

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

ANA CAROLINE STROMBERG

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO ARROIO PILÃO DE
PEDRA NO MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA UTILIZANDO
FERRAMENTAS DE ANÁLISE AMBIENTAL.**

PONTA GROSSA

2017

ANA CAROLINE STROMBERG

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO ARROIO PILÃO DE
PEDRA NO MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA UTILIZANDO
FERRAMENTAS DE ANÁLISE AMBIENTAL.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química, do Departamento Acadêmico de Engenharia Química, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Ciro Maurício Zimmermann

PONTA GROSSA

2017



TERMO DE APROVAÇÃO

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO ARROIO PILÃO DE PEDRA NO MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA UTILIZANDO FERRAMENTAS DE ANÁLISE AMBIENTAL

Por

Ana Caroline Stromberg

Monografia apresentada no dia 26 de maio de 2017 ao Curso de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Ponta Grossa. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho _____.

Prof. Dr. Cesar Arthur Martins Chornobai
(UTFPR)

Profa. Dra. Elizabeth Weinhardt de Oliveira Scheffer
(UEPG)

Prof. Dr. Ciro Mauricio Zimmermann
(UTFPR)
Orientador

Profa. Dra. Juliana de Paula Martins
Responsável pelo TCC do Curso de Engenharia Química

AGRADECIMENTOS

Certamente, estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e da minha gratidão.

Agradeço primeiramente a Deus, que tornou este sonho possível através das experiências vividas e das barreiras vencidas. À minha família, que esteve presente durante toda esta trajetória e que sempre me deu força, suporte e motivação para que eu alcançasse meus objetivos.

Agradeço imensamente ao meu orientador Prof. Dr. Ciro Maurício Zimmermann, por me acompanhar durante toda a graduação e, também, por todos os ensinamentos, suporte, paciência e dedicação que a mim foram direcionados, contribuindo de maneira significativa para a minha formação.

Agradeço aos meus amigos, pela força e parceria com que me apoiaram durante todo esse tempo, amigos com os dividi momentos especiais, tristes e felizes, projetos e experiências profissionais e com os quais construí laços eternos e duradouros.

Por fim, agradeço aos meus colegas Matheus Gomes e Larissa Chmilouski Taraciuk, que estiveram ao meu lado no projeto, e a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, por meio de suporte, conhecimentos, aprendizados ou infraestrutura.

RESUMO

STROMBERG, Ana Caroline. Avaliação da qualidade da água do arroio pilão de pedra no município de Ponta Grossa utilizando ferramentas de análise ambiental. 2017. 69f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.

No Brasil, a ocupação urbana vem crescendo de maneira acelerada, e este crescimento na maioria das vezes não é acompanhado de um correto planejamento urbano e ambiental. Na cidade Ponta Grossa, a qualidade sanitária dos arroios urbanos vem sendo comprometida pela ocupação habitacional desregrada ao seu entorno, associada à deficiência na coleta de resíduos e tratamento de esgoto. O objetivo deste estudo foi avaliar o impacto ambiental causado pelas atividades urbanas no município de Ponta Grossa/PR sobre a qualidade das águas do Arroio Pilão de Pedra, utilizando ferramentas estatísticas de análise ambiental como a Análise de Componentes Principais e os Índices de Qualidade de Água (IQA e IQA_{PVA}). Foram realizadas coletas durante 6 meses em 3 pontos de amostragens distintos: jusante a região central da cidade; na área de moradias irregulares e na foz do Arroio, no período de agosto/2012 a janeiro/2013. Os resultados dos parâmetros avaliados foram comparados aos limites estabelecidos, para rios de Classe II, pela legislação vigente CONAMA 357/2005 a fim de classificar o corpo d'água em questão. A partir desta comparação, associada à PCA e aos resultados obtidos pelo cálculo do IQA ficou caracterizado o estado de degradação ambiental da bacia estudada. Esta condição é mais acentuada na região central da cidade devido ao aporte irregular de esgoto não tratado, o que elevou os valores de matéria orgânica, reduzindo, assim, a oxigenação do rio e comprometendo a manutenção da vida aquática, a qual melhora apenas em períodos de elevada precipitação. Com base nos resultados obtidos, ainda, este arroio não pode ser classificado como Classe II.

Palavras-chave: Arroio Pilão de Pedra. Análise de Componentes Principais. Índice de Qualidade de Água. CONAMA 357/2005.

ABSTRACT

STROMBERG, Ana Caroline. Evaluation of the water quality of the Pilão de Pedra stream in the city of Ponta Grossa using environmental analysis tools. 2017. 69p. Final Year Project (Bachelor's Degree in Chemical Engineering) - Federal Technological University of Paraná. Ponta Grossa, 2017.

In Brazil, the urban occupation has been increasing in an accelerated way, and this growth is most often not accompanied by correct urban and environmental planning. In the city of Ponta Grossa, the sanitary quality of the urban streams has been compromised by the uncontrolled housing occupation associated with the deficiency in the collection of waste and sewage treatment. The objective of this study was to evaluate the environmental impact caused by urban activities in the city of Ponta Grossa/PR on the water quality of *Pilão de Pedra* stream, using statistical tools of environmental analysis such as Principal Components Analysis and Water Quality Index (IQA e IQA_{PVA}). Samples were collected for 6 months at three different sampling points: downstream of the city, in the area of irregular housing and at the mouth of the stream, from August/2012 to January/2013. The results of the parameters evaluated were compared to the limits established for Class II rivers by the current legislation CONAMA 357/2005 in order to classify the water body in question. From this comparison, associated to PCA and the results obtained by the WQA calculation, the state of environmental degradation of the studied basin was characterized. This condition is more accentuated in the central region of the city due to the irregular supply of untreated sewage, which increased the values of organic matter, thus reducing oxygenation of the river and affecting the maintenance of aquatic life, which only improves in periods of high precipitation. Based on the results obtained, still, this stream can not be classified as Class II.

Keywords: *Pilão de Pedra* stream. Principal component analysis. Water Quality Index CONAMA 357/2005.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. A) Matriz de amostras e parâmetros ambientais. B) Gráfico tridimensional do conjunto de dados composto por 36 amostras.....	20
Figura 2. A) Gráfico tridimensional ilustrando os eixos das componentes principais. B) Gráfico bidimensional da PC1 vs PC2.....	21
Figura 3. Mapa esquemático com os pontos de amostragem no Arroio Pilão de Pedra.....	31
Figura 4. Condições registradas no Ponto 1 com vista para o fim da canalização das águas.	32
Figura 5. Condições registradas ao entorno do Ponto 2 de amostragem.	32
Figura 6. Condições registradas ao entorno do Ponto 2 de amostragem.	33
Figura 7. Gráfico de escores (amostras) dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos para as duas componentes principais nos 3 pontos amostrados	45
Figura 8. Gráfico de loadings (pesos) dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos para as duas componentes principais nos 3 pontos amostrados	45
Figura 9. Gráfico de correlação entre IQA e o índice pluviométrico para os 3 pontos de amostragem	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Faixas de ponderação e categoria da qualidade das águas.	23
Tabela 2. Parâmetros Físico-químicos e Microbiológicos	43
Tabela 3. Variância percentual capturada pelo modelo PCA aos 3 pontos de amostragem	44
Tabela 4. Parâmetros e Pesos relativos do IQA.....	48
Tabela 5. Resultados do IQA para os 3 pontos de amostragens.	50
Tabela 6. Comparação entre IQAPVA e IQACETESB no ponto 1 de amostragem ..	52
Tabela 7. Comparação entre IQAPVA e IQACETESB no ponto 2 de amostragem	53
Tabela 8. Comparação entre IQAPVA e IQACETESB no ponto 3 de amostragem	53
Tabela 9. Resultados dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos referente ao período de estudo, para os 3 pontos de amostragem, utilizados como base de dados para a análise de componentes principais.	65
Tabela 10. Resultados dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos referente ao período do estudo, utilizados como base para o cálculo do IQACETESB, para os 3 pontos de amostragem.....	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Limites dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos para um rio de Classe II	16
Quadro 2. Curvas de normalização para Amônia total e Oxigênio dissolvido, com fatores de normalização e estados de qualidade.	52

LISTA DE SIGLAS

APHA	<i>American Public Health Association</i>
CETESB	Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental
CF	Coliformes fecais
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COT	Carbono Orgânico Total
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
FNHIS	Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social
FT	Fósforo Total
HNO ₃	Ácido Nítrico
IAP	Instituto Ambiental do Paraná
PC	Componente principal
PROLAR	Companhia de Habitação de Ponta Grossa
IQA	Índice de Qualidade das Águas
IQA _{PVA}	Índice de Qualidade das Águas para proteção da vida aquática
IQA	Índice de Qualidade das Águas
N(NH ₃)	Nitrogênio Amoniacal
NO ₃ ⁻	Nitrato
NFS	National Foudation Sanitation
NTK	Nitrogênio Total Kjeldahl
NTU	<i>Nephelometric Turbidity Unit</i>
OD	Oxigênio Dissolvido
PCA	<i>Principal component analysis</i>
pH	Potencial Hidrogeniônico
SIMEPAR	Sistema Meteorológico do Paraná
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SST	Sólidos Solúveis Totais
WQI	<i>Water Quality Index</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	12
2.1	OBJETIVO GERAL	12
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3	REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1	A ÁGUA E O MEIO URBANO	13
3.2	ARROIO PILÃO DE PEDRA	17
3.3	FERRAMENTAS DE ANÁLISE	19
3.3.1	Análise Multivariada	19
3.3.2	Índice de Qualidade de Água	23
3.3.3	Índice de Qualidade de Água para Proteção da Vida Aquática (IQAPVA)	30
4	MATERIAIS E MÉTODOS	31
4.1	MATERIAIS	31
4.1.1	Pontos de Amostragem	31
4.1.2	Limpeza dos Materiais	33
4.1.3	Coleta e Tratamento das Amostras	34
4.2	MÉTODOS	35
4.2.1	Sólidos Totais	35
4.2.2	Demanda Bioquímica de Oxigênio	35
4.2.3	Nitrogênio Total Kjeldahl	35
4.2.4	Nitrogênio Amoniacal	36
4.2.5	Fósforo Total	36
4.2.6	Cloreto	36
4.2.7	Alcalinidade	36
4.2.8	Coloração	36
4.2.9	Coliformes Termotolerantes	37
4.2.10	Demanda Química de Oxigênio, Carbono Orgânico Total, Surfactantes, Sólidos Solúveis, Nitrogênio de Nitrato	37
4.2.11	Análise de Dados	37
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
5.1	CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DE ÁGUA	39
5.2	ANALISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS	42
5.3	ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS (IQA)	47

5.4 ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS PARA PRESERVAÇÃO DA VIDA AQUÁTICA (IQAPVA)	51
6.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
REFERÊNCIAS	57
APÊNDICE A - Tabela de parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados durante o período coleta, referente aos três pontos de amostragem e utilizada como base de dados para a análise de componentes principais (PCA)	64
APÊNDICE B - Resultados dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos referente ao período de estudo, utilizados como base para o cálculo do IQA _{CETESB} , para os três pontos de amostragem.	66

1 INTRODUÇÃO

A água é considerada um bem natural e renovável, que necessita de um uso responsável e otimizado para a garantia de um ciclo hidrológico contínuo. A escassez dos recursos hídricos decorrente do crescimento desordenado da população e da crescente poluição doméstica e industrial atenta para a necessidade de monitoramento da qualidade das águas, visando propor medidas que auxiliem na melhoria dos mananciais hídricos superficiais e subterrâneos.

Na cidade Ponta Grossa, a ocupação habitacional desregrada em áreas próximas aos arroios, associada à deficiência de coleta e tratamento de esgoto, acabou por comprometer profundamente a qualidade sanitária dos arroios urbanos.

De acordo com Gealh, Melo e Moro (2010), dentre os arroios urbanos da cidade de Ponta Grossa, destaca-se o Arroio Pilão de Pedra, cuja nascente localiza-se no centro da cidade. De lá ele é canalizado percorrendo o sentido nordeste e atravessando diversos bairros. A população estimada nas suas margens é de 30 mil pessoas e juntamente com o Arroio Lajeado Grande é responsável por 80% da poluição do Rio Pitangui.

Segundo estudos desenvolvidos por Barreto, Pontes e Massuqueto (2009), o córrego Pilão de Pedra apresenta altos índices de degradação ao longo de seu curso, ligações irregulares de esgoto, lançamentos de dejetos e lixo diretamente na água.

Neste contexto, um controle de qualidade sobre as águas do Arroio urbano Pilão de Pedra permite que se consiga analisar o seu estado de conservação, bem como o impacto que o curso d'água detêm sobre a vida e a saúde das pessoas que habitam ao seu entorno.

As análises físico-químicas das águas de rio possibilitam a visualização, determinação, quantificação e inspeção dos parâmetros associados à qualidade de água, bem como a identificação da relação existente entre eles e o nível de comprometimento ao qual àquelas águas estão submetidas.

Além disso, a avaliação desses parâmetros permite analisar qual é a área da cidade que deposita maior carga de poluição sobre o arroio, o que pode ser associado à condição de vida da população naquela localização. A aplicação dessas análises possibilita desenvolver conhecimentos na área de atuação ambiental e de tratamento de resíduos e efluentes.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o impacto ambiental e o potencial poluente das atividades urbanas sobre a qualidade das águas do Arroio Pilão de Pedra.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estabelecer os pontos críticos de poluição das águas do Arroio Pilão de Pedra e avaliar a sua qualidade, por meio do monitoramento dos parâmetros físico-químicos, microbiológicos, durante o período de seis meses, através de coletas mensais.
- Utilizar ferramentas estatísticas para interpretação dos dados e avaliação do potencial poluente na região urbana de Ponta Grossa.
- Classificar o Arroio Pilão de Pedra, segundo CONAMA 357/2005 a partir dos resultados obtidos.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 A ÁGUA E O MEIO URBANO

De acordo com Tucci (2008), as águas urbanas conglomeram o sistema de abastecimento de água e esgotos sanitários, a drenagem urbana, bem como as inundações ribeirinhas e a gestão dos sólidos totais, objetivando a saúde e conservação ambiental.

Zimmermann (2008) afirma que disponibilidade de água de boa qualidade, bem como a capacidade de conservação dos corpos hídricos e mananciais fundamentam o desenvolvimento econômico e social de uma região.

Para Rebouças, Braga e Tundisi (2006), as características de qualidade de águas derivam dos ambientes naturais e antrópicos onde se originam, circulam, percorrem ou ficam estocadas. Os problemas de escassez de água que comprometem a sobrevivência da sociedade e do ambiente favorável a vida, são desencadeados pelo crescimento desordenado das demandas e, sobretudo, pelos processos de degradação da sua qualidade, atingindo níveis extremos, a partir da década de 1950.

O crescimento urbano no século XX se acelerou, principalmente, depois da Segunda Guerra Mundial, de forma que uma elevada parcela da população se mudou para as cidades, o que elevou os índices de poluição doméstica e industrial, resultando em condições ambientais inadequadas que propiciam o aumento da temperatura do meio, a contaminação de águas subterrâneas, a poluição aérea e sonora, o desenvolvimento de doenças de veiculação hídrica entre outros (TUCCI, 1997; TUCCI, 2008).

Tundisi (2003) afirma que, na maioria das vezes, este crescimento não vem acompanhado de um correto planejamento urbano e ambiental, acarretando em prejuízos para a sociedade, como a geração de resíduos domésticos e industriais, desenvolvimento de doenças, contaminação de águas dos rios e subterrâneas, poluição do ar, dentre outros problemas sociais, políticos e econômicos.

Conforme ocorre o crescimento das cidades, são observados os seguintes problemas nos rios urbanos:

- Aumento das vazões médias de cheia relacionadas ao aumento da capacidade de escoamento através de condutos e canais, e impermeabilização das superfícies;
- Aumento da produção de sedimentos causado pela desproteção das superfícies e produção de resíduos sólidos (lixo);
- Uma vez que infraestrutura urbana é implantada de maneira desorganizada, podem ocorrer outros problemas como a obstrução do escoamento da água pela construção de pontes, taludes e estradas, a obstrução de rios e canais devido a deposição de lixos e sedimentos, a implementação de obras de drenagem que não atendem à demanda devido inadequação de projetos e execução (TUCCI, 2008; GROSTEIN, 2001).

De acordo com Fernandes e Vieira (2008) a dimensão dos problemas ambientais é crescente no contexto urbano brasileiro, não sendo exclusividade das grandes cidades. Eles também se fazem presentes tanto nas médias quanto nas cidades menores, o que pode ser visualizado por meio da ocorrência frequente de alagamentos, dificuldades na gestão dos resíduos sólidos, impactos cada vez maiores da poluição do ar na saúde da população, além da contínua degradação dos recursos hídricos.

Por meio de análises físico-químicas e microbiológicas, Naime e Nascimento (2009) observaram que o processo de urbanização sem planejamento foi responsável pelo aporte irregular de esgoto doméstico na micro bacia do Arroio Pampa, localizado em Nova Hamburgo-RS. Dados comprovaram que apesar dos parâmetros da qualidade da água variarem nos corpos d'água, devido aos efeitos naturais, a grande quantidade de coliformes fecais existente nessas águas é um indicativo inequívoco da contribuição de poluição antrópica neste curso de água. Além disso, as diferenças entre dois pontos próximos apontam hábitos de lançamentos de resíduos como indicadores de poluição, devido às características das populações locais.

Segundo Braga e colaboradores (2005), existem duas formas de caracterizar os recursos hídricos. De acordo com a sua quantidade e com a sua qualidade, sendo que a segunda depende diretamente da quantidade de água disponível para dissolver, diluir e transportar as substâncias benéficas e maléficas para os seres que compõem os ecossistemas.

O mesmo autor ainda sugere que os efeitos resultantes da introdução de poluentes no meio aquático dependem da natureza do poluente introduzido, da

trajetória que este poluente percorre no meio e do uso que se faz do corpo d'água. Os poluentes podem ser introduzidos à água por meio de fontes pontuais ou difusas. A primeira é facilmente identificada e se refere a lançamentos individualizados, como os que ocorrem em despejos de esgotos sanitários ou de efluentes industriais. Já as fontes difusas não possuem um ponto de lançamento específico, como é o caso de substâncias agrícolas que se depositam ao longo da margem dos rios.

A quantificação da carga poluidora que aporta a um corpo d'água é um elemento fundamental para qualquer iniciativa ou ação que tenha por objetivo a preservação e o uso sustentável da água. Por meio da análise integrada entre os dados de qualidade da água e as características de uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica, aliados “[...] a distribuição da população urbana e a disponibilidade de infraestrutura urbana e industrial, torna-se possível definir relações de causa e efeito entre as condições de ocupação da bacia e a qualidade da água” (ZIMMERMANN, 2008, p. 1727).

Visando conter este avanço crescente da poluição, a fim de manter a qualidade da água e garantir a proteção da saúde dos ecossistemas e dos consumidores dessas águas, normas e padrões vem sendo estabelecidos para emissão de efluentes em corpos hídricos. Existem legislações que estabelecem limites para o lançamento de poluentes nas águas (TUCCI, 2008).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) é o órgão colegiado de caráter deliberativo e consultivo do Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA). Foi criado pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que instituiu a Política Nacional de Meio Ambiente. Essa Lei, regulamentada pelo Decreto nº 99.274, de 06 de junho de 1990, com alterações posteriores, disciplina as competências do conselho. Este órgão é restrito ao Regulamento das Leis e caracteriza a forma como devem ser aplicadas, de modo eficaz, para melhor proteger o meio ambiente e os recursos naturais situados em território brasileiro (CONAMA, 2012).

Lima (2006) cita a Lei 9.433/97 afirmando que esta surgiu como forma de atender ao princípio constitucional da implantação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, previsto na Constituição de 1988, que estabelece condições em relação ao domínio e exploração da água. Esta lei, criou o sistema de gestão de recursos hídricos no Brasil, baseada na bacia hidrográfica do país, e segundo ela, o enquadramento dos corpos d'água visa assegurar às águas qualidade compatível com os usos ao qual forem destinadas e diminuir os custos de

combate à poluição baseados em ações preventivas permanentes (LIMA, 2006; BRAGA et al., 2005).

A legislação que dispõe a respeito das condições e padrões de qualidade de águas, bem como da classificação dos corpos d'água em classes de uso é a Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005. De acordo com o Art. 7º desta resolução, os padrões de qualidade das águas estabelecem limites individuais para cada substância em cada classe (CONAMA, 2005).

Entre suas considerações, destacam-se que o enquadramento de um corpo hídrico, expõe as metas finais a serem alcançadas, podendo existir um plano que deixe explícito metas progressivas intermediárias, obrigatórias, para que o enquadramento seja efetivado, ou seja, o enquadramento de um corpo d'água deve estar baseado não no seu estado atual, mas em níveis de qualidade que estes deveriam possuir para garantir que as necessidades da comunidade que fará uso de seu recurso sejam atendidas, julgando que a saúde, o bem-estar humano e das comunidades aquáticas não devem ser comprometidas pela deterioração da qualidade das águas (CONAMA, 2005).

De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, os limites utilizados para o enquadramento do rio em dada classe, baseado na concentração de determinadas substâncias que podem estar presentes no corpo hídrico, são descritos para todas as classes. O objeto do estudo é o Arroio Pilão de Pedra que é enquadrado como rio de Classe II, No Quadro 1, a seguir, encontram-se os limites físico-químicos e microbiológicos, bem como os usos que se destinam, para um rio de Classe II, referente aos parâmetros analisados no trabalho em questão.

Quadro 1. Limites dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos para um rio de Classe II

Parâmetros	Res. CONAMA 357/05 Rios de Classe II	Águas destinadas
Cor	Até 75 mg Pt L ⁻¹	a) Ao abastecimento para o consumo humano, após tratamento convencional; b) À proteção das comunidades aquáticas; c) À recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho; d) À irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques,
pH	6,0 – 9,0	
Turbidez	Até 100 UNT	
Oxigênio Dissolvido	Até 5,0 mg L ⁻¹ o ₂	
Nitrogênio Amoniacal	Até 3,7 (N mg/L) com pH ≤ 7,5	
Sólidos Totais	Até 500 mgL ⁻¹	
Fósforo Total	Até 0,05 mgL ⁻¹	

Nitrato	Até 10 mg de N L ⁻¹	e) jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; À aquicultura e à atividade de pesca;
Nitrito	Até 1 mg de N L ⁻¹	
Coliformes fecais	Até 1000 (NNP/100ml)	
Surfactantes	Até 0,5 mgL ⁻¹	

Fonte: CONAMA (2005)

3.2 ARROIO PILÃO DE PEDRA

Nas últimas décadas, o processo de urbanização apresentou um crescimento desordenado na cidade de Ponta Grossa, com ocupações em terrenos íngremes nas cabeceiras dos arroios. O Arroio Pilão de Pedra localiza-se no centro urbano da cidade e por esse motivo, as famílias de baixa renda ocupam quase todo seu percurso de forma desorganizada, com pouca infraestrutura, se alojando em suas margens e causando graves prejuízos ao meio ambiente, uma vez que os índices de degradação ao longo do seu curso mostram-se extremamente elevados, o que é justificado pela presença de lixo e ligações irregulares de esgoto, bem como lançamentos de dejetos diretamente no curso d'água (BARRETO, PONTES, MASSUQUETO, 2009).

A bacia hidrográfica do Arroio Pilão de Pedra localiza-se no Segundo Planalto Paranaense, nos Campos Gerais, com um perímetro de 14,73 km que, entre bairros e vilas, abrange uma área de 8,48 km². O Arroio possui 5.929,30 m de extensão, desde a sua nascente na área central da cidade de Ponta Grossa, na Praça Barão do Rio Branco, até as proximidades da Vila Baraúna, onde há a confluência com o Arroio Lajeado Grande (LOMBARDI, 2014). Juntamente com o Arroio Lajeado Grande é responsável por 80% da poluição do Rio Pitangui (GEALH; MELO; MORO, 2010).

Conforme publicado por Edgar Hampf no site da Prefeitura de Ponta Grossa, no ano de 2009, o arroio passou por obras de recuperação. Na região central, foram realizadas obras de complementação de galerias, onde foram identificadas ligações irregulares e ilegais de esgoto, as quais foram relatadas a companhia de saneamento para regularizar a situação (PREFEITURA DE PONTA GROSSA).

No trecho que compreende a área não canalizada entre os bairros da vila Vilela e vila 31 de março, o córrego corre a céu aberto recebendo contaminação urbana dos habitantes da região. Em função das constantes enchentes no local a Defesa Civil declarou como área de risco o trecho do arroio compreendido entre as

ruas Bartolomeu de Gusmão, Vila Vilela, até a Rua Washington Luiz, Vila 31 de março, conforme publicado em 2011 no site da prefeitura pela autora Patrícia Antunes (PREFEITURA DE PONTA GROSSA).

A Companhia de Habitação de Ponta Grossa (PROLAR) vem fortalecendo a parceria com o Governo Federal por meio do Programa de Urbanização, Regularização e Integração de Assentamentos Precários. A cidade juntamente com os órgãos locais responsáveis, reconhece a necessidade de remanejar as famílias que estão em áreas de risco, o que torna indispensável a análise das características físicas e sociais do meio. Além disso, o entendimento da atual situação de risco geoambiental do Arroio Pilão de Pedra e das questões socioeconômicas da população que ocupa essa área, possibilita compreender o contexto local e tomar as providências cabíveis a fim de suprir as necessidades dessas pessoas e as determinações legais e ambientais que governam essa região (LOMBARDI, 2014).

Atendendo ao apelo da população na região, a Prefeitura de Ponta Grossa promoveu uma ação integrada entre as secretarias de Planejamento, Administração e Negócios Jurídicos, Meio Ambiente, Governo, Prolar e Defesa Civil, à procura de soluções para os problemas das habitações às margens do arroio. Neste sentido, recursos financeiros foram solicitados ao Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social (FNHIS), para a construção de 168 casas populares, no Parque das Andorinhas, e 168 no Parque dos sabiás, com o intuito de realocar os moradores que vivem em áreas de risco ao entorno das margens do arroio. Conforme relatado no jornal Diário dos Campos, a obra, iniciada em junho de 2010, ainda não havia sido entregue em 2015. Posteriormente, em julho de 2016, segundo publicação do mesmo jornal, a PROLAR realizou o sorteio de 83 casas populares aos moradores no Parque das Andorinhas, sendo as chaves entregues em meados de agosto do mesmo ano (DIÁRIO DOS CAMPOS).

Na cidade de Ponta Grossa, a deterioração do Arroio Pilão de Pedra tem sido provocada pela deposição de resíduos sólidos urbanos e efluentes domésticos, a qual está diretamente associada à crescente urbanização da região. Contudo, pouco se sabe a respeito dos níveis de contaminação química, orgânica e microbiológica presentes neste curso d'água. Raras são as informações disponíveis a respeito da qualidade da água em micro bacias urbanas, o que tornam menos precisas as ações que visam redução de qualquer potencial poluidor (ZIMMERMANN, 2015). Portanto, este projeto teve por objetivo realizar um diagnóstico da qualidade da água, da bacia

urbana, do Arroio Pilão de Pedra, por meio de ferramentas estatísticas ambientais, bem como identificar quais áreas situadas ao redor do seu percurso detém maior impacto sobre o estado de conservação destas águas.

3.3 FERRAMENTAS DE ANÁLISE

3.3.1 Análise Multivariada

A análise de componentes principais (PCA), do inglês *Principal Component Analysis*, é uma técnica estatística multivariada que tem por objetivo reduzir a dimensionalidade de dados. Os componentes principais representam um novo conjunto de variáveis artificiais que são funções lineares daquelas originais e têm variância máxima (PEREIRA, 2010). Esse método possibilita a verificação inicial da homogeneidade de dados, por meio de informações obtidas da sua aplicação. (ZIMMERMANN, 2008)

Esta técnica vem sendo empregada, com muita frequência, na avaliação de dados de monitoramento ambiental, já que representa uma forma exploratória de conhecer e relacionar o comportamento de diferentes parâmetros no ambiente de estudo. Por meio dela é possível selecionar as variáveis mais representativas que atuam sobre o corpo hídrico, o que favorece a definição de indicadores mais sensíveis, tanto para adoção de um programa de monitoramento como para avaliação das alterações ocorridas nos recursos hídricos (MALHEIROS *et al.*, 2012).

Os métodos multivariados são os mais adequados para a análise de dados, pois possibilitam um estudo com diversas variáveis presentes em um conjunto de dados, não importando a existência ou ausência de diferenças espectrais marcantes entre elas nem a existência de alta correlação nos dados, o que caracteriza uma visualização mais produtiva, rápida, objetiva e eficiente. Além disso, pode-se, também, identificar problemas eventuais com linha base ou interferentes nas amostras usadas na calibração e nas novas amostras, de previsão. (FERREIRA *et al.*, 1999; BRERETON, 2000)

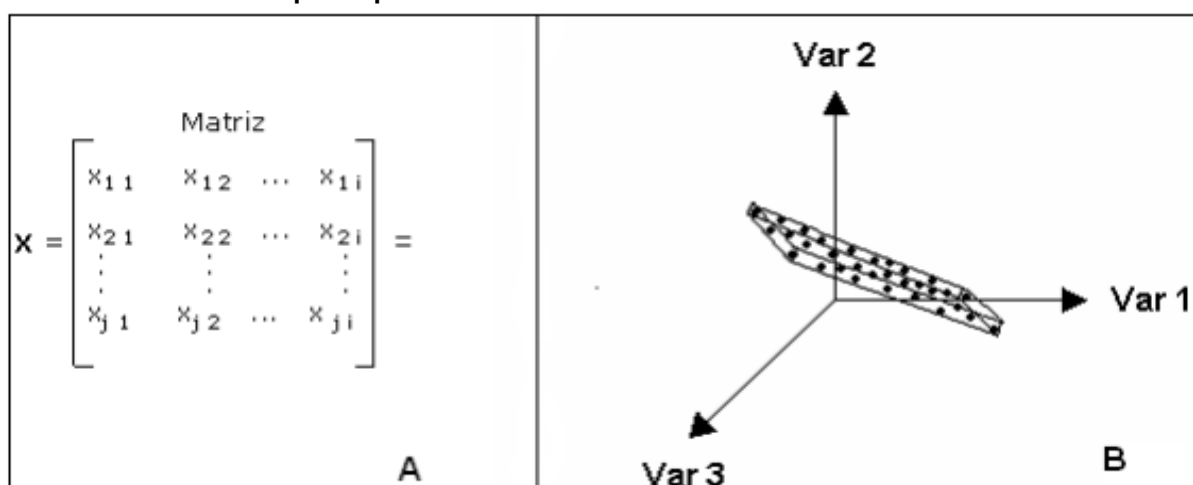
Brereton (2000) afirma, ainda, que com o emprego da Análise de Componentes Principais a visualização de diversas variáveis em um determinado conjunto de dados torna-se mais produtiva, objetiva e eficiente. E de acordo com

Kateman e Buydens (1993), esta é uma importante ferramenta de compressão de dados que possibilita a redução da sua dimensionalidade original, sem que ocorram perdas de informações relevantes.

A PCA tem, ainda, como um dos objetivos iniciais analisar se a maior parte da variância de dados pode ser explicada por meio de um número baixo de componentes. Caso isso ocorra, pode-se reduzir a dimensão dos dados por meio de eixos explicativos e representação gráfica, o que possibilita compreender melhor a aproximação dos elementos (análise de agrupamento) e as correlações existentes entre as variáveis, visando a sua seleção. (BOLLMANN, MARQUES, 2000).

Para fins de ilustração e visualização dos principais aspectos da PCA, utiliza-se um conjunto constituído por uma matriz de 36 amostras (Figura 1) distribuídas de forma tridimensional. Cada uma destas dimensões representa uma variável medida ou, neste caso particular, parâmetros para avaliação da qualidade de água, constituído por 20 variáveis: oxigênio dissolvido (OD), pH, temperatura, coliforme fecal, fósforo total, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), alcalinidade, cloreto, cor, nitrogênio total Kjeldahl, nitrogênio nitrato, nitrogênio amoniacal, turbidez, sólidos totais, sólidos solúveis totais, carbono orgânico total, índice pluviométrico, condutividade e surfactantes. A análise da ilustração indica que o conjunto amostral, como um todo, pode ser delimitado por uma caixa, na qual a altura representa a maior particularidade. Além disso, pode-se perceber que nenhuma das variáveis representadas (Var 1, Var 2 e Var 3) descreve uma parcela importante da variância apresentada pelos dados (ZIMMERMANN, 2008).

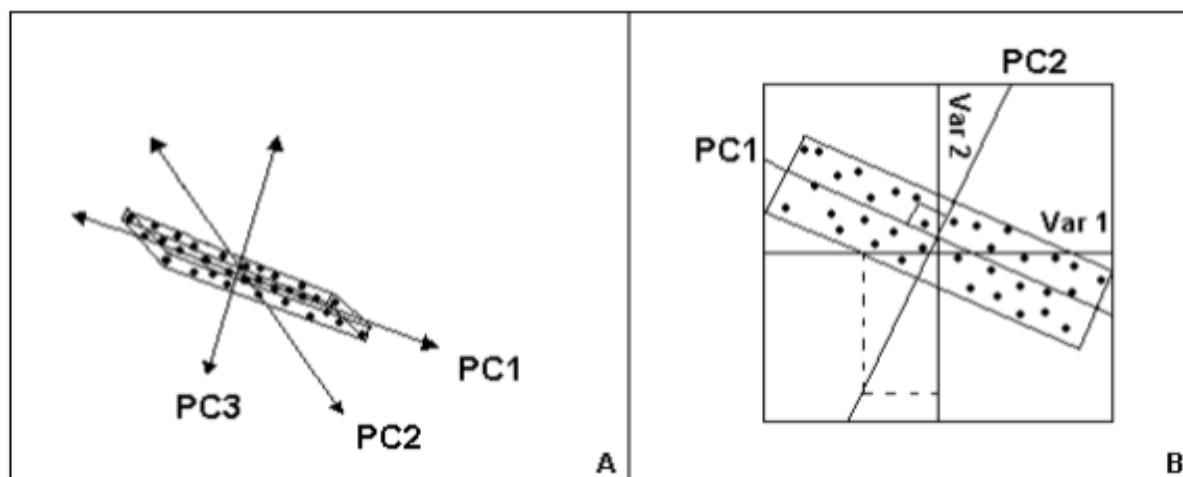
Figura 1. A) Matriz de amostras e parâmetros ambientais. B) Gráfico tridimensional do conjunto de dados composto por 36 amostras.



Em função destes aspectos e visando a redução de espaço dimensional, realiza-se uma rotação e/ou transformação dos eixos originais. Este novo conjunto de eixos, comumente denominado de componentes principais, apresenta a direção da máxima variância dos dados, segundo a figura 1 (ZIMMERMANN, 2008). A primeira componente principal (PC1) representa o máximo espalhamento das amostras e é responsável por explicar grande parte da variância exibida pelo conjunto amostral. Entretanto, o comportamento global do conjunto de dados não pode ser explicado por esta componente principal isolada, sendo necessária uma segunda componente principal (PC2), que deve ser ortogonal à primeira. A terceira componente principal pode ser descartada devido à baixa variabilidade dos dados em torno dela. (ZIMMERMANN, 2008).

O emprego da PCA permite a obtenção dos pesos e escores (Figura 2), informações de extrema utilidade. Os escores representam as novas coordenadas das amostras, no sistema de eixos das componentes principais. Os pesos são os coeficientes da combinação linear das variáveis originais, ou seja, trata-se do peso de cada variável original na obtenção do novo sistema (ZIMMERMANN, 2008).

Figura 2. A) Gráfico tridimensional ilustrando os eixos das componentes principais. B) Gráfico bidimensional da PC1 vs PC2



FONTE: ZIMMERMANN, 2008, p. 54.

A primeira componente (PC1) é definida pela direção que descreve a máxima variância dos dados originais. A segunda componente (PC2) tem a direção de máxima variância dos dados no subespaço ortogonal à PC1, e as PCs subsequentes são ortogonais às anteriores e orientadas de tal maneira que descrevam sempre a máxima variância restante. Pela própria maneira como estas novas variáveis são definidas, é

possível descrever quase toda a informação contida nos dados originais utilizando poucas PCs. Uma vez definidas as PCs, os dados originais são projetados neste novo sistema de eixos. Por isto, o método PCA é conhecido como um método de projeção, pois as amostras são projetadas em um espaço de dimensão menor (CORREIA & FERREIRA, 2007).

A análise de componentes principais vem sendo largamente utilizada nos últimos anos, devido à necessidade de se ter uma drástica redução dos dados para fins de análise e tomada de decisão (ZIMMERMANN, 2008). Vários autores aplicaram esta técnica para reduzir o número de variáveis utilizadas, não só na área de meio ambiente e análise da qualidade de água, mas também na área de humanas e afins.

Bernardi e colaboradores (2009), empregaram a PCA para avaliar os principais parâmetros físico-químicos do Alto Rio Madeira e seus tributários, Estado de Rondônia, Brasil. Em seus estudos, discriminaram a formação de três grupos baseados em três variáveis condicionantes: condutividade, pH e sólidos em suspensão. Evidenciaram pela PCA que as características do Rio Madeira quanto a sua composição são diferentes entre os períodos de cheia e seca, possivelmente influenciado pelo Rio Beni seu principal formador.

Guedes e colaboradores (2012), utilizaram a análise de componentes principais para avaliar a qualidade da água do rio Pomba, localizado no estado de Mato Grosso. Em seus estudos, esta ferramenta promoveu a redução no número de variáveis de qualidade de água, uma vez que o melhor comportamento das variáveis ocorreu com a inclusão de 15 das 18 variáveis analisadas. Ainda, identificaram que o melhor comportamento das variáveis de qualidade das águas do médio Rio Pomba foi aquele composto por três fatores, explicando 74,30% da variância total.

Santos e colaboradores (2015), avaliaram a qualidade da água do Lago de Sobradinho, na Bahia, onde coletaram amostras em 23 pontos diferentes, distribuídos em 4 municípios distintos. Por meio da análise dos componentes principais (PCA) identificaram os pontos de contaminação ambiental, bem como os indicadores que influenciaram na qualidade de água. Por meio dessa técnica, puderam avaliar a diferença sazonal da qualidade da água entre os períodos seco e chuvoso.

Neste estudo, a análise de componentes principais foi utilizada para avaliar a contaminação da água em pontos distintos do Arroio, bem como para dimensionar a influência antrópica sobre o estado das águas e, também, identificar as suas principais fontes de poluição.

3.3.2 Índice de Qualidade de Água

O índice de qualidade de águas (IQA) representa um indicador que tem por objetivo facilitar a interpretação das informações de qualidade de água de forma abrangente e útil (CETESB, 1997). O IQA foi desenvolvido para avaliar a qualidade da água bruta visando seu uso para o abastecimento público, após tratamento. Os parâmetros utilizados no cálculo do IQA são em sua maioria indicadores de contaminação causada pelo lançamento de esgotos domésticos. A Companhia de Tecnologia e Saneamento ambiental (CETESB) utiliza o IQA desde meados da década de 70. O índice é um indicador ambiental de qualidade das águas interiores dos rios do estado de São Paulo e foi baseado no WATER QUALITY INDEX (WQI) da NATIONAL FOUNDATION SANITATION (NFS) dos Estados Unidos, sendo uma média harmônica ponderada de um conjunto de indicadores específicos (ZIMMERMANN, 2008).

De acordo com a Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental (CETESB), o índice é constituído por nove variáveis, sendo elas: oxigênio dissolvido (OD), coliformes fecais (CF), pH, demanda bioquímica de oxigênio ($DBO_{5,20}$), temperatura, fósforo total (FT), nitrogênio total (NTK), turbidez e sólidos totais (ST). Neste trabalho serão desenvolvidas análises envolvendo os parâmetros do IQA estabelecidos por este órgão acrescido de alguns outros, como, demanda química de oxigênio (DQO), surfactantes, sólidos solúveis totais, carbono orgânico total, cloreto, alcalinidade e cor (CETESB, 2014).

Depois de efetuado o cálculo, pode-se determinar a qualidade das águas brutas, que é indicada pelo IQA, variando numa escala de 0 a 100, conforme representado na Tabela 2.

Tabela 1. Faixas de ponderação e categoria da qualidade das águas.

Categoria	Ponderação
Ótima	$79 < IQA \leq 100$
Boa	$51 < IQA \leq 79$
Regular	$36 < IQA \leq 51$
Ruim	$19 < IQA \leq 36$
Péssima	$IQA \leq 19$

Fonte: CETESB (2014)

O IQA oferece ao mesmo tempo vantagens e desvantagens, por reunir os valores de nove variáveis distintas em um único resultado. A vantagem reside no fato de sumarizar em um único número a interpretação de diferentes parâmetros, o que facilita a compreensão da situação aos leigos. A limitação está associada à perda de informações quanto à interpretação destas variáveis, bem como à relação entre elas (NIEMEIJER, 2002)

A seguir, serão apresentados cada um dos nove parâmetros considerados relevantes ao cálculo deste índice, bem como a importância que exercem no meio ambiente e na preservação da vida aquática.

3.3.2.1 Temperatura da Água

As variações de temperatura são caracterizadas pelo regime climático normal, e corpos d'água apresentam variações sazonais e diurnas, bem como estratificação vertical. Diversos fatores influenciam a temperatura superficial da água, como a latitude, longitude, período do dia estação do ano, vazão e profundidade do curso d'água. De modo geral, os despejos industriais e de usinas termoeletricas caracterizam um aumento significativo da temperatura em um corpo d'água (CETESB, 2005).

A importância deste parâmetro está na influência que este detém sobre outras propriedades, tais como a velocidade de reações químicas, solubilidade de gases e outros compostos, sabor, odor, entre outros (RICHTER, AZEVEDO NETTO, 1991).

3.3.2.2 Turbidez

A turbidez consiste no nível de interferência que os feixes de luz sofrem ao atravessar a água, devido à presença de sólidos em suspensão, decorrentes de processos erosivos ou despejos industriais e domésticos. Desta forma, a qualidade das águas de um rio depende dos processos e condições naturais do meio, bem como do uso indevido do solo ao entorno das suas margens. Como resultado de ações antrópicas, o lançamento de efluentes domésticos, industriais e insumos agrícolas ocasionam o aumento do índice de turbidez das águas, que, por sua vez, reduz a taxa de fotossíntese no meio, comprometendo a biota aquática (ZIMMERMANN, 2008).

A turbidez é decorrente da presença de partículas em suspensão na água, finamente divididas ou em escala coloidal, bem como de organismos microscópicos (BRAGA *et al.*, 2005). A existência destas partículas no meio provoca a dispersão e absorção da luz, o que confere a água uma aparência nebulosa, esteticamente indesejável e potencialmente perigosa (RICHTER, AZEVEDO NETTO, 1991).

A existência de partículas em suspensão no meio, que originam a turbidez, ou de substâncias em solução, relativas à cor, pode concorrer para o agravamento da poluição. Segundo BRANCO (1999), a precipitação dessas partículas perturba o ecossistema aquático, o que interfere na caracterização da água, que pode ser límpida ou turva. É considerada turva quando nela se deposita certa quantidade de partículas que permanecem, por algum tempo, em suspensão e que podem ser provenientes do próprio solo na ausência de mata ciliar, bem como de atividades minerais, indústrias, ou mesmo de esgoto urbano. A turbidez por si só, não acarreta danos, se for natural. A Resolução CONAMA 357/05 estabelece 100 NTU, do inglês *Nephelometric Turbidity Unit*, como limite de turbidez para um rio classe II.

3.3.2.3 Sólidos totais

A quantidade e a natureza da matéria dissolvida e não-dissolvida que ocorre no meio líquido varia grandemente. Nas águas potáveis, a maior parte da matéria está na forma dissolvida e consiste principalmente de sais inorgânicos, pequenas quantidades de matéria orgânica e gases dissolvidos. O conteúdo de sólidos totais geralmente varia de 20 a 1000 mg L⁻¹ e limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 de 500 mg L⁻¹ para os sólidos dissolvidos totais (CONAMA, 2005).

3.3.2.4 Oxigênio dissolvido

O oxigênio dissolvido (OD) é um dos constituintes de maior importância no que diz respeito aos recursos hídricos. Embora não seja o único indicador de qualidade de água, é um dos mais utilizados porque está diretamente relacionado com os tipos de organismos que conseguem sobreviver em um corpo d'água. Quando ausente, possibilita o crescimento de organismos anaeróbios, os quais liberam substâncias que conferem odor, sabor e aspecto indesejável à água (BRAGA, 2005).

O oxigênio é essencial para a sobrevivência de organismos aeróbios. Logo, a manutenção da fauna e flora aquática está diretamente ligada aos teores deste composto no corpo d'água. Águas superficiais límpidas apresentam-se saturadas de OD, embora este possa ser consumido rapidamente pela demanda de oxigênio de esgotos domésticos (RICHTER, AZEVEDO NETTO, 1991).

Neste contexto, o lançamento de poluentes nas águas dos rios, principalmente matéria orgânica biodegradável, provoca uma queda do oxigênio, e se forem atingidos níveis inferiores à 5 mg.L^{-1} , ocorrerá uma mortandade de peixes por asfixia. Ainda, se o OD cair à zero, as águas começam a exalar maus odores, que trazem incômodos às populações ribeirinhas (ALVARENGA, 1997). Para rios de classe II a concentração mínima é estipulada em 5 mg.L^{-1} .

3.3.2.5 Demanda bioquímica de oxigênio

A quantidade de oxigênio dissolvido na água necessária para a decomposição da matéria orgânica é denominada demanda bioquímica de oxigênio (DBO), que é equivalente ao oxigênio respirado por decompositores aeróbios para a decomposição completa da matéria orgânica existente na água. Este parâmetro pode ser utilizado como forma de medição do potencial poluidor de certas substâncias biodegradáveis em relação ao consumo de OD (BRAGA *et al.*, 2005).

De acordo com Braga *et al.* (2005), por convenção, a determinação deste parâmetro deve ser realizada por meio de ensaios que tenham duração de cinco dias. A temperatura afeta a taxa de degradação da matéria orgânica, uma vez que o metabolismo dos organismos decompositores tende a acelerar com o aumento na temperatura do meio. Devido a isso, a medição da DBO é realizada convencionalmente sob temperatura de 20°C , sendo adotado o símbolo " $\text{DBO}_{5,20}$ " para representá-la. O valor máximo permitido para rio de Classe II é $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$.

3.3.2.6 Potencial hidrogeniônico

O potencial hidrogeniônico (pH) pode ser considerado uma das variáveis mais complexas de se interpretar devido ao grande número de fatores que podem influenciá-lo. Este parâmetro se refere a medida da acidez ou alcalinidade de uma determinada solução. Em geral, a água pura a 25°C assume pH neutro de valor 7,

sendo que variações abaixo deste valor indicam meios ácidos e acima meios alcalinos. O pH detém forte influência sobre o processamento de diversas reações químicas, as quais são diretamente afetadas por alterações no seu valor. (BRAGA *et al.*, 2005). O pH da grande maioria dos corpos d'água varia entre 6 e 8. Ecossistemas com valores baixos deste parâmetro têm elevadas concentrações de ácidos dissolvidos, principalmente ácido carbônico, decorrente, principalmente, da atividade metabólica dos micro-organismos aquáticos (ZIMMERMANN, 2008). A resolução CONAMA define para rios de classe II uma variação de pH de 6 a 9.

3.3.2.7 Nitrogênio

O nitrogênio é considerado um dos elementos mais importantes no metabolismo de ecossistemas aquáticos e, em virtude dos diversos estágios que pode assumir e dos impactos que a mudança do estado de oxidação pode trazer sobre os organismos vivos, possui uma química complexa. Sawyer (1985) descreve os estágios envolvidos no ciclo do nitrogênio, enfatizando que a atmosfera serve como um reservatório no qual o este composto é constantemente renovado pela ação da descarga elétrica e pela fixação das bactérias. Nessas descargas, elevadas quantidades do elemento oxidam-se a N_2O_5 e a sua união com a água produz HNO_3 , que na chuva é normalmente carregado para a terra. Ainda, oxidação direta do nitrogênio ou da amônia produz os nitratos, substância encontrada, também, nos fertilizantes comerciais (ZIMMERMANN, 2008).

Dessa forma, a existência de nitrogênio no meio aquático pode ter origem em fontes naturais, tais como: chuva, material orgânico e inorgânico de origem alóctone, de esgotos domésticos e industriais, bem como da drenagem de áreas fertilizadas. Este composto apresenta-se nos ambientes aquáticos sob as formas de nitrato (NO_3), nitrito (NO_2), amônia (NH_3), íon amônio (NH_4), óxido nitroso (N_2O), nitrogênio molecular (N_2), nitrogênio orgânico dissolvido (aminas, aminoácidos, etc.) e nitrogênio orgânico particulado (bactérias, fitoplâncton, zooplâncton e detritos).

As diferentes formas dos compostos de nitrogênio encontradas no meio aquático podem ser utilizadas como indicadores da qualidade sanitária das águas. Segundo Mota (1995), o nitrogênio orgânico e a amônia estão associados a efluentes e águas recém-poluídas. Com o passar do tempo, o nitrogênio orgânico é convertido

em nitrogênio amoniacal e, posteriormente, se houver condições aeróbias no meio, acontece a oxidação da amônia, que se transforma em nitrito e nitrato.

Conforme ressalva Von Sperling (1996) a determinação da parcela predominante deste elemento pode fornecer informações a respeito do estágio da poluição em um corpo d'água. A poluição recente está associada aos compostos de nitrogênio sob as formas orgânica ou de amônia, enquanto que as formas de nitrito e nitrato estão associadas à poluição mais remota.

A Resolução CONAMA 357/05 estabelece como limites para nitrogênio amoniacal, os valores de $3,7 \text{ mgN.L}^{-1}$ para pH igual ou menor que 7,5 até $0,5 \text{ mgN.L}^{-1}$ para pH acima de 8,5; nitrato igual a 10 mgN.L^{-1} e nitrito igual a $1,0 \text{ mgN.L}^{-1}$, estabelece, também, que para águas doces de classes 1 e 2, quando o nitrogênio for fator limitante para eutrofização, nas condições estabelecidas pelo órgão ambiental competente, o valor de nitrogênio total (após oxidação) não deverá ultrapassar $1,27 \text{ mgL}^{-1}$ para ambientes lênticos (ambiente que se refere a água parada, com movimento lento ou estagnado) e $2,18 \text{ mgL}^{-1}$ para ambientes lóticos (ambiente relativo a água continentais moventes) na vazão de referência.

3.3.2.8 Fósforo total

O fósforo total compreende o fósforo orgânico, presente em substâncias orgânicas, e o fósforo mineral, sob a forma de fosfatos. Este composto, juntamente com o nitrogênio, constitui-se no principal nutriente mineral que compromete o processo de eutrofização em rios, lagos e reservatórios (BRAGA *et al.*, 2002).

Esta substância está presente tanto nos esgotos sanitários, como em certos despejos industriais. A fim de prevenir problemas de eutrofização foi estabelecido um limite de $0,05 \text{ mg L}^{-1}$ para o fósforo total em rios de classe II, que pode ser ultrapassado somente pela poluição natural dos rios. O fósforo, por via antropogênica, é adicionado às águas por meio de derivados de fertilizantes, detergentes e pesticidas.

3.3.2.9 Coliformes fecais

De modo geral, coliformes são bactérias que habitam os intestinos dos animais superiores e compõe o indicador de contaminação fecal mais comum, de forma que a sua presença na água indica a possibilidade de contaminação por esgotos

domésticos (RICHTER, AZEVEDO NETTO,1991). Devido a isso, são comumente utilizadas como parâmetro bacteriológico básico na caracterização e avaliação da qualidade das águas (ZIMMERMANN, 2008). Além disso, a sua determinação assume importância como parâmetro indicador da possibilidade da existência de micro-organismos patogênicos, responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica, tais como: febre tifoide e paratifoide, disenteria bacilar e cólera (CETESB, 2005).

O grupo de coliformes totais constitui-se em um grande grupo de bactérias que têm sido isoladas de amostras de águas e solos poluídos e não poluídos, bem como de fezes de animais de sangue quente. Já o grupo de Coliformes fecais (*Escherichia coli*), corresponde a um grupo de bactérias indicadoras de organismos originários do trato intestinal humano (FISHER et al., 2000). Os limites da classe de um rio são estabelecidos pela Resolução CONAMA 357, sendo 1000 NMP/100mL a máxima concentração de coliformes fecais para rios de classe II.

3.3.2.10 Surfactantes

Segundo Vicente (2004), surfactantes constituem um importante grupo de compostos químicos amplamente utilizados em diversos setores industriais. A maioria destes compostos disponíveis comercialmente é formada a partir do petróleo, sendo facilmente encontrados em fertilizantes e detergentes. Neste contexto, a consciência ambiental dentre os consumidores, aliados às novas legislações de controle e preservação do meio ambiente levaram à procura por surfactantes naturais como alternativa aos produtos já existentes.

Os surfactantes são amplamente empregados na indústria, comércio e, também, nas atividades domésticas pela população, sendo que os efluentes gerados são normalmente lançados na rede coletora de águas pluviais ou em corpos receptores de águas, como rios, córregos e lagoas. Processos de eutrofização e toxicidade aquática podem estar associados à presença destes compostos nas águas pluviais (VICENTE, 2004). A resolução CONAMA 357/2005 estipula como concentração máxima permitida em águas doces ou salgadas de contato primário (recreação, aquicultura e abastecimento), um limite de 0,5 mg/L.

3.3.3 Índice de Qualidade de Água para Proteção da Vida Aquática (IQA_{PVA})

O Índice de Qualidade de Água para Proteção da Vida Aquática (IQA_{PVA}) tem por objetivo avaliar a qualidade das águas para fins de preservação da fauna e flora em geral, diferenciado, portanto, de um índice para avaliação da água destinada ao consumo humano e recreação de contato primário (CETESB, 2000).

A elaboração do IQA_{PVA} trabalha com a redução do número de variáveis ambientais, considerando somente a amônia total (mg.NL⁻¹) e o oxigênio dissolvido. O excesso de amônia no meio caracteriza um impacto ecológico nas comunidades aquáticas, tanto em peixes como em invertebrados bentônicos, em termos de toxicidade crônica, com efeito sobre a capacidade reprodutiva, crescimento, comportamento, tecidos e alterações bioquímicas e fisiológicas (ENVIROMENT CANADÁ, 2000). A redução do teor de oxigênio reduzido, por sua vez, afeta significativamente a vida aquática.

Para Silva e Jardim (2006), este índice pode ser útil quanto ao gerenciamento de bacias hidrográficas onde o esgoto doméstico *in natura* é preocupante. Ainda, o mesmo pode ser aplicado em bacias hidrográficas que se encontrem próximas a áreas de atividades agrícolas, suinocultura, avicultura, ou em regiões industriais, para controle de fontes pontuais e difusas nos cursos d'água.

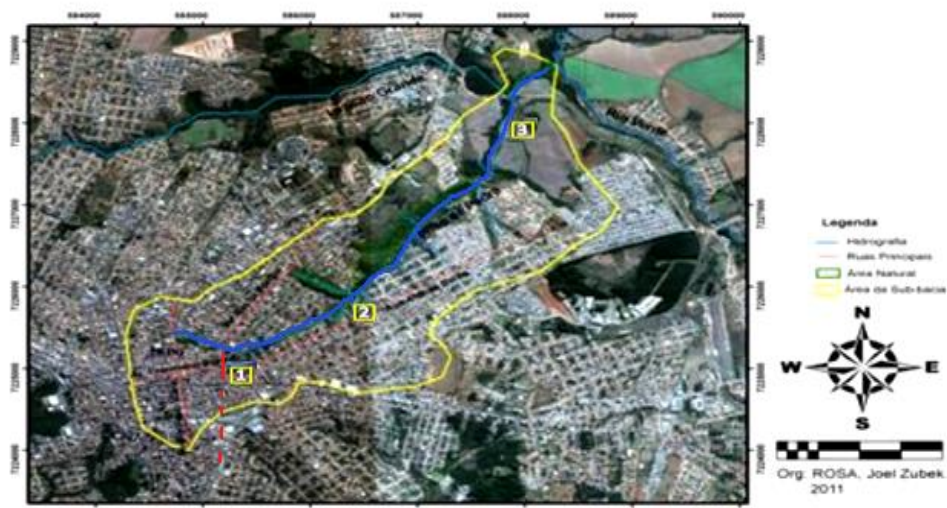
4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATERIAIS

4.1.1 Pontos de Amostragem

Para o desenvolvimento deste projeto foram selecionados três pontos de amostragem situados na bacia hidrográfica do Arroio Pilão de Pedra. As amostras de águas superficiais foram coletadas e analisadas num período de 6 meses entre agosto de 2012 e janeiro de 2013. O primeiro ponto de coleta foi nas proximidades da Rua Cel. Catão Monclaro. O ponto 2 situa-se próximo ao Olho D'água São João Maria e o ponto 3 localiza-se na foz do Arroio Pilão de Pedra, próximo a Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Ponta Grossa, de acordo com a Figura 3.

Figura 3. Mapa esquemático com os pontos de amostragem no Arroio Pilão de Pedra.



Fonte: Google Maps

Os pontos de coleta foram escolhidos de forma estratégica, buscando avaliar a influência de regiões distintas da cidade de Ponta Grossa sobre a qualidade das águas do Arroio Pilão de Pedra.

O ponto 1, representado na figura 4, é o local onde o Arroio deixa de ser canalizado e fica a céu aberto, o que possibilita avaliar o grau da contaminação

proveniente da região central da cidade, bem como comprovar as conformidades relacionadas à canalização desta água.

Figura 4. Condições registradas no Ponto 1 com vista para o fim da canalização das águas.



Fonte: Autoria própria.

O ponto 2, representado na figura 5, situa-se nas proximidades do Olho d'água São João Maria (Vila Vilela). É uma área de apelo cultural e religioso à população da região e permite a avaliação da contaminação produzida pela presença de moradias irregulares instaladas ao entorno das margens do Arroio.

Figura 5. Condições registradas ao entorno do Ponto 2 de amostragem.



Fonte: Autoria própria.

O ponto 3, representado na figura 6, localiza-se na foz no Arroio e está afastado dos centros urbanos, o que permite avaliar a contaminação proveniente das atividades rurais da região, bem como o grau de autodepuração das águas deste curso d'água.

Figura 6. Condições registradas ao entorno do Ponto 3 de amostragem.



Fonte: Autoria própria.

4.1.2 Limpeza dos Materiais

Todas as vidrarias utilizadas na determinação dos parâmetros físico-químicos foram, inicialmente, lavadas com água corrente, detergente comercial, escova e, posteriormente, enxaguadas. Em seguida foram colocadas imersas em solução de ácido nítrico (HNO_3) 10% m/v por um tempo mínimo de 24 horas antes da coleta das amostras. Finalmente, as vidrarias foram retiradas do banho com ácido e enxaguadas com água destilada. Os frascos empregados nas análises de Coliformes fecais estavam vedados e auto clavados a 121°C por 30 minutos, 24 horas antes da coleta amostral.

4.1.3 Coleta e Tratamento das Amostras

As amostras de águas naturais foram coletadas diretamente em frascos de polietileno a aproximadamente 10 cm de profundidade, emergindo contra a corrente. As coletas foram realizadas por no mínimo duas pessoas, sendo uma responsável pela coleta e a outra pelo manuseio dos materiais. Finalmente, as amostras foram encaminhadas rapidamente para o laboratório para minimizar a atividade biológica.

Para a coleta das amostras foram utilizados, em cada ponto, 1 frasco de polietileno com capacidade de 2L, 1 frasco de polietileno com capacidade de 5L e um frasco âmbar vedado com rolha esmerilhada e capacidade de 100 mL.

Para realizar as análises de $DBO_{5,20}$, sólidos totais, pH, cloreto, alcalinidade, coloração, turbidez, nitrato e sólidos solúveis foram coletados 5L de amostra. Para determinação dos parâmetros de nitrogênio total Kjeldahl, nitrogênio amoniacal e fósforo total foram coletados, separadamente, 2L de amostra, na qual adicionou-se 2 mL de ácido sulfúrico concentrado para acidificá-la.

Na coleta destinada para análise de coliformes fecais foram utilizados frascos âmbar, com rolha esmerilhada, sendo retirados os lacres no momento da coleta e introduzidos diretamente no rio a aproximadamente 10 cm de profundidade.

As coletas foram realizadas nos 3 pontos de amostragem no mesmo dia, com intervalos de 30 minutos entre elas. No momento da coleta foram medidos *in situ*, em triplicata, os parâmetros temperatura da água, pH e oxigênio dissolvido, utilizando-se o equipamento multi-elemento HANNA.

Depois de finalizadas as coletas, o frasco âmbar contendo a amostra para determinação de coliformes fecais foi encaminhado para o laboratório de microbiologia do Câmpus Ponta Grossa da UTFPR, para análise imediata e a amostra para análise de $DBO_{5,20}$ foi encubada em garrafas de sistema manométrico com detecção automática Oxitop.

Para as análises de nitrogênio total Kjeldahl, nitrogênio amoniacal e fósforo total, determinada quantidade de amostra acidificada foi filtrada à vácuo em sistema fechado, utilizando-se filtros de 0,45 μm de porosidade. Com exceção da $DBO_{5,20}$ e coliformes fecais todas as análises físico-químicas foram realizadas em triplicata.

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Sólidos Totais

O teor de sólidos totais foi determinado, para um volume de 100 mL de amostra, por meio da evaporação da água em cápsula de porcelana, secando em banho-maria e, posteriormente, em estufa a 103°C até a obtenção de peso constante (APHA, 1995).

4.2.2 Demanda Bioquímica de Oxigênio

O teor de $DBO_{5,20}$ foi analisado por meio da utilização de um sistema que permite a determinação automática de oxigênio Oxitop (Merck), de acordo com o procedimento padrão (APHA, 1998). O método baseou-se na transmissão de uma determinada quantidade de amostra para um frasco âmbar contendo microrganismos e nutrientes suficientes à temperatura controlada de $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Sob agitação constante o oxigênio presente no frasco se dissolveu na amostra e foi, então, consumido pelos microrganismos durante a degradação da matéria orgânica. O gás carbônico exalado neste processo foi absorvido pela cápsula de hidróxido de sódio contida em um reservatório de borracha, o que causou uma diferença de pressão no interior da garrafa, que foi medida pelo sensor Oxitop.

4.2.3 Nitrogênio Total Kjeldahl

A determinação de nitrogênio Kjeldahl foi realizada pelo Método de Kjeldahl, onde a amônia e todas as formas de nitrogênio orgânico foram transformadas em sulfato de amônio por meio da digestão da amostra com ácido sulfúrico e sulfato de cobre, sob elevada temperatura. Depois, a amônia passou por uma destilação em meio alcalino, foi absorvida em solução de ácido bórico e, então, quantificada por titulação com ácido sulfúrico $0,02 \text{ mol.L}^{-1}$. Os ensaios foram desenvolvidos em triplicata, para melhor caracterização e percepção dos resultados.

4.2.4 Nitrogênio Amoniacal

O teor de nitrogênio amoniacal foi determinado por meio do método Fenato, de acordo com o procedimento APHA (1995). Os ensaios ocorreram em triplicata e as análises foram desenvolvidas por meio de um espectrofotômetro NOVA 60, no comprimento de 640 nm.

4.2.5 Fósforo Total

O teor de fósforo total foi determinado por método espectrofotométrico, fundamentado em digestão ácida da amostra e posterior tratamento com ácido ascórbico. A quantificação foi realizada no comprimento de 680 nm (APHA, 1995).

4.2.6 Cloreto

O teor de cloretos foi determinado por meio do método indireto de titulação de Mohr, conhecido como Argentimetria. O princípio de análise encontra-se na reação dos íons Ag^+ com os íons Cl^- na presença do indicador cromato de potássio (APHA, 1995).

4.2.7 Alcalinidade

A alcalinidade foi determinada por meio do método titulométrico, que consiste na medida da quantidade de um reagente de concentração conhecida que é consumido por um analito de concentração desconhecida. (APHA, 1995).

4.2.8 Coloração

O índice de coloração foi determinado, em triplicata, por meio do colorímetro de marca HANNA 93727.

4.2.9 Coliformes Termotolerantes

Foi feita a análise microbiológica para quantificação de coliformes totais e termotolerantes usando a metodologia do Colilert. Segundo esta metodologia adicionou-se à amostra um reagente pronto, os quais foram misturados e distribuídos na cartela Quanti-Tray, que posteriormente foi lacrada e mantida à temperatura de 35°C por um período de 24 horas de incubação e só então procedeu-se à contagem. A coloração amarela indica a presença de coliformes e a fluorescência indica a presença de E. Coli. A concentração de coliformes foi expressa em número mais provável - N.M.P – em 100 mL de água, o qual foi obtido através de tabela no Standards Methods, APHA (2012).

4.2.10 Demanda Química de Oxigênio, Carbono Orgânico Total, Surfactantes, Sólidos Solúveis, Nitrogênio de Nitrato

Quanto às determinações, os parâmetros sólidos suspensos totais (SST), demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), carbono orgânico total (COT), nitrogênio de nitrato (NO_3^-) e surfactantes (SUR) foram determinados, em triplicata, pelo espectrofotômetro *Pastel UV – Secomam*, o qual é amplamente utilizado em estudos internacionais como, por exemplo, os desenvolvidos por Marinovic, Stojanoc e Popovic (2010), Droiuiche e colaboradores (2004), Roig e colaboradores (2007) e Gonzalez e colaboradores (2007).

A análise baseou-se na coleta de 1 mL da amostra sem pré-tratamento e devidamente homogeneizada para cada repetição, este volume foi inserido na célula de quartzo, a qual foi introduzida no equipamento. A leitura foi realizada simultaneamente para os seis parâmetros mencionados anteriormente em mg.L^{-1} . Ressalta-se a importância da homogeneização, da troca de ponteira da micropipeta para cada amostra e da lavagem da célula de quartzo com água destilada e com a própria amostra.

4.2.11 Análise de Dados

A análise de PCA foi realizada utilizando-se o programa Pirouette, versão 4.1 (Infometrix). Os dados obtidos foram colocados em uma planilha no Excel Microsoft

Office ® e transferidos para o programa Pirouette. Na planilha, as linhas representam as amostras e as colunas o número de variáveis. Os resultados foram expressos por meio dos gráficos de escores e pesos.

Os valores de IQA foram obtidos por meio de planilhas no aplicativo Excel Microsoft Office ®, onde as curvas de qualidade dos parâmetros da metodologia NSF foram devidamente transformadas em equações.

O IQA_{PVA} relativo aos pontos de amostragem foram determinados por meio de curvas de normalização utilizando o conceito de operador mínimo para oxigênio dissolvido e amônia, de acordo com a descrição proposta por Silva e Jardim (2006).

Os dados de precipitação mensal foram obtidos junto ao Instituto Tecnológico SIMEPAR.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DE ÁGUA

Os resultados para os parâmetros hidrogeoquímicos, obtidos durante as coletas mensais nos 3 pontos de amostragem, estão apresentados no APÊNDICE A deste trabalho.

A caracterização do corpo hídrico em estudo, com base nos parâmetros estabelecidos pelo IQA, bem como, determinação de cloreto, DQO, alcalinidade, cor, carbono orgânico total, sólidos solúveis totais e surfactantes pode fornecer informações relevantes em relação à qualidade das águas nos pontos amostrados. Dentre os 20 parâmetros analisados, foi destacado àqueles de maior representatividade quanto à classificação de um rio no que diz respeito à qualidade de suas águas.

Um dos parâmetros de maior importância para a avaliação da qualidade das águas é o oxigênio dissolvido, visto que este está associado à manutenção da biota aquática. Segundo o parágrafo VI da Resolução CONAMA 357, a concentração de oxigênio dissolvido, em qualquer amostra, não deve ser inferior a 5 mg.L^{-1} , para rios de classe II, sendo que, em um curso d'água não poluído este valor pode variar de 8 a 11 mg.L^{-1} a 25°C . Índices baixos deste componente na água podem estar associados à proliferação de bactérias no meio, devido ao aumento da matéria orgânica proveniente de esgotos ou despejos industriais (ORSSATTO, 2008).

Os menores valores de oxigênio dissolvido foram encontrados no ponto 1, cuja média encontrada foi de $2,1 \text{ mg.L}^{-1}$. O teor baixo de oxigênio na água indica a elevada concentração de matéria orgânica, que, neste caso, está associada ao aporte irregular de esgoto proveniente da região central da cidade onde o Arroio é canalizado. À medida que o Arroio avança para o ponto 2, cerca de 1,5 km de extensão, a média dos teores de oxigênio dissolvido sofre um acréscimo apresentando valores médios de $4,2 \text{ mg.L}^{-1}$. Apesar de significativa melhora, a qualidade das águas ainda é comprometida pelo acúmulo de carga residual urbana, devido à presença de residências irregulares no local. No ponto 3, após percorrer aproximadamente 5 km a partir do ponto 2, ocorre uma melhora deste índice, registrando uma média de 4,8

mg.L^{-1} , o que demonstra que o Arroio não tem a capacidade de autodepuração ao longo do seu curso, por conta da sua extensão e do baixo nível de suas águas. Por este parâmetro o Arroio é classificado segundo CONAMA 357/2005, como rio de Classe 4 no ponto 1 e Classe 3 nos demais pontos.

Os valores médios de DBO_5 determinados nos três pontos foram respectivamente $55,0 \text{ mg.L}^{-1}$, $17,8 \text{ mg.L}^{-1}$, e $9,0 \text{ mg.L}^{-1}$. O aumento da carga orgânica biodegradável justifica a redução do oxigênio dissolvido na água, uma vez que o consumo do mesmo está relacionado ao aumento da atividade total de respiração bacteriana, resultante do acréscimo de matéria orgânica no meio. De acordo com este índice, o ponto 1 apresentou maior teor de matéria orgânica biodegradável, resultado da emissão de águas residuais relativas a parte central da cidade. Segundo classificação do CONAMA 357/2005, o Arroio nos pontos 1 e 2 são classificados como rio de Classe 4 e o ponto 3 como rio de Classe 3.

O teor de sólidos totais na água teve como valores médios para os 3 pontos $211,6 \text{ mg.L}^{-1}$; $142,5 \text{ mg.L}^{-1}$ e $95,1 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente. Os resultados foram superiores nos pontos 1 e 2, demonstrando que as atividades antrópicas existentes na região urbana exercem influência na elevação destes parâmetros. Já atividades relacionadas à zona rural, referente ao ponto 3, influenciaram de forma menos significativa.

Os valores médios de coliformes fecais foram superiores a 1000 NNP/100mL, limite máximo exigido para rios de classe 2, nos 3 pontos. No ponto 1, o valor médio para este parâmetro foi de 1.150.000 NNP/100 mL, decaindo para 394.000 NNP/100mL e 34.000 NNP/100mL nos pontos 2 e 3, respectivamente. Os resultados indicam a contaminação por esgoto, sendo o ponto 1 aquele em maior estado de degradação. Ainda, o Arroio sofre um processo de autodepuração ao longo do seu curso, o qual não é eficiente o bastante para a reduzir a carga de contaminantes a valores aceitáveis. Em relação a este parâmetro o Arroio Pilão de Pedra é classificado como rio de Classe 4.

O teor de fósforo total está relacionado a diversas fontes, das quais destacam-se os esgotos domésticos, pela presença de detergentes e da própria matéria fecal. A aplicação de fertilizantes no solo associada a drenagem pluvial de áreas agrícolas e urbanas também é uma fonte potencial de fósforo em corpos hídricos, bem como o aporte de efluentes industriais provenientes, principalmente, de indústrias de

fertilizantes, alimentícias, laticínios, frigoríficos e abatedouros (PORTAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS, 2017).

De acordo com a Resolução CONAMA 357/05, o limite máximo de fósforo total para rios de classe II é de $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$. Os valores médios encontrados para os 3 pontos foram de $2,30 \text{ mg.L}^{-1}$, $1,25 \text{ mg.L}^{-1}$ e $1,07 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente. A qualidade da água do Arroio é comprometida pelo excesso de fósforo presente, que pode estar associado ao aporte de águas residuais de origem doméstica ou, no caso de ponto 3, às atividades agrícolas existentes da região.

Surfactantes são substâncias tensoativas que reagem com o azul de metileno e estão diretamente associadas ao teor de fósforo total existente. A maioria dos detergentes comerciais contém fósforo em sua formulação e são responsáveis pela aceleração da eutrofização, além de exercer efeitos tóxicos sobre os ecossistemas aquáticos (CETESB, 2009). Segundo a Resolução CONAMA 357/2005, o limite máximo de surfactantes para um rio de classe II é de $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$. A média dos valores encontradas para os 3 pontos foram de $2,36 \text{ mg.L}^{-1}$, $1,13 \text{ mg.L}^{-1}$ e $0,75 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente, as quais indicam a presença de resíduos sanitários e domésticos provenientes, em sua maioria, de produtos de limpeza e higiene.

Nitrogênio total é, também, um parâmetro para avaliação da qualidade de águas fluviais, sendo estabelecido, pela Resolução CONAMA 357/05, um valor máximo de $2,18 \text{ mg.L}^{-1}$ para ambientes lóticos, ambiente relativo a águas continentais moventes.

Os esgotos sanitários estão dentre as diversas fontes de nitrogênio nas águas naturais, lançando nitrogênio orgânico, devido à presença de proteínas, e nitrogênio amoniacal, pela hidrólise da ureia na água. Efluentes industriais oriundos de indústrias químicas, petroquímicas, siderúrgicas, farmacêuticas, alimentícias, matadouros, frigoríficos e de curtumes, também concorrem para o aumento de nitrogênio na água. Nas áreas agrícolas, o escoamento das águas pluviais pelos solos fertilizados contribui para a presença de diversas formas de nitrogênio. Ainda, nas áreas urbanas, a drenagem das águas pluviais, associada às deficiências do sistema de limpeza pública, constitui fonte difusa de difícil caracterização (CETESB, 2009).

O nitrogênio amoniacal, forma reduzida de nitrogênio que as algas preferem como substrato para as suas estruturas proteicas, é oxidado pela biota espontaneamente presente e diminui o teor de oxigênio dissolvido no meio, o qual é,

por sua vez, essencial às formas aeróbias de vida. Nitrogênio nas formas de nitritos e nitratos são, também, nocivas em altas concentrações, porém em menor grau. (ZIMMERMANN, 2008)

A idade da poluição pode ser associada às formas de nitrogênio presente na água, ou seja, caso seja coletada amostra de um rio poluído e as análises identificarem predominantemente as formas reduzidas, então o foco de poluição se encontra próximo. Se prevalecer nitrito e nitrato, ao contrário, significa que as descargas estão distantes. (ZIMMERMANN, 2008)

Segundo a resolução CONAMA 357 de 2005, o teor máximo de nitrogênio amoniacal permitido para rios de classe II é de $3,7 \text{ mg.L}^{-1}$ para pH inferior à 7,5. O teor médio de nitrogênio amoniacal, foi mais acentuado no ponto 1, sendo equivalente a $5,89 \text{ mg.L}^{-1}$. Nos pontos 2 e 3, os valores médios reduziram para $2,59 \text{ mg.L}^{-1}$ e $2,60 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente. Neste contexto, os altos índices destas formas nitrogenadas no ponto 1 sustentam a hipótese da descarga irregular esgoto sanitário neste trecho do Arroio. Ainda, pode-se inferir que este corpo d'água apresenta uma capacidade mínima de autodepuração ao longo do seu curso, evidenciada pela redução dos índices de nitrogênio amoniacal nos demais pontos. Essa queda pode estar associada, também, à deposição de águas, provenientes de outros cursos d'água, no Arroio.

De modo geral as atividades urbanas impactam de maneira significativa as águas do Arroio Pilão de Pedra. A maioria dos parâmetros analisados classificam o rio como Classe 4, mais acentuadamente na região central onde o Arroio é canalizado. Ainda, a sua capacidade de suporte é comprometida, pois seu processo natural de autodepuração não é suficiente para decompor o volume de efluentes que são lançados no seu corpo receptor.

5.2 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

Devido ao elevado número de amostras e de parâmetros analisados, fez-se necessário o uso de ferramentas estatísticas, buscando reduzir a dimensionalidade da matriz de dados e facilitar a interpretação de resultados sem perda de informação

relevante. Dentro deste contexto, pode-se destacar o sistema de Análise de Componentes Principais (MARTENS e NAES, 1991).

A fim de identificar fatores que pudessem diferenciar os três pontos de amostragem, o conjunto de dados obtidos foi avaliado com base nesta ferramenta, em que se pode resumir a variabilidade de uma matriz de dados sem, no entanto, modificar informações relevantes (ZIMMERMANN, 2008).

Neste trabalho, utilizou-se a PCA para avaliar processos dinâmicos que ocorrem em águas naturais onde as informações podem diferenciar as características de um rio em pontos de coleta distintos. Os parâmetros utilizados para a análise foram reunidos na Tabela 3, abaixo:

Tabela 2. Parâmetros Físico-químicos e Microbiológicos

Identificação	Variáveis	Unidade
T	Temperatura da água	°C
pH	Potencial hidrogeniônico	-
OD	Oxigênio dissolvido	mg.L ⁻¹
S.S.T	Sólidos solúveis totais	mg.L ⁻¹
Cond.	Condutividade	uS
DQO	Demanda química de oxigênio	mg.L ⁻¹
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio	mg.L ⁻¹
COT	Carbono orgânico total	mg.L ⁻¹
N(NO ₃)	Nitrato	mg.L ⁻¹
Surf.	Surfactantes	mg.L ⁻¹
S.T	Sólidos totais	mg.L ⁻¹
Cor	Cor	PCU
Turb.	Turbidez	NTU
N(NH ₃)	Nitrogênio amoniacal	mg.L ⁻¹
Cl	Cloreto	mg.L ⁻¹
Alc	Alcalinidade	mg.L ⁻¹
P	Fósforo total	mg.L ⁻¹
NTK	Nitrogênio total Kjeldahl	mg.L ⁻¹
IP	Índice pluviométrico	Mm
CF	Coliformes fecais	NNP (100mL)

Fonte: Aatoria Própria.

A partir destes parâmetros foi construída uma matriz de dados, para os três pontos de coleta e os seis meses de estudo, com dimensão 18x20, que

corresponde as 6 coletas mensais e seus parâmetros obtidos para as amostras do Arroio Pilão de Pedra. Os dados originais (APÊNDICE A) foram autoescalados e utilizados para aplicação da ferramenta multivariada.

A análise de componentes principais foi realizada para os três pontos de amostragem simultaneamente, apresentando resultados satisfatórios no que diz respeito à dimensionalidade e interpretação dos dados. A Tabela 4 mostra *eigenvalues*, a percentagem capturada na análise do PCA, demonstrando que as duas primeiras componentes principais foram suficientes para explicar mais de 54% da variância do total de dados originais. Logo, foi possível visualizar semelhanças e diferenças dentro do conjunto amostral.

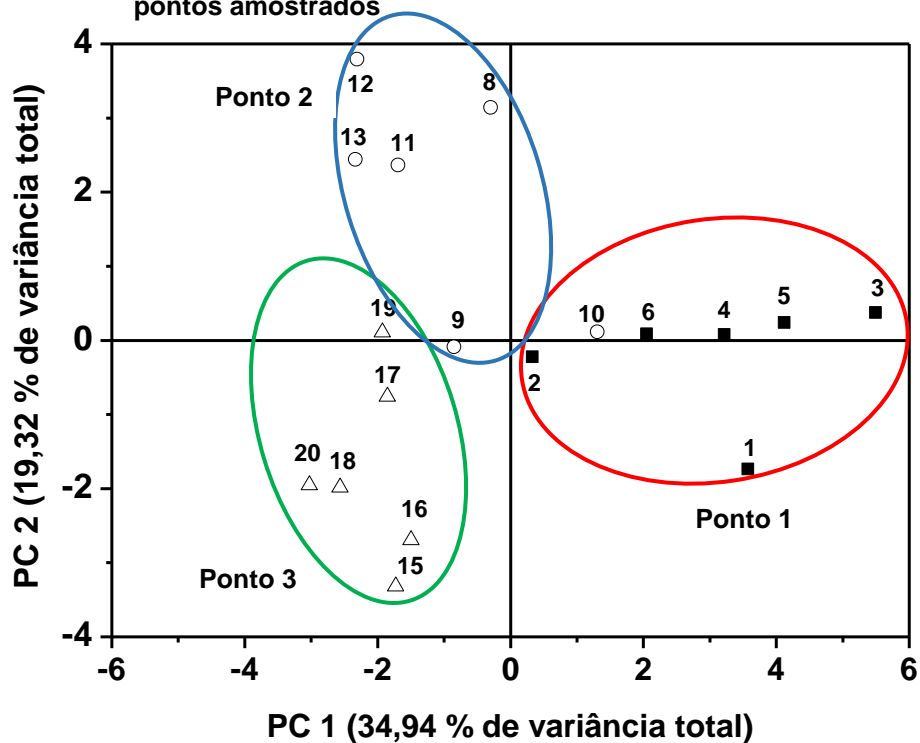
Tabela 3. Variância percentual capturada pelo modelo PCA aos 3 pontos de amostragem

Nº da CP	Autovalor da Covariância (X)	% Variância Capturada por CP	% Variância Total Acumulada
1	118,04	34,72	34,72
2	66,38	19,52	54,24
3	38,96	11,50	65,74
4	26,43	7,77	73,51
5	21,18	6,23	79,74

Fonte: Autoria própria.

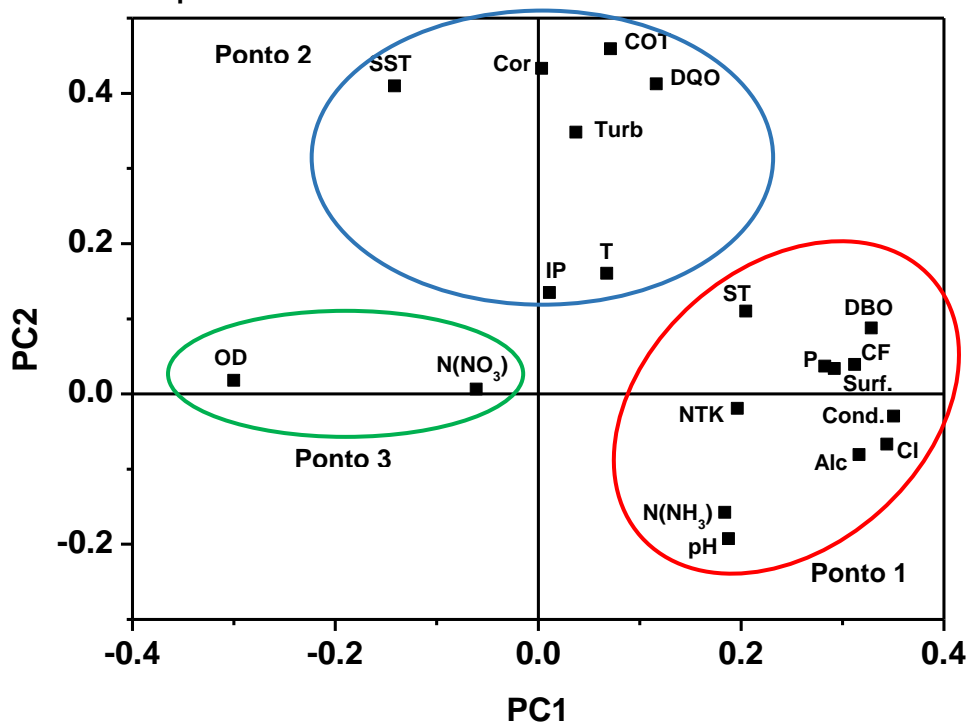
Buscando avaliar a correlação entre as amostras analisadas e as duas componentes principais, plotou-se o gráfico de escores (amostras) associados aos três pontos de amostragem, representado na Figura 7. Já na Figura 8 pode-se observar a discriminação dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados, bem como identificar a influência destes para a discriminação das amostras.

Figura 7. Gráfico de escores (amostras) dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos para as duas componentes principais nos 3 pontos amostrados



Fonte: Autoria própria.

Figura 8. Gráfico de loadings (pesos) dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos para as duas componentes principais nos 3 pontos amostrados



Fonte: Autoria própria.

A primeira componente principal (PC1) explicou 34,94% da variância total dos dados, sendo responsável pela discriminação das amostras. À direita do gráfico de escores (Figura 7), encontram-se as amostras relativas ao ponto 1. Com exceção da amostra 10, influenciada pela precipitação elevada da época, todas as amostras nesse ponto foram caracterizadas pelos altos teores de DBO_5 , Coliformes fecais, Fósforo total, Surfactantes, Sólidos totais, pH, Cloreto, Alcalinidade, Nitrogênio total e Nitrogênio amoniacal. Os elevados índices desses parâmetros atestam a péssima qualidade da água do rio nessa região e podem ser atribuídas ao aporte de fontes pontuais, relativas ao esgoto residencial urbano do centro da cidade. Conseqüentemente, é possível classificar este ponto como muito comprometido (classe IV), segundo a resolução do CONAMA 357/2005.

Na variação positiva, acima da linha horizontal do gráfico de escores, verifica-se a similaridade entre as amostras 8,9,11,12 e 13, referentes ao ponto 2. Estas são discriminadas por influência dos parâmetros: Sólidos Solúveis Totais, Cor, Turbidez, Demanda química de oxigênio, Carbono orgânico total, precipitação e temperatura, o que indica que essa região do Arroio apresenta maior quantidade de matéria orgânica dissolvida, o que dá origem a um aspecto mais sujo à água. Percebe-se, então, que este ponto do rio foi afetado significativamente por fontes pontuais e difusas no período de estudo, relativas ao aporte de resíduos domésticos, tanto líquidos como sólidos, provenientes da população ribeirinha que habita o local de forma irregular. Desse modo, neste ponto, o rio também pode ser considerado como muito comprometido de acordo com a legislação específica (Classe IV).

A segunda componente principal (PC2) explicou 19,32% da variância total dos dados. Abaixo da PC2 foram agrupadas as amostras relativas ao ponto 3 (amostras 15, 16, 17, 18, 19 e 20) que demonstrou o aumento da taxa de oxigenação água, com uma variação de 3,15 a 5,83 mg.L^{-1} de oxigênio dissolvido. Outro parâmetro de discriminação amostral neste ponto foi a variação do nitrogênio de nitrato, o que evidencia a autodepuração natural do Arroio ao longo do seu curso e indica uma zona de recuperação. A presença destes compostos na água sugere que o aporte de resíduos sanitários da cidade sofreu atenuação dos efluentes, neste ponto, pelo processo natural autodepuração. Neste local há a percepção de uma melhor qualidade da água se comparado aos demais, contudo, ainda é classificado como comprometido (Classe III).

Os resultados obtidos e discutidos aqui demonstram a facilidade com que o sistema multivariado (PCA) permite extrair informações relevantes a partir de um volumoso conjunto de dados. A identificação de parâmetros redundantes, amostras anômalas e o causal das anomalias são operações extremamente facilitadas, quando a dimensionalidade do conjunto pode ser diminuída, sem perda de informações.

Através da análise dos 3 pontos amostrados ficou evidenciada a separação das amostras mais impactadas relativas ao ponto 1, demonstrando que neste ponto as fontes de poluição pontuais por esgoto são mais acentuadas. Neste ponto pode-se observar a forte correlação dos teores de Cloreto, proveniente de urina associados aos elevados valores de matéria orgânica e Coliformes fecais. Também foi possível observar que o impacto produzido pelas moradias irregulares no ponto 2, são menos acentuadas se comparadas ao ponto 1.

A correlação entre nitrogênio de nitrato e oxigênio dissolvido, cujos os valores são maiores, evidenciam que no ponto 3 o Arroio apresenta uma melhora nas suas condições de autodepuração, mais não o suficiente para classifica-lo como rio de Classe 2.

Como critério para avaliação das águas de um rio utiliza-se no país o Índice de Qualidade das Águas, com a finalidade de classifica-lo para abastecimento público, ferramenta que será utilizada a seguir.

5.3 ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS (IQA)

O índice de Qualidade da Água (IQA), modificado pela CETESB, é obtido pelo produtório das notas atribuídas a cada parâmetro de qualidade de água. Conforme a seguir:

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

Onde:

IQA - NSF: representa o Índice de Qualidade das Águas, um número entre 0 e 100.

q_i : qualidade do i -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida.

w_i : peso atribuído ao i -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade, sendo que:

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

Em que n representa o número de parâmetros aderidos ao cálculo do IQA, neste caso correspondente à 9.

Para composição deste índice, 142 especialistas da área avaliaram as variáveis mais relevantes dentro de cada parâmetro considerado, atribuindo peso relativo a cada um deles. Das 35 variáveis utilizadas para indicar a qualidade das águas, somente nove foram selecionadas (CETESB, 1997). Para estas, foram estabelecidas curvas de variação da qualidade das águas de acordo com o estado, concentração e/ou condição de cada parâmetro.

A partir dessas curvas de variação, sintetizadas em um conjunto de curvas médias para cada parâmetro, foi estabelecido um peso relativo para cada um, os quais estão representados na tabela 5, abaixo.

Tabela 4. Parâmetros e Pesos relativos do IQA

Parâmetros	Pesos relativos
1. Oxigênio dissolvido	0,17
2. Coliformes fecais	0,15
3. pH	0,12
4. Demanda Bioquímica de oxigênio	0,10
5. Nitrogênio total	0,10
6. Fósforo total	0,10
7. Turbidez	0,08
8. Sólidos totais	0,08
9. Temperatura da água	0,10

Fonte: CETESB, 1997.

Na análise dos pesos relativos do IQA nota-se que os parâmetros de oxigênio dissolvido e coliformes fecais exercem peso significativo na elaboração deste índice.

Logo, o aumento da taxa de oxigenação da água associado à diminuição da quantidade de coliformes fecais inferem de maneira expressiva no estado de qualidade das águas. Caso não se disponha de algum dos nove parâmetros, o cálculo do IQA é inviabilizado. Todavia, partir do cálculo efetuado, pode-se determinar a qualidade das águas brutas e classificá-las em uma escala de 0 a 100, de acordo com os valores indicados pelo IQA. (CETESB, 1997)

A qualidade da água pode ser classificada de acordo com os critérios estabelecidos a seguir.

- Ótima: com valores de IQA entre 80 e 100, são águas encontradas em rios que se mantêm em condições naturais, livres de despejos de efluentes e processos de degradação, excelente para manutenção da biota aquática, abastecimento público e cultivo de alimentos (RACANICCHI, 2002).

- Boa: com valores de IQA entre 52 e 79, são águas encontradas em rios que se mantêm em condições naturais, embora possam receber pequenas ações de degradação em alguns pontos, não comprometendo a qualidade para manutenção da biota aquática, abastecimento público e cultivo de alimentos (RACANICCHI, 2002).

- Aceitável: com valores de IQA entre 37 e 51, são águas encontradas em rios que sofrem grandes interferências externas e degradação, mas ainda podem ser aplicadas tanto para abastecimento público, após tratamentos físico-químicos e biológicos, quanto para a manutenção da biota aquática e cultivo de alimentos (RACANICCHI, 2002).

- Ruim: com valores de IQA entre 20 e 36, são águas encontradas em rios que sofrem grandes interferências externas e degradação, comprometendo sua qualidade e restringindo sua utilização, apenas, para navegação e geração de energia (RACANICCHI, 2002).

- Péssima: com valores de IQA entre 0 e 19, são águas encontradas em rios que sofrem grandes interferências externas e degradação, comprometendo sua qualidade e restringindo sua utilização, apenas, para navegação e geração de energia (RACANICCHI, 2002).

No presente trabalho, o cálculo do IQA foi realizado com o auxílio do aplicativo Excel Microsoft Office®, onde as curvas de qualidade dos parâmetros são transformadas em equações. A partir desse programa foram calculados os valores de

IQA com os nove parâmetros descritos anteriormente, para os três pontos de amostragens no Arroio Pilão de Pedra, descritos a seguir, na Tabela 6.

Tabela 5. Resultados do IQA para os 3 pontos de amostragens.

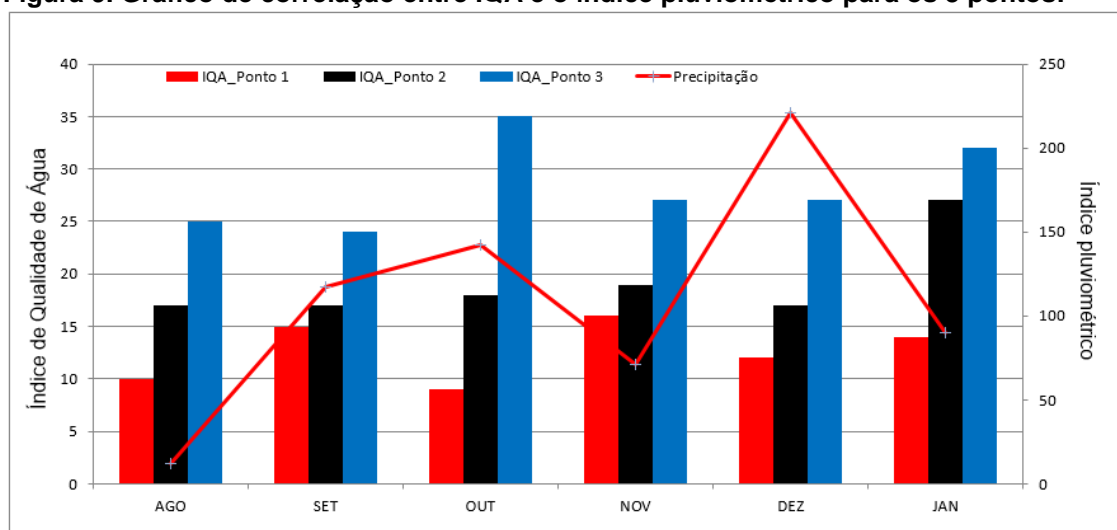
Mês	Ponto 1		Ponto 2		Ponto 3	
	IQA	Qualidade	IQA	Qualidade	IQA	Qualidade
Ago	10	Péssima	17	Péssima	25	Ruim
Set	15	Péssima	17	Péssima	24	Ruim
Out	9	Péssima	18	Péssima	35	Ruim
Nov	16	Péssima	19	Péssima	27	Ruim
Dez	12	Péssima	17	Péssima	27	Ruim
Jan	14	Péssima	27	Ruim	32	Ruim

IQA (CETESB): Péssimo (0-19); Ruim (20-36); Aceitável (37-51); Boa (52-79); Ótima (80-100)

Com base nos dados representados na Tabela 6, nota-se que a qualidade das águas amostradas no Arroio Pilão de Pedra variou de Péssima a Ruim ao longo de todos os meses analisados, sendo os pontos 1 e 2 aqueles em pior estado de conservação e, também, mais comprometidos pelo aporte de resíduos urbanos. Neste contexto, de acordo com este índice, essas águas não são indicadas para a utilização no abastecimento urbano ou cultivo de alimentos, ficando seu emprego restrito à navegação, uma vez que não há viabilidade para geração de energia.

A relação entre os valores de IQA determinados e as condições de precipitação mensal estão discriminadas na Figura 9, para verificar as influências deste parâmetro na qualidade da água do Arroio em questão.

Figura 9. Gráfico de correlação entre IQA e o índice pluviométrico para os 3 pontos.



Fonte: Autoria própria.

Fonte de dados: SIMEPAR.

Analisando as condições de pluviosidade, não se percebe uma influência direta desta variável no IQA deste Arroio, uma vez que a melhora ou piora deste índice não pode ser explicada em função dos níveis de precipitação mensal. O mês de dezembro, por exemplo, embora tenha apresentado o maior índice pluviométrico, não demonstrou alterações significativas quanto aos valores do IQA para os 3 pontos estudados.

A relação entre nitrogênio amoniacal e oxigênio dissolvido será avaliada pelo IQA_(PVA) e comparada aos índices calculados pelo IQA_(CETESB).

5.4 ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS PARA PRESERVAÇÃO DA VIDA AQUÁTICA (IQA_{PVA})

Na elaboração de um índice de qualidade de águas deve-se definir qual o uso pretendido desta água, e a partir desta definição, elaborar quais serão os requisitos necessários de qualidade para garantir este emprego específico (ZIMMERMANN, 2008).

No desenvolvimento do IQA_{PVA}, Silva e Jardim (2006) consideraram que este índice deveria atender as seguintes características: representar a qualidade da água em termos de proteção da vida aquática, contemplar o estado atual de degradação do corpo hídrico, evitar o efeito eclipse, usar o conceito operador mínimo, facilitar a monitoração e servir de indicador de desempenho na aplicação de controle de fontes pontuais e difusas. Devido a isso, o índice proposto foi:

$$IQA_{PVA} = \text{Min} (\text{Amônia total}_n, OD_n)$$

Para aplicar este índice foram relacionados os fatores de normalização obtidos das curvas de Coneza, citadas por Pesce e Wunderlin (2000), com os estados de qualidade do IQA_{CETESB} classificados em ótima (80 – 100); boa (51 - 79); regular (37 -51); Ruim (19 – 36); e péssimo (abaixo de 19), conforme Tabela 7.

Quadro 2. Curvas de normalização para Amônia total e Oxigênio dissolvido, com fatores de normalização e estados de qualidade.

Estados de qualidade ¹	Ótima			Boa		Regular		Ruim		Péssima		
	Fator de Normalização	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
Amônia total (mgN.L ⁻¹)	<0,01	<0,05	<0,10	<0,20	<0,30	<0,40	<0,50	<0,75	<1,00	≤1,25	>1,25	
Oxigênio Dissolvido (mg.L ⁻¹)	≥7,5	>7,0	>6,5	>6,0	>5,0	>4,0	>3,5	>3,0	>2,0	≥1,0	<1,0	

1. Estados de qualidade foram estabelecidos com base nas faixas usadas pela CETESB para seu IQA: Ótima para $79 < IQA_{PVA} < 100$, Boa para $51 < IQA_{PVA} \leq 79$, regular para $36 < IQA_{PVA} \leq 51$, Ruim para $19 < IQA_{PVA} \leq 36$ e Péssima para $IQA_{PVA} \leq 19$

Fonte: (SILVA e JARDIM, 2006).

O índice de qualidade para proteção da vida aquática foi aplicado nos 3 pontos de amostragem durante os 6 meses de coleta para avaliação da qualidade do corpo hídrico.

Na Tabela 6 apresentamos os estados de qualidade de IQA e IQA_{PVA}, obtidos para o ponto 1, obtido através do conceito de operador mínimo (menor valor entre I₁ e I₂), bem como os valores da amônia total, o valor normalizado de NH₃ (I₁), os dados para oxigênio dissolvido e o valor normalizado de OD (I₂).

Tabela 6. Comparação entre IQAPVA e IQACETESB no ponto 1 de amostragem

Mês	NH ₃	NH ₃	OD	OD	IQA _{PVA}	Qualidade	IQA	Qualidade	Índice
	(mgNL ⁻¹)	Norm.	(mg.L ¹)	Norm.					Pluviom.
		I ₁		I ₂	Menor de I ₁ e I ₂	IQA _{PVA} ²	CETESB ¹	CETESB	SIMEPAR
Ago	16	00	1.7	10	00	Péssima	10	Péssima	11,8
Set	6,33	00	2.6	20	00	Péssima	15	Péssima	117,2
Out	6,08	00	2.9	20	00	Péssima	9	Péssima	142,4
Nov	5.6	00	3.2	40	00	Péssima	16	Péssima	71
Dez	0,97	20	1.8	10	10	Péssima	12	Péssima	221,2
Jan	0.40	50	1.9	10	10	Péssima	14	Péssima	89,8

1. Valores do IQA (CETESB): Péssimo (0-19) - Ruim (20-36) - Razoável (37-51) - Bom (52-79) - Ótimo (80-100).

2. Valores de (IQA_{PVA}): Ótima para $79 < IQA_{PVA} < 100$, Boa para $52 < IQA_{PVA} \leq 79$; Regular para $36 < IQA_{PVA} \leq 51$; Ruim para $19 < IQA_{PVA} \leq 36$ e Péssima para $IQA_{PVA} \leq 19$.

Fonte: Autoria Própria.

Com base nos dados obtidos, nota-se que o ponto 1 é o mais comprometido pelos dois índices analisados durante todo período de coleta, mesmo no mês de maior precipitação (dezembro/12). Neste ponto o rio encontra-se degradado pelo aporte irregular de esgoto doméstico, classificado como Classe IV, segundo resolução 357 do CONAMA.

No ponto 2 ocorre a similaridade dos índices, principalmente no período de menor precipitação, classificando as águas do Arroio com qualidade péssima. Há uma pequena melhora no valor do IQA_{PVA} quando comparado ao IQA_{CETESB} no mês de dezembro/12, mês em que ocorreu o maior índice de precipitação acumulada do período analisado, conforme a Tabela 7, o que demonstra que em períodos de chuvas frequentes há uma melhora na preservação da vida aquática.

Tabela 7. Comparação entre IQA_{PVA} e IQA_{CETESB} no ponto 2 de amostragem

Mês	NH ₃	NH ₃	OD	OD	IQA	Qualidade	IQA	Qualidade	Índice
	(mgNL ⁻¹)	Norm.	(mg.L ⁻¹)	Norm.	PVA		CETESB	CETESB	Pluviom.
		I ₁		I ₂	Menor de I ₁ I ₂	IQA _{PVA}	CETESB	CETESB	SIMEPAR
Ago	6,28	00	2.7	20	00	Péssima	16.7	Péssima	11,8
Set	3,12	00	2.9	20	00	Péssima	17.3	Péssima	117,2
Out	4,52	00	4.6	50	00	Péssima	18.0	Péssima	142,4
Nov	1,33	00	4.2	50	00	Péssima	18.5	Péssima	71
Dez	0,18	80	5.2	60	60	Boa	16.7	Péssima	221,2
Jan	0,86	20	5.6	60	20	Ruim	27.5	Ruim	89,8

1. Valores do IQA (CETESB): Péssimo (0-19) - Ruim (20-36) - Razoável (37-51) - Bom (52-79) - Ótimo (80-100).

2. Valores de (IQA_{PVA}): Ótima para $79 < IQA_{PVA} < 100$, Boa para $52 < IQA_{PVA} \leq 79$; Regular para $36 < IQA_{PVA} \leq 51$; Ruim para $19 < IQA_{PVA} \leq 36$ e Péssima para $IQA_{PVA} \leq 19$.

Fonte: Autoria Própria.

No ponto 3, foz do Arroio Pilão de Pedra, as águas melhoram sua classificação para rio de Classe III de acordo com o IQA_{CETESB} . Em contrapartida, esta melhora não é avaliada pelo IQA_{PVA} , o que demonstra que mesmo as águas do Arroio deixando o espaço urbano, o processo de autodepuração não é suficiente para a manutenção da vida aquática. Conforme apresentado na Tabela 8, houve melhoria, somente, no mês de dezembro/12 onde o índice pluviométrico foi mais acentuado.

Tabela 8. Comparação entre IQA_{PVA} e IQA_{CETESB} no ponto 3 de amostragem

Mês	NH ₃	NH ₃	OD	OD	IQA	Qualidade	IQA	Qualidade	Índice
	(mgN.L ⁻¹)	Norm.	(mg.L ⁻¹)	Norm.	PVA		CETESB	CETESB	Pluviom.
		I ₁		I ₂	Menor de I ₁ e I ₂	IQA _{PVA}	CETESB	CETESB	SIMEPAR
Ago	6,8	00	3,15	60	00	Péssima	25.4	Ruim	11,8
Set	4,3	00	5,40	30	00	Péssima	23.6	Ruim	117,2
Out	2,66	00	4,97	50	00	Péssima	34.7	Ruim	142,4
Nov	1,2	10	4,76	50	10	Péssima	26.7	Ruim	71
Dez	0,14	70	5,83	60	60	Boa	26.8	Ruim	221,2
Jan	0,53	30	4,95	50	30	Ruim	32.2	Ruim	89,8

1. Valores do IQA (CETESB): Péssimo (0-19) - Ruim (20-36) - Razoável (37-51) - Bom (52-79) - Ótimo (80-100).

2. Valores de (IQA_{PVA}): Ótima para $79 < IQA_{PVA} < 100$, Boa para $52 < IQA_{PVA} \leq 79$; Regular para $36 < IQA_{PVA} \leq 51$; Ruim para $19 < IQA_{PVA} \leq 36$ e Péssima para $IQA_{PVA} \leq 19$.

Fonte: Autoria Própria.

Através da comparação entre os dois índices verificou-se, nos pontos analisados, uma pequena melhora em relação a proteção da vida aquática no mês de

maior precipitação, demonstrando que a diluição decorrente do carreamento das águas pluviais melhora a oxigenação e reduz a concentração de nitrogênio amoniacal.

6.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do trabalho exposto, pode-se concluir que a qualidade das águas do Arroio Pilão de Pedra encontra-se bastante comprometida. Ainda, ficou caracterizado que o grau de deterioração da qualidade dessas águas é mais acentuado pelo impacto de fontes pontuais. Foram observadas concentrações superiores das principais variáveis que compõe o Índice de Qualidade das Águas.

Através da análise de componentes principais ficou evidenciado que o aporte de fontes pontuais e difusas impactam o rio nos três pontos amostrados, mais acentualmente na região central da cidade, elevando parâmetros ambientais como coliformes fecais, nitrogênio total e amoniacal, DBO, cloreto, fósforo total e surfactantes. Esta ferramenta permitiu a clara discriminação dos pontos amostrados em função dos parâmetros mais significativos mensurados em cada um deles.

Dentre os pontos avaliados, nota-se que o ponto 1 é o mais comprometido, devido à carga residual urbana proveniente do centro da cidade, o que coloca em risco qualquer atividade desenvolvida neste corpo hídrico e, principalmente, a saúde da população que habita as proximidades do local.

No ponto 2, os resultados obtidos para os parâmetros em análise aliados à caracterização física e ao registro visual do local permitem concluir que a existência de moradias irregulares no entorno das margens do Arroio, compromete significativamente a qualidade das suas águas, uma vez que a carga de resíduos domésticos é expressiva e facilmente identificada.

Ainda, é possível identificar que apesar da significativa melhora nos resultados de alguns parâmetros para o ponto 3, a capacidade de autodepuração deste Arroio não é suficiente para melhorar a qualidade da água até a sua foz.

Os resultados obtidos através do cálculo do IQA revelam que as condições do Arroio Pilão de Pedra não se alteram pela variação de precipitação. Ou seja, devido ao alto comprometimento de suas águas, não há melhoria na qualidade nem mesmo em períodos de maior pluviosidade.

Os resultados gerados neste trabalho foram importantes para a avaliação de parâmetros hidrológicos, utilizando ferramentas de análise ambiental, que avaliaram o comportamento do Arroio Pilão de Pedra e atestaram a péssima condição em que essas águas se encontram. Trabalhos científicos foram desenvolvidos e apresentados

em eventos e meios de comunicação, tanto locais como nacionais, o que permitiu o aumento da conscientização das pessoas e autoridades locais.

Cabe ao município ser o ator principal para a efetivação dos programas de desenvolvimento local, em consonância com os usos múltiplos e racionais dos recursos hídricos. É no município onde tudo acontece e, por isso, este depende sobremaneira de seus mananciais, de forma que se torna imprescindível a implementação de ações de combate à poluição e controle da qualidade da água.

Neste contexto, a avaliação das condições de degradação do Arroio Pilão de Pedra tornou-se fundamental para sensibilizar os gestores no sentido de buscar ações de controle de poluição, bem como proteger as populações ribeirinhas de possíveis doenças adquiridas através do corpo hídrico. Não basta apenas retirar a população ribeirinha, é necessário avaliar as ligações irregulares e ilegais de esgoto no centro da cidade, que pelos resultados apresentados são os fatores que mais contaminam o Arroio.

Em sequência, novos projetos foram propostos buscando a sustentabilidade do Arroio Pilão de Pedra, o que desencadeou ações de limpeza no local e conscientização da população que habita os arredores. As moradias irregulares situadas às margens do Arroio foram condenadas e as famílias que às habitavam foram realocadas para residências regulares.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, E. C. Qualidade das águas interiores do estado do Paraná 1986 - 1995. Curitiba, jul. 1997.

ANTUNES, Patrícia. **Ação Integrada: Prefeitura estuda soluções para Arroio Pilão de Pedra**. Publicado em ago. 2011. Disponível em: <<http://www.pontagrossa.pr.gov.br/node/11336>> Acesso em: 20 abr. 2017.

APHA, AWWA, WEF.; **Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 19th ed. Washington. 1995.

BARRETO, V. M.; PONTES, H. S.; MASSUQUETO, L. L. Conhecendo a paisagem – córrego pilão de pedra e núcleo 31 de março – Ponta Grossa (PR). In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL “EXPERIÊNCIAS DE AGENDAS 21: OS DESAFIOS DO NOSSO TEMPO”. 2009. Ponta Grossa-PR.

BERNARDI, J. V. E. LACERDA, L. D. DÓREA, J. G. LANDIM, P. M. B. GOMES, J. P. O. ALMEIDA, R. MANZATTO, A. G. BASTOS, W. R.. Aplicação da análise das componentes principais na ordenação dos parâmetros físico-químicos no alto rio madeira e afluentes, Amazônia Ocidental. **Geochimica Brasiliensis**, 23(1) 079-090, 2009.

BOLLMANN, H.A.; MARQUES, M. D. Bases para Estruturação de Indicadores de Qualidade de águas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 5, n.1, p. 37- 60, Jan/Mar 2000.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; BARROS, M. T. L.; VERAS, M.S. Jr.; PORTO, M. F. do A.; NUCCI, N. L. R.; JULIANO, N. M. de A.; EIGER, S. **Introdução a engenharia ambiental**. São Paulo: Prentice Hall. 2002.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; BARROS, M. T. L.; VERAS, M.S. Jr.; PORTO, M. F. do A.; NUCCI, N. L. R.; JULIANO, N. M. de A.; EIGER, S.. **Introdução à engenharia ambiental**. 2^a ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, c 2005 xvi, p. 318.

BRANCO, S. M. **Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. Escrituras Editora, São Paulo, 1999.

BRANCO, Samuel. M. Água e saúde humana. In: REBOUÇAS, Aldo C.. BRAGA, Benedito; TUNDISI, José G. (Org.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3ª ed. rev. e ampl. São Paulo: Escrituras, 2006, p 241-267.

BRERETON, R. G. Introduction to multivariate calibration in analytical chemistry. **Analyst**. London, 125:2125-2154, 2000.

CETESB. Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. Relatório de Qualidade de Águas Interiores do estado de São Paulo. Séries relatórios. São Paulo, 1997.

CETESB. Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. Relatório de Qualidade de Águas Interiores do estado de São Paulo. Séries relatórios. São Paulo, 2000.

CETESB. Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. Relatório de Qualidade de Águas Interiores do estado de São Paulo. Séries relatórios. São Paulo, 2005.

CETESB. Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. Séries relatórios. São Paulo, 2009.

CETESB. Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. Índice de qualidade das águas. Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/indice_iap_iqa.asp. Acesso em 16 de julho de 2014.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução Nº 1, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. **Diário Oficial da União**, Brasília, fev. 1986, Seção 1, páginas 2548-2549.

CONAMA - 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, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União** n. 53, Brasília, 2005.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resoluções do Conama: Resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 e janeiro de 2012. **Ministério do Meio Ambiente**. 1126p. Brasília: MMA, 2012.

CORREIA, P. R. M.; FERREIRA, M. M. C.. Reconhecimento de padrões por métodos não supervisionados: explorando procedimentos quimiométricos para tratamento de dados analíticos. **Quim. Nova.** 30 (2): 481-487, 2007.

DIÁRIO DOS CAMPOS. **Entrega de casas do conjunto Andorinhas e Sabiás segue indefinida.** Publicado em jan. 2015. Disponível em: <<http://www.diariodoscampos.com.br/cidades/2015/01/entrega-de-casas-do-conjunto-andorinhas-e-sabias-segue-indefinida/1258951/>> Acesso em 20 abr. 2017.

DIÁRIO DOS CAMPOS. **PROLAR sorteia localização das casas do Parque das Andorinhas.** Publicado em jul. 2016. Disponível em: <<http://www.diariodoscampos.com.br/cidades/2016/07/prolar-sorteia-localizacao-das-casas-do-parque-das-andorinhas/2201250/>> Acesso em: 20 abr. 2017.

DROUCHEA, M. MIGNOTB, V. Le. LOUNICIA, H. BELHOCINEA, D. GRIBA, H. PAUSSB, A. MAMERIB, N.. A compact process for the treatment of olive mill wastewater by combining UF and UV/H₂O₂ techniques. *Desalination*, 169:81-88, 2004.

ENVIROMENTAL CANADÁ; Priority Substances List- Assessment- Ammonia in the Aquática Enviroment – May 2000, Canadá, 2000.

FERNANDES, Marilda O. S.; VIERA, Valmir. Impactos ambientais urbanos: o caso do Arroio Poraima na Cidade de Mata, RS. **Disc. Scientia: Série: Ciências Humanas**, Santa Maria, RS, v. 9, n. 1, p.35-45, 2008.

FERREIRA, Márcia M. C. ANTUNES, Alexandre M. MELGO, Marisa S. VOLPE, Pedro L. O. Quimiometria I: Calibração multivariada, um tutorial. **Química Nova**, São Paulo, v. 22, n. 5, p.724-731, set. 1999.

FISHER, D. S., STEINER, J. L., ENDALE, D. M. The Relationship of Land Use Pratices to Surface Water Quality in the Upper Oconee Water of Georgia. **Forest Ecology and Management.**128: 38 – 48, 2000.

GEALH, A.M.; MELO, M.S.; MORO, R.S. (Orgs.). Pitangui, Rio de Contrastes: seus lugares, seus peixes, sua gente. Ponta Grossa: Ed. UEPG, 2010. 199p.

GOOGLE EARTH. Disponível em <http://www.google.com.br/maps>. Acesso em maio de 2013.

GONZALEZ, C. SPINELLI, S. GILLE, J. TOURAND, E. PRICHARD, E.. Validation procedure for existing and emerging screening methods. *Trends in Analytical Chemistry*, 26 (4):315-322, 2007.

GROSTEIN, Marta D. Metr pole e expansão urbana: a persistência de processos insustentáveis. **São Paulo em Perspectiva**, v. 15, n. 1, São Paulo, 2001.

GUEDES, H. A. S. SILVA, D. D. ELESBON, A. A. A. RIBEIRO, C. B. M. MATOS, A. T. SOARES, J. H. P.. Aplica o da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.16, n.5, p.558–563, 2012, Campina Grande, PB.

HAMPF, Edgar. **Pilão de Pedra - Recupera o do Arroio deve começar na quarta**. Publicado em jun. 2009. Disponível em:
<<http://www.pontagrossa.pr.gov.br/node/6658>> Acesso em: 20 abr. 2017.

KATEMAN, G.; BUYNDES, L. **Quality Control in Analytical Chemistry – A series of Monographs on Analytical Chemistry and Its Applications**; Vol 60; 2 ed; Wiley-Interscience Publication; New York; 1993.

LIMA, Elizabeth C. da R. **Qualidade de água da Ba ia de Guanabara e Saneamento: Uma Abordagem Sist mica**. 2006. 179f. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) – Pós-Gradua o de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

LOMBARDI, A P. PRETTO, F. M. ROZA, W. S. S. SANTOS, Z. R.. **O Processo de urbaniza o e a degrada o ambiental: Programa de regulariza o de assentamentos precários da bacia hidrográfica do Arroio Pilão de Pedra na cidade de Ponta Grossa- Paraná- Brasil**. Disponível em:
<http://www.egal2013.pe/wp-content/uploads/2013/07/Tra_Anna-Fabelis-Willian-Z%C3%ADngara.pdf> Acesso em: 30 jun. 2014.

MALHEIROS, C. H. HARDOIM, E. L. LIMA, Z. M. AMORIM, R. S. S.. Qualidade da água de uma represa localizada em área agrícola (Campo Verde, MT, Brasil). **Revista Ambiente &  gua: - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, [s.l.], v. 7, n. 2, p.27-37, 2012 (<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.904>)

MARINOVIC, M MARINOVIC, D. POPOVIC, D.. Purification of waters and elimination of organochloric insecticides by means of active coal. *J. Serb. Chem. Soc.*, 75 (4): 575-586, 2010.

MARTENS, H.; NAES, T. **Multivariate Calibration**, John Wiley & Sons; Chichester, 1991.

MELO, M.S.; GUIMARÃES, G.B.; SANTANA, Á.C. Fisiografia da bacia do rio Pitangui. In: GEALH, A.M.; MELO, M.S.; MORO, R.S. (Orgs.). Pitangui, rio de contrastes: seus lugares, seus peixes, sua gente. Ponta Grossa: Editora da UEPG, 2010, p.11-21.

MOTA, S. **Preservação e Conservação de Recursos Hídricos**, 2ª ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995.

NAIME, Roberto; NASCIMENTO, Carlos A. **Monitoramento físico-químico e microbiológico das águas do Arroio Pampa em Novo Hamburgo-RS**. Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, [s.l.], v. 6, n. 2, p.410-432, maio 2009.

NIEMEIJER, D. Developing indicators for environmental policy: data-driven and theory-driven approaches examined by example, *Environ. Sci & Policy*. 5:91-103, 2002.

ORSSATTO, Fabio. **Avaliação do Oxigênio Dissolvido do Córrego Bezerra a Montante e a Jusante de uma Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário, Cascavel, Paraná**. Revista Brasileira de Biociências, Porto Alegre, v. 6, supl. 1, p. 27-28, set. 2008

PEREIRA, S. A. OLIVEIRA, G. C. SEVERIANO, E. C. BALBINO, L. C. OLIVEIRA, J. P.. Análise de componentes principais dos atributos físicos de um latossolo vermelho distrófico típico sob pastagem e mata. *Global Science And Technology*, [s.l.], v. 3, n. 2, p.87-97, mai/ago 2010.

PORTAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS. **Indicadores de qualidade - Índice de Qualidade das Águas (IQA)**. Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx#_ftn7> Acesso em: 23 abr. 2017.

RACANICCHI, R. M.Z.V. Influência da Implantação de Estação de Tratamento de Esgoto Tipo Lagoas de Estabilização na Recuperação da Qualidade da Água do Córrego Cabeceira da Mula em Santa Fé do Sul - SP. Dissertação de mestrado, UNESP, Ilha Solteira, 2002.

REBOUÇAS, Aldo C.. BRAGA, Benedito; TUNDISI, José G. (Org.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3ª ed. rev. e ampl. São Paulo: Escrituras, 2006, 748 p.

RICHTER, Carlos A. AZEVEDO NETTO, José M. **Tratamento de água: Tecnologia atualizada**. 1ª ed. São Paulo: Blucher. 1991. 332 p.

ROIG, B. VALAT, C. ALLAN, I. J.. The use of field studies to establish the performance of a range of tools for monitoring water quality. *Trends in Analytical Chemistry*, 26(4): 274-282, 2007.

SANTOS. E. A. MARTINS, I. G. SOUSA, J. N. MENDES, A. M. S. SILVA, P. T. S.. Qualidade da Água no Lago de Sobradinho, BA: Análise de Componentes Principais. X Jornada de Iniciação Científica da Embrapa Semiárido, Petrolina, PE. 2015.

SAWYER, C. N., McCARTY, P.L. **Chemistry for Environmental Engineering**. 3ª ed.. McGraw-Hill, 1985.

SILVA, G.S.; JARDIM, W.F. Novo índice de qualidade das águas para proteção da vida aquática aplicado ao Rio Atibaia, região de Campinas/Paulínia. **Quím. Nova**. 29: 689-694, 2006

SISTEMA METEOROLÓGICO DO PARANÁ. Disponível: <<http://www.simepar.br/>> Acesso em maio de 2013.

TUCCI, Carlos E. M.. **Água Doce: Água no meio urbano**. Rio Grande do Sul, 1997. Disponível em: <http://4ccr.pgr.mpf.mp.br/institucional/grupos-de-trabalho/encerrados/residuos/documentos-diversos/outras_documentos_tecnicos/curso-gestao-do-territorio-e-manejo-integrado-das-aguas-urbanas/aguanomeio%20urbano.pdf> Acesso em: 07 abr.2014.

TUCCI, Carlos E. M.. Águas urbanas. **Estud. Av.**, São Paulo, v. 22, n. 63, p.97-112, 2008.

TUCCI, Carlos E. M.. Água no meio urbano. In: REBOUÇAS, Aldo C.. BRAGA, Benedito; TUNDISI, José G. (Org.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3ª ed. rev. e ampl. São Paulo: Escrituras, 2006, p. 399-432.

TUNDISI, José G. Água no século XXI: enfrentando a escassez. **RiMa**, São Carlos, 2ed., 2003.

VICENTE, Juliano. **Determinação de surfactantes aniônicos em efluentes de postos revendedores de combustíveis da região da Grande Florianópolis.** Trabalho de conclusão de curso, fev. 2004. 27p.

VON SPERLING, M. V. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos:** Princípios do Tratamento Biológico de águas Residuárias. SEGRAC. 2^a ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental UFMG; 1996, 70p.

ZIMMERMANN, Ciro M. Avaliação da qualidade do corpo hídrico do rio Tibagi na região de ponta grossa utilizando análise de componentes principais (PCA). **Química Nova**, [s.l.], v. 31, n. 7, p.1727-1732, 22 set. 2008.

ZIMMERMANN, Ciro M. **Avaliação do potencial poluente das atividades industriais do distrito industrial de Ponta Grossa e sua correlação com a qualidade das águas do Rio Tibagi.** Tese de doutorado. Universidade Federal do Paraná, 2008.

ZIMMERMANN, Ciro M. **Triste realidade do Arroio Pilão de Pedra.** Publicado em jun. 2015. Disponível em:
<<http://www.diariodoscamos.com.br/blogs/artigos/2015/06/triste-realidade-do-arroio-pilao-de-pedra/45324/>> Acesso em: 20 abr. 2017

APÊNDICE A - Tabela de parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados durante o período coleta, referente aos três pontos de amostragem e utilizada como base de dados para a análise de componentes principais (PCA)

Tabela 9. Resultados dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos referente ao período de estudo, para os 3 pontos de amostragem, utilizados como base de dados para a análise de componentes principais.

	Mês	N.	Táguia	pH	O.D.	SST	Cond.	DQO	DBO	COT	N(NO3)	Surf.	S.T	Cor	Turb.	N(NH3)	Cl	Alc.	P	NTK	IP	CF	Var20
			°C		mgL ⁻¹	mgL ⁻¹	uS	mgL ⁻¹	mgL ⁻¹	mgL ⁻¹	mgL ⁻¹	mgL ⁻¹	mgL ⁻¹	PCU	NTU	mgL ⁻¹	mgL ⁻¹	mgL ⁻¹	mgL ⁻¹	mgL ⁻¹	mgL ⁻¹	NNP 100mL	
Ponto 1	Ago	1	19	7,36	1,7	40,3	497	40	37,5	12,4	1,3	1	148	150	17,2	16	66,3	128,6	3,51	32,5	11,8	1130000	1
	Set	2	18,2	7,1	2,6	34,9	278,20	32,7	28,5	14,3	2,67	0,95	154	100	29,5	6,33	49,7	88,2	1,25	31,07	117,2	980000	1
	Out	3	22,8	7,28	1,95	34,7	499	43,7	85	14,5	0,5	3,9	362	310	21,4	6,08	78,1	133,4	2,14	91,5	142,40	1540000	1
	Nov	4	21,9	7,21	3,2	30,6	502	47	47	15	0,45	1,6	252	323,30	20,8	5,6	71	156,4	3,1	3,2	71	740000	1
	Dez	5	23,3	7,36	1,77	32	461,70	37,8	87	13,1	0,39	4,3	74,70	276,70	21,2	0,964	65,3	106,5	2,7	2,64	221,2	2400000	1
	Jan	6	23	7,05	1,88	38,8	483	56,3	45	10,4	0,32	2,4	279	166,7	20,4	0,393	79,5	122,3	1,07	3	89,80	110000	1
		Média		21,37	7,23	2,10	35,22	453,48	42,92	55,00	13,08	0,94	2,36	211,62	221,12	21,75	5,89	68,32	122,57	2,30	27,32	108,90	1150000
Ponto 2	Ago	8	18	7,4	2,7	129,5	182	74,5	12,5	23,3	0,9	0,9	123	550	31,3	6,28	35,5	65,5	1,6	28,6	11,8	504000	2
	Set	9	17,1	7,06	2,9	56,3	218	31	9,5	8,75	0,29	0,4	56,30	550	22	3,12	39,5	103	0,99	49,9	117,2	544000	2
	Out	10	24,4	7,26	4,65	61,7	332	37,7	19	16,6	1,1	3,5	246,7	287	11,6	4,52	49,7	103,3	1,86	40,6	142,40	800000	2
	Nov	11	20,9	7,16	4,23	108,3	185,2	59,2	27,8	18,7	0,8	0,8	108,3	513	22,2	1,33	28,4	58,2	1,14	1,82	71	340000	2
	Dez	12	25,4	6,85	5,23	116,7	148,60	63,8	30	19,7	0,5	0,35	68,20	550	23,8	0,18	27,9	51,4	1,96	1,08	221,2	120000	2
	Jan	13	22,1	6,84	5,61	102,3	219	32,5	8	17,9	1,8	0,8	252,60	550	26,8	0,128	35,5	87,3	0,643	1,87	89,80	56000	2
		Média		21,32	7,10	4,22	95,80	214,13	49,78	17,80	17,67	0,90	1,13	142,52	500,00	22,95	2,59	36,08	78,12	1,25	20,65	108,90	394000
Ponto 3	Ago	15	16,7	7,35	5,4	18,1	117	15,3	8,5	4,8	0,53	0,7	40	90	14,6	6,81	49,7	75	1,36	12,3	11,8	24000	3
	Set	16	16,9	7,19	3,15	25,9	233,8	19,5	7,9	5,3	0,9	0,9	25,9	60	15,2	4,28	35,5	94,5	0,79	16,6	117,2	13000	3
	Out	17	24,1	7,23	4,97	98	199,5	23,3	10,1	13,0	1,5	0,36	195	46	10,1	2,66	42,6	67,5	1,04	16,1	142,40	18000	3
	Nov	18	20,9	7,09	4,76	33,3	180,90	21,8	9,3	6,8	0,8	0,21	89,70	63,30	12,8	1,2	27,9	65,1	1	3,04	71	124000	3
	Dez	19	15,2	7,07	5,83	94,7	259,90	27,2	13,3	11,3	0,5	1,7	94,70	180	22,5	0,533	29,8	88,2	1,7	2,19	221,2	17000	3
	Jan	20	23,8	7,15	4,95	21,9	179,90	16,7	5	5,2	1,6	0,6	125,6	63,30	15,7	0,137	21,3	49,7	0,52	0,936	89,80	8000	3
		Média		19,60	7,18	4,84	48,65	195,17	20,63	9,02	6,68	0,97	0,75	95,15	83,77	15,15	2,60	34,47	73,33	1,07	8,53	108,90	34000

Fonte: Autoria própria.

APÊNDICE B - Resultados dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos referente ao período de estudo, utilizados como base para o cálculo do IQA_{CETESB}, para os três pontos de amostragem.

Tabela 10. Resultados dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos referente ao período do estudo, utilizados como base para o cálculo do IQAcETESB, para os 3 pontos de amostragem.

		N.	Táguas	pH	O.D.	DBO	S.T	Turb.	P	NTK	IP	CF	IQA
			°C		mgL ⁻¹	mgL ⁻¹	mgL ⁻¹	NTU	mgL ⁻¹	mgL ⁻¹	mm	NNP 100mL	
Ponto 1	Ago	1	19	7,36	1,7	37,5	148	17,2	3,51	32,5	11,8	1130000	10
	Set	2	18,2	7,1	2,6	28,5	154	29,5	1,25	31,07	117,2	980000	15
	Out	3	22,8	7,28	1,95	85	362	21,4	2,14	91,5	142,40	1540000	9
	Nov	4	21,9	7,21	3,2	47	252	20,8	3,1	3,2	71	740000	16
	Dez	5	23,3	7,36	1,77	87	74,70	21,2	2,7	2,64	221,2	2400000	12
	Jan	6	23	7,05	1,88	45	279	20,4	1,07	3	89,80	110000	14
		Média		21,37	7,23	2,10	55,00	211,62	21,75	2,30	27,32	108,90	1150000
Ponto 2	Ago	8	18	7,4	2,7	12,5	123	31,3	1,6	28,6	11,8	504000	17
	Set	9	17,1	7,06	2,9	9,5	56,30	22	0,99	49,9	117,2	544000	17
	Out	10	24,4	7,26	4,65	19	246,7	11,6	1,86	40,6	142,40	800000	18
	Nov	11	20,9	7,16	4,23	27,8	108,3	22,2	1,14	1,82	71	340000	19
	Dez	12	25,4	6,85	5,23	30	68,20	23,8	1,96	1,08	221,2	120000	17
	Jan	13	22,1	6,84	5,61	8	252,60	26,8	0,643	1,87	89,80	56000	27
		Média		21,32	7,10	4,22	17,80	142,52	22,95	1,25	20,65	108,90	394000
Ponto 3	Ago	15	16,7	7,35	5,4	8,5	40	14,6	1,36	12,3	11,8	24000	25
	Set	16	16,9	7,19	3,15	7,9	25,9	15,2	0,79	16,6	117,2	13000	24
	Out	17	24,1	7,23	4,97	10,1	195	10,1	1,04	16,1	142,40	18000	35
	Nov	18	20,9	7,09	4,76	9,3	89,70	12,8	1	3,04	71	124000	27
	Dez	19	15,2	7,07	5,83	13,3	94,70	22,5	1,7	2,19	221,2	17000	27
	Jan	20	23,8	7,15	4,95	5	125,6	15,7	0,52	0,936	89,80	8000	32
		Média		19,60	7,18	4,84	9,02	95,15	15,15	1,07	8,53	108,90	34000

Fonte: Autoria própria.