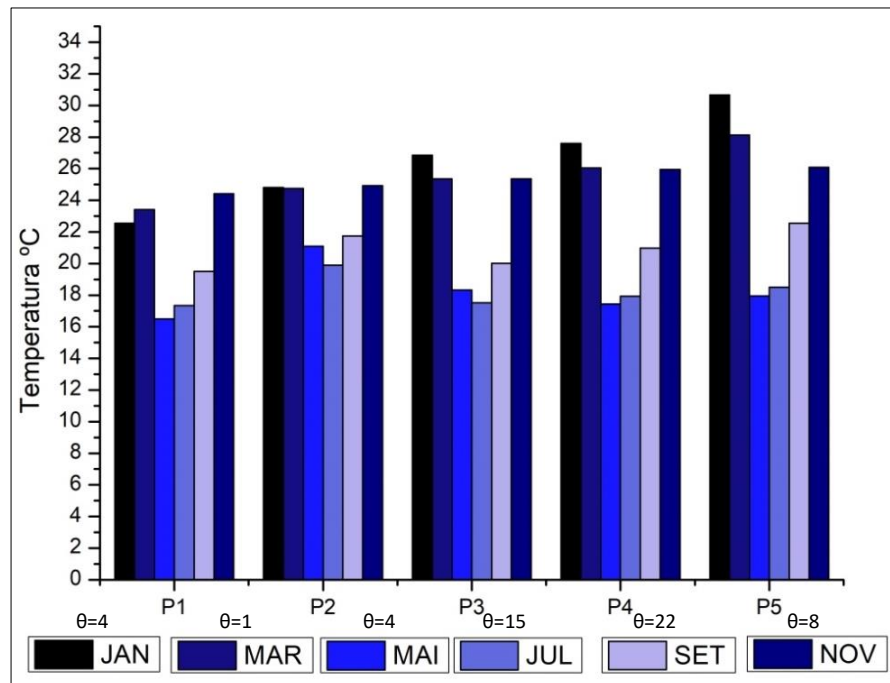
Nas duas BHs a influência sazonal sobre a temperatura pode ser claramente observada. A partir do mês de abril a queda de temperatura é constatada, reforçando a divisão entre as estações e, portanto, indicando a caracterização do inverno.

A temperatura média das amostradas coletadas na BHCG (Figura 19) foi de 22,47 °C, com os maiores valores registrados de 30,66 °C no ponto P5 no mês de Janeiro. Já na BHRR (Figura 20), a temperatura média nas amostras foi de 21,15 °C e o maior valor registrado deu-se no ponto P5, com 26,67 °C.

É possível concluir que parte das variações da temperatura são de influência sazonal. Barakat *et al.* (2018) corroboram para esta conclusão, pois correlacionaram o aumento da temperatura das amostras com a sazonalidade, isto é, com os meses mais quentes do ano de 2016 em que estudaram a qualidade da água em nascentes localizadas no Marrocos.

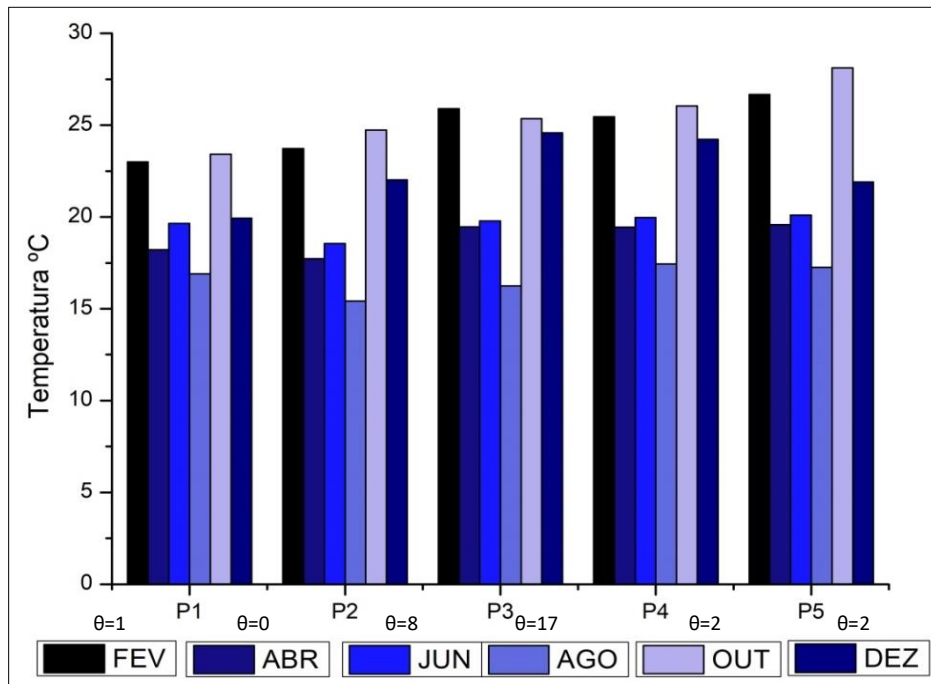
As temperaturas aferidas a partir do ponto P4 da BHRR apontam diretamente para a influência do lançamento da ETE e este fator é importante, visto que é parte dos parâmetros da Resolução CONAMA nº 430/2011 como um dos fatores limitantes para o lançamento de efluentes, visando a proteção da vida aquática (BRASIL, 2011).

Figura 19 – Variação da temperatura ao longo do período de monitoramento - BHCG



Fonte: Próprio autor

Figura 20 – Variação da temperatura ao longo do período de monitoramento - BHRR



Fonte: Próprio autor

Além da influência sazonal o gradiente da temperatura também se relaciona com o tempo para percorrer a BH durante a campanha amostral. Em ambas BH's as coletas foram realizadas de acordo com a ordem dos pontos amostrais e o tempo médio para realizar a coleta foi de uma hora, conseqüentemente, os últimos pontos apresentam maior valor do que seus antecessores.

### Condutividade Elétrica

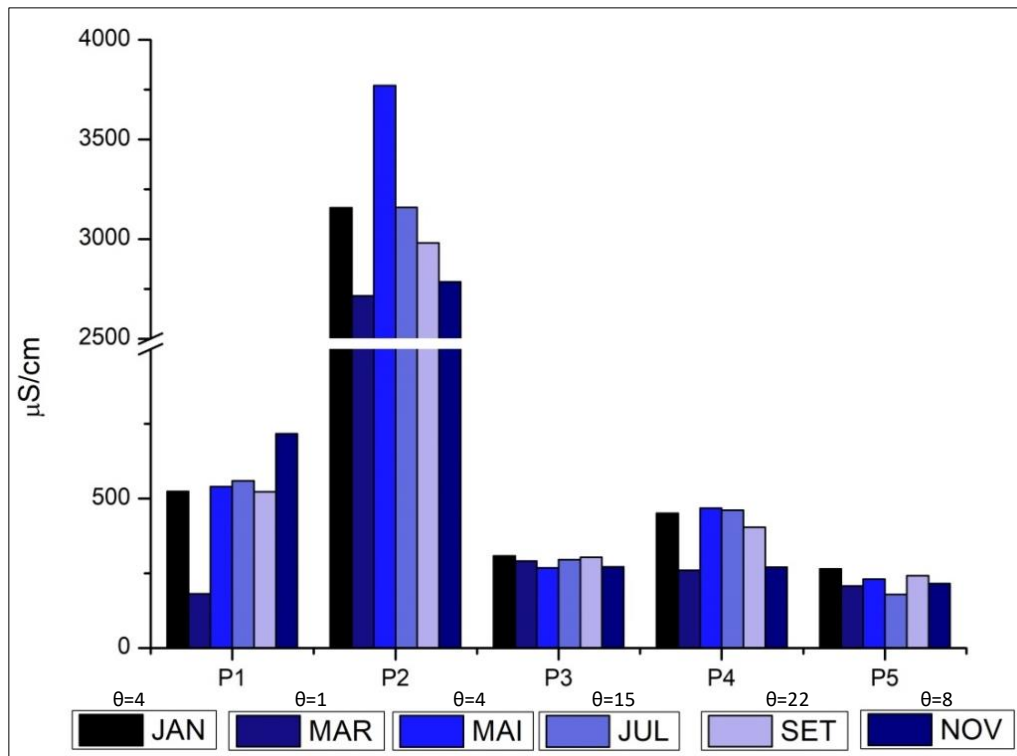
A CE (condutividade elétrica) representa a possível transmissão de corrente elétrica por meio de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions em corpos d'água (FUNASA, 2014).

As normativas não contemplam este parâmetro especificamente, mas Brasil (2006) cita que águas naturais apresentam teores de CE na faixa de 10 a 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e, em ambientes poluídos podem chegar a 1.000  $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ .

A BHCG apresentou maior CE no ponto P2 (Figura 21), onde historicamente existem problemas ambientais gerados pelas indústrias que compõem o distrito industrial. A média do valor aferido no ponto P2 é de 3094,50  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e novamente a influência sazonal no estudo dos parâmetros é comprovada, visto que nas campanhas realizadas após a ocorrência de chuvas o valor de CE é reduzido.

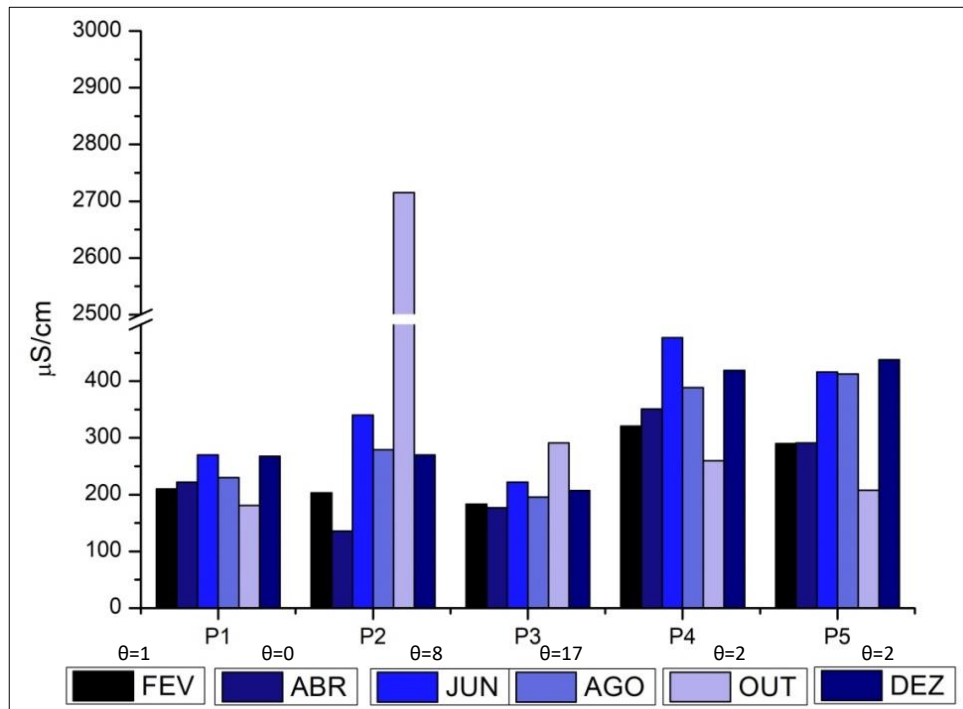
A influência causada pela sazonalidade na BHRR (Figura 22) auxilia na comprovação de que o uso e ocupação da terra são responsáveis pelo aumento da CE. A campanha amostral realizada em junho, com 8 DSC e a redução do volume precipitado no mês (73,9 mm), resultou no aumento da CE em 25% em relação a média, reforçando que a contribuição da BH sobre o parâmetro é constante. Além disto, o ponto P4, localizado à jusante da ETE, apresenta aumento da CE em todas as campanhas amostrais, demonstrando a influência pontual da atividade antropogênica sobre o parâmetro.

Figura 21 – Variação da condutividade elétrica ao longo do período de monitoramento - BHCG



Fonte: Próprio autor

Figura 22 – Variação da condutividade elétrica ao longo do período de monitoramento - BHRR



Fonte: Próprio autor

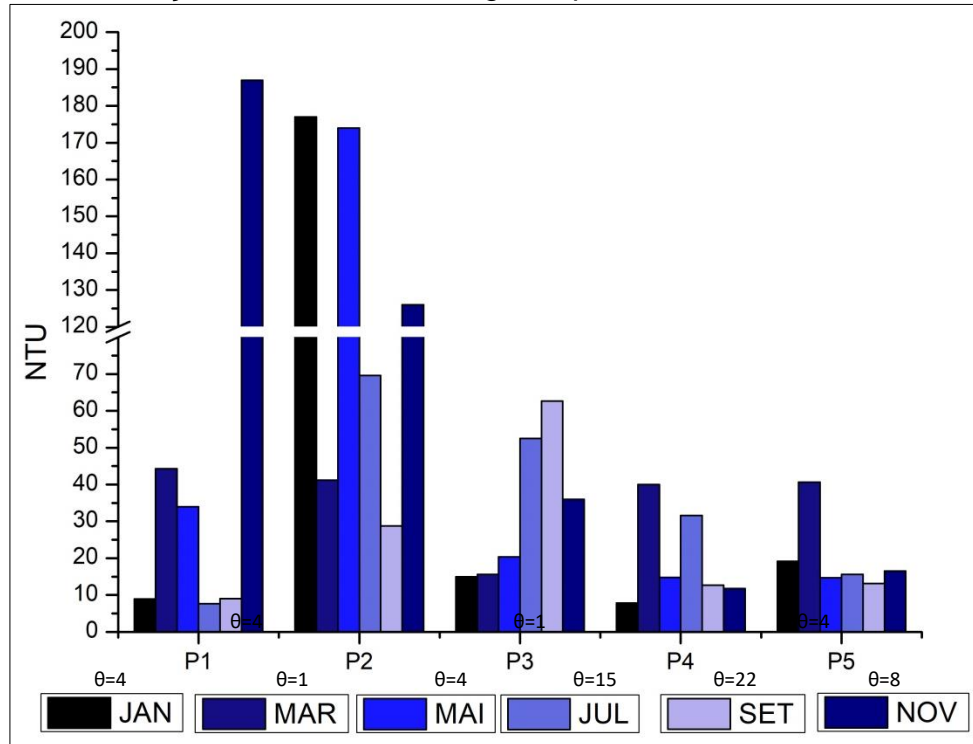
### *Turbidez*

A turbidez é medida pelo grau de interferência à passagem de luz através do líquido (BRASIL, 2014). Os valores detectados são maiores em áreas com solo com suscetibilidade à erosão, característica observada nos pontos 3 a 5 da BHRR (Figura 24). Esses resultados demonstram ligação com o parâmetro de sólidos dissolvidos, que por meio do escoamento superficial são carregados para o corpo hídrico (LIBÂNIO, 2010; USTAOĞLU; TEPE; TAŞ. 2019).

A Resolução CONAMA nº 357/2005 determina o valor máximo de turbidez para corpos hídricos de classe 2 em 100 NTU (BRASIL, 2005). No presente estudo, o ponto P2 da BHCG, nos meses de janeiro, maio e novembro, não atendeu a legislação (Figura 23), ultrapassando o limite em 43,50, 42,53 e 20,63%, respectivamente.

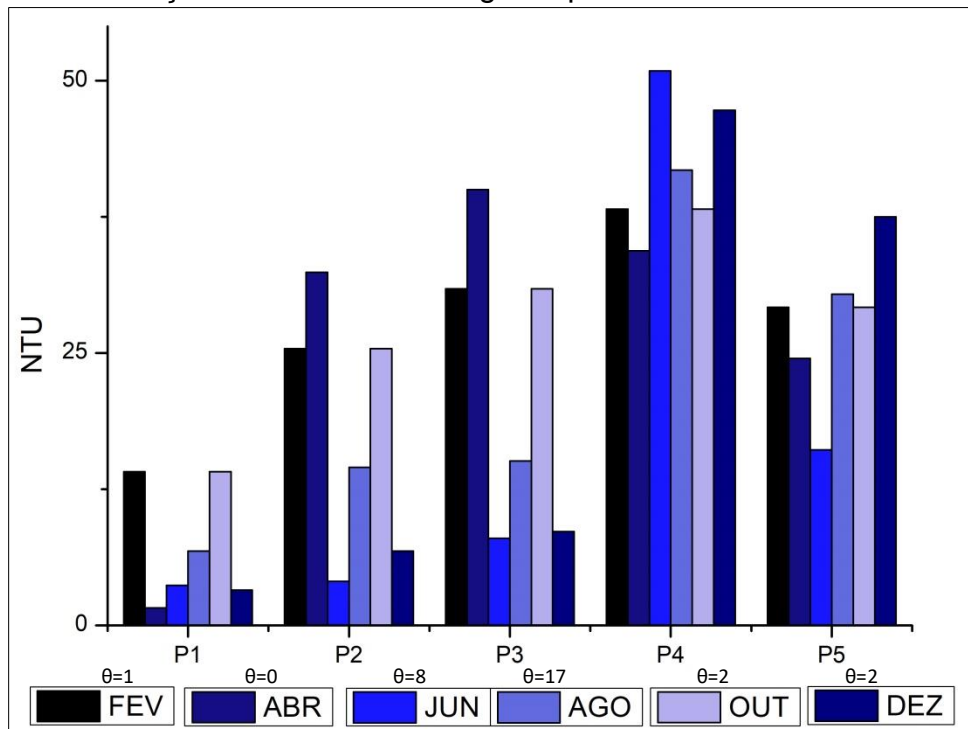
A legislação não contempla limite para Turbidez em corpos hídricos de Classe 4. Porém, ao comparar os resultados da BHRR com o limite definido para Classe 2, os valores atendem a resolução (Figura 24). Os maiores valores registrados foram no ponto P4, localizado a jusante da ETE, com média de 41,80 NTU, sendo o maior valor registrado no mês de junho (50,9 NTU).

Figura 23 – Variação da turbidez ao longo do período de monitoramento - BHCG



Fonte: Próprio autor

Figura 24 – Variação da turbidez ao longo do período de monitoramento - BHRR



Fonte: Próprio autor



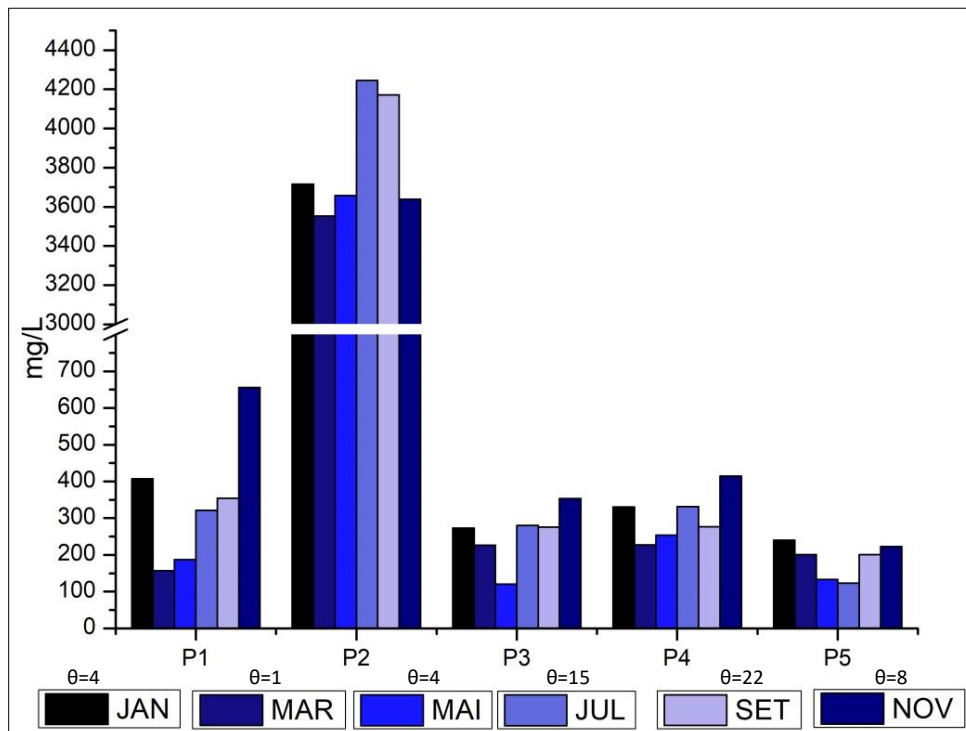
### 5.2.3 Características Químicas

#### Sólidos

Na BHCG o efeito da diluição é notado com a maior concentração de sólidos nos meses em que houve mais DSC (Figuras 25, 27 e 29). Este fator foi observado por Effendi; Romanto; Wardiatno. (2015) e seus estudos destacaram que a concentração de sólidos aumentou com o aumento dos DSC, pois com a incidência de chuvas ocorre o efeito da diluição.

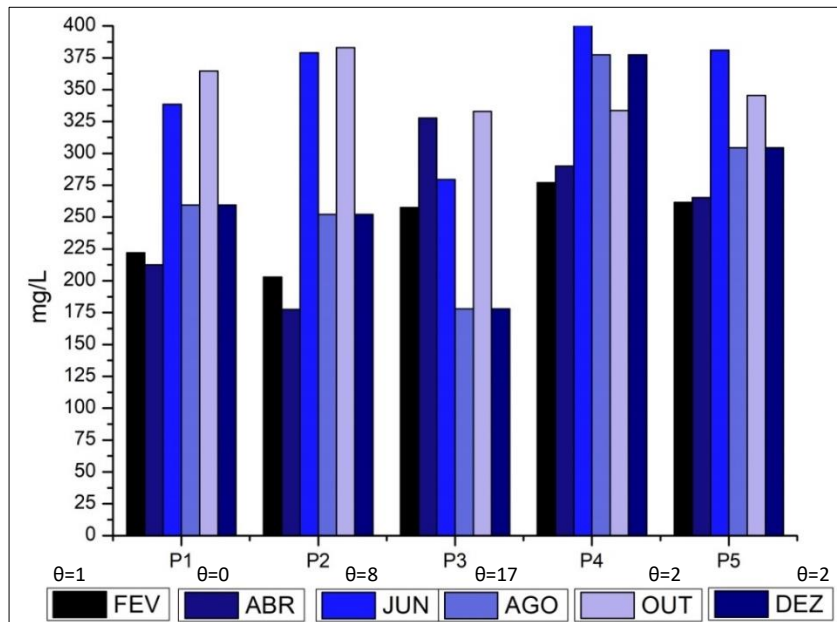
Já os dados coletados na BHRR denotam a existência de fatores pontuais que contribuem com o aumento dos sólidos. Em dois meses de coleta foram realizadas obras em pontes, elevando no mês de junho as concentrações de sólidos em todos os pontos amostrais (Figuras 26, 28 e 30). Mencarini (2018) e Ustaoglu; Tepe; Taş (2019), favorecem estas observações, pois obras civis realizadas no entorno da BH propiciaram concentrações elevadas nas frações de sólidos estudadas.

Figura 25 – Variação dos Sólidos Totais ao longo do período de monitoramento - BHCG



Fonte: Próprio autor

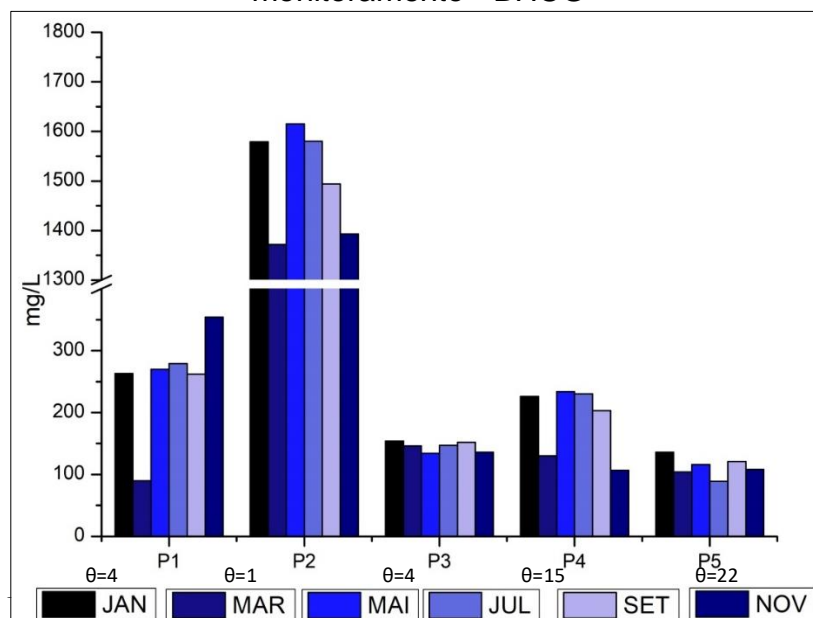
Figura 26 – Variação dos Sólidos Totais ao longo do período de monitoramento - BHRR



Fonte: Próprio autor

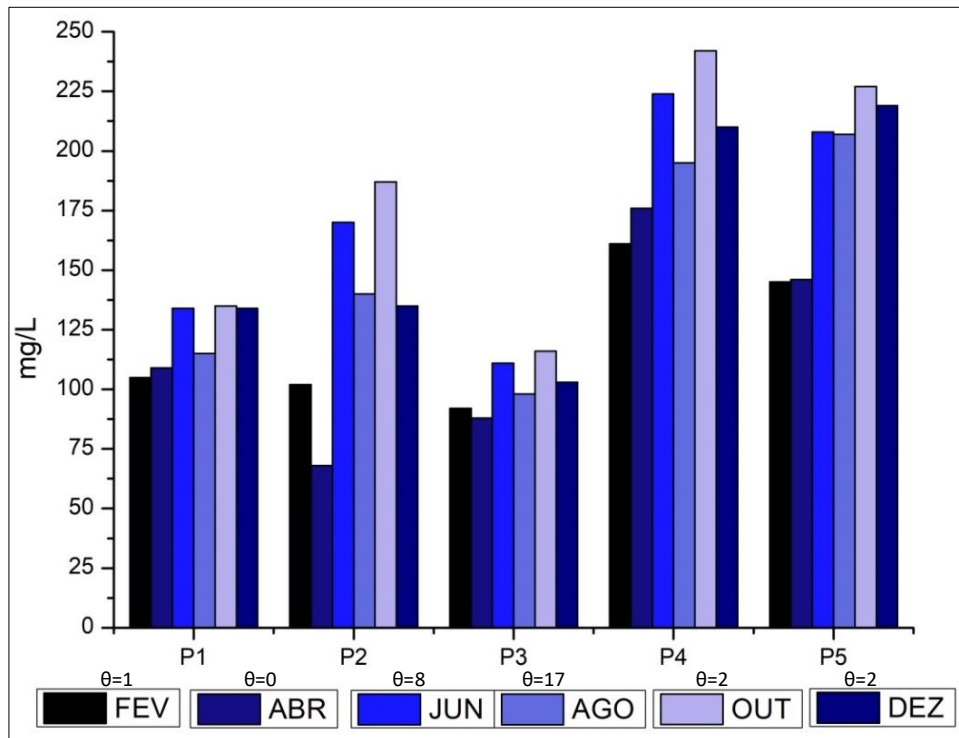
Na legislação vigente são estabelecidos limites para a concentração de Sólidos Dissolvidos Totais em corpos hídricos enquadrados nas classes 1, 2 e 3, com limite de concentração máxima  $500 \text{ mg L}^{-1}$  (BRASIL, 2005). Portanto, deve-se destacar o ponto P2 da BHCG, em que foram aferidas concentrações superiores a  $1500 \text{ mg L}^{-1}$  em Janeiro, Maio e Julho (Figura 27).

Figura 27 – Variação dos Sólidos Dissolvidos Totais ao longo do período de monitoramento - BHCG



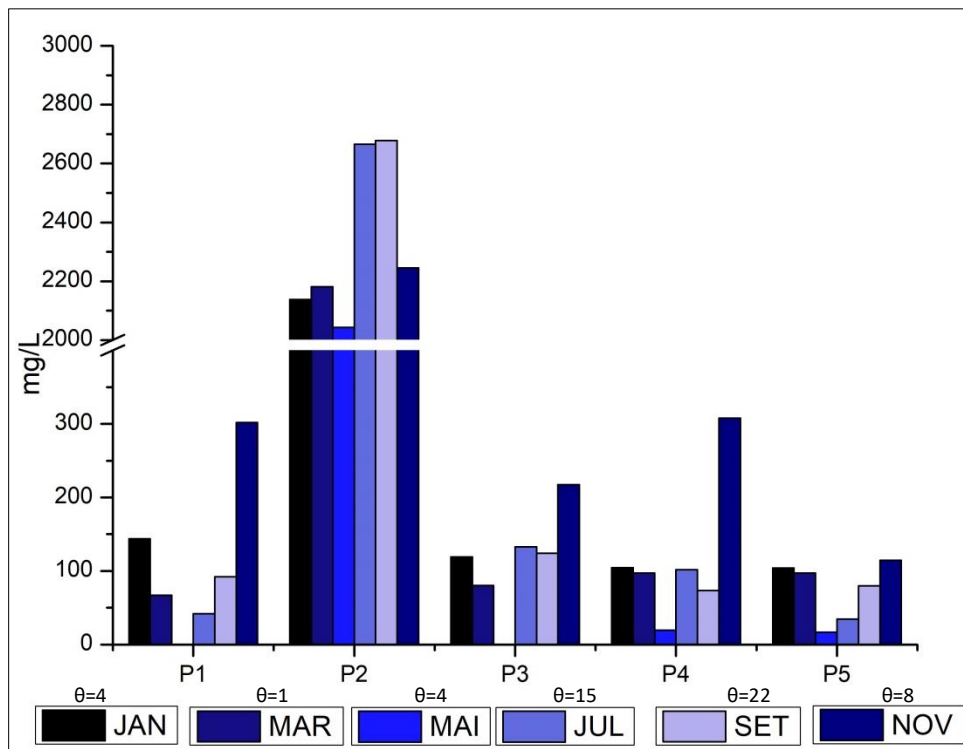
Fonte: Próprio autor

Figura 28 – Variação dos Sólidos Dissolvidos Totais ao longo do período de monitoramento - BHRR



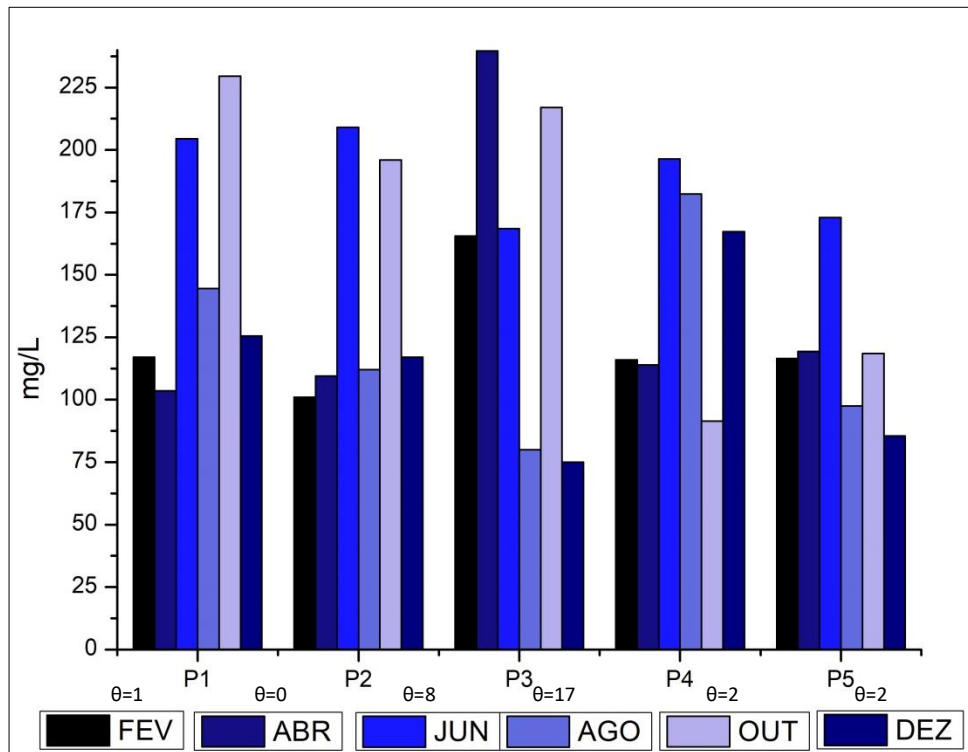
Fonte: Próprio autor

Figura 29 – Variação dos Sólidos Suspensos ao longo do período de monitoramento - BHCG



Fonte: Próprio autor

Figura 30 – Variação dos Sólidos Suspensos ao longo do período de monitoramento - BHRR



Fonte: Próprio autor

### OD e ODSat

A Resolução CONAMA nº 357/05 adota a concentração mínima de 5 mgO<sub>2</sub>/L e 2 mgO<sub>2</sub>/L para as classes de enquadramento 2 e 4 respectivamente (BRASIL, 2005).

De acordo com a legislação apresentada, os principais pontos a serem observados na BHCG (Figuras 31 e 33) são P1, P2 e P4, com baixas concentrações nos meses de março e maio. O ponto P2 foi o local com a menor concentração de OD aferida, com média de 1,54 mg L<sup>-1</sup>, o que comprova que as atividades antropogênicas de suas margens são responsáveis pelos dados encontrados.

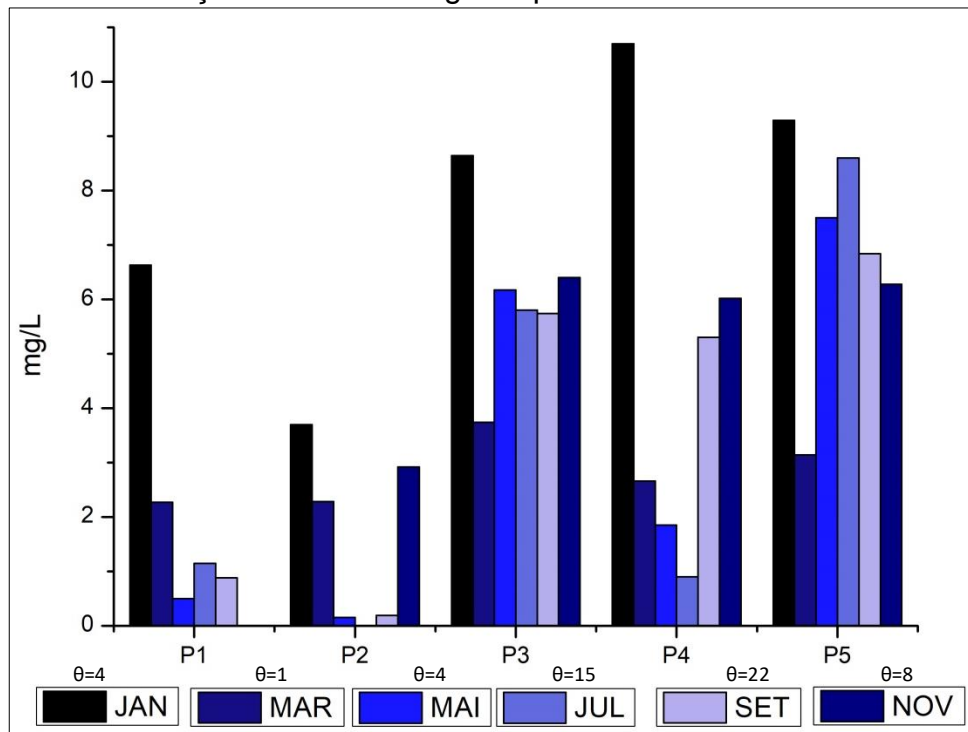
Na BHRR (Figuras 32 e 34), as concentrações de OD encontram-se acima do limite mínimo disposto na legislação, com atenção para o ponto P4 que possui o lançamento da ETE e a oxidação da matéria orgânica corrobora para a queda da concentração de OD.

Nas duas BH's verifica-se a recuperação do OD com o aumento da distância das áreas urbanas. Porém, na BHRR o lançamento da ETE faz com que os resultados obtidos no ponto P4 seja reduzido na ordem de 25% em relação ao

ponto anterior. Além deste fator, nos pontos P3 e P4 da BHCG e P4 e P5 da BHRR o leito é irregular, com pedregulhos e saltos naturais nas proximidades aos locais de coleta que auxiliam na inserção de  $O_2$  no meio e aumento da saturação.

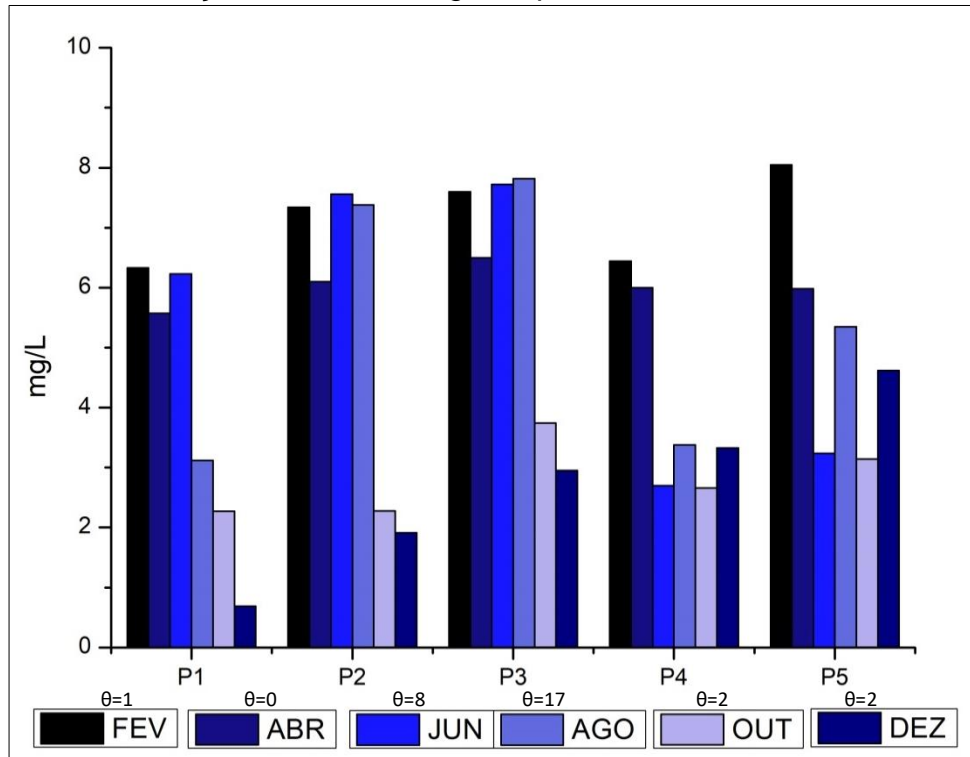
O OD é primordial para a existência de vida aeróbia em corpos hídricos e o decréscimo de sua concentração advém da estabilização de matéria orgânica por meio de bactérias aeróbias envolvidas no processo (SPERLING, 1996). Desta forma, os principais redutores do teor de OD e da saturação de OD em corpos d'água são os lançamentos de efluentes com elevada concentração de material orgânico e nitrogenados advindos de atividades antropogênicas. Estes fatos foram observados nas BH's estudadas, pois na medida em que os pontos alocados se afastam da aglomeração urbana ou de instalações industriais, o valor aferido é maior.

Figura 31 – Variação de OD ao longo do período de monitoramento - BHCG



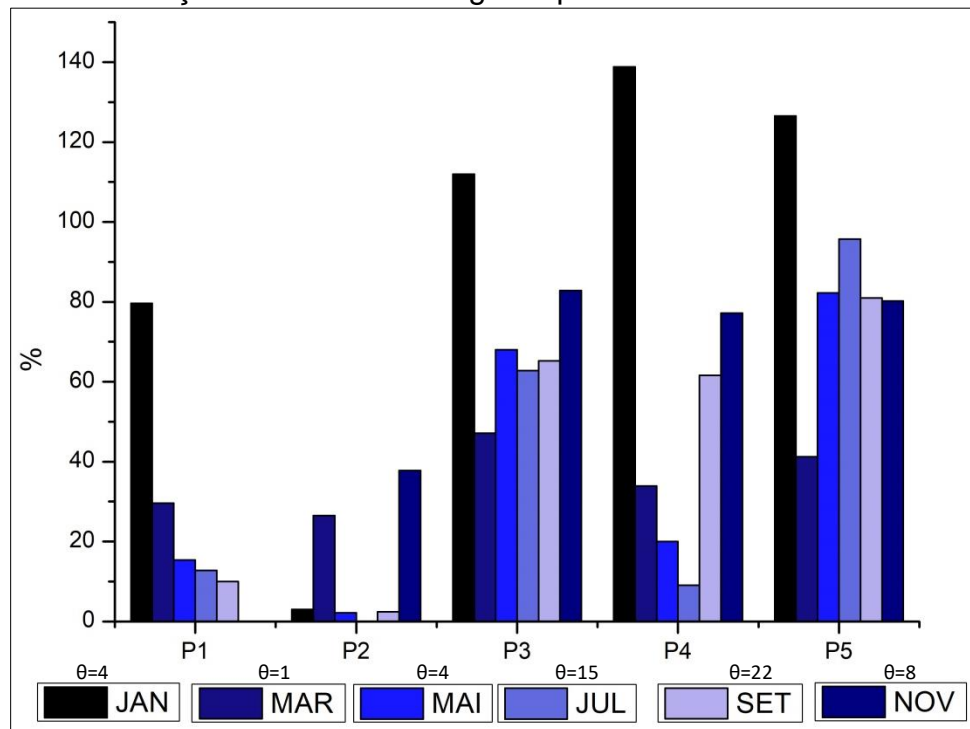
Fonte: Próprio autor

Figura 32 – Variação de OD ao longo do período de monitoramento - BHRR



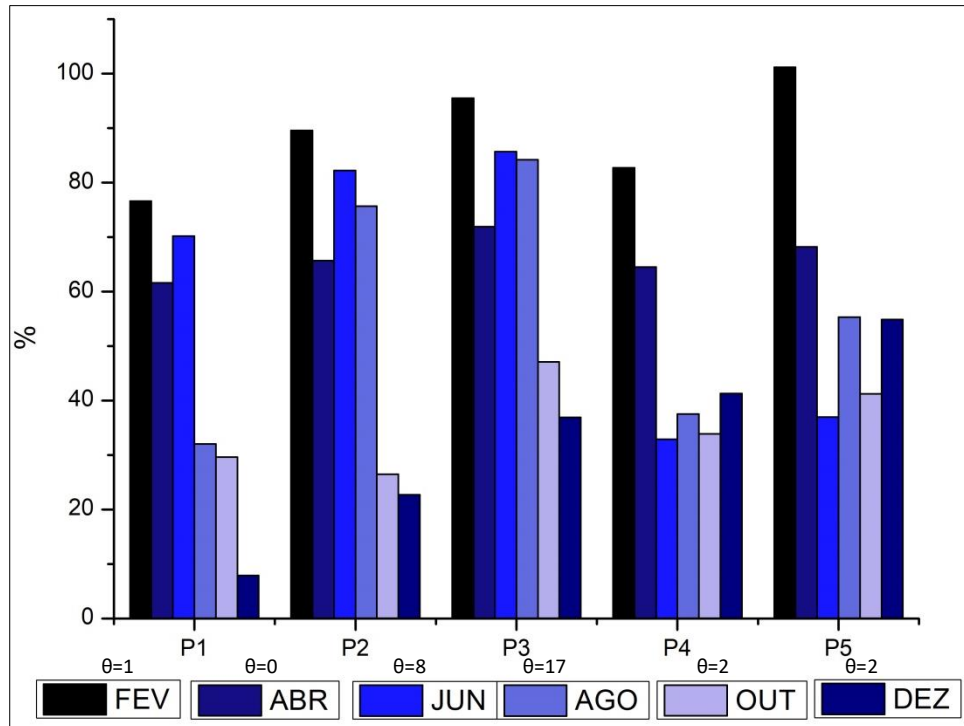
Fonte: Próprio autor

Figura 33 – Variação de ODSat ao longo do período de monitoramento - BHCG



Fonte: Próprio autor

Figura 34 – Variação de Odsat ao longo do período de monitoramento - BHRR



Fonte: Próprio autor

### Fósforo Total

Nas águas, o fósforo pode ser apresentado como ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico que são oriundos de fontes naturais (decomposição de matéria orgânica) ou antropogênicas (detergentes, excrementos de animais, fertilizantes, além de despejos domésticos e industriais) (SPERLING, 1996).

A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece que a concentração máxima de Fósforo como 0,030 mg L<sup>-1</sup> e 0,050 mg L<sup>-1</sup> para ambientes lóticos (ambientes aquáticos de água corrente) e intermediários (tempo de residência entre 2 e 40 dias) respectivamente enquadrados na classe 2, como o Córrego do Gramado. Os cursos d'água estudados são ambientes lóticos e, pelas suas características, a BHRR não se enquadra nos limites estabelecidos (BRASIL, 2005).

Na BHGC (Figura 35), todos os pontos apresentaram concentrações superiores aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para Fósforo Total.

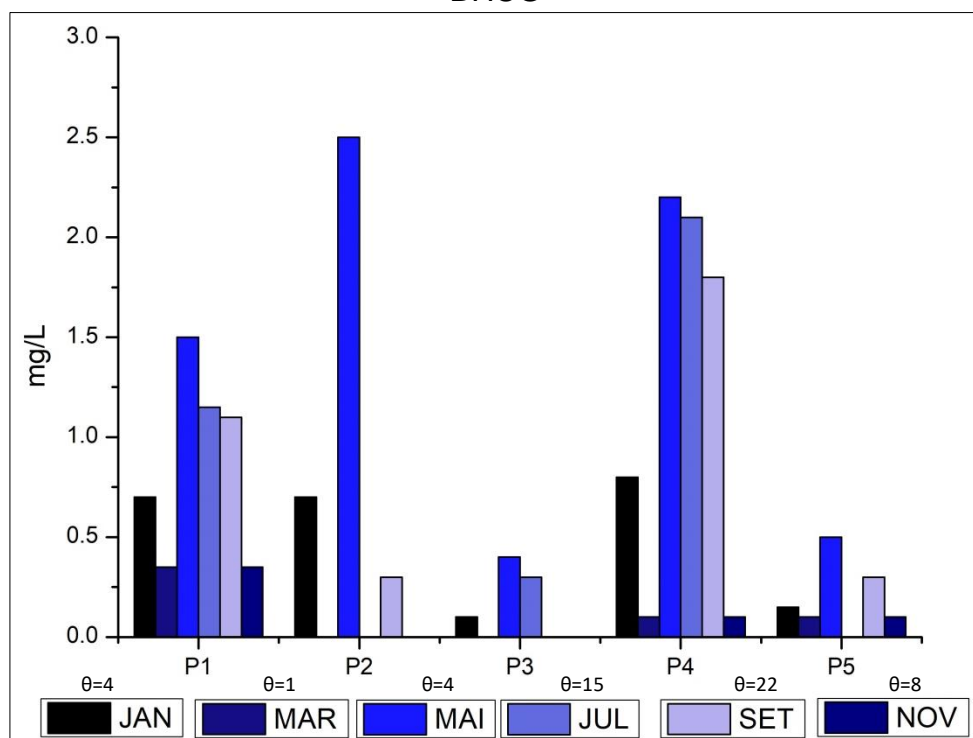
Uma das características da BHRR (Figura 36) é a presença de pastagens, que favorece o acréscimo de fósforo pelas fezes de gado levadas pelo

escoamento superficial e uma ETE. A influência das pastagens ocorreu principalmente nos pontos P1, P2 e P3, com médias de  $0,48 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $0,08 \text{ mg L}^{-1}$  e  $0,20 \text{ mg L}^{-1}$  respectivamente. Os demais pontos foram influenciados principalmente pela existência da ETE.

Os maiores valores foram encontrados nas campanhas amostrais realizadas início do inverno (maio, junho e agosto), indicando que a contribuição é pontual e constante.

Peluso *et al.* (2020), detectaram concentrações de Fósforo oriundas da agricultura próximas as que foram encontradas neste estudo. Entre os efeitos relatados estão a eutrofização dos corpos hídricos e a redução de OD. O regime hidráulico perene impede que estes efeitos ocorram nas BHs estudadas, porém, nos pontos P2 da BHCG e P4 e P5 da BHRR, em que o aumento concentração de Fósforo coincidiu com a redução de OD (Figuras 31 e 32).

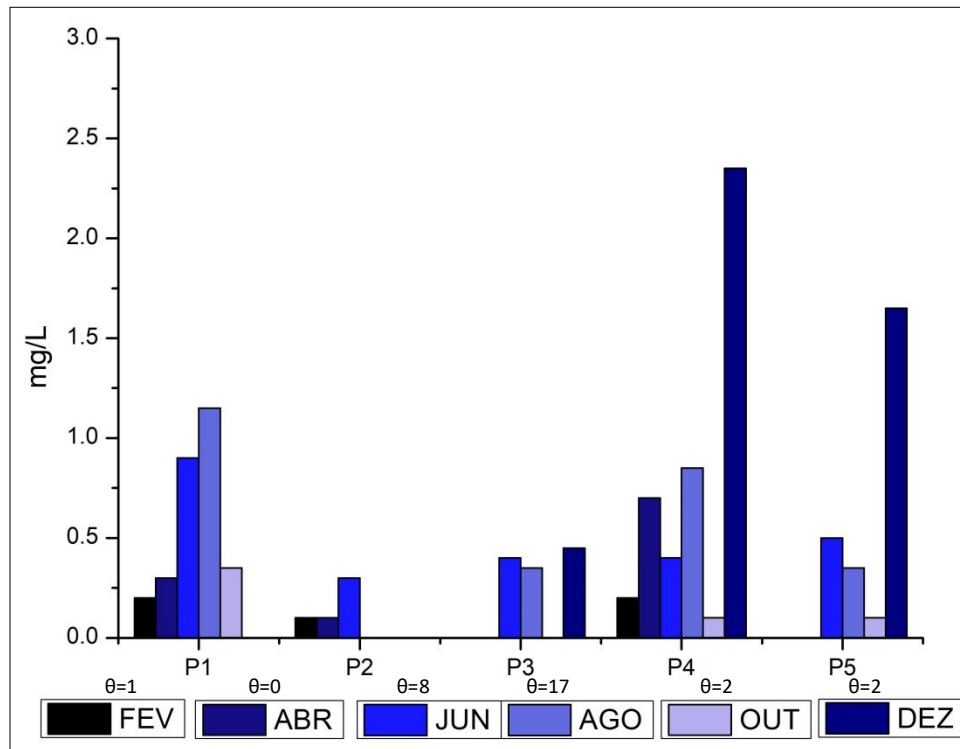
Figura 35 – Variação de Fósforo Total ao longo do período de monitoramento - BHCG



Fonte: Próprio autor



Figura 36 – Variação de Fósforo Total ao longo do período de monitoramento - BHRR



Fonte: Próprio autor

### DQO e DBO

A DQO e a DBO são parâmetros utilizados tradicionalmente para a análise e indicação do teor de Matéria Orgânica (MO) presente nos corpos d'água (SPERLING, 2007). Brasil (2014) afirma que em grandes quantidades, a MO pode causar problemas como cor, odor, turbidez e ainda, o consumo de OD por organismos decompositores.

A principal diferença entre os dois ensaios é o tipo de MO estabilizada, pois a DBO refere-se à MO mineralizada por microorganismos e a DQO engloba a estabilização por processos químicos (BRASIL, 2014).

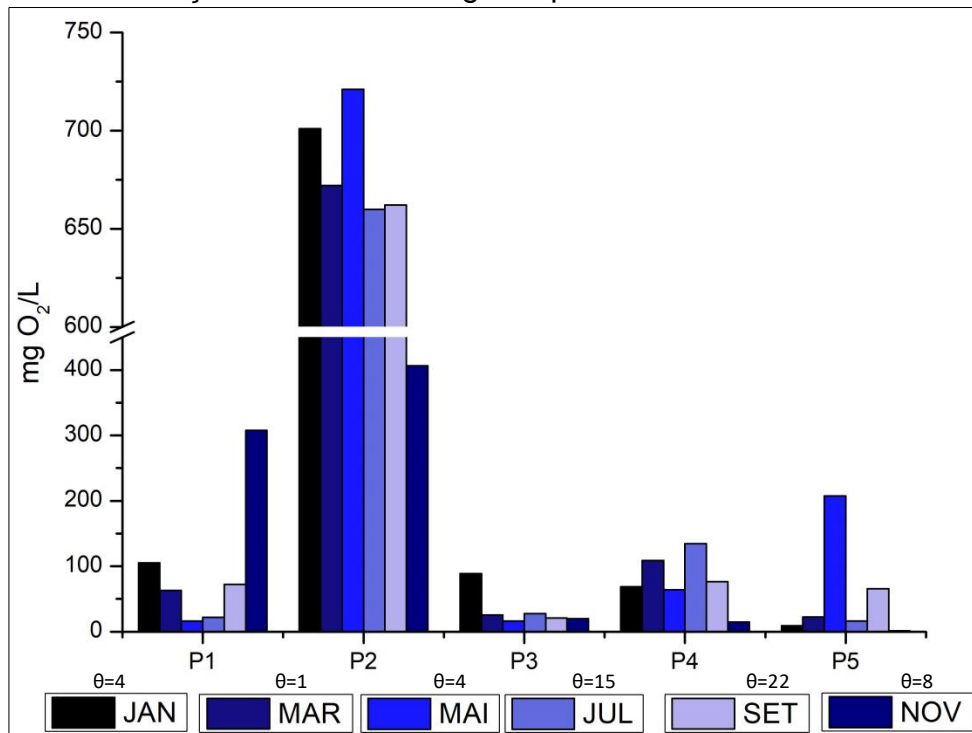
Quanto aos limites estabelecidos pelo instrumento legal, em corpos hídricos enquadrados como classe 2, o limite para a DBO<sub>5</sub> é de 5 mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>, já para classe 4 não é estabelecido limite deste parâmetro (BRASIL, 2005). Nesse caso, para a BHCG, os pontos amostrais que devem ser destacados são P1, P2 e P4.

O ponto P2 da BHCG é o mais afetado, alcançando no mês de março 101 mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> de DBO e 721 mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> de DQO. Esse resultado mostra a forte influência do Distrito Industrial sob a qualidade da água (Figuras 37 e 39).

A BHRR (Figuras 38 e 40) obteve aumento de 25% da DQO e DBO no mês de Junho, no ponto P3. A proposta da sazonalidade é invalidada pela quantidade

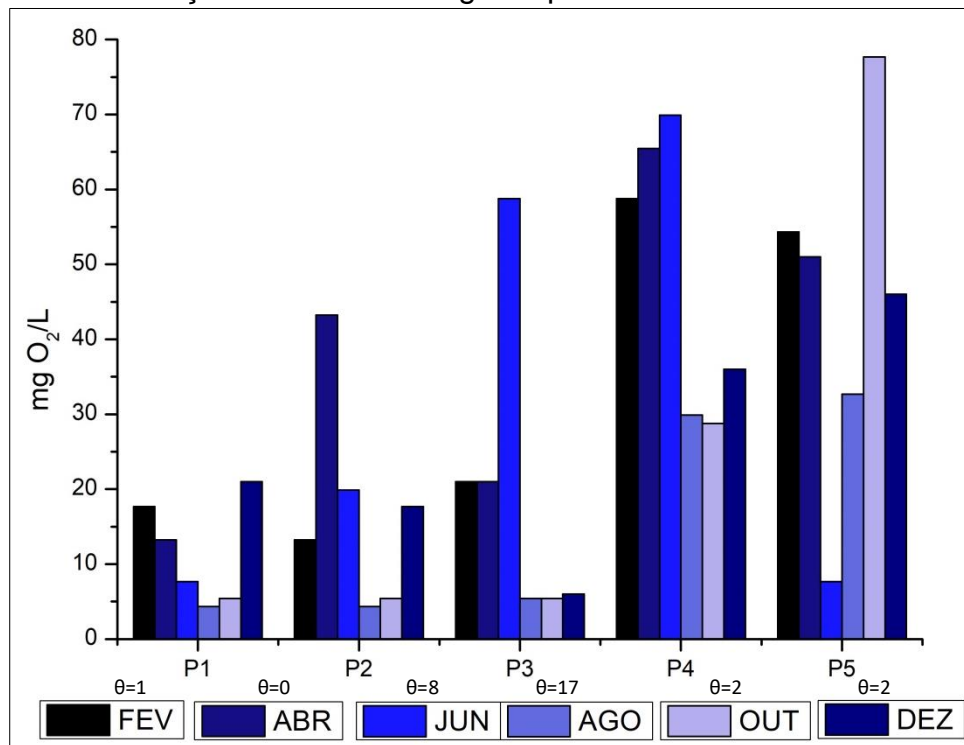
de DSC em Agosto, com 9 dias à mais que a coleta de Junho. Em diálogo com moradores da propriedade foram relatados vazamentos na estação elevatória que pela localização à montante, justifica o valor encontrado. Os dados também caracterizam o aumento da DQO e DBO após o lançamento da ETE (ponto P4), porém os valores obtidos no ponto P5 indicam o início de um processo de autodepuração.

Figura 37 – Variação de DQO ao longo do período de monitoramento - BHCG



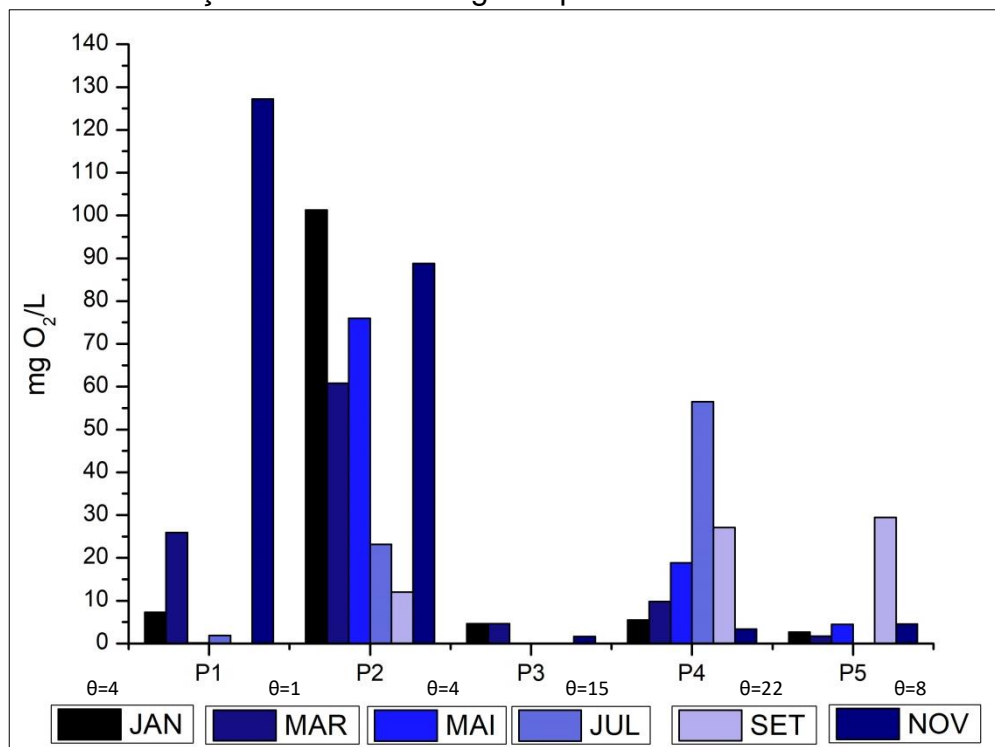
Fonte: Próprio autor

Figura 38 – Variação de DQO ao longo do período de monitoramento - BHRR



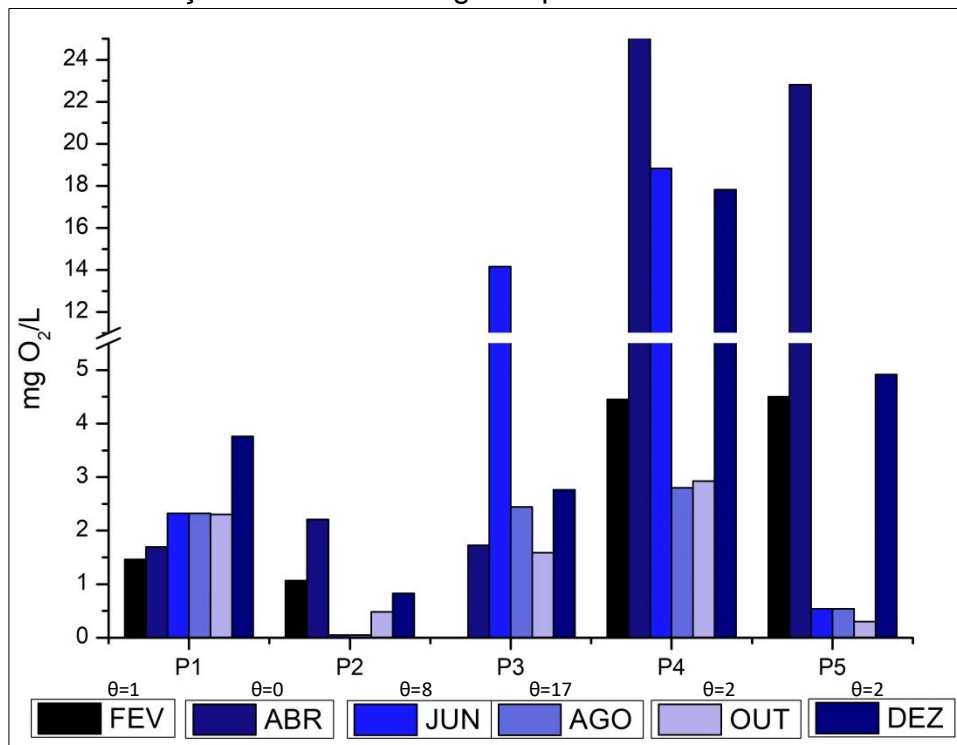
Fonte: Próprio autor

Figura 39 – Variação de DBO ao longo do período de monitoramento - BHCG



Fonte: Próprio autor

Figura 40 – Variação de DBO ao longo do período de monitoramento - BHRR



Fonte: Próprio autor

### Nitrato

O íon Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) é a forma nitrogenada em seu estado mais oxidado. Trata-se de um nutriente essencial para os seres vivos aquáticos. No corpo humano, a presença desse íon dificulta o transporte de oxigênio, trazendo consequências graves, tal como a metahemoglobinemia, que dificulta o transporte de oxigênio no corpo humano (LIBÂNIO, 2010). A Portaria de Consolidação do Ministério da Saúde nº 888/21 define a concentração máxima de  $10 \text{ mg L}^{-1}$  de Nitrato para padrões de potabilidade (BRASIL, 2021).

Barakat *et al.* (2018) destacam que a presença de gado, a erosão de depósitos naturais ou os resíduos de fossas sépticas são fontes de nitrato para os cursos da água.

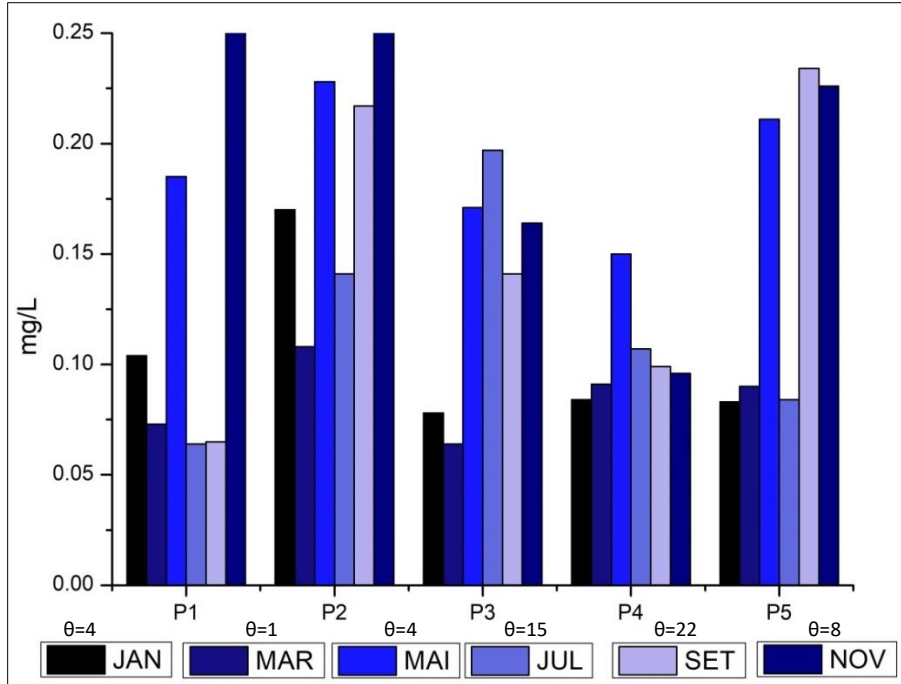
O limite da concentração de Nitrato em corpos hídricos enquadrados nas classes 1, 2 e 3 é de  $10 \text{ mg L}^{-1}$  (BRASIL, 2005).

Considerando o enquadramento dos corpos hídricos estudados, os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/05 e os dados obtidos no presente estudo (Figura 41), o Nitrato não têm representado riscos à qualidade da água.

O ponto P1 da BHRR (Figura 42) apresentou aumento contínuo na concentração de Nitrato durante o período de pesquisa, confirmando a existência

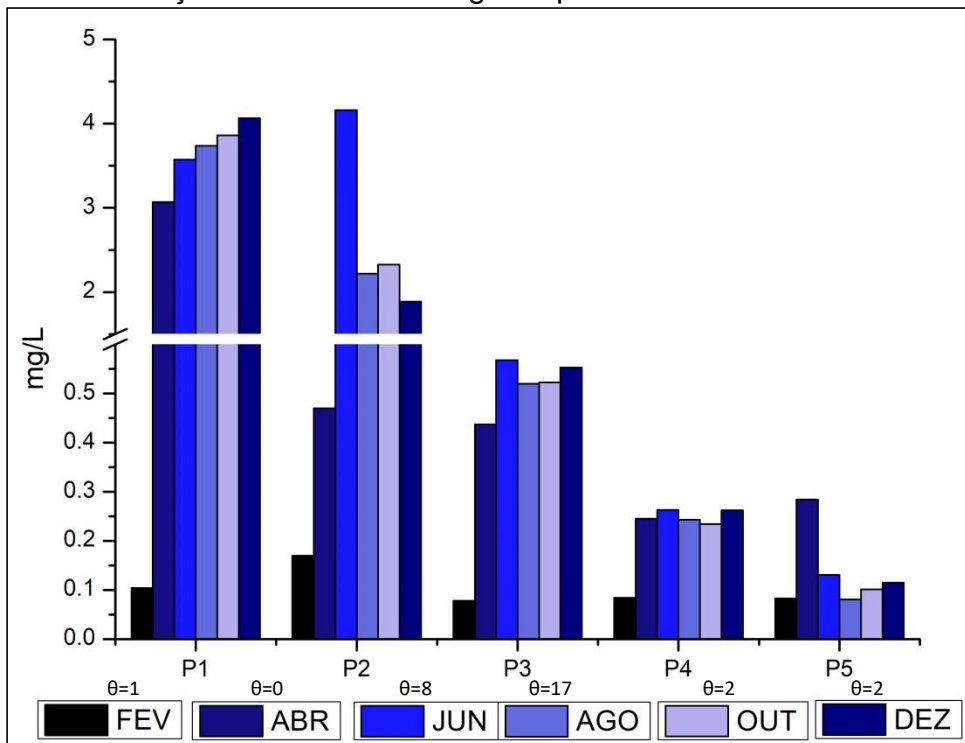
de lançamentos irregulares de matéria orgânica por propriedades rurais no entorno, além do carreamento ocasionado pelo escoamento superficial.

Figura 41 – Variação de Nitrato ao longo do período de monitoramento - BHCG



Fonte: Próprio autor

Figura 42 – Variação de Nitrato ao longo do período de monitoramento - BHRR



Fonte: Próprio autor

### 5.2.3 Características Microbiológicas

#### *Coliformes termotolerantes e Escherichia coli*

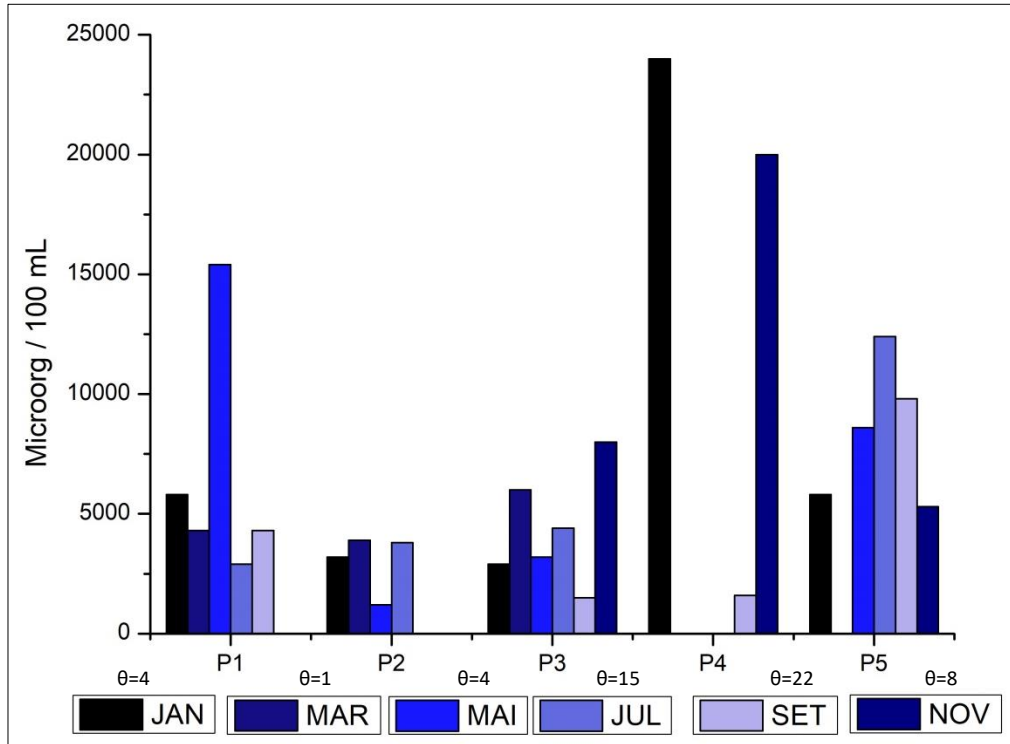
O estudo das águas envolvendo parâmetros microbiológicos mostra-se necessário para a segurança dos usuários da água em seus diferentes usos. Segundo Brasil (2006), a presença de bactérias do grupo coliforme em águas está ligada a existência de diversas doenças e geralmente são vindouras de contaminação por fezes humanas e outros animais de sangue quente.

Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, os corpos hídricos enquadrados na classe 2 possuem o limite de 2500 coliformes termotolerantes/100 mL para fins de recreação de contato secundário e 1.000 coliformes termotolerantes 100 mL<sup>-1</sup> em um ano para a dessedentação de animais (BRASIL, 2005). A legislação vigente estabelece o uso do parâmetro *E. coli* em substituição do parâmetro coliformes com diretrizes do órgão ambiental. Já para os corpos hídricos enquadrados na classe 4 não foram estabelecidos limites de detecção.

Analisando os dados da BHCG, com exceção dos meses de Março e Maio no ponto P4, todos os pontos possuem concentração de coliformes acima do limite estabelecido (Figuras 43 e 45). A anomalia observada no mês de Janeiro no ponto P4 se repetiu no mês de novembro e não se correlaciona com a sazonalidade. A existência de lançamentos pontuais de esgoto doméstico, contribuindo para os valores detectados.

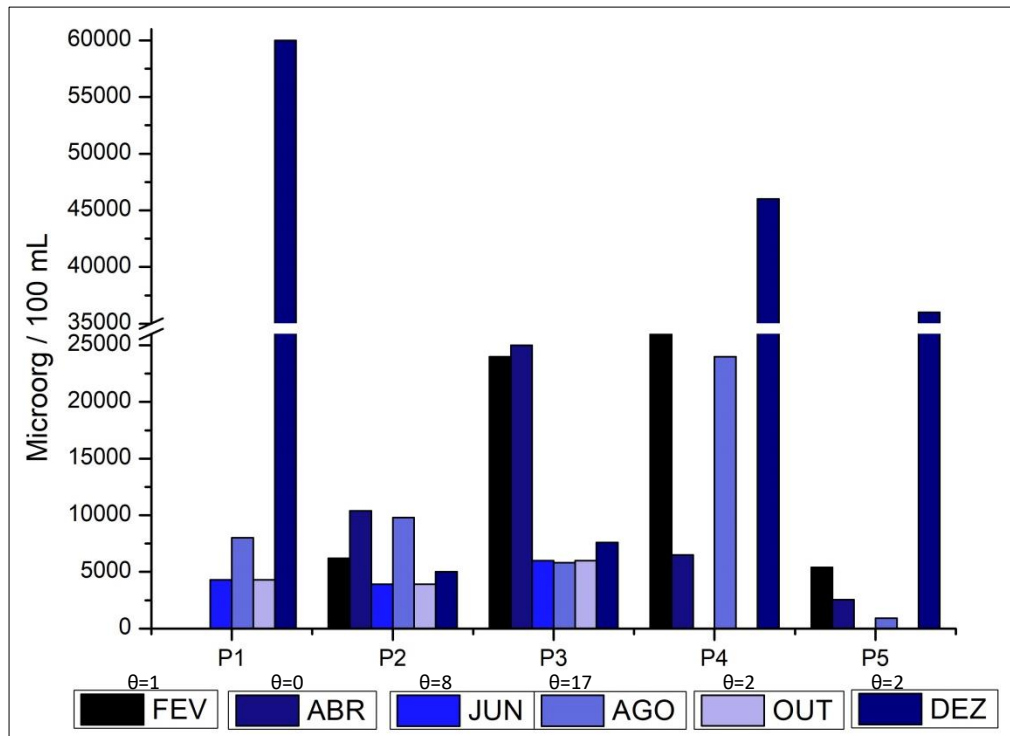
As campanhas amostrais da BHRR (Figuras 44 e 46) demonstraram os efeitos da sazonalidade, pois, com exceção do ponto P1, os demais tiveram aumento da concentração de coliformes e *E. coli* após dias chuvosos, denotando a ação do escoamento superficial sobre o parâmetro. O valor encontrado no ponto P1 da BHRR em período de estiagem (junho) e o aumento verificado em dezembro, confere a existência de um lançamento pontual que é majorado pelo escoamento superficial. Medeiros *et al.* 2017 destacaram que os coliformes termotolerantes foram os principais influenciadores do índice de qualidade de água calculado e as maiores concentrações ocorreram nos períodos chuvosos.

Figura 43 – Variação de Coliformes ao longo do período de monitoramento - BHCG



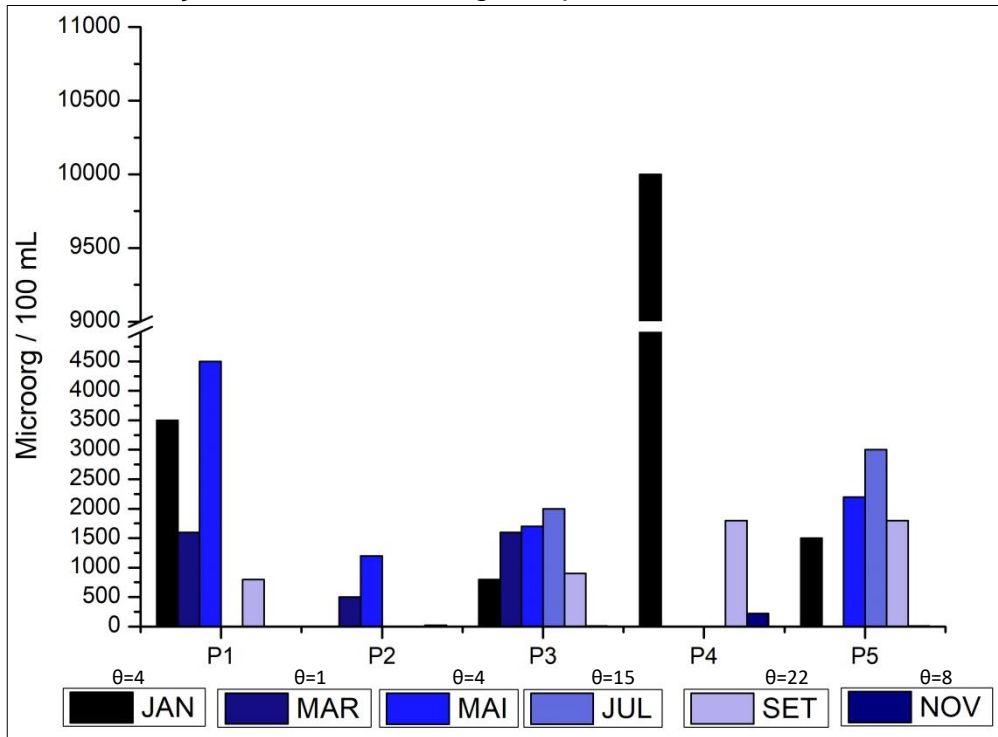
Fonte: Próprio autor

Figura 44 – Variação de Coliformes ao longo do período de monitoramento - BHRR



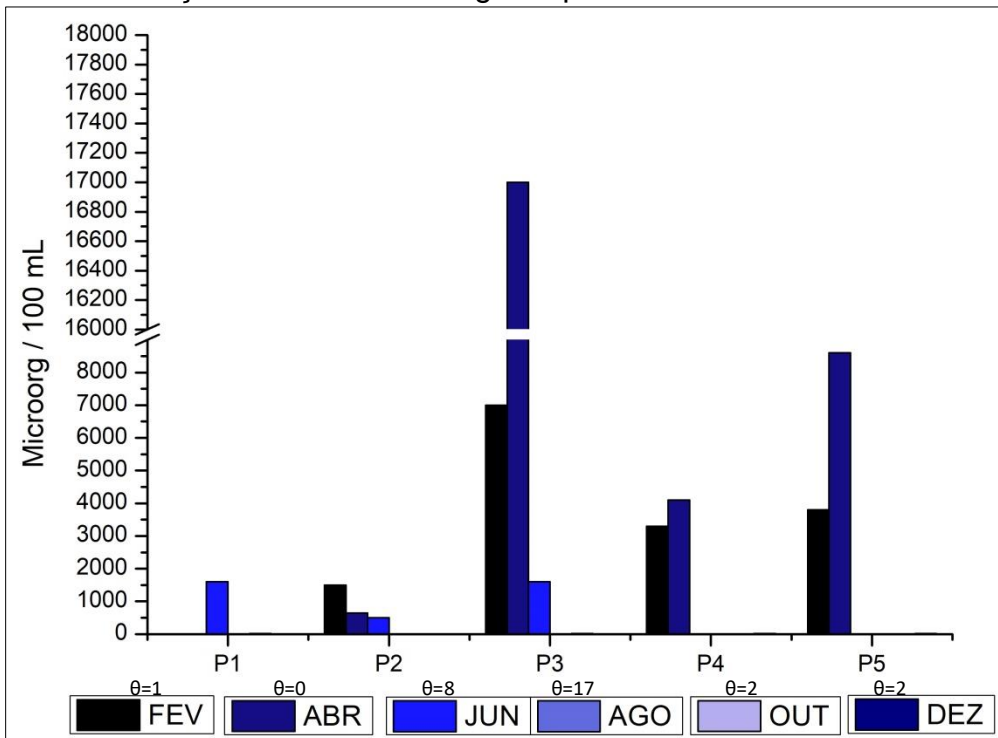
Fonte: Próprio autor

Figura 45 – Variação de *E. Coli* ao longo do período de monitoramento – BHCG.



Fonte: Próprio autor

Figura 46 – Variação de *E. Coli* ao longo do período de monitoramento – BHRR.



Fonte: Próprio autor



## 5.3 ANÁLISE DE DADOS E PROPOSTA DOS ÍNDICES ESTATÍSTICOS

### 5.3.1 Aplicação da Análise de Cluster nos dados de monitoramento

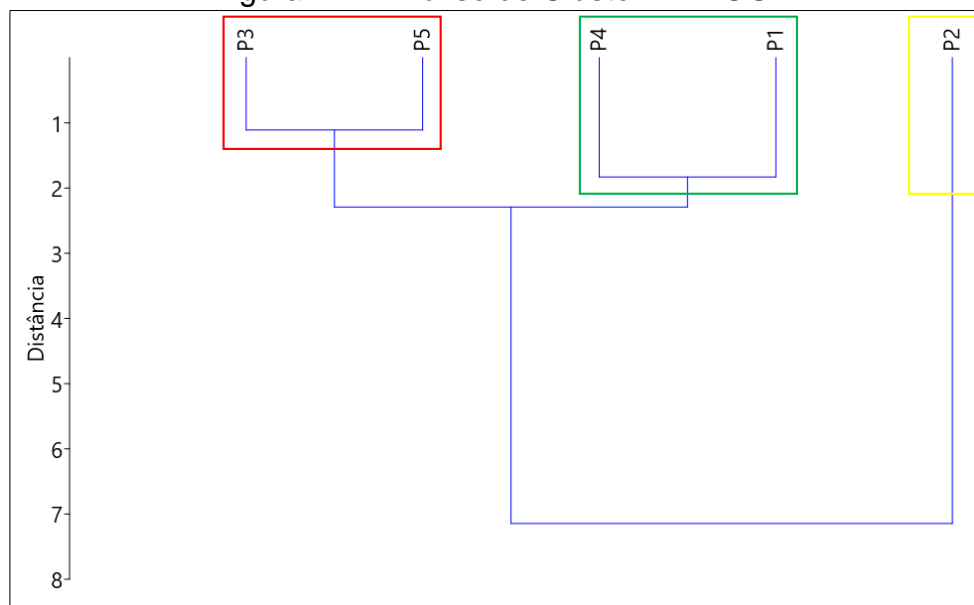
Nesta pesquisa, a Análise de Cluster (AC) foi aplicada com o intuito de verificar quais pontos amostrais possuíam similaridade nos resultados, reduzindo os pontos amostrais ao longo da extensão da BH sem perda da representatividade quanto a qualidade e validade dos resultados com a formação de agrupamentos. Como consequência, o custo para o monitoramento também é reduzido.

A análise de cluster aplicada na BHCG (Figura 47) resultou em três grupos de pontos, sendo o primeiro composto por P3 e P5; o segundo por P4 e P1 e o terceiro por P2. Os grupos de similaridade denotam a influência do uso e ocupação da terra e sua influência nos resultados.

O ponto P2 foi isolado em um grupo, portanto em todos os parâmetros estudados foram encontrados valores que destoam do restante da BH. Neste local, a influência do distrito industrial sobre os resultados obtidos nos parâmetros demonstram que este ponto deve ser acompanhado cuidadosamente, evitando que estes dados distorçam a análise.

Portanto, na BHCG com apenas três pontos de monitoramento, P1, P2 e P5 é possível obter informações com relevância suficiente para o acompanhamento da qualidade de água nesta BH, já que representam a cabeceira de drenagem com a influência urbana, a influência do distrito industrial e o exutório da BH.

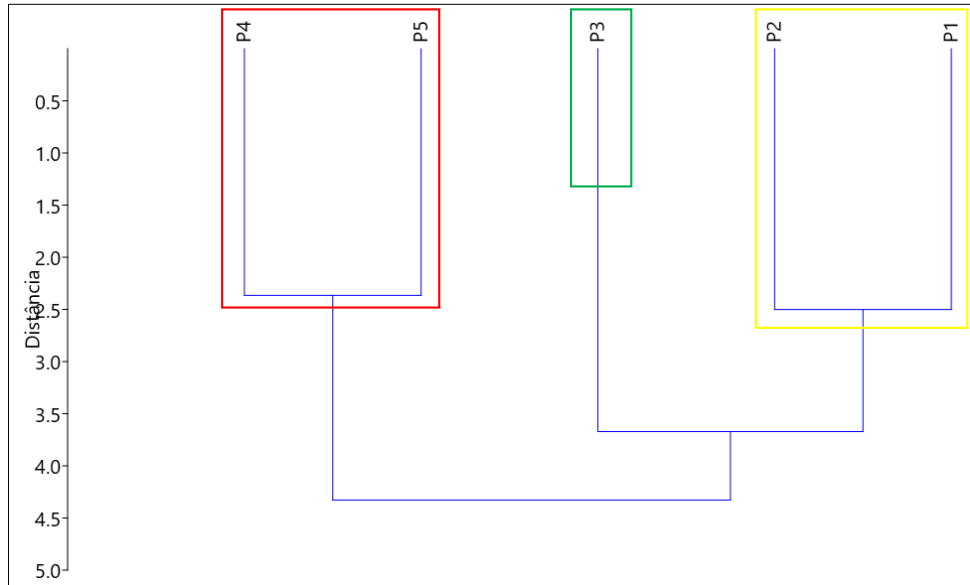
Figura 47 – Análise de Cluster – BHCG.



Fonte: Próprio autor

A análise de cluster para a BHRR (Figura 48) resultou na formação de três grupos, sendo o primeiro composto por P1 e P2, o segundo por P4 e P5 e o terceiro por P3.

Figura 48 – Análise de Cluster – BHRR.



Fonte: Próprio autor

No primeiro grupo formado, o principal ponto seria o P2, pois seria possível analisar a contribuição da cabeceira de drenagem em conjunto com o complexo de indústrias instalado na região e em P1 esse conjunto de informações não estaria presente de forma clara. O ponto P3 é importante pela captação de dados das propriedades rurais existentes. Por fim, no último grupo formado, é necessária a escolha do ponto P5 em detrimento de P4, por possibilitar que a influência da ETE seja captada, além de verificar as propriedades rurais às margens do curso do ribeirão e também por ser demarcado como exutório desta BH.

Khadija *et al.* (2021) verificaram em seus estudos que os 34 pontos escolhidos para coleta na BH do Alto Ziz, localizada no Marrocos formaram 4 agrupamentos que se comunicaram pelos tipos de uso e ocupação da terra. Em seus estudos Ustaoglu; Tepe; Taş (2019) também verificaram a relação entre os agrupamentos formados e o uso e ocupação da terra. Nos dois estudos foram selecionados pontos que representassem a qualidade da água, possibilitando a continuidade do acompanhamento da BH. Portanto, a escolha de pontos para a

redução dos custos no acompanhamento da qualidade d'água em BH's é utilizado em diversos estudos.

### 5.3.2 Análise de Componentes Principais

Nas duas BH's foi aplicada a Análise de Componentes Principais (ACP) dividindo os dados de monitoramento das variáveis de qualidade de água em meses chuvosos e secos, conforme os dados históricos de precipitação.

Os Quadros 9 e 10 apresentam as componentes principais para a BHCG e BHRR respectivamente.

Foram levantadas 3 componentes principais em cada BH que somadas representam ao menos 90% da variância total dos dados. Nascimento, Braga e Araújo (2017), Cecconello; Centeno; Guedes (2018) e Fernandes (2020) aplicaram o mesmo parâmetro de seleção em seus estudos que envolveram qualidade de água.

**Quadro 9 – Componentes Principais - BHCG**

CP	Estação Seca		Estação Chuvosa	
	Autovalores	Variância (%)	Autovalores	Variância (%)
1	11,889	78,506	9,657	83,268
2	2,241	14,799	1,059	9,128
3	0,666	4,3972	0,797	6,871
Total Acumulado (%)		97,70	99,27	

Fonte: Próprio autor

**Quadro 10 – Componentes Principais - BHRR**

CP	Estação Seca		Estação Chuvosa	
	Autovalores	Variância (%)	Autovalores	Variância (%)
1	5,25628	45,667	6,44375	67,416
2	3,78872	32,917	1,36932	14,326
3	1,48519	12,904	1,10829	11,595
Total Acumulado (%)		91,488	93,337	

Fonte: Próprio autor

Com a metodologia apresentada, houve um conjunto de variáveis que compuseram CP1, sendo Pb a de maior correlação, já na CP2, a variável com maior interligação foi Fósforo. Em CP3 a variável de maior ligação são os

Coliformes. Considerando a correlação mediana estabelecida por Centeno (2017) e Ceconello; Centeno; Guedes; (2018), em que ( $0,3 \leq r \leq 0,6$ ), as variáveis Fósforo Total, Coliformes, Temperatura, Pb, Al, OD, CE, ST, pH e DBO são as de maior correlação entre as três componentes analisadas (Quadro 11). Os demais parâmetros apresentaram peso inferior a 0,3, nas 3 componentes, portanto são consideradas de fraca correlação.

Desta forma, com os parâmetros adotados, para a BHCG nas 3 componentes são selecionadas 10 variáveis de qualidade de água na estação seca, sendo elas Fósforo Total, Temperatura, Coliformes, Pb, Al, OD, CE, ST, pH e DBO.

**Quadro 11 – Peso das componentes principais na estação seca - BHCG**

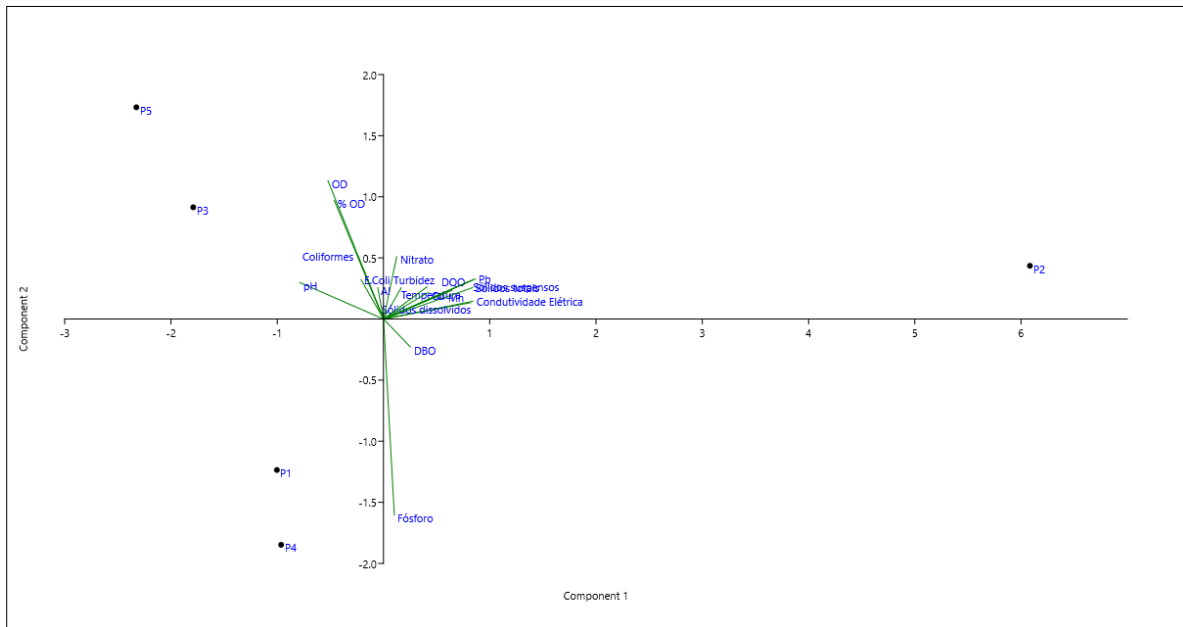
	PC 1		PC 2		PC 3
Pb	0,345	Fósforo	-0,640	Coliformes	-0,594
Fósforo	0,336	OD	0,452	Al	-0,438
CE	0,336	Coliformes	0,388	OD	0,347
ST	0,334	% OD	0,206	DBO	0,301
Temperatura	0,327	Nitrato	0,203	% OD	0,263
DBO	0,321	Pb	0,131	E.Coli	-0,244
pH	-0,314	E.Coli	0,129	pH	0,182
Mn	0,257	SS	0,128	Fósforo	0,180
OD	-0,209	DQO	0,122	Turbidez	0,143
% OD	-0,185	Ph	0,119	Nitrato	0,117
Cd	0,169	Turbidez	0,105	Temperatura	0,095
Turbidez	0,163	Al	0,103	DQO	0,056
DQO	0,101	ST	0,102	SS	0,031
Coliformes	-0,096	Temperatura	0,102	Cd	0,017
E.Coli	-0,084	Mn	0,094	Pb	0,015
SD	0,067	Cd	0,087	ST	0,013
Nitrato	0,050	DBO	-0,091	Mn	0,011
SS	0,041	CE	0,058	CE	-0,037
Al	-0,021	SD	0,053	SD	-0,040

Fonte: Próprio autor

Na Figura 49, os grupos com maior representação nas componentes principais são apresentados graficamente, sendo que, o eixo x denota a formação do maior peso na CP1 e o eixo y pelos maiores pesos na CP2. Estas informações são concomitantes com as características de uso e ocupação da terra, reforçando os resultados aferidos na AC. Em destaque, o ponto P2 despontou entre os pontos

de monitoramento como um *outlier*. Essa condição conferiu à CP1 a maioria dos vetores dos parâmetros de qualidade (Figura 49). Conforme discussão apresentada, este ponto possui considerável influência antropogênica e os resultados das campanhas amostrais contribuem para esta constatação. Já na CP2, os pontos P5 e P3 se destacam, ratificando os agrupamentos resultantes da AC.

Figura 49 – ACP entre as variáveis e os pontos de monitoramento no período seco – BHCG.



Fonte: Próprio autor

Os efeitos da sazonalidade são observados na aplicação da ACP nos dados coletados durante a estação chuvosa. Em decorrência dos efeitos da precipitação, a variância apresentou-se mais diluída. O Quadro 12 apresenta as componentes e não foram encontrados pesos significativos ( $r > 0,6$ ).

Nas três componentes escolhidas, os parâmetros obtiveram pesos que se aproximam dos critérios estipulados por Centeno (2017) e Cecconello; Centeno; Guedes; (2018). Destacam-se Coliformes, *E.Coli*, Fósforo Total, SS, SD, ST, DBO, AI, CE, OD e Temperatura.

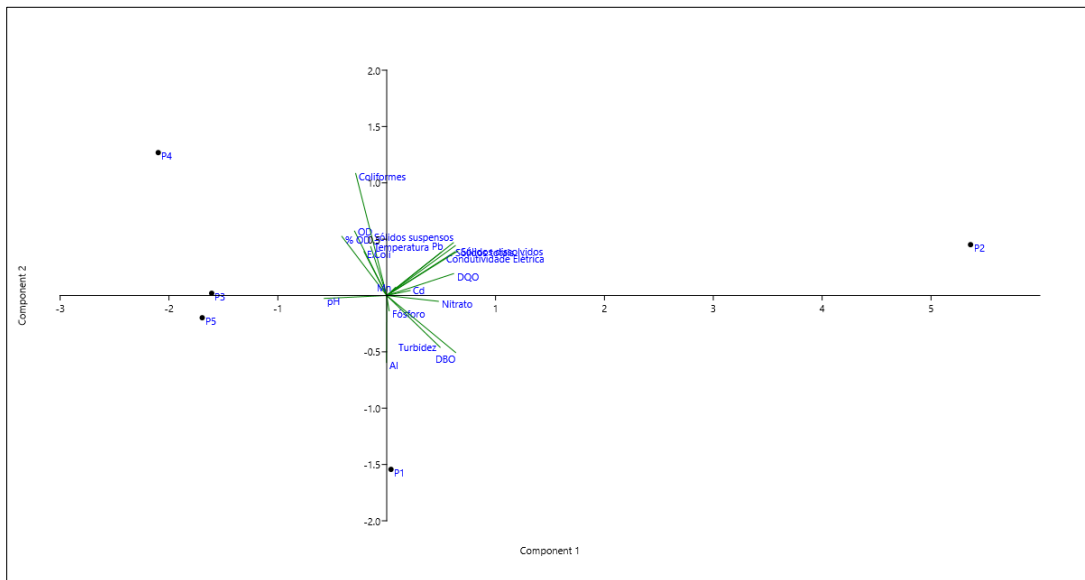
**Quadro 12 – Peso das componentes principais na estação chuvosa - BHCG**

	PC 1		PC 2		PC 3
SD	0,332	Coliformes	0,550	E.coli	0,571
DBO	0,321	Al	-0,302	Coliformes	0,485
ST	0,320	OD	0,300	DBO	0,314
CE	0,318	% OD	0,267	Temperatura	-0,314
Fósforo	0,312	DBO	-0,257	Fósforo	0,232
SS	0,311	SS	0,238	% OD	-0,228
Ph	-0,292	Turbidez	-0,233	OD	-0,215
Pb	0,255	ST	0,225	Turbidez	0,186
Turbidez	0,249	Temperatura	0,221	Nitrato	-0,129
Nitrato	0,241	SD	0,201	DQO	0,091
% OD	-0,210	E.Coli	0,198	pH	0,091
OD	-0,150	CE	0,197	Pb	-0,087
Coliformes	-0,145	Pb	0,196	SS	-0,074
Cd	0,109	DQO	0,099	ST	-0,064
E.coli	-0,106	Mn	0,037	SD	-0,045
Temperatura	-0,075	Cd	0,023	CE	-0,037
Mn	0,042	pH	-0,013	Al	-0,025
DQO	0,011	Nitrato	-0,026	Mn	-0,023
Al	-0,001	Fósforo	-0,069	Cd	0,000

Fonte: Próprio autor

A Figura 50 demonstra a tendência dos valores obtidos no P2 para a formação da CP 1, já os pontos P1 e P4 se destacam na construção da CP 2. Durante o período chuvoso os resultados da ACP não se correlacionam totalmente com a AC, porém dois grupos são validados, sendo o primeiro P3 e P5, além da formação do P2 como *outlier*. Os resultados demonstram que os pontos que sofrem maior influência sazonal são os pontos P1 e P4.

Figura 50 – ACP entre as variáveis e os pontos de monitoramento no período chuvoso – BHCG.



Fonte: Próprio autor

Os resultados da PCA contribuem para a análise dos efeitos de poluição pontual e difuso. O ponto P2 é a demonstração mais clara do efeito pontual, já o resultado apresentado no ponto P1 auxilia na compreensão do efeito difuso que ocorre na cabeceira de drenagem.

Foram selecionadas 10 variáveis para o período seco e 11 para o período chuvoso. É verificada confluência entre ST, Temperatura, Fósforo Total, DBO, C.T, CE, Al e OD. Com exceção do Al, todos os demais metais perderam significância com a ocorrência de chuvas, denotando a diluição. Ao analisar a série de sólidos é visível a inversão deste efeito, pois durante as chuvas ganharam relevância. Medeiros *et al.* (2017) corroboram para a compreensão destes efeitos, pois seus resultados denotam que a pluviosidade aliada ao uso da terra provoca o aumento de matéria orgânica pelo arraste e conseqüentemente a relevância deste parâmetro aumenta na ACP.

O período chuvoso trouxe como incremento SS, SD e *E. Coli*. Ao confrontar as Figuras 49 e 50 é constatada a maior influência das bactérias na formação da CP2 durante o período chuvoso. Tripathi e Singal (2019) apontam o acréscimo de bactérias Coliforme com coletas em períodos chuvosos e relacionam com o uso da terra do tipo pecuário. Khadija *et al.* (2021) verificaram que nos períodos chuvosos ocorre o incremento de alguns parâmetros que geralmente são relacionados com o uso de ocupação da terra.

## ACP BHRR

Os resultados obtidos pela ACP realizada para as variáveis de qualidade de água monitoradas na BHRR estão apresentados nos Quadros 13 (período seco) e 14 (período chuvoso).

**Quadro 13 – Peso das componentes principais na estação seca - BHRR**

	PC 1		PC 2		PC 3
Nitrato	-0,405	Zn	-0,526	Ca	-0,492
Turbidez	0,403	Coliformes	0,386	pH	0,490
DBO	0,344	SD	-0,296	Al	0,418
ST	0,315	E.coli	0,292	Fósforo	-0,342
Zn	-0,305	OD	0,276	DBO	-0,199
SD	0,290	% OD	0,271	OD	0,190
Mn	0,256	pH	0,261	% OD	0,158
Mg	-0,239	Mg	0,218	SS	-0,148
DQO	0,224	ST	-0,172	Mg	0,146
Fe	0,186	Fe	0,158	Zn	0,127
pH	0,120	Fósforo	-0,157	E.coli	-0,118
OD	-0,116	Nitrato	-0,150	Fe	0,105
% OD	-0,104	Ca	0,097	SD	0,102
E.coli	0,091	DBO	-0,090	Nitrato	-0,095
Cu	-0,080	Al	-0,075	Temperatura	-0,086
Ca	-0,080	CE	-0,066	Cu	0,079
CE	0,065	SS	0,050	Turbidez	0,055
Temperatura	0,062	Mn	0,033	Mn	0,049
Coliformes	0,036	Turbidez	-0,030	Coliformes	-0,044
Al	-0,031	DQO	-0,027	ST	-0,033
SS	0,032	Ni	0,020	CE	0,019
Cd	0,015	Cu	0,018	Cd	0,015
Ni	-0,010	Temperatura	-0,014	DQO	0,014
Fósforo	-0,013	Cd	0,002	Ni	0,011

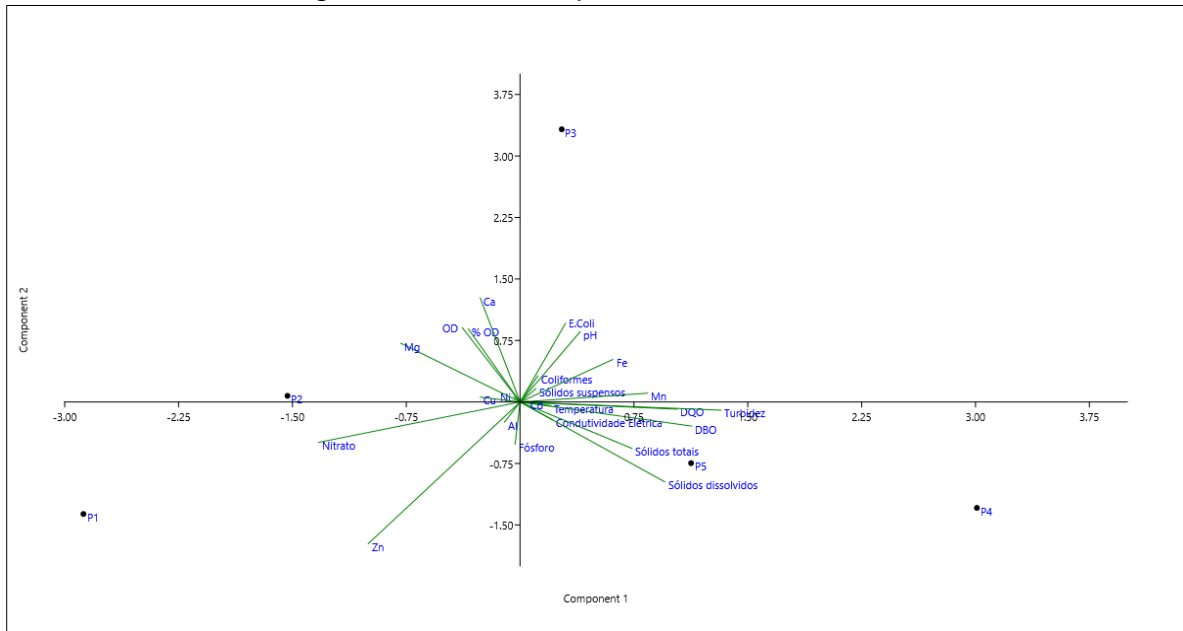
Fonte: Próprio autor

Para a compreensão dos resultados da ACP faz-se necessário ampliar a análise para os pontos amostrais, verificando a consistência da AC.

As variáveis com maior relevância na estação seca foram Zn, Ca, pH, Al, Nitrato, Turbidez, DBO, Sólidos Totais e Fósforo. A Figura 51 reforça a formação dos agrupamentos da Análise de Cluster, sobretudo na análise da região de cabeceira e o exutório da BH. Destaca-se a contribuição orgânica na influência dos resultados e isto reflete a real influência do uso e ocupação da terra, principalmente na estação de tratamento de esgotos no ponto P4.



Figura 51 – ACP no período seco – BHRR.



Fonte: Próprio autor

Na estação chuvosa, apresentada no Quadro 14, as variáveis de maior representatividade foram Ca, DBO, Turbidez, CE, Coliformes, pH, Fósforo, ST, DQO, Cu e Nitrato.

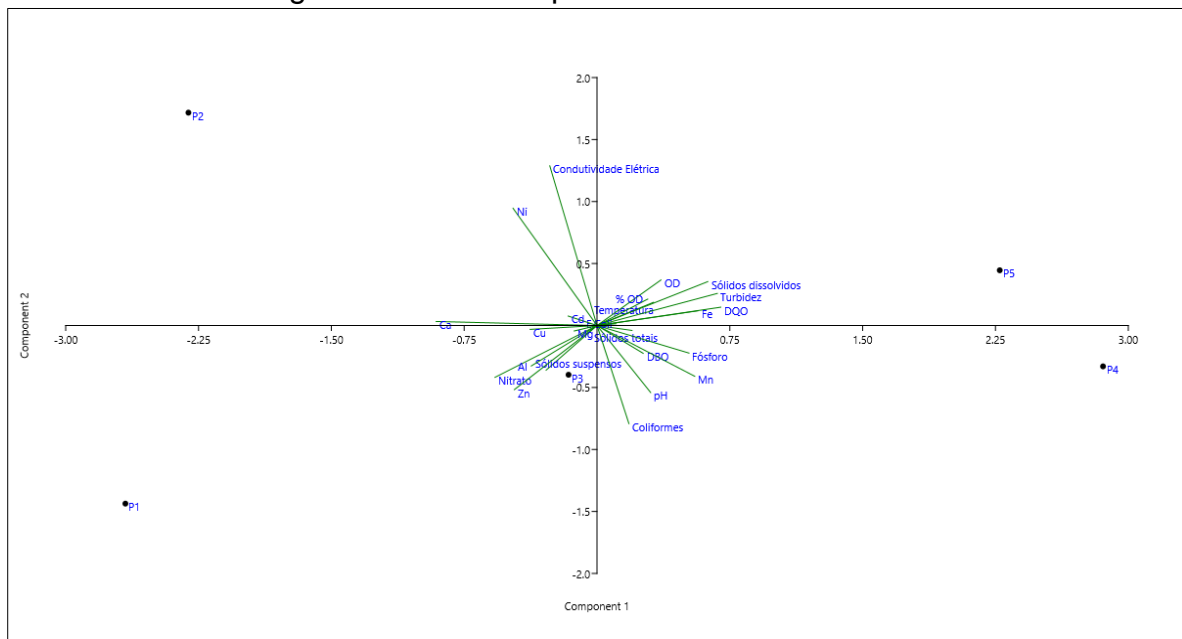
**Quadro 14 – Peso das componentes principais na estação chuvosa - BHRR**

	PC 1		PC 2		PC 3
Ca	-0,411	CE	0,584	ST	0,500
DBO	0,317	Nitrato	0,428	DQO	0,359
Turbidez	0,308	Coliformes	-0,358	Cu	0,301
SD	0,283	pH	-0,310	Nitrato	0,300
Nitrato	-0,261	Fósforo	-0,300	Fe	-0,247
Fe	0,258	Ni	-0,189	SD	0,237
Mn	0,250	Mn	-0,185	Fósforo	0,220
Fósforo	0,235	OD	0,166	E.coli	-0,199
Ni	-0,215	SS	-0,163	% OD	-0,195
Zn	-0,211	SD	0,160	Coliformes	0,179
Cu	-0,171	Al	-0,148	Ni	0,178
Al	-0,168	Turbidez	0,117	Temperatura	-0,177
OD	0,164	% OD	0,097	DBO	0,146
Temperatura	0,145	Temperatura	0,085	Zn	0,140
pH	0,137	DQO	0,067	SS	-0,138
SS	-0,130	Fe	0,054	CE	0,130
% OD	0,130	Cd	0,035	OD	-0,128
CE	-0,121	DBO	-0,102	pH	0,087
DQO	0,118	Zn	-0,101	Mn	-0,080
ST	0,089	Mg	-0,020	Al	0,059
Coliformes	0,082	ST	-0,018	Cd	-0,040
Cd	-0,074	Ca	0,015	Ca	0,035
Mg	-0,058	Cu	-0,014	Mg	0,022
E.coli	0,048	E.coli	0,007	Turbidez	0,017

Fonte: Próprio autor

Assim como nos casos anteriores, a Figura 52 chancela os resultados obtidos na Análise de Cluster com a formação dos mesmos agrupamentos. É importante salientar que o escoamento superficial no período chuvoso possui forte influência nos resultados, visto que variáveis ligadas à presença de sólidos (SD, CE e Turbidez) se destacam com maior peso.

Figura 52 – ACP no período chuvoso – BHRR.



Fonte: Próprio autor

Segundo os critérios de relevância adotados (apresentados no item 4.4) para a composição das CP's, as três CP's foram formadas por um conjunto de variáveis de qualidade, sem destaque de correlação  $r > 0,6$ .

Na estação seca foram selecionadas 9 variáveis, já para o período chuvoso foram 11 variáveis. O período chuvoso trouxe como incremento variáveis como DQO e CE. As Figura 51 e 52 demonstram que durante os períodos de seca e chuvosos, os pontos amostrais possuem baixa correlação. Porém, alguns pontos são aglutinados e se relacionam pela ocupação de suas margens, como os pontos P4 e P5, e os pontos P1 e P2. Nos dois períodos é notável a contribuição dos pontos P1, P2, P4 e P5 na formação da CP1, já o P3 destaca-se na contribuição para a segunda componente.

Um dos frutos da aplicação da ACP é a seleção de parâmetros ou de pontos amostrais para o acompanhamento contínuo da qualidade da água de um corpo hídrico, economizando recursos e auxiliando na investigação efetiva dos impactos ambientais (UNDA-CALVO *et al.* 2019). Com este foco para realizar a análise, as Figuras 51 e 52 reforçam que, a relação entre os escores, pesos dos parâmetros e a caracterização da BH estimulam a seleção de um ponto na cabeceira de drenagem (P1 ou P2), um ponto no exutório (P4 ou P5). O

acompanhamento do P3 torna-se importante para a captação das influências rurais na qualidade de água da BHRR.

### **5.3.2 Componentes dos Índices Customizados para cada Bacia Hidrográfica**

Com base nos dados gerados pela ACP, constata-se que algumas variáveis estudadas no  $IQA_{CETESB}$  não estão entre as de maior representatividade sobre a qualidade da água nos corpos d'água estudados. Cada BH possui características únicas, como a formação e composição do solo e o uso e ocupação da terra. Estas peculiaridades influenciam diretamente nas variáveis de maior relevância, portanto, não é possível criar um único índice de qualidade de água que represente a real situação do corpo hídrico.

Pesquisadores têm desenvolvido metodologias para a criação de novos índices de qualidade da água. Sultana e Dewan (2021) desenvolveram um índice com base em imagens espectrais, em que as bandas infravermelhas e seus respectivos comprimentos de onda foram utilizadas para refletir a qualidade da água. Canto *et al.* (2021) utilizaram o sensoriamento remoto, com base na luz bentônica da cor do oceano para a criação de um novo índice para a grande barreira de corais, localizada na Austrália. Já Ustaoglu, Tepe e Taş (2020) utilizaram a ACP e a AC como metodologias estatísticas, selecionando variáveis para a criação de um índice customizado para o rio Turnasuyu na Turquia. Portanto, a realidade da região de estudo, a disponibilidade dos dados direciona a metodologia aplicada para a obtenção do IQA adequado.

O novo índice de qualidade de água para as BHCG e BHRR foi composto com base na seleção das variáveis que apresentaram relevância concomitante nas estações climáticas. As variáveis selecionadas estão apresentadas no Quadro 15.

**Quadro 15 – Variáveis selecionadas para a composição do novo IQA<sub>BH</sub>**

IQA <sub>CETESB</sub>	BHCG	BHRR
Sólidos Totais	Sólidos Totais	Sólidos Totais
Turbidez	-	Turbidez
Temperatura	Temperatura	-
Fósforo Total	Fósforo Total	Fósforo Total
Nitrogênio Total	-	-
DBO <sub>5</sub>	DBO <sub>5</sub>	DBO <sub>5</sub>
pH	-	pH
C.T.	C.T.	C.T.
OD	OD	-
-	-	Nitrato

Fonte: Próprio autor

Os pesos determinados por interpolação com o IQA<sub>NSF</sub> para cada variável selecionada estão apresentados nos Quadros 16 e 17.

**Quadro 16 – Pesos calibrados para o IQA<sub>BHCG</sub>**

Variável	Escore fatorial	Peso Interpolado	Variáveis IQA <sub>CETESB</sub>	Peso IQA <sub>CETESB</sub>
Fósforo Total	0,476	0,210	Sólidos Totais	0,080
C.T.	0,469	0,210	Turbidez	0,080
Sólidos Totais	0,327	0,140	Temperatura	0,100
OD	0,376	0,160	Fósforo Total	0,100
DBO	0,311	0,140	Nitrato	0,100
Temperatura	0,320	0,140	DBO <sub>5</sub>	0,100
-	-	-	pH	0,120
-	-	-	C.T.	0,150
-	-	-	OD	0,170
Somatório	2,279	1,000	Somatório	1,000

Fonte: Próprio autor

**Quadro 17 – Pesos calibrados para o IQA<sub>BHRR</sub>**

Variável	Escore fatorial	Peso Interpolado	Variáveis IQA <sub>CETESB</sub>	Peso IQA <sub>CETESB</sub>
pH	0,400	0,16	Sólidos Totais	0,080
Nitrato	0,353	0,14	Turbidez	0,080
Turbidez	0,356	0,14	Temperatura	0,100
DBO	0,331	0,13	Fósforo Total	0,100
Fósforo Total	0,321	0,13	Nitrogênio Total	0,100
Sólidos Totais	0,408	0,16	DBO <sub>5</sub>	0,100
C.T.	0,372	0,14	pH	0,120
-	-	-	C.T.	0,150
-	-	-	OD	0,170
Somatório	2,541	1,000	Somatório	1,000

Fonte: Próprio autor

Como esperado pelos resultados apresentados, as variáveis com maior escore obtiveram maior peso interpolado.

As demais variáveis com representatividade foram inseridas no cálculo do novo índice na composição do IT (índice de toxicidade) de acordo com a variação sazonal em que o acompanhamento da qualidade de água esteja sendo realizado. As variáveis que compõem o índice IT, em cada período sazonal, estão representadas no Quadro 14.

**Quadro 16 – Variáveis selecionadas para composição da componente IT**

BHCG		BHRR	
Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa
Al	Al	Zn	Ca
Pb	-	Ca	-
-	-	Al	-

Fonte: Próprio autor

O resultado do estado de qualidade de água após a aplicação do novo índice está apresentado no Quadro 18. Neste quadro também são apresentados os resultados do  $IQA_{NSF}$  para fins de discussão.

A qualidade da água na BHCG variou entre os estados de qualidade Muito Ruim e Médio. Os valores do  $IQA_{BHCG}$  variaram de 8 a 21 no ponto P2, pior caso apresentado, e, de 36 a 50 no ponto P5, melhor classificação da BH.

**Quadro 18 – Resultados do IQA<sub>BHCG</sub> e IQA<sub>NSF</sub>**

Mês	P1		P2		P3		P4		P5	
	NSF/ BHCG	Classe	NSF/ BHCG	Classe	NSF/ BHCG	Classe	NSF/ BHCG	Classe	NSF/ BHCG	Classe
JAN	53	M	24	R	61	M	44	R	57	M
	40	R	15	MR	50	M	36	R	41	R
MAR	33	R	30	R	52	M	66	M	68	M
	22	MR	21	MR	35	R	51	M	50	M
MAI	29	R	15	MR	57	M	48	R	51	M
	15	R	8	MR	41	R	32	R	36	R
JUL	28	R	17	MR	55	M	40	R	45	R
	15	MR	10	MR	40	R	32	R	31	R
SET	30	R	18	MR	56	M	42	R	49	R
	20	MR	8	MR	42	R	30	R	37	R
NOV	55	M	28	R	60	M	45	R	55	M
	40	R	15	MR	41	R	31	R	42	R

Fonte: Próprio autor

Ao comparar os resultados nos dois índices, é possível notar que em todos os casos o valor obtido pelo IQA<sub>BHCG</sub> é menor que os valores do IQA<sub>NSF</sub>. Isto ocorre pela assertiva seleção das variáveis, que representam de maneira pormenorizada o estado de qualidade da água na BH em função do uso e ocupação da terra. É necessário destacar que nos pontos P1, P2 e P3 ocorreram alterações na categoria de classificação para a qualidade imediatamente inferior em todas as amostras. O ponto P2 da BHCG que obteve as piores classificações evidencia a vulnerabilidade das nascentes frente as atividades antropogênicas.

Em média, o IQA<sub>BHCG</sub> reduziu o valor da classificação de qualidade da água em 18% e metade das campanhas amostrais tiveram redução do nível de qualidade.

Os resultados obtidos mostraram a influência sazonal, por intermédio das classificações dos meses com alta precipitação pluviométrica (janeiro, março e dezembro) e o os meses de seca.

Na BHRR, os resultados do IQA<sub>BHRR</sub> em consonância com o IQA<sub>NSF</sub> demonstraram que o lançamento da ETE exerce considerável influência no ponto P4, reduzindo o estado de qualidade calculado no ponto P3 (Quadro 19).

**Quadro 19 – Resultados do IQA<sub>NSF</sub> e IQA<sub>BHRR</sub>**

Mês	P1		P2		P3		P4		P5	
	NSF/ BHCG	Classe	NSF/ BHCG	Classe	NSF/ BHCG	Classe	NSF/ BHCG	Classe	NSF/ BHCG	Classe
FEV	84	B	61	M	58	M	49	R	60	M
	75	B	55	M	41	R	38	R	52	M
ABR	78	B	49	R	53	M	37	R	48	R
	65	M	38	R	35	R	26	R	40	R
JUN	51	M	58	M	55	M	47	R	64	M
	40	R	45	R	47	R	30	R	52	M
AGO	48	M	52	M	50	M	41	R	54	M
	35	R	46	R	40	R	30	R	41	R
OUT	70	B	56	M	50	M	45	R	56	M
	51	M	51	M	47	R	33	R	42	R
DEZ	80	B	59	M	58	M	49	R	60	M
	65	M	50	M	41	R	35	R	51	M

Fonte: Próprio autor

Assim como na BHCG, a aplicação do índice desenvolvido neste estudo ratifica que a escolha adequada das variáveis estudadas resulta na demonstração correta da qualidade da água, pois em todos os pontos e meses de estudo o valor calculado da qualidade da água foi reduzido. Effendi, Romanto e Warditano (2015) destacam que este efeito ocorre ao aplicar o peso para a variável de maior importância na BH estudada.

O nível de qualidade da água sofreu alteração em 43% das campanhas amostrais, reduzindo em média o valor o da classificação em 16%.

Se confrontados os resultados obtidos nos meses de chuva e seca, é possível apontar que a sazonalidade influenciou no decréscimo das classes de qualidade por meio da quantidade de água escoada. As concentrações aferidas de Coliformes termotolerantes e OD, parâmetros característicos da poluição por lançamento de efluente doméstico e são parâmetros com maior peso no IQA<sub>NSF</sub>, corroboram para esta conclusão.

As duas BH demonstraram recuperação da qualidade da água após o distanciamento das atividades antropogênicas de maior potencial poluidor.



Centeno (2017) criou novos índices de qualidade para corpos hídricos que formam a BH Piratini-São Gonçalo-Mangueira, RS e comparou com os valores aferidos pelo índice formulado pela CETESB, como resultado, verificou que a redução e escolha correta das variáveis corrobora para a correta análise da qualidade da água na BH. De igual modo, Mencarini (2018) verificou que os índices padronizados como o aplicado pela CETESB, não conseguem demonstrar a real situação da qualidade d'água das BH's e a criação de um IQA retirou 2 parâmetros que são aplicados pela CETESB, incorrendo na redução de custos.

Portanto, a aplicação e o desenvolvimento dos índices de qualidade de água customizados auxiliam tanto na detecção de parâmetros importantes, que irão representar os possíveis problemas ambientais enfrentados na região de estudo, bem como na redução de custos para o monitoramento.

O uso do índice é primordial, sobretudo em BH classificadas em pequeno porte (<100 km<sup>2</sup>), pois, alterações no uso e ocupação da terra e a queda da precipitação mensal foram capazes de modificar significativamente a classificação da qualidade da água.

## 6 CONCLUSÃO

Ao longo dos últimos anos as BH estudadas têm sofrido impactos relevantes, principalmente pela ampliação de áreas urbanas, que colaboram para o aumento do escoamento superficial. A BHCG possui destaque no ponto P2, pois, as atividades antropogênicas influenciam as características e os parâmetros de qualidade das amostras coletadas, precipuamente a indústria que realiza refino de óleo e o distrito industrial. Na BHRR a grande área de pastagens e a ETE assumem papel de destaque na degradação dos parâmetros de qualidade, principalmente na detecção de Fósforo, Nitrato e na redução de OD.

Alguns parâmetros que demonstraram maior suscetibilidade às variações sazonais e as alterações que ocorrem no uso e ocupação da terra. As mudanças observadas no valor de pH, Turbidez, Sólidos, Coliformes, Fósforo e Nitrato corroboram para esta conclusão, uma vez que no período de maior concentração de chuvas os parâmetros tiveram maior concentração. Estes efeitos foram mais marcantes nos pontos à jusante de lançamentos pontuais como no P4 da BHRR e no P2 da BHCG.

A aplicação do  $IQA_{NSF}$  deu um importante panorama para a compreensão da qualidade da água ponto a ponto em cada uma das BH, inclusive o efeito da recuperação com o distanciamento das atividades de maior potencial poluidor. Se comparadas as classificações do córrego do Gramado e Ribeirão dos Ranchos, observando o respectivo enquadramento, demonstra que a BHCG precisa de ações corretivas sobre as atividades antropogênicas que circundam o córrego.

As alterações ocasionadas pelo uso e ocupação da terra e pela sazonalidade quando confrontadas com os resultados do  $IQA_{NSF}$  reforçam a hipótese de que BH de pequeno porte são suscetíveis aos impactos das atividades antropogênicas na qualidade da água. Portanto, a continuidade de estudos de qualidade da água com foco temporal e espacial são preponderantes para a preservação da qualidade das águas em BH de pequeno porte.

O novo IQA gerado para as duas BH's reforçou as constatações que foram apresentados pelo  $IQA_{NSF}$ , porquanto os resultados obtidos foram numericamente reduzidos. Fato este que é evidenciado pela queda no estado de qualidade em diversos meses, como nos pontos P1, P2 e P3 das duas BH's. O principal motivo

é que as variáveis que tinham menor influência no resultado final foram adequadamente retiradas.

Com base nos resultados e nos dados obtidos, espera-se que sejam criados subsídios para auxiliar os órgãos competentes na elaboração de políticas de preservação das BH's do Córrego do Gramado e Córrego dos Ranchos.

Futuros trabalhos podem agregar a influência quantitativa da água das duas BH's. Durante o desenvolvimento das campanhas amostrais foi notada a rápida resposta das bacias e este aspecto é relevante para a compreensão dos efeitos em BH de pequeno porte.

## REFERÊNCIAS

- ADAMANTINA. Prefeitura do Município de Adamantina. **História do Município**. Adamantina, 2020. Disponível em: <http://www.adamantina.sp.gov.br/?pag=T1RjPU9EZz1PVFU9T0dVPU9HST1PVEE9T0dFPU9HRT0=&idmenu=214>. Acesso em 10 de jan. de 2020.
- AGUILAR, J. A. P. *et al.* Analysis of existing water information for the applicability of water quality indices in the fluvial-littoral area of turia and Jucar Rivers, valencia, Spain. **Applied Geography**, Oxford, v. 111, n. 1, p. 1-11, 2019.
- ANDRADE, L. F. **Análise espaço-temporal do escoamento fluvial nas Bacias Hidrográficas dos Rios Aguapeí e Peixe, oeste paulista, Brasil**. 2014. 152 f. Dissertação (Mestre em Geografia). Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Presidente Prudente, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12620**: águas: determinação de nitrato: métodos do ácido cromotrópico e do ácido fenoldissulfônico: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1992.
- APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20th Edition, American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environmental Federation, Washington DC, 1998.
- AKKOYUNLU, A.; AKINER, M. E. Pollution evaluation in streams using water quality indices: a case study from turkey's sapanca lake basin. **Ecological Indicators**, Amsterdam, v. 18, n. 1, p. 501-511, 2012.
- BARAKAT, A. *et al.* 2018. Physicochemical and microbial assessment of spring water quality for drinking supply in Piedmont of Béni-Mellal Atlas (Morocco). **Physics And Chemistry Of The Earth**, Oxford, v. 104, n. 1, p. 39-46.
- BRASIL. Ministério do Meio ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento e dá outras providências. Brasília, DF, 2005. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em 07 de jul. de 2019.
- BRASIL. Ministério do Meio ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamentos de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Brasília, DF, 2011. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 07 de jul. de 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional da Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília: Funasa, 2014, 112 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021**. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, DF, 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso em: 16 de ago de 2021.

CANTO, M. M.; *et al.* A benthic light index of water quality in the Great Barrier Reef, Australia. **Marine Pollution Bulletin**, London, v. 169, p. 112539, 2021.

CBH-AP. Comitê das bacias hidrográficas dos rios Aguapeí e Peixe. **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos das Bacias dos Rios Aguapeí e Peixe - 1997**. [S. l.: s. n.], 1997. Disponível em: <http://cbhap.org/publicacoes/relatorioz/>. Acesso em: 07 de jul. de 2020.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011. 326 p.

CETESB, 2018. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Apêndice D – Índices de Qualidade das Águas**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>. Acesso em: 08 de jul. de 2019.

CETESB, 2020. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **pH – Mortandade de Peixes**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/mortandade-peixes/alteracoes-fisicas-e-quimicas/ph/>. Acesso em: 31 de jul. de 2020.

CARRASCO, G. *et al.* Water quality evaluation through a multivariate statistical HJ-Biplot approach. **Journal Of Hydrology**, Amsterdam, v. 577, p.1-9, 2019.

CECCONELLO, S. T.; CENTENO, L. N.; GUEDES, H. A. S. Índice de qualidade de água modificado pela análise multivariada: estudo de caso do Arroio Pelotas, RS, Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 5, p. 973-978, 2018.

CHOWDHURY, S.; HUSAIN, T. 2020. Reducing the dimension of water quality parameters in source water: an assessment through multivariate analysis on the data from 441 supply systems. **Journal Of Environmental Management**, Amsterdam, v. 274, p. 12.

CENTRO INTEGRADO DE INFORMAÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS - CIIAGRO. Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). Ciiagro On-line. 2020. Disponível em: <http://http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/Listagens/Resenha/LResenhaLocal.asp>. Acesso em: 20 de jun. de 2020.

CNRH. **Resolução n. 32, de 15 de outubro de 2003**. Anexo I. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2003.

DEGIFE, A. *et al.* Land use land cover dynamics, its drivers and environmental implications in Lake Hawassa Watershed of Ethiopia. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, Amsterdam, v. 14, n. 1, p. 178-190, 2019.

DEMISSE, G. B. *et al.* Linking seasonal drought product information to decision makers in a data-sparse region: a case study in the greater horn of africa. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, Amsterdam, v. 14, n. 1, p. 200-206, 2019.

EFFENDI, H.; ROMANTO; WARDIATNO, Y. Water Quality Status of Ciambulawung River, Banten Province, Based on Pollution Index and NSF-WQI. **Procedia Environmental Sciences**, Amsterdam, v. 24, n. 1, p. 228-237, 2015.

FÁVERO, L. P. *et al.* **Análise de dados**: modelagem multivariada para tomada de decisões. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009. Cap. 6, p. 20.

FERNANDES, M. R.; 2020. **Relação entre variáveis limnológicas de canais fluviais da UGRHI-22 e do uso e cobertura da terra**. 2020. 112 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Presidente Prudente, 2020.

FERREIRA, D. F. **Análise Multivariada**. Universidade Federal de Lavras – Departamento de Ciências Exatas, Lavras/MG, 1996, 1996. 401 p.

FLACH, R. *et al.* Water productivity and footprint of major Brazilian rainfed crops – A spatially explicit analysis of crop management scenarios. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 233, n. 1, p. 1-10, 2020.

FONSECA, J. S. DA; MARTINS, G. DE A. **Curso de Estatística**. São Paulo: Atlas, 2011. 318 p.

GOTELLI, N. J.; ELLISON, A.. M. **Princípios de Estatística em Ecologia**. Porto Alegre: ARTMED, 2011. 510 p.

GOKALP, Z; MOHAMMED, D. Assessment of heavy metal pollution in Heshkaro stream of Duhok city, Iraq. **Journal Of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 237, p. 1-7, 2019.

HARMEL, R. D. *et al.* 2006. Cumulative Uncertainty in Measured Streamflow and Water Quality Data for Small Watersheds. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, [S.L.], v. 49, n. 3, p. 689-701.

HEIß, L. *et al.* Index-based groundwater vulnerability and water quality assessment in the arid region of Tata city (Morocco). **Groundwater For Sustainable Development**, St Joseph, v. 10, n. 1, p. 1-12, 2020.

HONGYU, K. Análise Fatorial Exploratória: resumo teórico, aplicação e interpretação. **E&s Engineering And Science**, Cuiaba, v. 7, n. 4, p. 88-103, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **IBGE cidades, 2020**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 10 de jan. de 2020.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO - IGC.. **Mapa das Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo**. Disponível em: <http://www.igc.sp.gov.br/produtos/ugrhi.html>. Acesso em: 04 de jun. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Divisão de Geração de Imagens: Coordenação Geral de Observação da Terra**. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/>. Acesso em: 10 dez. 2019.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. **Mapa geológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000**. São Paulo: IPT, 1981a. Volume II, Divisão de Minas e Geologia Aplicada, São Paulo.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. Upper Saddle River, NJ: Pearson/Prentice Hall, 2007. 773 p.

KHADIJA, D. *et al.* Surface water quality assessment in the semi-arid area by a combination of heavy metal pollution indices and statistical approaches for sustainable management. **Environmental Challenges**, Amsterdam, v. 5, p. 100230, 2021.

KOHORI, C. B. **Mudanças no uso da terra no alto curso da Bacia do Ribeirão dos Ranchos – Adamantina/SP e impactos sobre os cursos d'água**. 2017. 112 f. Dissertação (Mestre em Geografia). Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Presidente Prudente, 2017.

LATTIN, J. M. **Análise de dados multivariados**. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 21 p.

LEITE, N. M. G. *et. Al.* A Influência Da Disposição Final dos Resíduos Sólidos nos Recursos Hídricos: uma revisão sistemática / the influence of the final disposal of solid waste on water resources. **Brazilian Journal Of Development**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 12997-13006, 2021.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas: Átomo, 2010. 494 p.

LIMA, R. N. de S. *et al.* Estudo da poluição pontual e difusa na bacia de contribuição do reservatório da usina hidrelétrica de Funil utilizando modelagem espacialmente distribuída em Sistema de Informação Geográfica. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 1, p.139-150, 2016.

MARIN, M. *et al.* Assessing the vulnerability of water resources in the context of climate changes in a small forested watershed using SWAT: a review. **Environmental Research**, Maryland Heights, v. 184, n. 1, p. 1-10, 2020.

MARQUES, M. C. V. **O Comitê de Bacias Hidrográficas dos rios Aguapeí e Peixe e seus municípios: uma proposta de legislação municipal complementar de proteção dos recursos hídricos**. 2014. 127 f. Dissertação (Mestre em Geografia). Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Presidente Prudente, 2014.

MEDEIROS, A. C. *et al.* Quality index of the surface water of Amazonian rivers in industrial areas in Pará, Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, London, v. 123, n. 1-2, p. 156-164, 2017.

MENCARINI, R. E. P. **Elaboração de Índice de Qualidade de Água para a baía de Guanabara aplicando Estatística Multivariada**. 2018. 287 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos). Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

MELLO, K. *et al.* 2018. Effects of land use and land cover on water quality of low-order streams in Southeastern Brazil: Watershed versus riparian zone. **Catena**, [s.l.], v. 167, p.130-138.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Caderno da Região Hidrográfica do Paraná**. Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília: MMA, 2006.

MUKATE, S. *et al.* Development of new integrated water quality index (IWQI) model to evaluate the drinking suitability of water. **Ecological Indicators**, Amsterdam, v. 101, n. 1, p. 348-354, 2019.

NASCIMENTO, F. das C. A. do; BRAGA, C. C.; ARAÚJO, F. R. da C. D. Análise Estatística dos Eventos Secos e Chuvosos de Precipitação do Estado do Maranhão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 32, n. 3, p. 375-386, 2017.

NONG, X *et al.* 2020. Evaluation of water quality in the South-to-North Water Diversion Project of China using the water quality index (WQI) method. **Water Research**, Oxford, v. 178, n. 1, p. 1-15, 2020.

OLIVEIRA, E. DOS S. DE. **Indicadores geoambientais de qualidade das águas na Bacia do Córrego Sujo, médio vale do Rio Paraíba do Sul, Teresópolis (RJ)**. 2007. 186 f. Tese (Doutorado em Gequímica Ambiental). Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2007.

OLIVEIRA, M. D. de. *et al.* Evaluating the surface Water quality index fuzzy and its influence on water treatment. **Journal Of Water Process Engineering**, Annaba, v. 32, n. 1, p. 1-10, 2019.



ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. **Transformando nosso mundo – A agenda 2030 para o Desenvolvimento sustentável**. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em 20 de jul. de 2020.

PATHFINDER SCIENCE. **Water Quality Index Protocol, 2018**. Disponível em: <http://www.pathfinderscience.net/stream/cproto4.cfm>. Acesso em: 30 .jun. 2020.

PEDRO, L. C. Geomorfologia Urbana: Impactos no Ambiente Urbano decorrente da forma de apropriação, ocupação do relevo. **Geografia em questão**. Marechal Cândido Rondon, v. 4, n. 1, p. 153-172, 2011.

PELUSO, J. *et al.* Integrated analysis of the quality of water bodies from the lower Paraná River basin with different productive uses by physicochemical and biological indicators. **Environmental Pollution**, Oxford, v. 263, n. 1, p. 1-10, 2020.

PEREIRA, R. F. **Estudo do Impacto da variação dos parâmetros no cálculo final do Índice de Qualidade da água (IQA) como critério de classificação dos corpos hídricos superficiais**. 2015. 122 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

PERKIN-ELMER. **Analytical Methods for Atomic Absorption Spectroscopy**. 4 ed. Filadélfia, EUA: The Perkin-Elmer Corporation, 1996. 300 p.

PRANDI, E. C. **Gestão integrada das águas do sistema aquífero Bauru nas Bacias Hidrográficas dos rios Aguapeí e Peixe/SP**. 2010. 192 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente). Instituto de Geociências e Ciências Exatas - UNESP, Rio Claro, 2010.

PRESIDENTE PRUDENTE. Prefeitura do Município de Presidente Prudente. **Mapas e Informações Geográficas**. 2020. Disponível em: [http://www.presidenteprudente.sp.gov.br/site/central\\_mapas.xhtml](http://www.presidenteprudente.sp.gov.br/site/central_mapas.xhtml). Acesso em 10 de jan. de 2020.

PULIDO, A. S.; RIZK, M. C. Avaliação Ambiental Do Córrego Do Gramado – Presidente Prudente/SP. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo Santo do Pinhal, v. 12, n. 01, p. 16-30, 2015.

RODRIGUES, V. *et al.* Effects of land use and seasonality on stream water quality in a small tropical catchment: the headwater of córrego água limpa, são paulo (brazil). **Science Of The Total Environment**, Amsterdam, v. 622-623, n. 1, p. 1553-1561, 2018.

ROLIM, G. de S. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p.711-720, 2007.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000**. São Paulo: Laboratório de Geomorfologia, Departamento de Geografia - FFLCH - USP / Laboratório de Cartografia Geotécnica - IPT/FAPESP, 1997. 2v.

ROSSI, M. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado**. São Paulo: Instituto Florestal, 2017. v.1 p. 118. (inclui mapas).

SÃO PAULO. **Decreto nº 10.755 de 22 de novembro de 1977**. Dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na classificação prevista no Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976 e dá providências correlatas. São Paulo (Estado), 1977.

SÃO PAULO. **Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991**. Estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos. São Paulo (Estado), 1991.

SÃO PAULO. Instituto Florestal. **Sistema de Informações Florestais do Estado De São Paulo – SIFESP**. Disponível em: [www.infraestruturameioambiente.sp.gov/sifesp/mapas-municipais/](http://www.infraestruturameioambiente.sp.gov/sifesp/mapas-municipais/). Acesso em: 10 jan. 2020.

SÃO PAULO. **Lei nº 16.337, de 14 de dezembro de 2016**. Dispõe sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos - PERH e dá providências correlatas. São Paulo (Estado), 2016.

SANTOS, J. A. DOS; REIS, A. L. DOS; BORIM, W. E. Estudo da Qualidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do córrego do Rancho em Adamantina/SP. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, [s.l.], v. 11, n. 5, p. 1-13, 2015.

SPERLING, M. **Introdução à qualidade de Águas e ao tratamento de Esgotos**. Belo Horizonte: UFMG, 1996. 2 ed. 243 p.

SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. Belo Horizonte: UFMG, 2007. 7 v. 588 p.

SULTANA, M S.; DEWAN, A. A reflectance-based water quality index and its application to examine degradation of river water quality in a rapidly urbanising megacity. **Environmental Advances**, Oxford, p. 100097, 2021.

SUTADIAN, A. D. *et al.* Development of a water quality index for rivers in West Java Province, Indonesia. **Ecological Indicators**, Amsterdam, v. 85, n. 1, p. 966-982, 2018.

TARAWALLY, M. *et al.* 2019. Land use/land cover change evaluation using land change modeller: a comparative analysis between two main cities in sierra leone. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, Amsterdam, v. 16, p. 1-9, 2019.

TOLERA, M.; CHUNG, II-M.; CHANG, S. Evaluation of the Climate Forecast System Reanalysis Weather Data for Watershed Modeling in Upper Awash Basin, Ethiopia. **Water**, [s.l.], v. 10, n. 6, p. 1-17, 3 jun. 2018.

TRIPATHI, M.; SINGAL, S. K. Use of Principal Component Analysis for parameter selection for development of a novel Water Quality Index: a case study of river ganga india. **Ecological Indicators**, Amsterdam, v. 96, n. 1, p. 430-436, 2019.

TIAN, Y. *et al.* Using a water quality index to assess the water quality of the upper and middle streams of the Luanhe River, northern China. **Science Of The Total Environment**, Amsterdam, v. 667, n. 1, p. 142-151, 2019.

USTAOĞLU, F.; TEPE, Y.; TAŞ, B. Assessment of stream quality and health risk in a subtropical Turkey river system: a combined approach using statistical analysis and water quality index. **Ecological Indicators**, Amsterdam, v. 113, n. 1, p. 1-12, 2020.

UNDA-CALVO, J. *et al.* Multivariate statistical analyses for water and sediment quality index development: a study of susceptibility in an urban river. **Science Of The Total Environment**, Amsterdam, v. 711, p. 1-13, 2020.

VICINI, L.; SOUZA, A. M. **Análise multivariada da teoria à prática**. Santa Maria: Biblioteca Central da UFSM, 2005. 215 p.

VIEIRA, A. G. **A qualidade das Águas em canais fluviais da Bacia Hidrográfica do Córrego do Gramado, no município de Presidente Prudente/SP: A Interpretação à partir das diferentes formas de apropriações do Território**. 2018. 106 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Presidente Prudente, 2018.

XIAO, S. *et al.* Influence of sewage treatment plant effluent discharge into multipurpose river on its water quality: A quantitative health risk assessment of Cryptosporidium and Giardia. **Environmental Pollution**, Oxford, v. 233, p. 797-805, 2018.

YAN, F. *et al.* A dynamic water quality index model based on functional data analysis. **Ecological Indicators**, Amsterdam, v. 57, n. 1, p. 249-258, 2015.

ZHANG, W. *et al.* Optimizing the integration of pollution control and water transfer for contaminated river remediation considering life-cycle concept. **Journal Of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 236, p. 1-10, 2019.

## **ANEXO A – Teste de DBO (5 dias) com diluição e sem inóculo**

*(Standard Methods for the examination of water and wastewater – APHA 1998)*

### **Materiais**

#### *Vidrarias*

- Frascos padrão de DBO;
- Béqueres de 500 mL, 1000 mL e 4000mL;
- Pipetas volumétricas de 1 mL, 5 mL, 10mL e 25mL;
- Provetas de 100, 500 e 1000 mL;

#### *Equipamentos*

- Incubadora a 20 °C  $\pm$ 1 °C, sem luz;
- pHmetro;
- Bomba a vácuo;
- Oxímetro.

#### *Limpeza e preparação de materiais*

Todos os materiais utilizados (vidrarias) devem ser lavados com solução sulfocrômica e água deionizada.

### **Reagentes**

- Fosfato monobásico de potássio,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  p.a;
- Fosfato dibásico de potássio,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  p.a;
- Fosfato dibásico de sódio heptahidratado,  $\text{NaHPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  p.a;
- Cloreto de amônio,  $\text{NH}_4\text{Cl}$  p.a;
- Sulfato de magnésio heptahidratado,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  p.a;
- Cloreto de cálcio,  $\text{CaCl}_2$  anidro p.a;
- Cloreto férrico hexahidratado,  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  p.a;
- Hidróxido de sódio,  $\text{NaOH}$  p.a;
- Ácido sulfúrico,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  p.a;
- Sulfito de sódio,  $\text{NaSO}_3$  p.a.

## Soluções

### *Solução tampão de fosfatos*

Dissolver em balão volumétrico de 1000 mL, 8,5 g  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  p.a, 21,75 g de  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  p.a, 33,4 g de  $\text{NaHPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  p.a e 1,7 g de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  p.a, em aproximadamente 500 mL de água deionizada. O pH da solução deve ser 7,2 sem ajustes. Armazenar em frasco âmbar.

### *Solução de sulfato de magnésio*

Dissolver em balão volumétrico de 1000 mL, 22,5 g de  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  p.a em água deionizada. Armazenar em frasco âmbar.

### *Solução de cloreto de cálcio*

Dissolver em balão volumétrico de 1000 mL, 27,5 g de  $\text{CaCl}_2$  anidro p.a em água deionizada. Armazenar em frasco âmbar.

### *Solução de cloreto férrico*

Dissolver em balão volumétrico de 1000 mL, 0,25 g de  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  p.a em água deionizada. Armazenar em frasco âmbar.

### *Solução de hidróxido de sódio 1M*

Diluir em balão volumétrico de 1000 mL, 40 g de  $\text{NaOH}$  p.a em água deionizada isenta de  $\text{CO}_2$ . Armazenar em frasco plástico opaco.

### *Solução de ácido sulfúrico 0,5M*

Diluir 28 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  p.a concentrado a 1000 mL, com água deionizada, em balão volumétrico. Armazenar em frasco âmbar. Solução válida para 6 meses.

### *Solução de sulfito de sódio*

Dissolver 1,575 g de  $\text{NaSO}_3$  p.a a 1000 mL de água deionizada em balão volumétrico. Esta solução é instável; prepará-la diariamente;

### *Água de diluição*

Introduzir um volume desejado de água desmineralizada num frasco e adicionar 1 mL de cada solução produzida previamente para cada litro de água nesta sequência: tampão de fosfatos, sulfato de magnésio, cloreto de cálcio e cloreto férrico. Deixar aerando durante 15 minutos, para que a concentração de OD seja a de saturação. Após este período, desligar o aerador e aguardar 30 minutos para poder usá-la.

### **Procedimento**

Para a determinação dos volumes utilizados nas diluições, pode-se adotar a seguinte prática:

$$V_3 = \frac{n \times 10}{DQO_{amostra}}$$

Em que:

$V_3$  é o volume de amostra a ser introduzido ;

$n$  = valor entre 500 e 1500 (usual 1200);

$$V_2 = \frac{V_3}{2}$$

Em que:

$V_2$  é o volume de amostra a ser introduzido no 2º frasco de DBO da série do teste.

$$V_1 = \frac{V_2}{2}$$

Em que:

$V_1$  é o volume de amostra a ser introduzido no 1º frasco de DBO da série do teste.

$$V_4 = 2 \times V_3$$

em que,

$V_4$  é o volume de amostra a ser introduzido no 4º frasco de DBO da série do teste.

A diluição da amostra pode ser feita em proveta.

#### *Execução do ensaio*

- a) Homogeneizar a amostra e retirar uma porção para um béquer de 1000 mL;
- b) Corrigir o pH com a solução de ácido sulfúrico 0,5 M ou hidróxido de sódio 1 M na, faixa de 6,5 a 7,5;
- c) Separar os frascos de DBO, identificando-os sequencialmente de acordo com o seu conteúdo;
- d) Medir o oxigênio dissolvido inicial –  $O_{di}$  do conteúdo de cada frasco;
- e) Tampar os frascos completando com água deionizada, para ocasionar o selo hídrico e levá-los à incubadora. Este selo deverá ser mantido durante o teste;
- f) Após 5 dias retirá-los da incubadora e medir o oxigênio final –  $O_{df}$  do conteúdo de cada frasco.

### **Resultados**

#### ***Condições de validade do teste***

- O consumo de oxigênio dissolvido no branco, isto é, na água de diluição utilizada para o teste após 5 dias em 20 °C deverá ser no máximo de 0,2 mg L<sup>-1</sup>.
- O consumo de oxigênio dissolvido nos frascos das amostras no final do período de 5 dias em pelo menos uma das quatro diluições do teste deverá ser superior a 2 mg /L.
- O oxigênio dissolvido residual em cada frasco de amostras de DBO após o período do teste deverá ser maior ou igual a 1mg L<sup>-1</sup>.
- O valor da DBO será a medida aritmética dos valores válido da DBO de cada frasco.

### ***Cálculos***

#### *Cálculo para o Branco*

$$DBO_{mg\ O_2/L} = O_{di} - O_{df}$$

#### *Cálculos para amostras sem semente*

$$\text{DBO}_{\text{mg O}_2/\text{L}} = \frac{\text{Od}_i - \text{Od}_f}{P} - \text{DBO}_{\text{branco}}$$

Em que:

$$P = \frac{\text{volume (mL) da amostra introduzido no frasco}}{\text{volume (mL) do frasco}}$$



## ANEXO B – Método por Refluxo fechado, Colorimétrico

(Standard Methods for the examination of water and wastewater – APHA 1998)

### Materiais

- Pipeta com capacidade para 5 mL;
- Tubos de digestão para determinação da DQO, com 12 mL de capacidade;
- Balões volumétricos;
- Pipetas volumétricas;
- Béquer de 100, 230, 500 e 1000 mL;
- Espátulas;
- Bloco Digestor para 25 amostras;
- Espectrofotômetro;
- Balança Analítica;
- Agitador;
- Estufa.

### Reagentes

- Dicromato de Potássio,  $K_2Cr_2O_7$  p.a;
- Sulfato de Mercúrio,  $HgSO_4$  p.a;
- Ácido Sulfúrico,  $H_2SO_4$ ;
- Sulfato de Prata,  $Ag_2SO_4$  p.a;
- Biftalato de Potássio  $C_8H_5KO_4$  p.a.

### Soluções

#### Solução oxidante

Dissolver em 500 mL de água destilada 10,216 g de  $K_2Cr_2O_7$ , previamente seco a  $103\text{ }^{\circ}C$  por 2 horas, 33,3 g de  $HgSO_4$  e adicionar 167 mL de  $H_2SO_4$  concentrado. Após o esfriamento, completar o volume em balão volumétrico de 1000 mL com água destilada.

#### Solução catalítica

Dissolver 10 g de Sulfato de Prata ( $Ag_2SO_4$ ) em 1 litro de ácido Sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) concentrado.

*Solução padrão:*

Pesar 0,8509 g de Biftalato de Potássio P.A. ( $C_8H_5KO_4$ ) seco em estufa à 100°C por 2 horas, esperar esfriar e dissolver em água destilada. Logo após, completar o volume em balão volumétrico de 1000 mL. Esta solução corresponde a uma concentração de 1000 mg de  $O_2$  / L.

*Solução Sulfoocrômica*

Pesar e adicionar 30g de Dicromato de potássio a um béquer de 1L. Adicionar 150mL de água destilada ao béquer de 1L e homogeneizar com bastão de vidro. Adicionar 500 mL de ácido sulfúrico concentrado, com constante agitação durante a adição. Após o resfriamento, acondicionar em frasco âmbar.

**Procedimento****Preparo da curva de calibração**

Preparar uma série de soluções padrões de 100 mg de  $O_2$ /L a 700 mg de  $O_2$  /L a partir da solução padrão de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 - Série de soluções padrões de 100 mg de  $O_2$ /L a 700 mg de  $O_2$  /L a partir da solução padrão

Volume da solução padrão a completar 100 mL em balão volumétrico	Concentração Teórica (mg $O_2$ /L)
10	100
20	200
30	300
40	400
50	500
60	600
70	700

O branco é preparado substituindo-se a amostra por água destilada.

A curva de calibração é dada por meio da leitura dos padrões em absorbância (após digestão) e sua relação com a respectiva concentração teórica.

Confirmada a boa correlação dos resultados ( $r^2 = 0,9999$ ), utilizar a curva até esgotar a solução de digestão utilizada para prepará-la.

### **Determinação da DQO (padrões e amostra)**

Em capela devem ser colocados em tubos de oxidação 2,5 mL da amostra (DQO menor que 600 mg de  $O_2$  /L) ou padrões; 1,5 ml de solução oxidante e 3,5 mL de solução catalítica. Após inserção, fechar e agitar.

#### *Digestão*

Ligar o bloco digestor e configurar a temperatura de 150 °C. Verificado o alcance da temperatura no digestor em 150 °C, introduzir no mesmo os tubos de DQO contendo as amostras e o branco. Após digestão de 2 horas, desligar o equipamento e iniciar a leitura a quente, evitando que íons  $Cl^-$  precipitem com a prata, a frio, e venham interferir na leitura.

#### *Leitura Espectrofotométrica da DQO*

- Realizar a leitura das amostras com comprimento de onda de: 620 nm;
- Determinar a concentração de oxigênio necessário para oxidar a amostra a partir da equação da reta da curva de calibração;

### **Resultados**

Determinar a concentração de oxigênio necessário para oxidar a amostra a partir da equação da reta da curva de calibração (absorbância x concentração dos padrões).

## ANEXO C – Sólidos Totais por método Gravimétrico

(Standard Methods for the examination of water and wastewater – APHA 1998)

### Materiais

#### *Vidrarias*

- Proveta 100 mL;
- Dessecador;
- Cápsulas de porcelana 100 mL.

#### *Equipamentos*

- Forno mufla para ignição em temperatura de 550±50 °C;
- Estufa para temperaturas de 103±2 °C;
- Balança de precisão 0,1 mg.

#### *Outros*

- Luvas de proteção térmica;
- Pinças.

### Procedimentos

a) Todas as cápsulas de porcelana devem ser calcinadas em forno mufla à 550 °C por 30 minutos. Após o resfriamento, devem as cápsulas serem colocadas em dessecador até que a temperatura seja ambiente, para que então todas sejam pesadas em balança analítica (P1).

b) Devem ser transferidos 100 mL de amostra homogeneizada, medidos em proveta, e levados à estufa a 103 ± 2 °C até secagem completa.

c) Após o resfriamento no dessecador, as cápsulas devem ser pesadas em balança analítica (P2).

### Cálculos

$$ST = \frac{(P2-P1)}{\text{Volume}} \times 10^6$$

Em que:

P1 = Peso da cápsula de porcelana (g);

P2 = Peso da cápsula de porcelana acrescido da amostra evaporada (g);

Volume = Volume da amostra (mL).

**ANEXO D – Nitrato por Método do Ácido Fenoldissulfônico**  
(NBR 12.620/1992)

**Materiais**

*Vidraria*

- Balão volumétrico de 100 e 1000 mL;
- Provetas de 100 mL;
- Pipetas graduadas de 1, 5 e 10 mL;
- Béquer de 250 mL;
- Cápsula de porcelana, 100 mL;
- Pipetas 1 mL, 2 mL, 5 mL, 10 mL e 25mL.

*Equipamentos*

- Espectrofotômetro;
- Balança analítica;
- Estufa;
- pHmetro.

*Reagentes e Soluções*

- Nitrato de Potássio,  $\text{KNO}_3$ , ou Nitrato de Sódio,  $\text{NaNO}_3$ , pureza mínima 99%;
- Clorofórmio,  $\text{CHCl}_3$ , p.a.;
- Hidróxido de Amônio,  $\text{NH}_4\text{OH}$ , p.a.;
- Sulfato de Alumínio e Potássio Duodecaidratado,  $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ , p.a. ou Sulfato de Alumínio e Amônio Duodecaidratado,  $\text{AlNH}_4(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ , p.a.;
- Ácido Sulfúrico,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , p.a.;
- Ácido Sulfúrico Fumegante ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  15%  $\text{SO}_3$  livre) p.a.;
- Peróxido de Hidrogênio 30%,  $\text{H}_2\text{O}_2$ , p.a.;
- Sulfato de Prata,  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ , p.a.;
- Fenol,  $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ , p.a.

*Solução-Estoque de nitrato*

Secar a  $105^\circ\text{C}$  por 24h  $\text{KNO}_3$  (nitrato de potássio) – ou nitrato de sódio ( $\text{NaNO}_3$ ) para posteriormente dissolver 0,7218 g em água destilada isenta de

nitrato e diluir a 1000 mL em balão volumétrico. Preservar com 2mL de clorofórmio p.a (CHCL<sub>3</sub>). Solução estável por seis meses.

#### *Solução Padrão de Nitrato 1*

Diluir 50mL da solução estoque de nitrato a 500mL de água destilada em balão volumétrico.

#### *Solução Padrão de Nitrato 2*

Diluir 20mL da solução estoque de nitrato a 1000mL de água destilada em balão volumétrico.

#### *Suspensão de Hidróxido de Alumínio*

Dissolver 125g de sulfato de alumínio e potássio duodecaidratado p.a. (AlK(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>. 12H<sub>2</sub>O), ou sulfato de alumínio e amônio duodecaidratado pa. (AlNH<sub>4</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.12H<sub>2</sub>O) em 1000mL de água destilada. Aquecer a 60°C, adicionar 55mL de hidróxido de amônio p.a. (NH<sub>4</sub>OH), lentamente e com agitação. Deixar a mistura em repouso por 1 hora para depois transferir para um béquer de 2000mL e lavar o precipitado várias vezes por adição de água destilada, misturando e deixando decantar, até que seja detectada ausência de amônia, cloreto, nitrito e nitrato no sobrenadante. Remover o máximo de sobrenadante possível, restando a suspensão concentrada.

#### *Solução de Ácido Sulfúrico 1N*

Diluir 27,2 mL de ácido sulfúrico concentrado p.a.(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) a 1000mL de água destilada.

#### *Solução de Sulfato de Prata*

Dissolver 4,40 g de sulfato de prata p.a. (Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), em água e diluir a 1000mL.

#### *Reagente de Ácido Fenoldissulfônico:*

Dissolver 25g de fenol p.a. (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH), em 150mL de ácido sulfúrico concentrado p.a.. Adicionar cuidadosamente 75mL de ácido sulfúrico fumegante p.a (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 15% SO<sub>3</sub> livre), homogeneizar e aquecer em banho-maria durante 2 horas.

### *Solução de Peróxido de Hidrogênio*

Diluir 10mL de peróxido de hidrogênio p.a. 30%, $H_2O_2$ , a 100mL com água destilada.

### **Procedimento**

#### *Amostras*

- a) Medir 100 mL da amostra e ajustar o pH em torno de 7. Transferir para uma cápsula de porcelana e evaporar até a secura em banho maria.
- b) Adicionar 2 mL de reagente ácido fenoldissulfônico e atritar com bastão de vidro para dissolver o resíduo.
- c) Adicionar 10 mL de água destilada e, com agitação, verter lentamente 6 mL de hidróxido de amônio.
- d) Esfriar e transferir a mistura para um balão volumétrico de 100 mL filtrando, se necessário e completar o volume com água destilada para enfim transferir uma porção da solução para uma cubeta de 10 mm.
- e) Por fim, ler a absorbância com espectrofotômetro com curvas de 410nm ou 480nm.

#### *Branco*

Fazer o Branco, utilizando 100mL água destilada e repetindo o procedimento executado para a amostra. O Branco será utilizado para “zerar” o espectrofotômetro.

#### *Padrões*

Preparar os padrões de várias concentrações de nitrato, fazendo diluições da solução padrão em balão volumétrico, conforme a Tabela 1 e Tabela 2.



Tabela 1 - Soluções-padrão para a curva de calibração do nitrato – Leitura em 410 nm

<b>Concentração de N-NO<sub>3</sub>, mg L<sup>-1</sup></b>	<b>Volume (mL) da SOLUÇÃO -PADRÃO 2 a ser diluído a 100mL de água destilada</b>
0 (branco)	0
0,05	2,5
0,10	5,0
0,20	10,0
0,40	20,0
0,60	30,0
0,80	40,0
1,00	50,0

Tabela 2 - Soluções-padrão para a curva de calibração do nitrato – Leitura em 480 nm

<b>Concentração de N-NO<sub>3</sub>, mg L<sup>-1</sup></b>	<b>Volume (mL) da SOLUÇÃO -PADRÃO 0 a ser diluído a 100mL de água destilada</b>
0 (branco)	0
1,0	1,0
2,0	2,0
4,0	4,0
6,0	6,0
8,0	8,0
10,0	10,0

#### *Leitura*

Plotar em um gráfico as absorvâncias obtidas em função da concentração dos padrões. Obter a equação da reta. O coeficiente de correlação ( $r^2$ ) deve ser superior a 98%.

## Resultados

O valor da concentração da amostra é obtido aplicando o valor da absorbância da amostra na equação da curva analítica dos padrões.

### **ANEXO E – Fósforo por Método do Aminoácido**

Adaptação de (*Standard Methods for the examination of water and wastewater –*  
APHA 1998)

## Materiais

### *Reagentes*

Molibdato HI 93706 A;

Aminoácido HI 93706B.

### *Equipamentos*

Multiparâmetros Hannah HI 83206

## Procedimentos

- a) Selecionar no equipamento o método Fósforo.
- b) Devem ser inseridos 10 mL de amostra homogeneizada na cubeta e realizada na sequência a leitura do branco.
- c) Em sequência, são adicionadas 10 gotas do reagente molibdato, um pacote de aminoácido e a cubeta deve ser agitada para a dissolução dos reagentes.
- d) A cubeta é colocada para o tempo de reação (5 minutos) dentro do equipamento e a leitura é feita automaticamente em mg L<sup>-1</sup>.

## **ANEXO F – DETERMINAÇÃO DE TURBIDEZ**

*(Standard Methods for the examination of water and wastewater – APHA 1998)*

### **Materiais**

- Cubetas;
- Água deionizada
- Turbidímetro Policontrol Ap2000

### **Procedimento**

- a) Executar calibração do equipamento seguindo os padrões disponibilizados e manual do fabricante;
- b) Lavar a cubeta com a amostra antes da leitura da mesma;
- c) Inserir a cubeta no equipamento com a amostra e realizar a leitura.

Este método para leitura da turbidez mede a quantidade de luz que passa pela amostra perpendicularmente, em Unidade Nefelométrica de Turbidez (NTU).

## ANEXO G – DETERMINAÇÃO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES E *E. COLI*

(Método: 3M Petrifilm Placa para contagem de coliforms)

Este método é composto por um meio de cultura com nutrientes modificados do meio Vermelho Violeta Bile (VRBA), agente gelificante solúvel e um indicador para a enumeração das colônias.

### Procedimento

- a) Todo o material passa por 15 minutos em contato com luz ultravioleta (UV);
- b) Dentro de uma capela de fluxo laminar, levantar o filme superior e coloque 1 mL da amostra no centro do filme inferior;
- c) Baixe o filme superior evitando a formação de bolhas;
- d) As placas devem ser levadas até incubadora à  $35\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 24 horas.

### Resultados

As colônias de coliformes são vermelhas, as de *E. Coli* azuis e são associadas com bolhas de gás próximas à sua formação.

**ANEXO H – ÍONS METÁLICOS (CA, PB, MN, MG, CR, NI, CD, FE, ZN, CU, AL)**  
**POR MÉTODO DE ESPECTROMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA**  
(*Standard Methods for the examination of water and wastewater – APHA 1998*)

**Materiais**

*Vidrarias*

- Béquer de 250 mL;
- Vidro de relógio;
- Balão volumétrico de 50 mL;
- Funil.

*Equipamentos*

- Chapa de aquecimento;
- Espectrofotômetro de Absorção Atômica (EAA);
- Lâmpadas.

*Outros*

- Filtros de papel.

**Reagentes e Soluções**

- Ácido Clorídrico, HCL (37%);
- Ácido Nítrico, HNO<sub>3</sub>;
- Padrões analíticos de 1000 ppm.

*Mistura Digestora para abertura de amostra*

Adicionar 500 mL de água deionizada, 500 mL de HCL (37%) e 185,2 mL de HNO<sub>3</sub> (54%). Conservar em frasco de polipropileno.

*Padrões Analíticos*

As Soluções padrão para a calibração do EAA podem ser preparadas por diluições de 1000 ppm de cada elemento a ser dosado.

**Procedimento**

Todo o material deve ser lavado com solução de Ácido Nítrico (5%).

### *Digestão*

- a) São inseridos 250 mL de amostra em um béquer;
- b) Adicionar 12 mL da mistura digestora para cada 100 mL de amostra.
- c) Deve ser feito prova em branco com água deionizada.
- d) Os béqueres são tampados com vidro de relógio e levados até a chapa de aquecimento, com temperatura de 90 °C, para redução até aproximadamente 30 mL, sem que ocorra fervura.
- e) As amostras devem ser filtradas e ter seu volume completo para 50 mL com água deionizada.

### **Resultados**

O EAA deve ser ajustado de acordo com as condições exigidas para a determinação de cada metal (Tabela 1) e determinado o zero com a prova em branco. Para cada metal deve ser feita a leitura dos padrões, realizando curva de calibração. Por fim, deve ser realizada a leitura das amostras para a determinação da concentração.

Tabela 1 – Características para detecção de íons metálicos com uso de EAA

<b>Íon Metálico</b>	<b>Gás aplicado</b>	<b>Comprimento de onda (nm)</b>
Mg	Acetileno – Ar	202,6
Mn	Acetileno – Ar	280,1
Ni	Acetileno – Ar	232,0
Pb	Acetileno – Ar	283,3
Zn	Acetileno – Ar	213,9
Ca	Acetileno – Ar	422,7
Cd	Acetileno – Ar	228,8
Cr	Acetileno – Ar	357,9
Cu	Acetileno – Ar	324,8
Fe	Acetileno – Ar	302,1
Al	Óxido Nitroso – Acetileno - Ar	309,3

Adaptado de PerkinElmer (1996).