

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

VITOR FRANKLIN YOSHIKAZU MARTINS UEMA
GABRIEL BRAGA DA CRUZ

**Avaliação ambiental de córregos da área 2, do Campus USP, São Carlos
por meio de análise de variáveis físicas, químicas e biológicas da água e da
comunidade bentônica**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentada à Escola de
Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo

Orientador: Prof. Dr. Juliano José
Corbi

São Carlos

2022

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

B813a Braga-Cruz // Yoshikazu-Martins-Uema, Gabriel // Vitor Franklin
Avaliação ambiental de córregos da área 2, do Campus USP, São Carlos por meio de análise de variáveis físicas, químicas e biológicas da água e da comunidade bentônica / Gabriel // Vitor Franklin Braga-Cruz // Yoshikazu-Martins-Uema; orientador Juliano José Corbi. São Carlos, 2022.

Monografia (Graduação em) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2022.

1. ambiental. 2. córrego. 3. parâmetros. 4. macroinvertebrados. 5. poluição. I. Título.

Eduardo Graziosi Silva - CRB - 8/8907

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): **Gabriel Braga da Cruz e Vitor Franklin Yoshikazu Martins Uema**

Data da Defesa: 25/11/2022

Comissão Julgadora:

Resultado:

Juliano José Corbi (Orientador(a))

Aprovado

José Leonardo da Silva Mello

Aprovados

Guilherme Rossi Gorni

Aprovado

Prof. Dr. Marcelo Zaiat

Coordenador da Disciplina 1800091- Trabalho de Graduação

Dedicatória - Vitor

Ao meu pai, Edson Yoshiter Uema, que sempre acreditou no meu sonho de ser engenheiro e sempre me incentivou a continuar e a nunca desistir.

À minha namorada e futura esposa, Alessandra, que me deu suporte, amor, carinho e o incansável apoio neste momento tão importante em minha vida.

A todos meus amigos que viraram parte da minha família, que fizeram parte da minha história, e que sempre estiveram ao meu lado em todos os momentos, sejam tristes ou felizes.

Ao alojamento USP São Carlos AutoGestão que me cedeu uma moradia em grande parte de minha graduação, sem ele não seria possível a realização do sonho em me formar na USP.

Dedicatória - Gabriel

A minha família que de diversas formas apoiou minha estadia em São Carlos e sempre acreditou em todo meu potencial.

Aos meus amigos de São Carlos que estiveram presentes em todos os momentos durante a graduação, inclusive na pandemia que mesmo com as dificuldades nos mantemos firmes e juntos.

Ao meu namorado, Vinicius, que sempre me manteve alto astral para poder seguir nessa reta final com as dificuldades do trabalho e conciliação com a faculdade.

Também gostaríamos de agradecer ao Laboratório de Saneamento responsável pelo cuidado com as nossas coletas e análises das mesmas, nos retornando sempre o mais breve possível para que pudéssemos trabalhar com os resultados obtidos.

Por fim, não poderíamos deixar de agradecer ao Professor Doutor Juliano José Corbi, nosso orientador, que com muita dedicação, atenção e didática nos proporcionou uma execução deste último trabalho de forma mentalmente saudável e com muito espaço para trocas de conversas e dúvidas ao longo do caminho.

Resumo

A qualidade da água é algo de extrema importância para a humanidade, seja para sua utilização para consumo ou para a conservação da biodiversidade. A reserva de água doce do mundo representa apenas 3% da quantidade total da água disponível no planeta, logo 97% desse composto pela água salgada. A preservação de rios e nascentes deve acontecer para manter um equilíbrio ambiental e o grande reflexo dessa preservação é a presença de uma biodiversidade ampla nesses locais. Os bioindicadores aquáticos, como os macroinvertebrados bentônicos, são um dos parâmetros de avaliação de qualidade de corpos hídricos. A partir da diversidade e tipos de espécies, é possível fazer uma análise geral da bacia hidrográfica e identificar a qualidade da água. Outro parâmetro importante para se analisar são os coliformes fecais, pois são indicadores da presença de esgoto ou efluente não tratado corretamente. Este trabalho tem como finalidade analisar por meio de variáveis químicas, físicas e biológicas, a qualidade da água em dois córregos localizados na área 2, do Campus da USP, São Carlos. O córrego 1 (pontos 1, 2 e 3) são áreas localizados em áreas parcialmente preservadas e o córrego 2 (pontos 4, 5 e 6) são localizados em áreas antropizadas. As principais amostras analisadas foram de coliformes totais, nitrogênio total, nitrito e nitrato e comunidade de macroinvertebrados bentônicos. O intuito do trabalho é mostrar as diferenças da qualidade da água de uma área preservada (córrego 1) e de uma área antropizada (córrego 2), com o objetivo de conscientização sobre a preservação da qualidade ambiental dos córregos.

Abstract

Water quality is extremely important for the human community, whether for consumption or for biodiversity conservation. The world's fresh water reserve represents only 3% of the total amount of water available on the planet, 97% of which is salt water. The preservation of rivers and springs must happen to maintain a static balance of environmental factors, and the great reflection of this preservation is a wide biodiversity in the places. Aquatic bioindicators, such as benthic macroinvertebrates, are one of the parameters for evaluating the quality of water bodies. Based on the diversity and specific types of species, it is possible to analyze the basin and identify the quality of the water. Another important parameter to analyze is fecal coliforms, as they are indicators of the presence of sewage or effluent that is not properly treated. *Escherichia Coli* is the main disease-causing bacteria. This work aims to analyze, through chemical, physical and biological samples, parameters that define the water quality in two streams of Campus 2 of USP in São Carlos, where stream 1 (points 1, 2 and 3) are areas of springs and stream 2 (points 4, 5 and 6) are anthropized areas. The main samples analyzed were total coliforms, total nitrogen, nitrite and nitrate and community of benthic macroinvertebrates. The purpose of the work is to show the differences in water quality in a preserved area (stream 1) and an anthropized area (stream 2).

Sumário

1. Introdução	6
2. Objetivos	11
2.1 Objetivo geral	11
2.2 Objetivos Específicos	11
3. Materiais e Métodos	12
3.1 Caracterização da área de estudo	12
3.1.1 Pontos de coleta	14
3.2 Macroinvertebrados bentônicos	17
3.2.1 Processamento das amostras e identificação	17
3.3 Tratamento das amostras de água	18
3.3.1 Período de coleta	18
3.3.2 Nutrientes totais e dissolvidos	18
3.3.3 Coliformes totais e Escherichia coli	18
4. Resultados e Discussões	20
4.1 Análise do pH	20
4.2 Análise do Fósforo Total	21
4.3 Análise do Nitrogênio Total, Nitrogênio Amoniacal, Nitrito e Nitrato	22
4.4 Análise da Concentração de Coliformes Totais e Escherichia coli	26
4.5 Análise da Condutividade Elétrica	28
4.6 Análise de Macroinvertebrados bentônicos	30
5. Conclusão	32
6. Referências	33

1. Introdução

A qualidade da água é um aspecto fundamental quando se trata dos seus principais usos, como o consumo humano, lazer, irrigação, indústrias, entre outros. Por mais que o planeta Terra seja constituído de aproximadamente 70% de água, menos de 1% é utilizado para consumo humano, sendo 97% da água disponível no mundo salgada e apenas 3% doce (WWF, 2022). Desse total de água doce existente, a maior parte encontra-se nas geleiras (2%), no lençol freático e rios (1%). O Brasil possui a maior reserva de água doce potável do mundo, aproximadamente 12% do total (WWF, 2022).

As alterações nos ecossistemas aquáticos, decorrentes da expansão das fronteiras agrícolas e do aumento desordenado das atividades humanas, têm gerado grande preocupação em relação à disponibilidade e à qualidade dos recursos hídricos (CALLISTO, 2001). A preocupação com o monitoramento da qualidade da água tem um marco no início do século XX, na Alemanha, através do aparecimento dos primeiros indicadores biológicos de poluição. Kolkwitz e Marsson (1909) desenvolveram a idéia de saprobidade (o nível de poluição) em rios, como uma medida da extensão da contaminação por esgoto, resultante do decréscimo do oxigênio dissolvido na água, e seu efeito na biota encontrada nesses habitats. O Sistema saprobiótico foi baseado na presença de microrganismos indicadores (principalmente bactérias, algas, protozoários, rotíferos) que recebem valores crescentes de acordo com a tolerância à poluição (zonas de eutrofização).

Segundo Souza, Moraes, Sonoda e Santos (2014, pg 27):

A importância da água não está relacionada apenas às suas funções na natureza, mas ao papel que exerce na saúde, economia e qualidade de

vida humana. Do ponto de vista cultural, a água também exerce papel importante fazendo parte da construção e crescimento de civilizações, como a exemplo das civilizações mesopotâmicas e egípcias que se desenvolveram ao longo dos rios Tigre e Eufrates e rio Nilo, respectivamente.

Acredita-se que a qualidade da água é medida apenas pela sua cor cristalina ou odor, porém, a água destinada ao consumo humano deve estar livre de bactérias, parasitas, metais pesados ou qualquer outra substância nociva à saúde. Para definir se a água pode ser consumida ou não, existem análises físicas, químicas e biológicas específicas para determinar os parâmetros de qualidade. Segundo os indicadores de sustentabilidade do IBGE, a qualidade da água nos corpos hídricos pode ser representada pela DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e pelo Índice de Qualidade da Água (IQA). Ainda, existe o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), órgão consultivo e deliberativo que dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, que estabelece cinco classes de qualidade da água, que são: especial, classe 1, 2, 3 e 4. Essa resolução é a CONAMA 357/2005.

Tabela 1: Classes de enquadramento e usos das águas.

Usos das águas	Especial	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas	X			
Proteção das comunidades aquáticas	X	X		
Recreação de contato primário	X	X		
Aquicultura	X	X		
Abastecimento para consumo humano	X	X		
Irrigação	X	X		
Recreação de contato secundário	X	X	X	
Pesca	X	X	X	
Navegação	X	X	X	X
Harmonia paisagística	X	X	X	X

Fonte: Adaptado de Agência Nacional de Águas - ANA.

O aumento da densidade demográfica urbana tem sido responsável pelo crescimento de atividades antrópicas sobre os ambientes. De maneira global, os ecossistemas sofrem com a influência do homem, como desmatamentos, contaminação de ambientes aquáticos, contaminação de lençol freático e introdução de espécies exóticas, resultando na perda da biodiversidade.

Diversas doenças causadas por microrganismos têm como principal rota de contaminação a fecal-oral, sendo disseminados na água contaminada por esgoto não tratado ou tratado inadequadamente (Tortora, 2005). Assim, o controle da qualidade da água a ser consumida pela população é uma atividade importante. A identificação de patógenos na água é possível, porém é uma prática difícil; sendo assim, é preferível realizar as análises de microrganismos indicadores de contaminação fecal, tais como as bactérias do grupo coliformes (Franco, 2008). As bactérias deste grupo estão presentes no intestino humano e de animais de sangue quente, e são eliminadas em grandes quantidades nas fezes e quantificadas por métodos simples. Porém, neste grupo, há também bactérias de origem não exclusivamente fecal (Silva, 2005).

A *Escherichia coli* é uma bactéria pertencente ao grupo dos coliformes, que tem como habitat primário o intestino do homem e de animais de sangue quente, representando 95% das bactérias do grupo coliformes encontradas nas fezes humanas e de animais. Por ser uma bactéria de fácil isolamento e identificação em água, e por seu período de sobrevivência ser semelhante ao dos patógenos mais comuns, a *Escherichia coli* é considerada um bom indicador de contaminação fecal (Jay, 2005).

Outro importante indicador da qualidade da água, são os macroinvertebrados bentônicos, que compreendem invertebrados com tamanho de 2 a 5 mm, que habitam ou passam pelo menos parte do ciclo de vida nos substratos de fundo de corpos d'águas continentais (Mugnai et al., 2010). Os impactos ambientais que acontecem em sistemas aquáticos, são avaliados em geral, por meio de análises físicas e químicas da água, que são identificadas rapidamente as possíveis alterações. Porém, as avaliações biológicas desempenham um papel importante no monitoramento e manejo, visando manter ou melhorar a qualidade ambiental e a integridade dos ecossistemas aquáticos, complementando os tradicionais métodos físicos e químicos (Karr, 1999; Linke et. al 2005).

Os macroinvertebrados bentônicos diferem entre si, em relação à poluição orgânica, desde organismos típicos de ambientes limpos ou de boa qualidade de águas (p. e. ninfas de Plecoptera e larvas de Trichoptera - Insecta), passando por organismos tolerantes (p. e. alguns Heteroptera e Odonata - Insecta e Amphipoda - Crustacea) até organismos resistentes (p. e. alguns Chironomidae – Diptera, Insecta e Oligochaeta – Annelida). Locais poluídos geralmente possuem baixa diversidade de espécies e elevada densidade de organismos, restritos a grupos mais tolerantes (p. e. *Chironomus* e *Polypedilum* – Diptera, Chironomidae e Tubificidae – Oligochaeta) (Corbi 2006).

Comunidades bentônicas necessitam de um certo tempo para estabelecer suas populações, que por sua vez, necessitam de condições ambientais próprias para a sua permanência no meio. A partir deste ponto, atuam como monitores contínuos das condições ecológicas dos rios, indicando tanto variações recentes quanto as ocorridas no passado, decorrentes do lançamento de efluentes industriais e que tenham afetado a qualidade das águas (p. e. contaminação por metais pesados) e a diversidade de habitats (Callisto et al., 2000). Segundo Thorne e Williams (1997), o monitoramento dos ecossistemas através do uso da biota aquática pode ser uma boa estimativa das influências deletérias nestes ambientes, sendo que uma das principais justificativas é o baixo custo que esta técnica possui na detecção da poluição dos sistemas hídricos.

Reice e Wohleber (1993) ressaltam que os invertebrados bentônicos são excelentes indicadores das mudanças ambientais pelo fato de estarem sujeitos a uma maior exposição às substâncias tóxicas presentes no ambiente, devido à história de vida mais longa, se comparado com os outros organismos, por exemplo, àqueles que constituem a comunidade zooplanctônica. A avaliação biológica é efetuada principalmente pela aplicação de diferentes protocolos de avaliação, índices biológicos e multimétricos, baseando-se na utilização de espécies indicadoras da qualidade da água e/ou do habitat (Thorne e Williams, 1997). Em

geral, tem-se observado que águas de boa qualidade apresentam elevada diversidade de organismos, comparando-se a ambientes impactados por atividades antrópicas (Barbosa e Callisto, 2000).

Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi realizar uma análise ambiental da qualidade da água dos dois córregos que percorrem a área 2, da Universidade de São Paulo (USP), localizada na cidade de São Carlos/SP. Em paralelo ao estudo da comunidade de macroinvertebrados bentônicos, bioindicadores da qualidade da água, do mesmo local, para se fazer um comparativo entre os estudos.

2. Objetivos

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar a qualidade da água em 6 pontos diferentes de dois córregos localizados na área 2, do Campus da USP de São Carlos, localizados em São Carlos/SP, por meio de análises físicas, químicas e biológicas da água. Bem como, registrar historicamente a qualidade da água dos córregos analisados para que no futuro uma análise comparativa possa ser elaborada utilizando do presente trabalho como modelo.

2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho constituem em:

- Coletar amostras de água em 6 pontos diferentes dos dois córregos da área 2 da USP, São Carlos;
- Realizar análises químicas, físicas e biológicas das amostras de água;
- Analisar comparativamente a qualidade da água pelo estudo da comunidade de macroinvertebrados bentônicos nos pontos de coleta;
- Relacionar os resultados das análises físico-químicas e biológicas com a qualidade da água dos dois córregos da área 2 da USP, São Carlos.

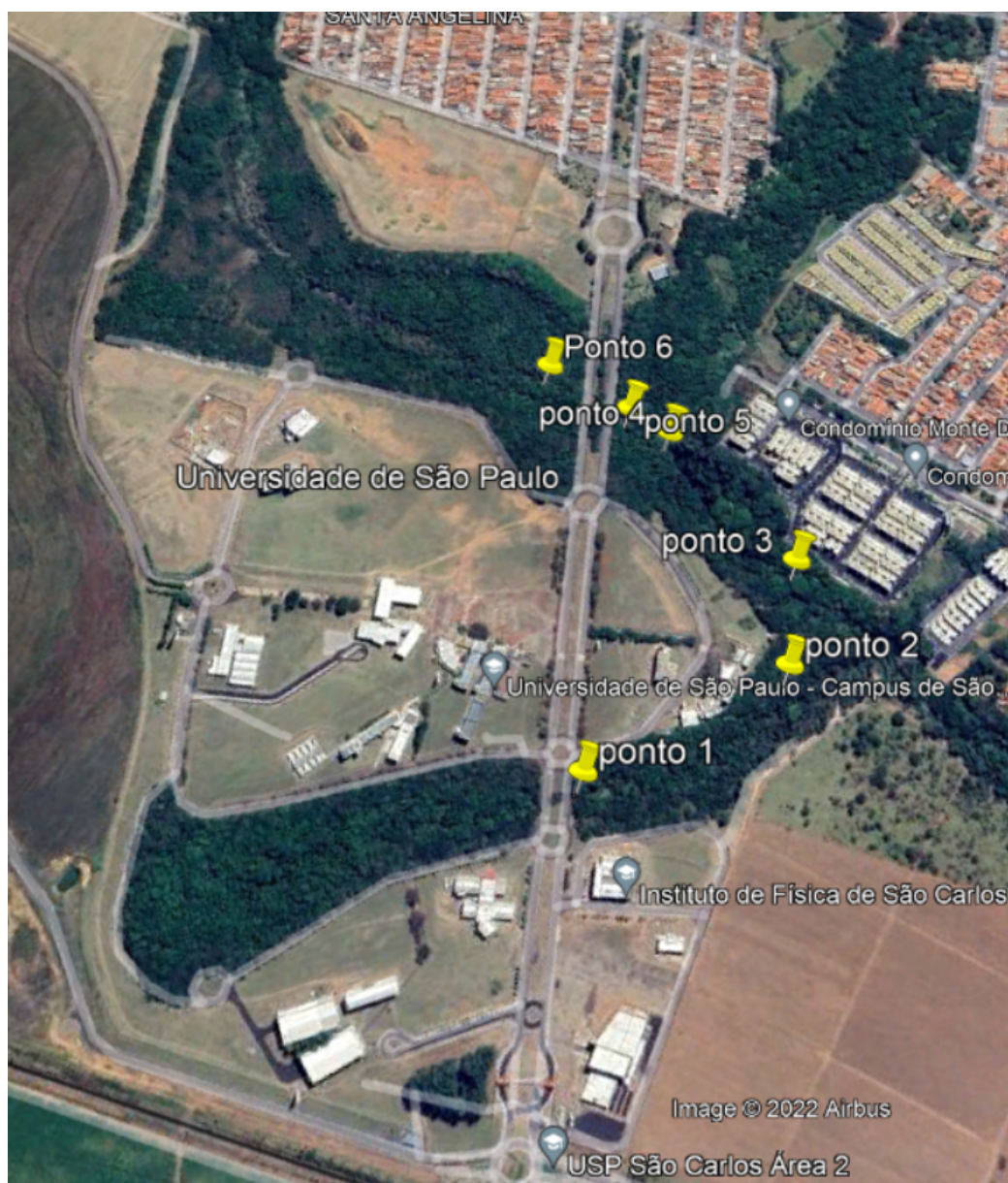
3. Materiais e Métodos

3.1 Caracterização da área de estudo

Os ambientes escolhidos para a realização deste estudo foram divididos da seguinte forma: área de nascentes, onde o córrego se encontra em uma região com Área de Preservação Permanente (APP) e mata ciliar preservadas; zona de transição, onde o córrego percorre uma área de recuperação com bambuzais; e área antropizada, onde o córrego passa por locais que já possuem indícios de construções, intervenções humanas e pouca APP e mata ciliar preservadas.

Os dois córregos do Campus 2 da USP estão localizados no município de São Carlos, no estado de São Paulo. O clima é o Tropical de Altitude, caracterizado com verões chuvosos e invernos secos, com seis meses quentes e úmidos e seis meses frios e secos. A temperatura diária máxima anual é de 26,9 °C e a mínima anual de 16,2 °C. A precipitação pluvial média anual é de aproximadamente 1500 mm (RIGHETTO, 2005). A Figura 1 ilustra o Campus 2 da USP de São Carlos.

Figura 1 - Pontos de coleta ao longo dos dois córregos da área 2 da USP, São Carlos



Fonte: Google Earth (2022)

Os pontos 1, 2 e 3 pertencem a um córrego mais preservado, localizados em áreas de nascentes. Já os pontos 4, 5 e 6 pertencem a outro córrego com um maior impacto antrópico e influência das regiões urbanas do Campus e da cidade.

3.1.1 Pontos de coleta

As coletas foram divididas em 6 pontos, localizados em dois córregos, o córrego 1 (pontos 1, 2 e 3) e o córrego 2 (pontos 4, 5 e 6), apresentados nas Figuras 2, 3, 4, 5, 6 e 7, respectivamente.

Figura 2 - Ponto 1 (nascente): Localizado em uma área de preservação permanente, região bem preservada, sem acesso ao local e próximo à nascente.



Fonte: Autor (2022)

Figura 3 - Ponto 2 (nascente): O local é preservado e sem acesso, porém a mata ciliar é menor do que no primeiro ponto.



Fonte: Autor (2022)

Figura 4 - Ponto 3: Localizado abaixo do ponto 2, área com vestígios de recuperação da mata ciliar com bambuzais, dificultando o acesso.



Fonte: Autor (2022)

Figura 5 - Ponto 4: Localizado no ponto mais impactado das coletas, zona antropizada. Pela imagem fica nítida a qualidade do córrego neste local por conta da cor da água.



Fonte: Autor (2022)

Figura 6 - Ponto 5: Localizado acima do ponto 4, a área se encontra impactada, com acesso para a coleta manual sem a necessidade de balde.



Fonte: Autor (2022)

Figura 7 - Ponto 6: Localizado acima do ponto 5, dentro da APP. Região com mata ciliar e sem acesso ao local, porém em comparação aos pontos 1 e 2, está mais antropizada.



Fonte: Autor (2022)

3.2 Macroinvertebrados bentônicos

3.2.1 Processamento das amostras e identificação

As amostras de água com os macroinvertebrados foram coletadas em dois pontos, sendo um ponto na nascente do córrego 1 e o outro ponto no córrego impactado, com nascente localizada em uma área externa ao Campus. As amostras coletadas foram alocadas em tambores plásticos e transportadas para o Laboratório de Ecologia, da Universidade de São Paulo (USP) de São Carlos. Em seguida, os exemplares foram triados em bandejas de polietileno sobre fonte luminosa (bandejas transiluminadas), e preservados em álcool 70%.

3.3 Tratamento das amostras de água

3.3.1 Período de coleta

As coletas de água destinadas para as análises físico-químicas e bacteriológica foram realizadas em 2 momentos, a primeira em 7 de Outubro de 2022, e a segunda em 25 de Outubro de 2022. Esse período foi caracterizado como sendo o início dos meses chuvosos na região estudada. Essas análises foram realizadas no Laboratório de Saneamento da USP, São Carlos, coordenado pelo Sr. Julio Trofino.

3.3.2 Nutrientes totais e dissolvidos

As amostras de água para a análise de nutrientes (nitrogênio total, fósforo total, nitrogênio amoniacal, nitrato e nitrito), foram coletadas com garrafas de polietileno (1 litro), previamente tratadas (lavadas com ácido clorídrico a 10% e enxaguadas quatro vezes com água destilada). A água coletada foi mantida em gelo e levadas ao Laboratório de Saneamento da USP, São Carlos, coordenado pelo Sr. Julio Trofino.

As análises seguiram recomendações da metodologia da 23ª edição do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.

3.3.3 Coliformes totais e *Escherichia coli*

Os parâmetros analisados como indicadores da qualidade da água foram o número de coliformes totais e *Escherichia coli*, ou *E. coli*. A detecção do *E. coli* como prática de controle microbiológico de qualidade da água foi escolhida por ser uma tendência

internacional e ser o parâmetro adotado no Brasil (Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde). O método utilizado para a avaliação foi o da 23ª edição do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 9223 B*.

4. Resultados e Discussões

4.1 Análise do pH

A análise do pH foi escolhida como primeiro parâmetro a ser analisado por conta da sua influência com as substâncias presentes no corpo hídrico, como por exemplo, alguns metais que na presença de pH extremo pode se tornar tóxico e impossibilitar a vida no meio e se tornar um agravante para a degradação do corpo hídrico (Esteves, 1988).

A Tabela 1 contém os dados de pH coletados nos 6 pontos dos córregos. Pode-se notar que nenhum ponto tem uma variação notória. Isto implica que em nenhum dos pontos analisados o pH sofreu influência externa.

Tabela 1: Análise do pH dos pontos coletados nos dois córregos. Pontos 1, 2 e 3, localizados no córrego parcialmente preservado. Pontos 4, 5 e 6, localizados em área impactada.

Pontos de Coleta	Coleta 1	Coleta 2
Ponto 1	6,77	7,15
Ponto 2	6,61	7,02
Ponto 3	6,54	6,24
Ponto 4	6,76	6,70
Ponto 5	-	6,80
Ponto 6	6,95	6,84

Fonte: Autor (2022)

A Resolução CONAMA 357/05, indica que as águas das Classes Especial, I e II devem apresentar o pH entre 6,0 e 9,0, logo, os pontos analisados se enquadram dentro do esperado. Ressalta-se que estes valores não descartam a possibilidade de que o córrego externo ao Campus 2 da USP apresenta valores extremos em outros pontos e ao longo do corpo hídrico este pH se regularize pelo processo de autodepuração.

4.2 Análise do Fósforo Total

A análise do fósforo total se torna importante para o estudo da eutrofização que o corpo hídrico se encontra. A presença de fósforo em excesso pode estar relacionada a esgotos domésticos por conta da presença de detergentes superfosfatados, fertilizantes ou até mesmo de abatedouros (Esteves, 1988)

A partir da Tabela 2, é possível notar que o ápice da concentração de fósforo total é no ponto 4 da primeira coleta. Como comentado anteriormente, o ponto 4 é situado em uma área antropizada e a céu aberto, o que permite a interferência da comunidade ao redor do ponto, podendo influenciar em sua qualidade.

A presença de um valor de concentração de fósforo total maior no ponto 4 do que nos outros pontos permite a reflexão de qual a ação ocorre neste ponto visto que o ponto 6 (ponto a montante do ponto 4) a concentração de fósforo total é menor. Um dos aspectos levantados é que a diferença entre o ponto 4 e o ponto 6 é a facilidade de acesso ao ponto 4 pela comunidade. Dessa forma, ao redor do ponto 4 ocorrem atividades antrópicas com maior frequência, diferentemente do ponto 6, onde a área é isolada pela mata ciliar. Ademais, deve-se salientar que o fósforo está presente também na matéria fecal, logo, animais domésticos e silvestres também tem acesso ao ponto 4 com maior facilidade podendo impactá-lo.

Tabela 2: Análise do fósforo total dos pontos coletados nos dois córregos. Pontos 1, 2 e 3, localizados no córrego parcialmente preservado. Pontos 4, 5 e 6, localizados em área impactada.

Pontos de Coleta	Coleta 1	Coleta 2
Ponto 1	0,05	0,06
Ponto 2	0,08	0,17
Ponto 3	0,28	0,26
Ponto 4	0,52	0,23
Ponto 5	-	0,20
Ponto 6	0,24	0,22

Fonte: Autor (2022)

4.3 Análise do Nitrogênio Total, Nitrogênio Amoniacal, Nitrito e Nitrato

O nitrogênio em altas concentrações, juntamente com a presença de fósforo, pode favorecer o processo de eutrofização do corpo hídrico, e, além disso, pode indicar a presença de despejos de efluentes industriais e esgoto doméstico (Esteves, 1988). Logo, a análise de nitrogênio e suas formas se torna favorável para a qualificação da água nos pontos analisados.

Uma das formas que o nitrogênio pode ser encontrado é na forma amoniacal. A decomposição da matéria orgânica é o processo em que o gás amônia ou o íon amônia é liberado, posteriormente dando origem ao nitrito e nitrato pelo processo de nitrificação.

Como nas análises anteriores as concentrações mais altas dos poluentes foram encontradas em pontos vulneráveis a atividades antrópicas, logo as concentrações elevadas estão presentes nos pontos 4 e 6, como apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Análise de nitrogênio amoniacal dos pontos coletados nos dois córregos. Pontos 1, 2 e 3, localizados no córrego parcialmente preservado. Pontos 4, 5 e 6, localizados em área impactada.

Pontos de Coleta	Coleta 1	Coleta 2
Ponto 1	0,11 mg/L	0,08 mg/L
Ponto 2	0,11 mg/L	0,12 mg/L
Ponto 3	0,16 mg/L	0,53 mg/L
Ponto 4	0,56 mg/L	0,38 mg/L
Ponto 5	-	0,29 mg/L
Ponto 6	0,40 mg/L	0,31 mg/L

Fonte: Autor (2022)

Os nitratos são tóxicos para o ser humano e em altas concentrações podem causar a morte de crianças. Nos pontos observados na Tabela 4, não é apresentada uma concentração considerável de alta concentração, mas como no caso de nitrogênio amoniacal, é possível observar uma maior concentração em zonas antrópicas visto que o nitrogênio tem como fonte principal efluentes industriais e esgoto sanitário.

Tabela 4: Análise de nitrato dos pontos coletados nos dois córregos. Pontos 1, 2 e 3, localizados no córrego parcialmente preservado. Pontos 4, 5 e 6, localizados em área impactada.

Pontos de Coleta	Coleta 1	Coleta 2
Ponto 1	0,571 mg/L	0,288 mg/L
Ponto 2	0,815 mg/L	0,501 mg/L
Ponto 3	0,910 mg/L	0,518 mg/L
Ponto 4	1,211 mg/L	2,561 mg/L
Ponto 5	-	2,574 mg/L
Ponto 6	1,586 mg/L	2,521 mg/L

Fonte: Autor (2022)

Por fim, o nitrito além de estar relacionado à decomposição da matéria orgânica, sendo produto do processo de nitrificação da amônia, também está relacionado à corrosão de alguns processos industriais (Esteves, 1988). No caso dos pontos analisados na Tabela 5, não foi possível observar essa relação como indicador, visto que não há indústrias localizadas próximas aos pontos ou ao longo dos córregos.

Tabela 5: Análise de nitrito dos pontos coletados nos dois córregos. Pontos 1, 2 e 3, localizados no córrego parcialmente preservado. Pontos 4, 5 e 6, localizados em área impactada.

Pontos de Coleta	Coleta 1	Coleta 2
Ponto 1	0,004 mg/L	0,003 mg/L
Ponto 2	0,004 mg/L	0,004 mg/L
Ponto 3	0,006 mg/L	0,006 mg/L
Ponto 4	0,043 mg/L	0,042 mg/L
Ponto 5	-	0,033 mg/L
Ponto 6	0,034 mg/L	0.038 mg/L

Fonte: Autor (2022)

Por fim, a análise do nitrogênio total, resume a concentração de nitrogênio coletada nos respectivos pontos, e permite a verificação dos riscos ambientais que aquele ponto se encontra. Como nos casos anteriores, é esperado que os pontos de zonas antropizadas se encontrem mais impactados, e isto é observado nos resultados apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Análise de nitrogênio total dos pontos coletados nos dois córregos. Pontos 1, 2 e 3, localizados no córrego parcialmente preservado. Pontos 4, 5 e 6, localizados em área impactada.

Pontos de Coleta	Coleta 1	Coleta 2
Ponto 1	0,40 mg/L	0,35 mg/L
Ponto 2	0,50 mg/L	0,50 mg/L

Ponto 3	0,70 mg/L	2,00 mg/L
Ponto 4	2,30 mg/L	1,55 mg/L
Ponto 5	-	1,20 mg/L
Ponto 6	2,00 mg/L	1,25 mg/L

Fonte: Autor (2022)

Portanto, é evidente a diferença entre os pontos localizados no córrego que nasce dentro da área 2, do Campus da USP com relação aos pontos do córrego localizado à jusante da cidade. Em nenhum dos casos as condições higiênico-sanitárias são satisfatórias, porém para a análise desse estudo é importante para que exista um registro atual e histórico da qualidade ambiental dos córregos localizados dentro do Campus USP São Carlos.

4.4 Análise da Concentração de Coliformes Totais e *Escherichia coli*

A análise microbiana da água se torna fundamental devido ao risco patogênico que ela pode oferecer à comunidade, visto que bactérias do gênero *Enterobacteriaceae* são comuns em corpos hídricos, levando a riscos no trato intestinal das pessoas que consomem de uma água contaminada.

Sendo assim, os parâmetros apresentados na Tabela 7 oferecem mais informações para a análise da qualidade dos pontos analisados e fornecem uma visão microbiótica do estado dos mesmos.

É possível identificar, na Tabela 7, pontos com uma concentração de coliformes totais elevada, como nos pontos 3, 4, 5 e 6. Estes valores fornecem um indicador de proximidade dos pontos com locais de atividade antrópica e também com animais silvestres, visto que os

coliformes provêm do trato intestinal de animais.

Os pontos 1 e 2, por serem de difícil acesso pela presença de mata ciliar alta, provavelmente se mantêm livres de contato humano e menos suscetíveis a riscos.

Tabela 7: Análise de coliformes totais dos pontos coletados nos dois córregos. Pontos 1, 2 e 3, localizados no córrego parcialmente preservado. Pontos 4, 5 e 6, localizados em área impactada.

Pontos de Coleta	Coleta 1	Coleta 2
Ponto 1	187 UFC	166 UFC
Ponto 2	248 UFC	99 UFC
Ponto 3	1299 UFC	1120 UFC
Ponto 4	2419 UFC	1986 UFC
Ponto 5	-	1414 UFC
Ponto 6	1203 UFC	1733 UFC

Fonte: Autor (2022)

A análise de *Escherichia coli* é importante devido aos riscos que esta bactéria pode trazer ao ser humano, como contaminação dos rins, bexiga, intestino e corrente sanguínea. Logo, segue os mesmos princípios que a análise de coliformes totais.

Pelos mesmos motivos das altas concentrações de coliformes totais nos pontos 4, 5 e 6, também foi observado altas concentrações de *Escherichia coli* nestes pontos, como mostrado na Tabela 8. Ao longo das análises, é possível considerar estes pontos como poluídos, visto que a qualidade da água se torna comprometida, por se tratar de água não potável onde a atividade antrópica é mais presente.

Tabela 8: Análise de *Escherichia coli* dos pontos coletados nos dois córregos

Pontos de Coleta	Coleta 1	Coleta 2
Ponto 1	26 UFC	23 UFC
Ponto 2	66 UFC	15 UFC
Ponto 3	866 UFC	11 UFC
Ponto 4	1724 UFC	294 UFC
Ponto 5	-	687 UFC
Ponto 6	727 UFC	291 UFC

Fonte: Autor (2022)

4.5 Análise da Condutividade Elétrica

A análise da condutividade elétrica tem como objetivo inferir a concentração de sólidos totais dissolvidos (STD) e isto nos permite analisar a salinidade da água e atividades antrópicas que afetam um copo d'água (Esteves, 1988). Isso porque, à medida que a quantidade de STD na água aumenta, há um aumento na condutividade elétrica de forma linear, fazendo com que o rio apresentasse um maior potencial na transferência de cargas elétricas à medida que mais sólidos dissolvidos fossem lixiviados para o leito do mesmo. Além disso, a condutividade elétrica pode sofrer variação em determinados pontos do corpo

hídrico devido a ações de intemperismo, visto que o resultado deste fenômeno é a liberação de produtos na forma iônica na água, mais uma vez presente em zonas antropizadas (Esteves, 1988).

Na Tabela 9 é possível observar que os pontos com maiores índices de condutividade elétricas são os pontos com influência antrópica. Os pontos 4, 5 e 6 apresentam nos seus arredores construções como pontes e dutos que influenciam a composição do solo. Logo, no processo de erosão e intemperismo do ambiente, os compostos utilizados nas construções se depositam no córrego aumentando a concentração de sólidos totais dissolvidos impactando o ambiente naquele local.

Tabela 9: Análise da condutividade elétrica dos pontos coletados nos dois córregos. Pontos 1, 2 e 3, localizados no córrego parcialmente preservado. Pontos 4, 5 e 6, localizados em área impactada.

Pontos de Coleta	Coleta 1	Coleta 2
Ponto 1	19,93 μScm^{-1}	20,21 μScm^{-1}
Ponto 2	24,27 μScm^{-1}	25,83 μScm^{-1}
Ponto 3	26,26 μScm^{-1}	32,35 μScm^{-1}

Ponto 4	44,14 μScm^{-1}	79,62 μScm^{-1}
Ponto 5	-	76,81 μScm^{-1}
Ponto 6	71,62 μScm^{-1}	78,28 μScm^{-1}

Fonte: Autor (2022)

4.6 Análise de Macroinvertebrados bentônicos

Com o objetivo de reforçar os resultados obtidos dos parâmetros físico-químicos da água, com a qualidade de vida do meio aquático nos córregos, utilizou-se uma análise dos bioindicadores bentônicos, pelo estudo da fauna de macroinvertebrados.

Os dados apresentados na Tabela 10 apresentam o resultado da análise de macroinvertebrados nos ecossistemas aquáticos da área 2 do Campus USP, São Carlos. Os macroinvertebrados tem sido amplamente utilizados como bioindicadores de qualidade do meio, visto que a presença de algumas famílias se torna frágil quando está sob condições de poluentes tóxicos (Cardoso e Novaes, 2013; Corbi, 2006).

Desse modo, podem ser utilizados como parâmetro de monitoramento ambiental os macroinvertebrados pertencentes a várias ordens insetos como os Coleoptera, Hemiptera, Diptera, Lepidoptera, Odonata, Trichoptera e Ephemeroptera, entre outros grupos como Oligochaeta, Mollusca e Crustacea. É importante destacar a importância dessa comunidade aquática nos processos de ciclagem de nutrientes e da regulação das populações aquáticas (Price, 1984; Esteves, 1988; Corbi, 2006).

A Tabela 10 apresenta as unidades de macroinvertebrados encontrados em 2 pontos, sendo um deles o córrego que apresenta a nascente localizada dentro do campus e o outro ponto com nascente externa, em área impactada por atividades antrópicas. É provável que a partir das análises químicas realizadas anteriormente a qualidade da água do córrego com

nascente dentro do campus apresente uma variedade de macroinvertebrados, e, consequentemente, uma qualidade do meio biótico superior quando comparado ao córrego que passa pela área urbana com diferentes pontos de impacto. Assim, finaliza-se a análise reforçando a importância de condições ambientais adequadas para os corpos hídricos visando a qualidade da água e seu ecossistema.

Tabela 10: Abundância de macroinvertebrados bentônicos dos dois córregos localizados na área 2 do Campus USP, São Carlos.

Ordem	Ponto 1 - Nascente Campus 2 (área preservada)	Ponto 2 - Córrego Externo ao Campus 2 (área impactada)
Coleoptera	3	1
Diptera	42	24
Ephemeroptera	15	4
Hemiptera	2	2
Odonata	10	7
Trichoptera	16	-

Fonte: Professor Doutor Juliano José Corbi (2022)

5. Conclusão

Pode-se observar, a partir dos estudos realizados, que há diferenças na qualidade ambiental dos dois córregos analisados, divididos em área de nascentes e áreas contendo impactos antrópicos. Os resultados da qualidade da água e da riqueza de macroinvertebrados bentônicos presentes nos córregos mostram que as regiões menos impactadas são as de área de nascentes, e que contém uma maior porção de mata ciliar à sua volta (pontos 1, 2 e 3) e que está localizado totalmente dentro do Campus na Universidade. Essas áreas têm uma influência menor de antropização, sendo, no geral, mais preservadas. Com ressalva, destacamos o ponto 3, que está um pouco mais afastado da nascente e difere um pouco nos resultados da qualidade da água.

Já as áreas antropizadas, pontos 4, 5 e 6 (córrego que nasce externamente a área 2 do Campus), são áreas mais abertas, em locais contendo construções (ponte) e ficam à jusante de localidades urbanas. Esses aspectos influenciaram diretamente nos resultados das análises, apresentando qualidade da água mais comprometida, quando observado as variáveis analisadas.

A urbanização pode ser um fator decisivo no impacto direto ou indireto dos ecossistemas. Mas o principal intuito é estudar como essa relação humana se dá com a natureza e minimizar os impactos causados ao meio ambiente, tentando manter uma harmonia entre as partes.

6. Referências

CALLISTO, M.; MARQUES, M. M. & BARBOSA, F. A. R. (2000). **Deformities in larval *Chironomus*** (Diptera, Chironomidae) from the Piracicaba river, southeast Brazil.

CARDOSO, R. S. & NOVAES, C. P. 2013. **Variáveis Limnológicas e macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores de qualidade da água.**

CALLISTO, M.; MORETTI, M & GOULART, M.D.C. 2001. Macroinvertebrados bentônicos como ferramenta para avaliar a saúde de riachos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 6(1): 71-82.

CORBI, J.J. **Influência de práticas de manejo de solo sobre os macroinvertebrados aquáticos de córregos: ênfase para o cultivo de cana-de-açúcar em áreas adjacentes.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de São Carlos, 2006.

ESTEVES, F.A. Fundamentos de Limnologia. Rio de Janeiro: Interciência, 1988. 544p.

FRANCO BDGM, LANDGRAF M. **Microbiologia dos alimentos.** São Paulo: Atheneu; 2008.

FUSARI, LIVIA MARIA. **Estudo das comunidades de Macroinvertebrados bentônicos das represas do Monjolinho e do Fazzari no Campus da Ufscar, município de São Carlos.** 2006. Tese (Mestrado). Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos - São Carlos, 2007.

JAY JM. **Microbiologia de alimentos.** 6ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2005.

KARR. J.R. 1999. Defining and measuring river health. **Freshwater Biology.** 41: 221-234.

LOT, A. **Caracterização da qualidade de água do Ribeirão das Cruzes-Araraquara (SP) através de variáveis físicas e químicas e dos macroinvertebrados bentônicos.** 2007. Tese (Mestrado). Centro Universitário de Araraquara, Araraquara, 2007.

MORETTI, M.S.; CALLISTO, M. Biomonitoring of benthic macroinvertebrates in the middle Doce River watershed. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 17, n. 13, p. 267-281, 2005.

MUGNAI, R.; NESSIMIAN, J. L.; BAPTISTA, D. F. **Manual de Identificação de Macroinvertebrados Aquáticos do Estado do Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro: Technical books Editora, 2010.

PRICE PW (1984) **Insect Ecology.** 2aed. New York, John Wiley & Sons.

REICE, S.R WOHLBERG, M. 1993. Monitoring freshwater benthic macroinvertebrates and benthic processes: measures for assessment of ecosystem. In: Rosenberg, D.M. & Resh, V.H. (eds.) **Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates**. New York: Chapman & Hall, p. 287-305.

RIGHETTO, J. M. **Modelo de Seguro para Riscos Hidrológicos no Contexto de Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas**. São Carlos/SP: Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2005.

SILVA, N.T.C. **Macroinvertebrados bentônicos em áreas com diferentes graus de preservação ambiental na Bacia do Ribeirão Mestre d'Armas, DF**. 2007. 113f. Dissertação de (Mestrado) Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília – Brasília, 2007.

SILVA N, CATANÚSIO NETO R, JUNQUEIRA VCA, SILVEIRA NFA. **Manual de métodos de análise microbiológica da água**. São Paulo: Varela; 2005.

THORNE, R.J. & WILLIAMS, P. 1997. The response of benthic macroinvertebrates to pollution in developing countries: a multimetric system of bioassessment. **Freshwater Biology**, 37: 671-686.

TORTORA GJ, FUNKE BR, CASE CL. **Microbiologia**. 8ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2005.

WWF BRASIL. Disponível em: <<https://www.wwf.org.br/>>. Acesso em: set. 2022.

