

**UNIVERSIDADE DE ARARAQUARA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO**  
**TERRITORIAL E MEIO AMBIENTE**

Efeito da síndrome urbana na qualidade do sedimento em corpos hídricos distintos por meio da biologia do *Chironomus sancticaroli* (Chironomidae, diptera) como ferramenta de estudo

**Araraquara – SP**

**Abril de 2022**

MARCELO MARQUES DELL'ACQUA

Efeito da síndrome urbana na qualidade do sedimento em corpos hídricos distintos por meio da biologia do *Chironomus sancticaroli* (Chironomidae, diptera) como ferramenta de estudo

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Territorial e Meio Ambiente, curso de Doutorado da Universidade de Araraquara, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento Territorial e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Rossi Gorni

Coorientador: Prof. Dr. Juliano José Corbi

**Araraquara – SP**

**Abril de 2022**

## FICHA CATALOGRÁFICA

D398e Dell'Acqua, Marcelo Marques

Efeito da síndrome urbana na qualidade de sedimento em corpos hídricos distintos por meio da biologia do *Chironomus sancticaroli* (Chironomidae díptera) como ferramenta de estudo/Marcelo Marques Dell'Acqua. – Araraquara: Universidade de Araraquara, 2022.  
109f.

Tese (Doutorado)- Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Territorial e Meio Ambiente- Universidade de Araraquara-UNIARA

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Rossi Gorni

1. Contaminação ambiental. 2. Ecotoxicologia de sedimento.  
3. Bioindicador *Chironomus sancticaroli*. I. Título.

CDU 577.4

# FICHA DE APROVAÇÃO



UNIVERSIDADE DE ARARAQUARA - UNIARA

Rua Voluntários da Pátria, 1309 - Centro - Araraquara - SP  
CEP: 14801-320 | Fone: (16) 3301-2100 | www.uniararaquara.br

## FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome do Aluno: *Marcelo Marques Dell'Acqua*

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Territorial e Meio Ambiente, curso de Doutorado, da Universidade de Araraquara – UNIARA – como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento Territorial e Meio Ambiente.

Área de Concentração: Desenvolvimento Territorial e Alternativas de Sustentabilidade.

### BANCA EXAMINADORA

**Prof. Dr. Guilherme Rossi Gorni**

**Prof. Dr. Adriano Marques Gonçalves**

**Prof. Dr. Leonardo Rios**

**Prof. Dr. Hugo Henrique Lanzi Saulino**

**Profa. Dra. Vanessa Colombo Corbi**

Araraquara – SP, 27 de abril de 2022

## **DEDICATÓRIA**

Esse trabalho é dedicado a Deus e a todas as pessoas que não desistem dos seus sonhos.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador, Prof° Dr. Guilherme, pela sua competência, humildade e apoio durante essa trajetória,

Ao meu coorientador, Prof° Dr. Juliano, pelas dicas valiosas que contribuíram para a conclusão desse trabalho,

A CAPES, pela bolsa de estudo, o qual não seria possível concluir esse trabalho,

A Coordenadora da Biologia, Tereza, pelo apoio técnico durante essa trajetória,

Ao Prof° Dr. Olavo, pelo apoio nos momentos turbulentos durante essa trajetória,

Ao Eduardo, técnico do laboratório de Biologia, pelo suporte técnico e por muitas vezes emocional,

Ao César, técnico de laboratório de química, pelo suporte técnico e pelos momentos de descontração,

As colegas de secretaria, Ivani e Silvinha, pelo apoio burocrático durante esses 4 anos,

Aos colegas de laboratório, Douglas e Mariana, pelo companheirismo durante esses 4 anos.

**"Os rios não bebem sua própria água; as árvores não comem seus próprios frutos. O sol não brilha para si mesmo; e as flores não espalham sua fragrância para si.**

**Viver para os outros é uma regra da natureza.  
(...)**

**A vida é boa quando você está feliz; mas a vida é muito melhor quando os outros estão felizes por sua causa"**

**Papa Francisco**

## RESUMO

DELL'ACQUA, M. M. **Efeito da síndrome urbana na qualidade do sedimento em corpos hídricos distintos por meio da biologia do *Chironomus sancticaroli* (Chironomidae, diptera) como ferramenta de estudo.** 109 p. Tese (Doutorado). Universidade de Araraquara, Araraquara – SP. 2022.

Há décadas o planeta vem passando por modificações importantes em relação ao aumento da poluição ambiental. Desde então o êxodo rural se intensificou e atualmente mais de 90% das pessoas do sudeste brasileiro estão vivendo na área urbana, processo esse chamado de urbanização e que conseqüentemente acaba gerando um desequilíbrio na capacidade do ambiente de se recuperar frente as agressões geradas por esse processo. O presente estudo analisou o efeito da qualidade do sedimento em e áreas distintas, sendo uma área urbana, uma área rural e de uma área de transição (urbano-rural), usando a biologia da espécie *Chironomus sancticaroli* como ferramenta de estudo. Foram estipulados 3 pontos distintos em cada corpo hídrico. O sedimento foi coletado com uma pá de aço tipo jardinagem, sendo recolhido somente os primeiros 5 cm de sedimento e levado ao laboratório para ser refrigerado a 4°C. Todas as amostras foram secas e armazenadas conforme metodologia específica. Nos testes crônicos, em potes de 1 litro, foram colocados 60g de sedimento natural, para cada ponto e 240 mL de água deionizada, todos em triplicata. Em cada pote colocou-se 15 larvas de 1° instar, com fotoperíodo de 12h luz/ 12h escuro, aeração constante e temperatura controlada. Visando comparar as amostras, obteve-se um tratamento controle, com 60 g de areia de cultivo e 240 mL de água deionizada, também em triplicata. Todos os organismos foram alimentados no início do teste e posteriormente alimentados a cada 3 dias. Os organismos testes foram criados no Laboratório de Ecotoxicologia Ambiental da Universidade de Araraquara. Os resultados do protocolo de AIA mostraram que as áreas analisadas se encontram preservadas, mas os testes ecotoxicológicos não corroboram tais resultados. Os testes crônicos não mostraram diferença no tempo emergência de adultos quando comparados a trabalhos anteriores. A taxa de mortalidade dos organismos teve um aumento significativo em todos os sedimentos

analisados, em comparação ao grupo controle, indicando indícios de toxicidade no sedimento. A fecundidade potencial das fêmeas não teve uma diferença significativa em relação ao grupo controle. As análises de mento mostraram a presença de deformidades em todos os sedimentos testados, sugerindo a presença de substâncias alóctone no sedimento. De modo geral, verificou-se uma baixa qualidade nos sedimentos das áreas analisadas. Era esperado que tais áreas, sendo consideradas como preservadas, segundo o protocolo de avaliação de impacto ambiental, tivessem uma qualidade do sedimento compatível com a área de entorno. Há uma visão que somente a preservação e manutenção das APP's é suficiente para abranger a qualidade total do conjunto APP mais recurso hídrico, o que não foi comprovado neste trabalho.

**Palavras-chave:** Contaminação ambiental, Ecotoxicologia de sedimento, Bioindicador *Chironomus sancticaroli*.

## ABSTRACT

DELL'ACQUA, M. M. **Effect of urban syndrome on sediment quality in different water bodies through the biology of *Chironomus sancticaroli* (Chironomidae, diptera) as a study tool.** 109 p. Thesis (Doctorate). University of Araraquara, Araraquara – SP. 2022.

For decades, the planet has been undergoing important changes in relation to the increase in environmental pollution. Since then, the rural exodus has intensified and currently more than 90% of people in southeastern Brazil are living in urban areas, a process called urbanization, which consequently ends up generating an imbalance in the environment's ability to recover from the aggressions generated by this process. . The present study analyzed the effect of sediment quality in different areas, being an urban area, a rural area and a transition area (urban-rural), using the biology of the species *Chironomus sancticaroli* as a study tool. Three distinct points were stipulated in each water body. The sediment was collected with a gardening steel shovel, only the first 5 cm of sediment was collected and taken to the laboratory to be refrigerated at 4°C. All samples were dried and stored according to specific methodology. In the chronic tests, in 1 liter pots, 60g of natural sediment were placed for each point and 240 mL of deionized water, all in triplicate. Fifteen 1st instar larvae were placed in each pot, with a photoperiod of 12 h light/ 12 h dark, constant aeration and controlled temperature. In order to compare the samples, a control treatment was obtained, with 60 g of sand of culture and 240 mL of deionized water, also in triplicate. All organisms were fed at the beginning of the test and subsequently fed every 3 days. The test organisms were created at the Laboratory of Environmental Ecotoxicology at the University of Araraquara. The results of the EIA protocol showed that the analyzed areas are preserved, but the ecotoxicological tests do not corroborate such results. Chronic tests showed no difference in adult emergence time when compared to previous work. The mortality rate of organisms had a significant increase in all analyzed sediments, compared to the control group, indicating signs of toxicity in the sediment. The potential fecundity of females did not have a significant difference in relation to the control group. The chin analysis showed the presence of deformities in all sediments tested, suggesting the presence of allochthonous substances in the sediment. In general, there was a low quality in the sediments of

the analyzed areas. It was expected that such areas, being considered as preserved, according to the environmental impact assessment protocol, would have a sediment quality compatible with the surrounding area. There is a view that only the preservation and maintenance of APPs is enough to cover the total quality of the APP set plus water resources, which was not proven in this work.

**.Keywords:** Environmental contamination, Sediment ecotoxicology, Bioindicator *Chironomus sancticaroli*.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Pontos mapeados das nascentes na cidade de Araraquara – SP, e suas condições ambientais. ....	22
<b>Figura 2 :</b> Ciclo de vida da espécie <i>Chironomus sancticaroli</i> . ....	29
<b>Figura 3:</b> Pontos de referência das coletas realizadas na Sub-bacia Ribeirão das Cruzes .....	36
<b>Figura 4:</b> Microbacia do Ribeirão do Lajeado, segundo certificação do Programa Município Verde-Azul, do estado de São Paulo. ....	35
<b>Figura 5:</b> Microbacia do córrego do Paiol, segundo certificação do Programa Município Verde-Azul, do estado de São Paulo. ....	37
<b>Figura 6:</b> Bacia do Ribeirão das Cruzes, segundo certificação do Programa Município Verde-Azul, do estado de São Paulo. ....	31
<b>Figura 7:</b> Esquema da amostragem nos pontos de coleta nos córregos analisados .....	51
<b>Figura 8:</b> Criação da cultura de <i>Chironomus sancticaroli</i> , no Laboratório de Ecotoxicologia Ambiental da Universidade de Araraquara.....	54
<b>Figura 9:</b> Esquema ilustrativo da dinâmica do teste de sensibilidade do organismo <i>Chironomus sanctcaroli</i> . ....	56
<b>Figura 10:</b> Esquema ilustrativo da dinâmica do teste de toxicidade crônica do organismo <i>Chironomus sancticaroli</i> . ....	57
<b>Figura 11:</b> Experimento em andamento nos testes de toxicidade crônica do organismo teste <i>Chironomus sancticaroli</i> , no laboratório de ecotoxicologia ambiental da Universidade de Araraquara. ....	57
<b>Figura 12:</b> Medida da asa de <i>Chironomus sanctcaroli</i> , para análise da fecundidade potencial das fêmeas. ....	58
<b>Figura 13:</b> Pontos de coleta do sedimento no Ribeirão das Cruzes onde foram realizadas as Avaliações de Impactos Ambientais.....	61
<b>Figura 14:</b> Pontos de coleta do sedimento no Ribeirão do Lajeado onde foram realizadas as Avaliações de Impactos Ambientais.....	62
<b>Figura 15:</b> Pontos de coleta do sedimento no Córrego do Paiol onde foram realizadas as Avaliações de Impactos Ambientais.....	63

<b>Figura 16:</b> Classificação das áreas onde foram recolhidas as amostras de sedimento, segundo Protocolo de Avaliação de Impacto Ambiental. ....	64
<b>Figura 17:</b> Curva dose resposta de <i>Chironomus sancticaroli</i> ao cloreto de potássio nos testes de toxicidade aguda.....	65
<b>Figura 18:</b> Análise de Cluster das variáveis físico-químicas nas estações seca e chuvosa, nos pontos de coleta dos 3 corpos hídricos analisados. ....	67
<b>Figura 19:</b> Porcentagem de matéria orgânica total, com desvio padrão, nos períodos de julho de 2020 e fevereiro de 2021. ....	69
<b>Figura 20:</b> Porcentagem de matéria orgânica entre as estações seca e chuvosa, com desvio padrão, realizadas nos meses de julho de 2020 e fevereiro de 2021. ....	70
<b>Figura 21:</b> Porcentagem da taxa de emergência dos adultos de <i>Chironomus sancticaroli</i> , com desvio padrão, comparando os tratamentos e o grupo controle nas coletas realizadas nos meses de julho de 2020 e fevereiro de 2021. ....	71
<b>Figura 22:</b> Porcentagem da taxa de emergência dos adultos, com desvio padrão, entre as estações seca e chuvosa, realizadas nos meses de julho de 2020 e fevereiro de 2021. ....	72
<b>Figura 23:</b> Tempo médio da emergência dos adultos de <i>Chironomus sancticaroli</i> , com desvio padrão, comparando os tratamentos e o grupo controle.....	73
<b>Figura 24:</b> Taxa de mortalidade, expresso em porcentagem, com desvio padrão, dos tratamentos em comparação ao grupo controle. ....	75
<b>Figura 25:</b> Fecundidade potencial das fêmeas, expressa em número de ovos, com desvio padrão, comparando os tratamentos e o grupo controle.....	76
<b>Figura 26:</b> Fecundidade potencial das fêmeas de <i>Chironomus sancticaroli</i> , expressa em número de ovos, e seus respectivos desvios padrões, com sedimento coletado nas estações seca e chuvosa. ....	77
<b>Figura 27:</b> Porcentagem de deformidade bucal em <i>Chironomus sancticaroli</i> , através do teste com sedimento natural nos corpos hídricos analisados.....	78

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Dados técnicos do Ribeirão do Lajeado. ....	37
<b>Tabela 2 :</b> Dados técnicos do córrego do Paiol. ....	36
<b>Tabela 3:</b> Dados técnicos do Ribeirão das Cruzes. ....	30
<b>Tabela 4:</b> Parâmetros macroscópicos a serem avaliados no protocolo de avaliação de impacto ambiental. ....	49
<b>Tabela 5 :</b> Índice de qualidade ambiental das áreas de coleta. ....	50
<b>Tabela 6:</b> Dados físico-químicos dos corpos hídricos analisados, com desvio padrão (D.P), nas estações de seca e chuva.....	66
<b>Tabela 7:</b> Dados físico-químicos no início dos testes crônicos nas estações de seca e chuva. ....	68
<b>Tabela 8:</b> Média do tempo de emergência (em dias) anual, comparando os tratamentos em relação ao grupo controle. ....	74
<b>Tabela 9:</b> Porcentagem de mortalidade entre as estações seca e chuvosa. ...	75

# SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>19</b>
1.1.	Córregos no município de Araraquara	21
1.2.	Ecotoxicologia aquática	24
1.2.1.	Organismos teste	26
<b>2.</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b>	<b>30</b>
<b>3.</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>33</b>
3.1.	Objetivo geral	33
3.2.	Objetivos específicos	33
<b>4.</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>34</b>
4.1.	Delineamento da pesquisa	34
4.2.	Áreas analisadas	36
4.2.1.	Ribeirão do Lajeado	37
4.2.2.	Córrego Águas do Paiol	36
4.2.3.	Ribeirão das Cruzes	30
4.3.	Protocolo de Avaliação de Impacto Ambiental	43
4.4.	Coleta e tratamento do sedimento	51
4.4.1.	Análise da matéria orgânica no sedimento	52
4.5.	Análises físico-químicas	53
4.6.	Cultura do organismo-teste	53
4.7.	Teste de sensibilidade do organismo-teste	55
4.8.	Teste de toxicidade crônica	56
4.9.	Avaliação da fecundidade potencial	58
4.10.	Análise de deformidade bucal	59
4.11.	Análises estatísticas	60

<b>5.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>61</b>
5.1.	Protocolo de Avaliação de Impacto Ambiental .....	61
5.2.	Teste de sensibilidade do organismo teste .....	64
5.3.	Análises físico-química nos pontos de coleta .....	66
5.4.	Análises físico-químicas nos testes crônicos.....	68
5.5.	Análise da matéria orgânica no sedimento.....	69
5.6.	Taxa de emergência dos adultos.....	70
5.7.	Tempo de emergência.....	72
5.8.	Mortalidade.....	74
5.9.	Avaliação da fecundidade potencial .....	76
5.10.	Análise de deformidade bucal .....	77
<b>6.</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>79</b>
6.1.	Protocolo de Avaliação de Impacto Ambiental .....	79
6.2.	Análises físico-químicas .....	81
6.3.	Análise da matéria orgânica no sedimento.....	81
6.4.	Tempo de emergência.....	82
6.5.	Taxa de emergência e Mortalidade .....	83
6.6.	Avaliação da fecundidade potencial .....	85
6.7.	Análise de deformidade bucal .....	86
<b>7.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>89</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>92</b>
	<b>APÊNDICES.....</b>	<b>107</b>
	<b>APÊNDICE A:</b> Parâmetros macroscópicos a serem avaliados no protocolo de avaliação de impacto ambiental.....	108
	<b>APÊNDICE B:</b> Dados das variáveis físico-químicas dos corpos hídricos, analisados nas estações seca e chuvosa.....	109

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIA	- Avaliação de Impacto Ambiental
ANA	- Agência Nacional das Águas
APP	- Área de Preservação Permanente
COT	- Carbono Orgânico Total
DAAE	- Departamento Autônomo de Água e Esgoto
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LEA	- Laboratório de Ecotoxicologia Ambiental
MO	- Matéria Orgânica
PROSAB	- Programa de Saneamento Básico
SMA	- Secretaria do Meio Ambiente

## 1. INTRODUÇÃO

Desde a origem das civilizações, as cidades estão intrinsecamente ligadas aos recursos hídricos, seja como fonte de água potável ou pelo fornecimento de alimentos (DELCOL 2009). Com a revolução industrial, o planeta vem passando por modificações importantes em relação ao aumento da poluição ambiental. Desde então o êxodo rural se intensificou, e atualmente, segundo o IBGE (2015), 93% das pessoas do sudeste brasileiro vivem na área urbana, processo esse chamado de urbanização, e que conseqüentemente acaba gerando um desequilibrando na capacidade do ambiente de se recuperar frente às agressões geradas por esse processo, como: aumento da geração de lixo e descarte irregular; impermeabilização do solo e conseqüentemente lixiviação urbana para córregos e nascentes; degradação dos corpos hídricos urbanos, dentre outros.

Para Carvalho (2013) os corpos d'água perderam o viés de subsistência e tornaram-se um problema, pois não se enquadram no sistema capitalista de comercialização. Devido a isso, ocorre a canalização dos rios e degradação de suas margens devido à ocupação antrópica. Portanto, o ecossistema aquático merece um olhar diferenciado, pois são mais suscetíveis a perturbações antrópicas, como despejo direto de agentes químicos industriais e domésticos, ou indiretos, como o escoamento superficial dos solos urbanos e agrícolas (DORNFELD, 2006)

Visando mitigar os efeitos nocivos desse processo de urbanização, inúmeras pesquisas vêm sendo realizadas nesse sentido, além de leis específicas para esse fim. Para tanto criou-se as áreas de preservação permanentes (APP), que no Brasil foram instituídas pelo Código Florestal sob o nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. As APP consistem em espaços territoriais legalmente protegidos, ambientalmente frágeis

e vulneráveis, podendo ser públicas ou privadas, urbanas ou rurais, cobertas ou não por vegetação nativa. Especificamente, a lei trata as APP's como sendo:

[...] área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (BRASIL, 2012, p.2).

O Ministério do Meio Ambiente define algumas das várias funções ou serviços ambientais fornecidos por essas áreas de preservação (CF nº 4.771, de 15/07/65):

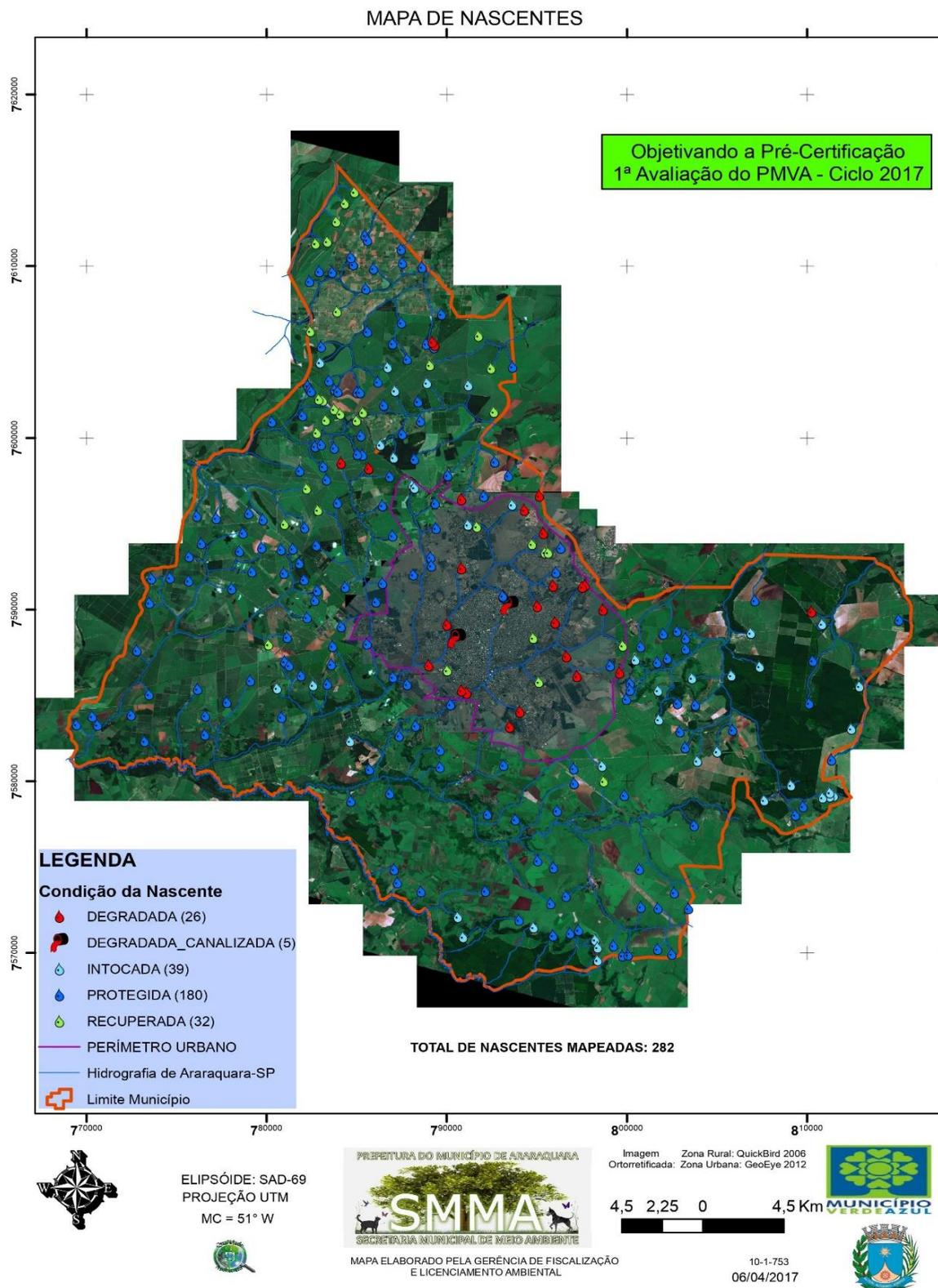
- A proteção do solo prevenindo a ocorrência de desastres associados ao uso e ocupação inadequados de encostas e topos de morro;
- Proteger os corpos d'água, evitando enchentes, poluição das águas e assoreamento dos rios;
- Manter a permeabilidade do solo e do regime hídrico, prevenindo contra inundações e enxurradas;
- Colaborar efetivamente com a recarga dos aquíferos, evitando o comprometimento do abastecimento público de água em qualidade e em quantidade;
- A função ecológica de refúgio para a fauna e de corredores ecológicos facilitando o fluxo gênico da fauna e flora, especialmente entre as áreas verdes situadas no perímetro urbano e adjacência;
- Atenuar os desequilíbrios climáticos urbanos, (excesso de aridez, desconforto térmico e ambiental, mitigação do efeito das "ilhas de calor").

### **1.1. Córregos no município de Araraquara**

Araraquara ("Aracoara", em Tupi-Guarani) é conhecida como a "Morada do Sol", localizada a 21°47'40" de latitude sul e 48°10'3" de longitude oeste, ocupando a região Central do estado de São Paulo. Possui uma área de aproximadamente 1.003,6 km<sup>2</sup> e altitude média de 664 metros com relação ao nível do mar, a sua população estimada no ano de 2020 é de 238.339 habitantes (IBGE, 2020).

A cidade possui dentro do seu limite de município, um total de 282 nascentes mapeadas, sendo que destas: 219 são protegidas; 31 são degradadas e 32 são recuperadas. No perímetro urbano existem 42 nascentes mapeadas, sendo que destas: 19 são degradadas; 8 recuperadas e 15 protegidas (Figura 1).

**Figura 1-** Pontos mapeados das nascentes na cidade de Araraquara – SP, e suas condições ambientais.



**Fonte:** Departamento Autônomo de Água e Esgoto (2017).

Esta classificação atendeu à solicitação do Programa Município Verde-Azul, do estado de São Paulo, baseado na Resolução SMA nº 36 de 18/7/2011. Diante dessa necessidade, o Departamento Autônomo de Água e Esgoto da cidade de Araraquara, adequou as nomenclaturas para todas as nascentes da cidade, gerando as seguintes classificações:

- **Intocadas:** Nascente que está localizada dentro de maciços ou fragmentos florestais.
- **Protegidas:** Nascente que recebe intervenções positivas
- **Recuperada:** Nascente que sofre algum tipo de processo de recuperação, como reflorestamento e instalação de cercas.
- **Degradada:** Nascente que não atende a legislação requerida, como ausência de cercas no entorno, ausência de mata ciliar e distância mínima das APPs.
- **Canalizada:** Nascente que sofre canalização

No caso das nascentes protegidas, quando a mesma sofre algum tipo de dano, passa para à condição de degradada. Se houver intervenções positivas, passa a ser declarada como recuperada (LOPES 2019).

## 1.2. Ecotoxicologia aquática

Dornfeld (2002) e Ribo (1997), definem os testes de toxicidade como ensaios laboratoriais, que sob condições experimentais específicas e controladas, são utilizados para estimar a toxicidade de substâncias, efluentes (domésticos e industriais) e amostras ambientais, como águas ou sedimentos. Já a toxicologia ambiental, ou ecotoxicologia, visa analisar a influência que os agentes tóxicos (naturais ou por ação antropogênica) exercem sobre a saúde e o bem-estar de humanos, animais e plantas (YU, 2005).

Para tanto, os testes de toxicidade são essenciais para compreensão dos efeitos dos contaminantes sobre a biota aquática, através de organismos que atuam como bioindicadores. Para Ribo (1997), mesmo com as respostas obtidas nos testes de toxicidade, ainda não se pode obter uma resposta absoluta sobre o risco que uma determinada amostra representa para os organismos e geral.

Para Rand *et al.*, (1985), em testes ecotoxicológicos, a concentração do poluente e o tempo de exposição influenciam diretamente a resposta ao organismo teste podendo os efeitos serem a curto ou longo prazo, ou seja:

- Efeitos agudos: respostas rápidas que o organismo apresenta quando exposto ao estímulo, sendo em sua maioria a letalidade e a imobilidade;
- Efeitos crônicos: respostas que demoram um tempo maior para serem detectadas, mas que provocam efeitos nocivos ao organismo como na reprodução, crescimento, comportamento, longevidade, dentre outros.

Para Rand (1995) a definição de ecotoxicologia se baseia em avaliar o efeito de substâncias químicas tóxicas sobre os organismos da biota aquática. Os efeitos provocados por tais substâncias podem se manifestar em diferentes níveis de

organização, partindo desde estruturas celulares até populações e comunidades (ADAMS, 2003). Além disso para Gherardi-Goldstein (1990) e Kendall (2001) os testes de toxicidade aquática são amplamente utilizados porque os ecossistemas aquáticos representam os principais reservatório de contaminantes.

Nos testes de toxicidade utilizam-se diferentes bioensaios com organismos especializados chamados de organismos-teste. Eles são amplamente utilizados na avaliação da toxicidade de sedimentos e dentre estes destacam-se os microcrustáceos e macroinvertebrados bentônicos, os quais ocupam posições de consumidores nas cadeias alimentares (COSTA *et al.* 2008). Os testes ecotoxicológicos com sedimento realizados em laboratório, fornecem informações importantes na toxicidade do mesmo, além de identificar os locais mais contaminados e que precisam de uma resposta imediata de intervenção (ROSIU *et al.*, 1989).

Esteves (2011) argumenta que o sedimento é de extrema importância para o ecossistema aquático, integrando todos os processos físico-químicos e biológicos que ocorrem no mesmo. As substâncias químicas alóctones ficam estocadas nos sedimentos de fundos (PEREIRA *et al.*, 2007), funcionando como um reservatório de nutrientes (FURTADO *et al.*, 2002; ESTEVES, 2011).

Os trabalhos realizados com sedimento são de suma importância na identificação de alterações ambientais e na detecção de fontes de poluição (ROBAINA *et al.*, 2002; ESTEVES, 2011). Para Cotta (2006) o sedimento possui a capacidade de acumular compostos em sua estrutura, podendo ser utilizado para detectar a presença de contaminantes que não permanecem solúveis após seu lançamento em águas superficiais.

Mais de 90% das substâncias químicas presentes nos corpos hídricos ficam armazenadas no sedimento (PEREIRA *et al.*, 2007; EZAKI *et al.*, 2011), sendo um

importante aliado na avaliação do nível de contaminação de ecossistemas aquáticos (ROBAINA *et al.*, 2002; ESTEVES, 2011). Segundo Pereira *et al.* (2007), os primeiros centímetros das camadas superficiais dos sedimentos já são suficientes para atender a maioria dos estudos. Quando acumulados no sedimento, os poluentes podem ser disponibilizados para a coluna de água, afetando a biota aquática (SOARES *et al.*, 1999), e embora essas alterações ambientais tenham causas naturais, as mesmas podem ser agravadas pelas atividades antrópicas e a urbanização (MEDEIROS *et al.*, 2009).

### **1.2.1. Organismos teste**

A denominação de organismos-teste dá-se àquelas espécies que são criadas em laboratórios e possuem sua biologia conhecida, sendo, portanto, organismos utilizados como bioindicadores de toxicidades, seja de efluentes, sedimentos ou compostos diluídos em água de cultivo. Nesses ensaios, tais organismos são expostos a diferentes concentrações de amostras (compostos ou sedimentos) e os efeitos tóxicos produzidos sobre eles são observados e quantificados (RIBEIRO & UIEDA, 2005).

Dentre os bioindicadores, os Chironomidae (Diptera), possuem um papel fundamental nas cadeias tróficas das comunidades aquáticas, sendo importante elo entre produtores e consumidores secundários (TOKESHI, 1995), de forma que os adultos e os imaturos são importantes para a alimentação de aves (DRIVER *et al.*, 1974) e peixes (SAVINO, 1992), respectivamente. Grande parte das larvas de Chironomidae são onívoros oportunistas, ingerindo uma ampla variedade de itens alimentares, como algas, detritos e microrganismos associados, macrófitas, detritos vegetais e alguns invertebrados (CUMMINS e KLUG, 1979).

O gênero *Chironomus* foi um dos primeiros descritos na família Chironomidae (ASHE, 1983), e apresentam mais de 100 espécies registradas, das quais 7 são registradas no Brasil. No estado de São Paulo foram registradas duas espécies desse gênero, sendo a *Chironomus sancticaroli*, (sinônimo júnior de *Chironomus xanthus Rempel*) descrita por Trivinho-Strixino e Strixino, 1981; e *Chironomus brasiliensis Wiedemann*, descrita por Spies e Reiss, 1996.

Para Goulart e Callisto (2003), as larvas de Chironomidae são valorizadas pelos pesquisadores como bioindicadores ambientais. Isso se deve a sua resistência a vários níveis de poluição, além de possuírem altas densidades populacionais na fase larval (ALLAN, 1995). Outro ponto forte é a elevada capacidade adaptativa, suportando grandes alterações ambientais, como a falta de oxigênio dissolvido. Esse fato se deve a presença de hemoglobina no fluido corpóreo de alguns gêneros, o que maximiza o uso da pouca quantidade de oxigênio disponível na água, além de colonizar os mais variados tipos de vegetação aquática e sedimentos (HAMADA *et al.*, 2014).

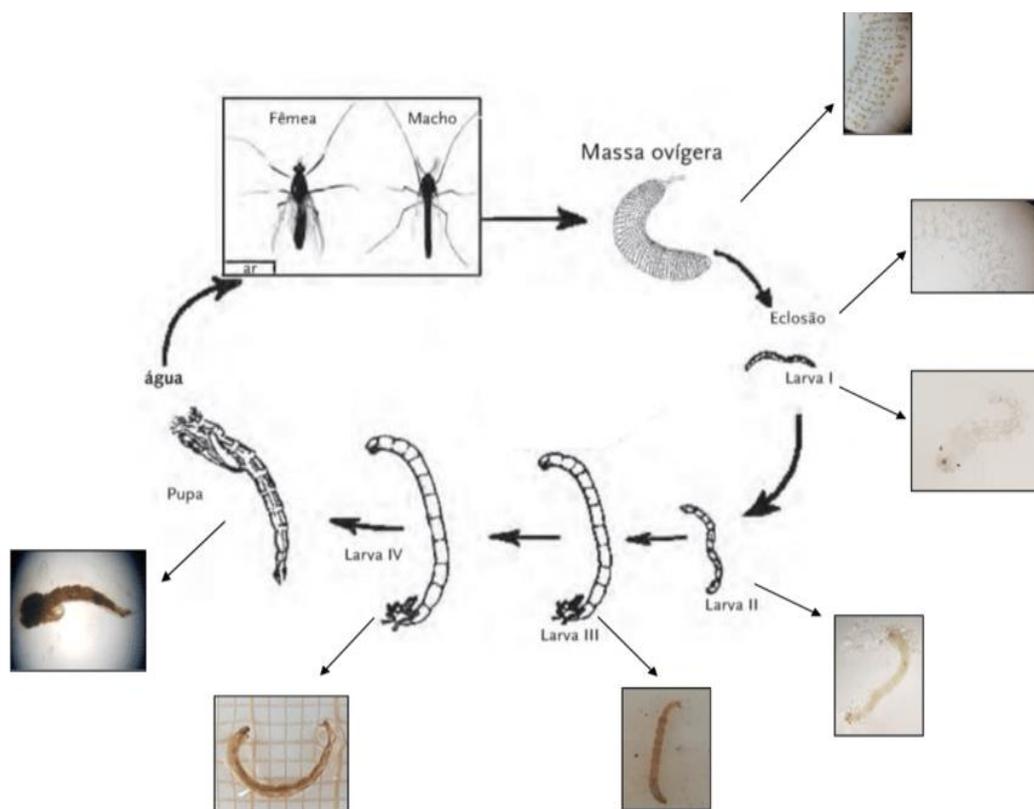
Para Fonseca (1997, 2004) e Ribeiro (2005) esses organismos são importantes como bioindicadores, haja vista que:

- É uma espécie nativa e tipicamente bentônica, mantendo contato direto com o sedimento;
- Possui grande facilidade na obtenção em grande quantidade de organismos e a sua manutenção;
- É uma espécie muito utilizada em estudos ecotoxicológicos;
- Possui um ciclo de vida curto (13 dias) e quatro estágios: massa ovígera (ovos), larvas (I ínstar, II ínstar, III ínstar e IV ínstar) pupa e adultos, sendo todos os estágios larvais com grande sobrevivência de organismos (Figura 2);

- Por estarem ligados ao substrato, as alterações ambientais são facilmente detectadas;
- Possuem elevada tolerância a diferentes parâmetros de contaminação;
- A maior parte do ciclo de vida ocorre no período larval, sendo o período de pupa e o adulto de menor duração;
- Após a fecundação a massa ovígera, com média de 550 ovos, fica latente por um período de 44 a 48 horas eclodindo após esse período.
- são integradores das condições ambientais, ligando o antes e o depois após os eventos impactantes.

Para Callisto *et. al.* (2002) dentre os bioindicadores conhecidos, a família Chironomidae é a mais abundante, possuindo grande diversidade de espécies e habitats, e portanto, os animais dessa família são considerados excelentes bioindicadores.

**Figura 2** - Ciclo de vida da espécie *Chironomus sancticaroli*.



**Fonte:** Berganossi, 2019.

Dornfeld (2002) em seu trabalho de análise da toxicidade do sedimento por metais na represa Salto Grande, na cidade de Americana – SP., sugere que a escolha do - endpoint - mortalidade, para o organismo do gênero *Chironomus*, mostrou-se eficiente para análise de toxicidade do sedimento. No mesmo trabalho o autor sugere que os bioensaios crônicos podem mostrar de forma mais segura as condições ecotoxicológicas do sedimento (DORNFELD, 2002).

Cavalcanti (2010), em seu trabalho com sedimento, demonstrou que a espécie *C. sancticaroli* é sensível aos azocorantes têxteis presentes no sedimento e eficaz para biosensaios ecotoxicológicos, podendo servir como organismo padrão nestes testes.

## 2. JUSTIFICATIVA

As atividades antrópicas realizadas em sociedade, dentro do modo atual de produção, são as responsáveis pela degradação ambiental em diferentes escalas sendo perceptíveis em todas as regiões do planeta. Essa degradação é intensificada nas cidades, seja através da ocupação humana desordenada ou por políticas públicas que não viabilizam mitigar tais efeitos antrópicos, como desmatamento das florestas, degradação do solo e dos corpos hídricos. Nesse contexto, observa-se a crescente ocupação dentro das áreas de preservação permanente dos cursos d'água gerando nas cidades, graves situações de conflito onde os impactos ambientais resultantes da ocupação dessas áreas têm ocasionado vários problemas, principalmente de ordem ambiental (DUARTE, 2014).

Dentro da paisagem urbana, os corpos d'água ficam cada vez mais expostos aos impactos ambientais, como mudança do seu curso e canalizações, enquanto suas águas são utilizadas, muitas vezes, como destino final de resíduos sólidos urbanos e efluentes domésticos e industriais, os quais poluem ou contaminam os corpos d'água (COSTA, 2006).

Para Botté *et al.*, (2007) alguns poluentes ou contaminantes, como os metais, são liberados no corpo hídrico sendo primeiramente adsorvidos por partículas orgânicas ou inorgânicas e então incorporados ao sedimento pelo processo de sedimentação, resultando em níveis mais elevados de metais neste compartimento. Nos corpos d'água, os metais e outros compostos possuem a tendência de acumular no sedimento (SHRIVASTAVA *et al.* 2003) podendo ser liberados na coluna d'água, tornando-se biodisponíveis e afetando a biota, através da biomagnificação e

consequentemente, podem causar danos também à saúde humana (KHAN *et al.*, 2005).

Nesse sentido a ecotoxicologia aquática pode contribuir para avaliar o efeito de substâncias químicas tóxicas sobre organismos do ecossistema aquático (RAND *et al.*, 1995). Sendo assim, os testes de toxicidade aquática são bastante utilizados porque os ecossistemas aquáticos constituem os principais receptáculos de contaminantes, sejam eles lançados diretamente nos corpos d'água por meio das descargas de efluentes, emitidos no ar ou depositados nos solos (GHERARDI-GOLDSTEIN, 1990).

Na literatura, encontram-se trabalhos de análise da qualidade da água e do sedimento, como os de Santiago e Cunha-Santino (2014), Mendes e Ribeiro (2014), Saraiva *et al.* (2009), dentre outros, nos quais os resultados foram obtidos com base em critérios geoquímicos, biológicos e ecotoxicológicos, sendo esse último realizado com os bioindicadores *Ceriodaphnia silvestrii* e *Daphnia similis*.

Como apontado no capítulo 1.2, dentre os organismos usados em testes de toxicidade, destacam-se os do gênero *Chiromonus*. Nesses ensaios, esses organismos são expostos a diferentes concentrações de amostras (compostos ou sedimentos) e os efeitos tóxicos produzidos sobre eles são observados e quantificados (RIBEIRO & UIEDA, 2005). Por serem organismos bentônicos, ou seja, ficam em contato com o sedimento, são eficientes para detectar alterações ambientais (FONSECA, 1997 e 2004).

Dentre os trabalhos realizados com o gênero *Chiromonus*, destacam-se, em sua grande maioria, os testes empíricos de toxicidade, com diversas substâncias como: metais (DORNFELD, 2006; FONSECA, 2007), oxido de grafeno (SILVA *et al.*, 2016), hormônios (DELL'ACQUA, 2017), agrotóxicos (REBECHI, 2012; CAIRES,

2018, BALDAN, 2012), azocorantes (CAVALCANTI, 2010), água (HIGASHI, 2016), dentre outros. Assim os principais pontos de análise, como mortalidade, emergência, fecundidade potencial e deformidades bucais, são conhecidos em relação aos efeitos causados pelos vários compostos.

Nesse sentido, análises ecotoxicológicas em Araraquara podem auxiliar no monitoramento da qualidade dos recursos hídricos, uma vez que o município de Araraquara conta com uma abundante rede hídrica, num total de 282 nascentes catalogadas. Diante dos desafios dos órgãos competentes para analisar a qualidade ambiental dos corpos hídricos, que vá além das análises de água, surgiu a necessidade de ferramentas de análise mais robustas, como os testes de ecotoxicologia de sedimento, uma vez que o sedimento abriga uma vasta fauna de animais bentônicos, podendo ser mais um indicador da “saúde” do ambiente.

O trabalho realizado nessa tese, avaliou a qualidade do sedimento em 3 corpos d'água distintos, através dos parâmetros da biologia da espécie bentônica *Chironomus sancticaroli*, sendo os corpos hídricos localizados em área urbana, área rural e uma área mista (rural-urbana). A metodologia utilizada e os resultados encontrados deram uma visão abrangente da “saúde” do corpo hídrico, haja vista que os poluentes acumulados no sedimento podem ser disponibilizados para a coluna de água, afetando outros organismos (SOARES *et al.*, 1999).

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo geral**

O presente trabalho visa analisar a qualidade do sedimento em corpos hídricos distintos, no município de Araraquara, através de parâmetros biológicos da espécie bentônica *Chironomus sancticaroli*, como ferramenta de estudo.

#### **3.2. Objetivos específicos**

- Avaliar o tempo de emergência de adultos expostos aos sedimentos;
- Analisar a taxa de emergência e a mortalidade dos adultos expostos aos sedimentos;
- Analisar a fecundidade potencial da espécie através da mensuração do tamanho das asas das fêmeas;
- Verificar deformidades bucais nas larvas de *Chironomus sancticaroli* expostos aos sedimentos;
- Verificar parâmetros (endpoints) na biologia da espécie testada que demonstrem de forma eficiente a qualidade do sedimento;
- Contribuir com técnicas para uso de órgãos de fiscalização e controle da qualidade ambiental dos corpos hídricos.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1. Delineamento da pesquisa

A pesquisa, laboratorial, se deu em torno de 3 corpos hídricos, sendo 2 deles usados para captação de água para abastecimento do município de Araraquara. Por definição, 2 são ribeirões (cursos d'água de maior porte em relação ao Córrego) e 1 córrego, sendo todos localizados em áreas diferentes no município. O Ribeirão das Cruzes foi pioneiro em um projeto de reflorestamento, haja vista que se encontra na área urbana e que tempos atrás sofreu devido a degradação de ação antrópica, possuindo atualmente mais de 90% de sua área vegetada. O Córrego do Paiol também é utilizado para captação de água para abastecimento, sendo localizado na periferia da cidade e possuindo também mais de 90% de sua área vegetada. Por último e não menos importante, o Ribeirão do Lajeado é um corpo d'água localizado na área rural, onde predomina a agricultura.

Todos formam um gradiente de uso e ocupação do solo, onde é possível analisar a influência antrópica na qualidade do sedimento aquático, e conseqüentemente, na qualidade do ambiente de entorno. Para tanto, optou-se por coletar os sedimentos em pontos distintos situados no sentido jusante/montante, para que assim obtenha-se uma visão geral da qualidade do sedimento do corpo hídrico e não somente em um ponto específico. No total foram 3 pontos por corpo hídrico.

Todas as amostras foram analisadas em laboratório através de testes ecotoxicológicos utilizando um organismo bioindicador, da espécie bentônica *Chironomus sancticaroli*. Através dos parâmetros biológicos da espécie, como o desenvolvimento (tempo de emergência), taxa de emergência, fecundidade

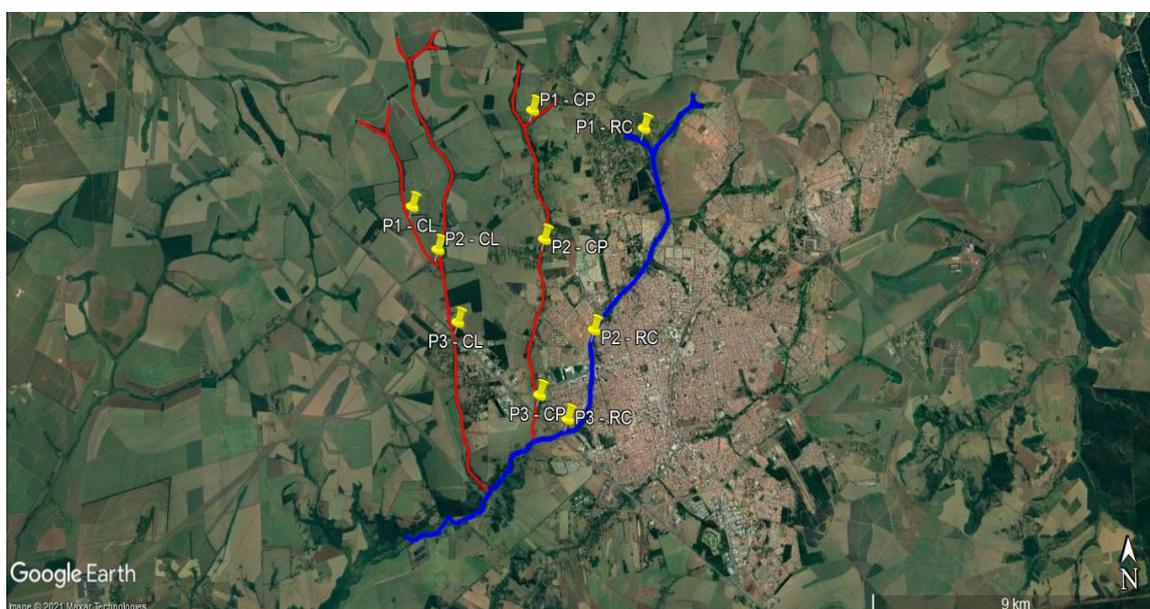
potencial das fêmeas e mortalidade, espera-se avaliar a qualidade dos sedimentos e a influência das áreas de entorno na qualidade do mesmo.

Como a biologia da espécie a ser testada é conhecida pela comunidade científica, também espera-se verificar a existência de substâncias alóctones e que possam causar danos aos organismos, através da análise da cápsula cefálica das larvas, verificando deformidades bucais.

## 4.2. Áreas analisadas

As áreas foram georreferenciadas através do Google Earth Pró, versão 7.3.2.5776, através do Landsat/Copernicus, com ponto de visão inferior a 2.000 metros. As imagens foram obtidas em 06/03/2020 (figura 3).

**Figura 3:** Pontos de referência das coletas realizadas na Sub-bacia Ribeirão das Cruzes



**Legenda:** CL 1, 2 e 3 – Pontos de coleta do sedimento no Ribeirão do Lajeado; CP 1, 2 e 3 – Pontos de coleta do sedimento no Córrego Paiol; RC 1, 2 e 3 – Pontos de coleta do sedimento no Ribeirão das Cruzes.

**Fonte:** Elaborada pelo autor no Google Earth em 06/03/2020.

#### 4.2.1. Ribeirão do Lajeado

O Ribeirão do Lajeado possui suas nascentes localizadas em propriedade rural, destinada ao plantio de cana de açúcar, e é um dos afluentes do Ribeirão das Cruzes. Suas águas são destinadas ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional, à irrigação de hortaliças ou plantas frutíferas e à recreação de contato primário (natação, esqui-aquático e mergulho), portanto classificado como classe 2 conforme decreto 8.468 de 8 de setembro de 1976, que regulamentou a lei estadual 997 de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a Prevenção e o Controle da Poluição do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (Figura 4). Possui mais de 75% de sua área vegetada e conta com 13 nascentes catalogadas (Tabela 1).

**Tabela 1:** Dados técnicos do Ribeirão do Lajeado.

Extensão (m)	Ordem de Strahler	Classe	Número de nascentes	APP (m <sup>2</sup> )		Altitude (m)	
				Vegetada	Não vegetada	Nascente	Foz
15.721	Terceira	2	13	1.648.756	545.939	690	490

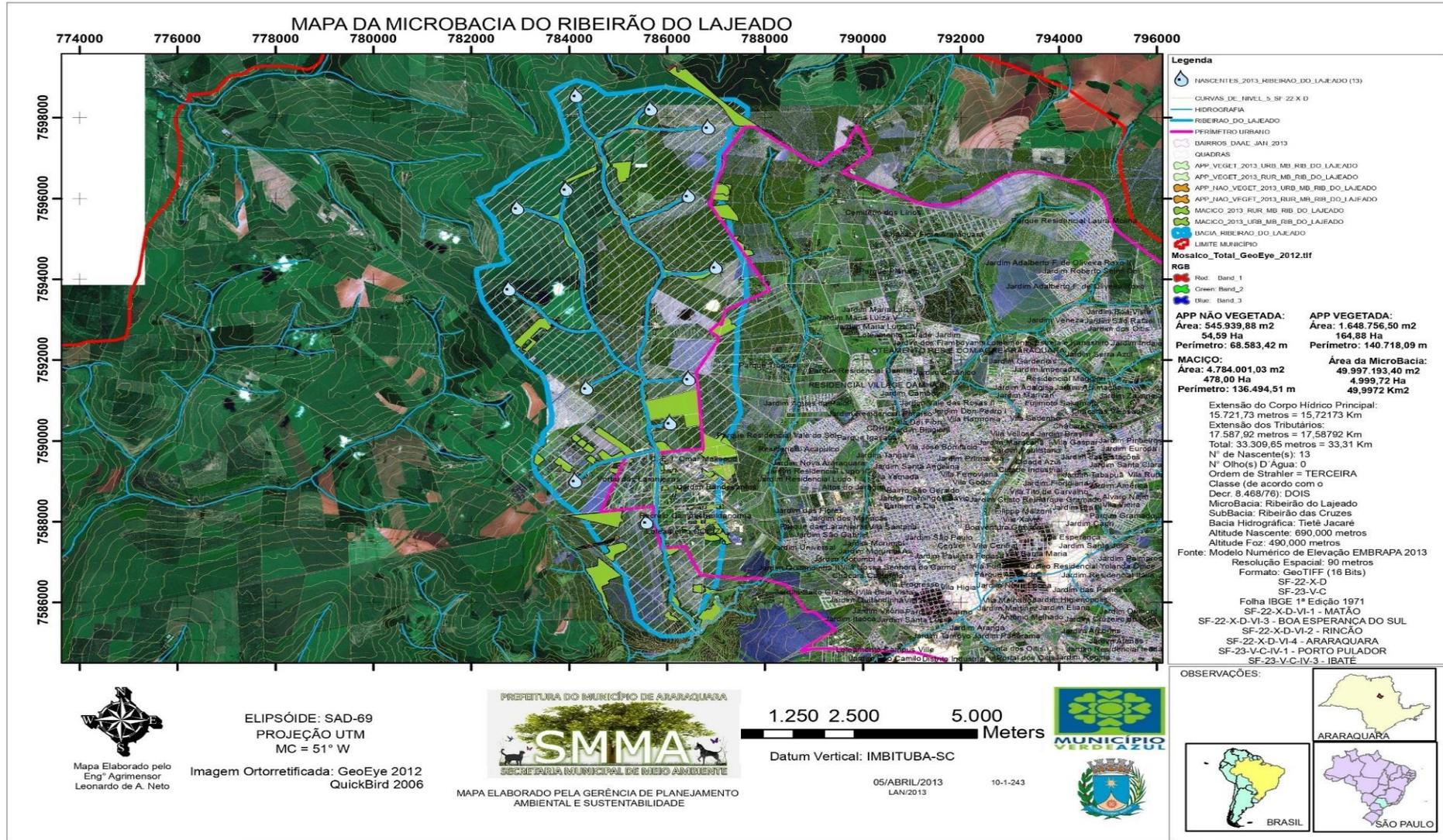
Classe de acordo com o decreto 8.468/76

**Fonte:** Adaptado de DAAE (2017).

Foram selecionados 3 pontos distintos para coleta do sedimento, sendo:

- Ponto 1 - Latitude: 21°44'38.82"S e Longitude: 48°15'1.55"O
- Ponto 2 - Latitude: 21°45'18.25"S e Longitude: 48°14'33.92"O
- Ponto 3 - Latitude: 21°46'22.95"S e Longitude: 48°14'12.74"O

Figura 4: Microbacia do Ribeirão do Lajeado, segundo certificação do Programa Município Verde-Azul, do estado de São Paulo.



Fonte: Departamento Autônomo de Água e Esgoto (2017).

#### 4.2.2. Córrego Águas do Paiol

O Córrego do Paiol está localizado numa paisagem mista, tendo suas nascentes localizadas na área rural, onde predomina cana de açúcar na maior parte. Seu curso segue passando pela periferia da cidade, até desaguar no córrego ribeirão das cruzeiras. Suas águas são destinadas ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional, à irrigação de hortaliças ou plantas frutíferas e à recreação de contato primário (natação, esqui-aquático e mergulho) portanto classificado como classe 2 conforme decreto 8.468 de 8 de setembro de 1976, que regulamentou a lei estadual 997 de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a Prevenção e o Controle da Poluição do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (Figura 5). Possui mais de 99% de sua área vegetada e conta com 6 nascentes catalogadas (Tabela 2).

**Tabela 2** - Dados técnicos do córrego do Paiol.

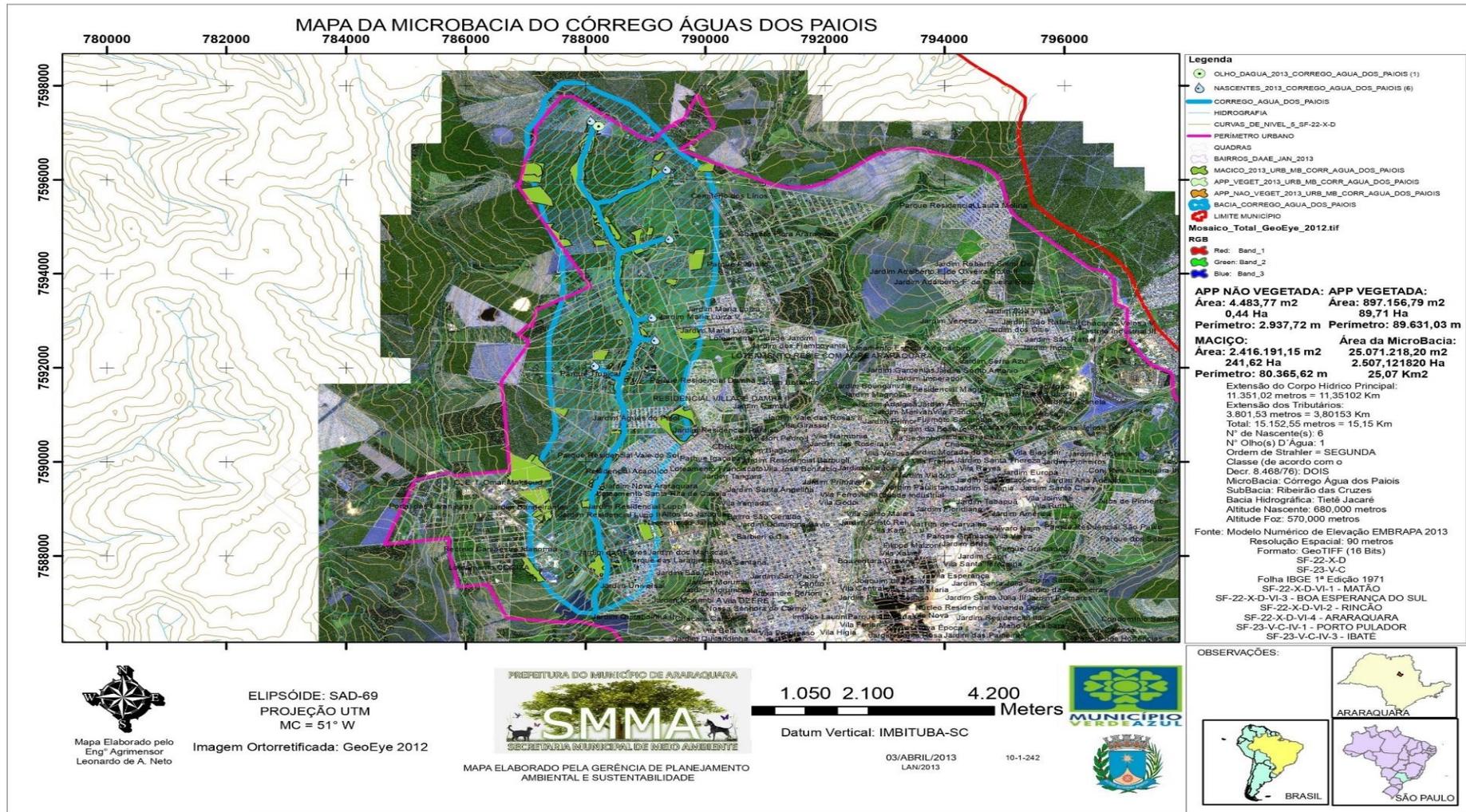
Extensão (m)	Ordem de Strahler	Classe	Número de nascentes	APP (m <sup>2</sup> )		Altitude (m)	
				Vegetada	Não vegetada	Nascente	Foz
11.351	Segunda	2	6	897.157	4.484	680	570

**Fonte:** Adaptado de DAAE (2017).

Foram selecionados 3 pontos distintos para coleta do sedimento, sendo:

- Ponto 1 - Latitude: 21°43'14.71"S e Longitude: 48°12'46.45"O
- Ponto 2 - Latitude: 21°45'11.62"S e Longitude: 48°12'36.02"O
- Ponto 3 - Latitude: 21°47'30.45"S e Longitude: 48°12'44.60"O

Figura 5: Microbacia do córrego do Paiol, segundo certificação do Programa Município Verde-Azul, do estado de São Paulo.



Fonte: Departamento Autônomo de Água e Esgoto (2017).

### 4.2.3. Ribeirão das Cruzes

O Ribeirão das Cruzes nasce na área urbana de Araraquara onde há o predomínio de chácaras. O Ribeirão sofre represamento, aproximadamente 5 km após a nascente, para captação e abastecimento de água para cidade. Sua foz é no Rio Jacaré-Guaçu, na divisa entre as cidades de Araraquara e Boa Esperança do Sul. Suas águas destinadas ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional, à preservação de peixes em geral e de outros elementos da fauna e da flora e à dessedentação de animais, portanto classificado como classe 3 conforme decreto 8.468 de 8 de setembro de 1976, que regulamentou a lei estadual 997 de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a Prevenção e o Controle da Poluição do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (Figura 6). Possui mais de 90% de sua área vegetada e conta com 9 nascentes catalogadas (Tabela 3).

**Tabela 3:** Dados técnicos do Ribeirão das Cruzes.

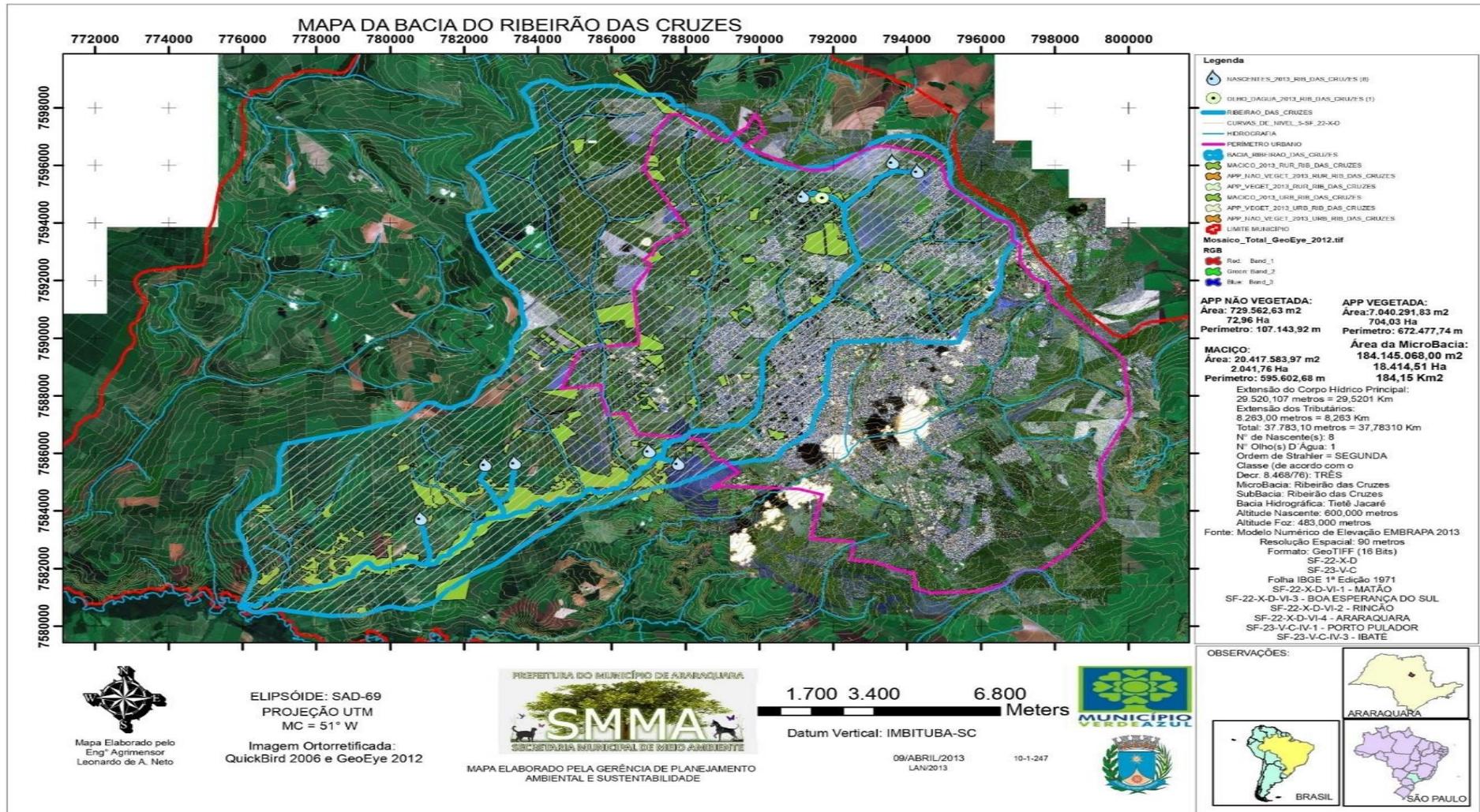
Extensão (m)	Ordem de Strahler	Classe	Número de nascentes	APP (m <sup>2</sup> )		Altitude (m)	
				Vegetada	Não vegetada	Nascente	Foz
29.520	Segunda	3	9	7.040.291	729.562	600	483

**Fonte:** Adaptado de DAAE (2017).

Foram selecionados 3 pontos distintos para coleta do sedimento, sendo:

- Ponto 1 - Latitude: 21°43'33.87"S e Longitude: 48°10'43.35"O
- Ponto 2 - Latitude: 21°46'33.86"S e Longitude: 48°11'43.54"O
- Ponto 3 - Latitude: 21°47'52.55"S e Longitude: 48°12'14.33"O

**Figura 6:** Bacia do Ribeirão das Cruzes, segundo certificação do Programa Município Verde-Azul, do estado de São Paulo.



Fonte: Departamento Autônomo de Água e Esgoto (2017).

### 4.3. Protocolo de Avaliação de Impacto Ambiental

Para Gomes (2015), nas propostas de AIA macroscópica (visual), devem ser considerados alguns aspectos legais, como os geológicos, biológicos e as interferências antrópicas, onde através da observação direta das condições ambientais pode-se prever a qualidade da preservação das nascentes e córregos. Para tanto, nesse trabalho, foram atribuídos valores para cada condição observada, sendo: (3) sem impacto ou não observável; (1) com impacto observável; e (2) como uma valoração intermediária.

As análises foram por observação direta nos pontos de coleta. Para cada ponto foram realizados uma avaliação e no final fez-se uma média aritmética com a pontuação final para cada córrego.

O protocolo utilizado nesse trabalho será adaptado conforme metodologia utilizada por Gomes (2015), Paraguassú *et. al.* (2010), Souza (2018) e Pereira (2004).

Em seus trabalhos foram analisados os seguintes parâmetros:

- **Cor da água:** refere-se a presença de substâncias em solução, como substâncias naturais resultantes da decomposição de folhas e madeiras, esgotos domésticos ou rurais e efluentes industriais (GOMES, 2015). A água foi coletada em becker de vidro de 1 Litro, permaneceu em repouso por 5 minutos para deposição de sedimentos como partículas de areia, silte e argila. Só então foi analisada a cor aparente da água. Será categorizada como “incolor” se a mesma se encontrar transparente ou como “colorida” caso não se consiga ver do outro lado do recipiente na qual a água

foi coletada, ou se não for possível a passagem de luz solar (GOMES, 2015; SOUZA, 2018).

- **Turbidez:** está relacionada com a presença de partículas inorgânicas, como areia, argila e silte em suspensão, e partículas orgânicas, como detritos orgânicos, algas, bactérias, plâncton, etc. A origem das partículas inorgânicas em suspensão está associada, geralmente, à ação erosiva da água a montante e da nascente ou das margens e fundo, enquanto as orgânicas podem estar associadas a desequilíbrios no ecossistema aquático. A água será categorizada como “turva” se quando observado da margem, com vista desarmada, for possível visualizar a passagem da luz, e se possível visualizar o substrato do fundo (GOMES, 2015). A pontuação atribuída ao parâmetro turbidez estão na tabela 5.
- **Odor:** a verificação de odor pelo foi realizado *in loco* através do olfato do pesquisador, sendo considerada a presença de substância que comunique odor ou a sensação do odor (SOUZA, 2018). O odor pode ser consequência de causas naturais como vegetação em decomposição, bactérias, fungos e compostos orgânicos como gás sulfídrico, etc., ou por causas artificiais, como esgotos *in natura* domésticos e industriais (GOMES, 2015).

- **Espuma:** em sua grande maioria se dá pela presença de Surfactantes (detergentes). Será caracterizado como “muita” de maneira a impedir a penetração de luz no corpo d’água, podendo impedir o desenvolvimento de vida aquática e desencadeando o processo de eutrofização; como “pouca” caso haja a presença de espuma, mas não atenda aos critérios para ser classificada como “muita”; ou “ausente” se não foi constatado sua presença no corpo hídrico (PEREIRA, 2004; SOUZA, 2018).
- **Óleo:** presença ou não de óleo na água, perceptível a vista desarmada, cujo depósito ocorre nas margens, promovendo coloração perolada-colorida, interferindo nos processos biológicos e tornando a água impotável. Será considerado “muito” quando a coloração perolada-colorida estiver em toda lâmina d’água; “pouco” quando estiver presente, mas em pontos isolados; e “ausente” se o mesmo for visualmente ausente (GOMES, 2015; SOUZA, 2018; PEREIRA, 2004).
- **Esgoto:** observado o despejo a vista desarmada ou alertado através do odor. Será indicado como fluxo direto o esgoto doméstico e ou currais (ou outros criatórios), indústrias ou outra fonte resultante de atividade antrópica, sendo direcionado diretamente para o corpo hídrico; como fluxo superficial se for constatado a presença de animais e ou despejo de esgoto doméstico, topograficamente a jusante, estando exposta ao escoamento pluvial resultantes de chuvas, caindo diretamente no corpo hídrico; ausente, quando não for detectado visualmente ou alertado através do odor (GOMES, 2015; SOUZA, 2018).

- **Resíduos sólidos dentro da APP:** relaciona-se a presença ou ausência de resíduos sólidos originários de indústrias, residências, construção civil, escolas, etc., na APP, sem considerar a quantidade e ou toxicidade e abrangência resultante dessa presença (GOMES, 2015).
- **Material flutuante:** presença de objetos na superfície da água, sendo categorizado como “muito” se forem encontrados mais que 3 unidades até o alcance da visão do pesquisador. Como “pouco” se houver até 3 unidades de resíduo e “ausente” foi quando não houve verificação de resíduos (PARAGUASSÚ *et al.*, 2010; SOUZA, 2018).
- **Uso por humanos:** Considerada “Uso observado” se há o uso da água do corpo hídrico através de canalizações, desvios, bombeamento ou outra forma de captação, para consumo humano, dessedentação animal, lazer, irrigação, criatórios, lavagem de roupas, etc. Considera-se “esporádico” pela evidência de utilização antrópica do corpo hídrico através da visualização de trilhas ao redor, irrigação para hortas, bombas de sucção, dentre outras; e como “ausente” se nada foi identificado (GOMES, 2015).
- **Uso por animais:** Considerado nesse trabalho apenas animais domésticos e de criação. Será categorizado como “visível” através da observação direta da presença dos mesmos, seja como forma de criação ou guarda; “vestígios” se for constatado

sons, pegadas, fezes ou esqueletos; ou "ausente" se nada foi identificado (GOMES, 2015; SOUZA, 2018).

- **Proteção local:** Faz referência a cercas de arame ou de qualquer outro material e a matas fechadas que impossibilitem a entrada de humanos ou animais. Foi categorizado como "ausente" se a área não possuía cercamento ou algo que promova algum empecilho para a entrada de pessoas ou animais na área; "proteção com acesso", se havia alguma proteção, mas sendo possível a chegada até o curso d'água; ou "inacessível", se existia proteção (natural ou cercamento) e devido a ela não era possível adentrar ao fragmento ou ter acesso direto na nascente (SOUZA, 2018).
- **Proximidade à residência ou estabelecimento:** faz referência a distância do início da APP até as residências ou estabelecimentos, sendo categorizado como "menos de 50 metros", "entre 50 e 100 metros" ou "mais de 100 metros". As medidas foram realizadas com uma trena de 100m de comprimento (SOUZA, 2018).
- **Vegetação:** será categorizada como "suprimida" se a vegetação nativa for totalmente retirada, desmatada e/ou substituída por culturas (temporárias ou não). Como "alterada" se somente parte da vegetação nativa foi retirada e/ou substituída por espécies frutíferas, ornamentais ou exóticas; e "nativa" se a vegetação original estiver preservada ou quando a vegetação tiver sido recuperada com espécies da flora original (GOMES, 2015).

- **APP de margem (largura de 30m em cada lado da margem do córrego):** será categorizada como "impactada" se for observado a não concordância com a Lei nº 12.727/12, art.4º, Capítulo II; e como "preservada" caso haja concordância com a respectiva Lei. As medidas se deram com auxílio de trena de 100m, somente nos pontos de coleta.
- **Erosão ou assoreamento na APP:** nesse caso será observado processos erosivos na APP resultantes de desmatamento, ou qualquer outra ação antrópica. (GOMES, 2015).
- **Despejo de água pluvial por galerias:** o despejo pode acelerar o processo erosivo do corpo hídrico, além de transportar resíduos sólidos para dentro do mesmo. Será categorizado como "presença" caso haja constatação, a vista desarmada, das tubulações no local; e "ausente" caso não seja visualizada as tubulações no corpo d'água.

Especificados os parâmetros que compõe a AIA, os mesmos foram reunidos em uma única tabela, em forma de checagem, conforme tabela 4.

**Tabela 4:** Parâmetros macroscópicos a serem avaliados no protocolo de avaliação de impacto ambiental.

PARÂMETROS	PONTUAÇÃO DOS PARÂMETROS		
	1	2	3
Cor	Colorida	X	Incolor
turbidez	Turva	X	Ausente de turbidez
Odor	Com odor	X	Inodoro
Espuma	Muita	Pouca	Ausente
Óleo	Muito	Pouco	Ausente
Esgoto	Fluxo direto	Fluxo superficial	Ausente
Resíduos sólidos na APP	Presença	X	Ausencia
Material flutuante	Muito	Pouco	Ausente
Uso por humanos	Uso observado	Esporádico	Ausente
Uso por animais de criação	Visível	Vestígios	Ausente
Proteção do local	Ausente	Proteção com acesso	Inacessível
Proximidade com residências ou estabelecimentos	Menos de 50 m	Entre 50 e 100 m	Mais de 100 m
Vegetação	Suprimida	Alterada	Nativa
APP de margem	Impactada	X	Preservada
Processos observados na APP	Erosão e/ou assoreamento	X	Asente
Despejo de água pluvial por galerias	Presente	X	Ausente

**Fonte:** Adaptado de Gomes (2015).

Através da somatória dos parâmetros foram gerados graus de preservação, refletindo a qualidade ambiental das nascentes analisadas (tabela 5), onde serão:

- Degradadas caso atinjam uma pontuação entre 16 e 25 pontos.
- Moderadamente Preservadas caso atinjam uma pontuação entre 26 e 39 pontos.
- Preservadas caso atinjam uma pontuação entre 40 e 48 pontos.

O corpo hídrico enquadrado no grau de preservação PRESERVADA, com pontuação final entre 40 e 48 pontos, reflete a pontuação 3 em praticamente todos os parâmetros macroscópicos e, adicionalmente, pontos de menor valor na escala de degradação (GOMES, 2015).

O corpo hídrico enquadrado no grau de preservação PARCIALMENTE PRESERVADA, com pontuação final entre 26 e 39 pontos, reflete a pontuação 2 em praticamente todos os parâmetros macroscópicos e, adicionalmente, pontos de menor ou maior valor na escala de degradação (GOMES, 2015).

O Grau de Preservação DEGRADADA corresponde à nascente com 16 a 25 pontos. Apresentam predominantemente os parâmetros macroscópicos mais alterados, com desmatamentos, erosões, assoreamentos, esgotos, resíduos sólidos, acesso de animais, eutrofização, turbidez, facilidade de acesso, APP impactada, dentre outros. (GOMES, 2015).

**Tabela 5** - Índice de qualidade ambiental das áreas de coleta.

CLASSIFICAÇÃO	PONTUAÇÃO
DEGRADADA	DE 16 A 25 PONTOS
MODERADAMENTE PRESERVADA	DE 26 A 39 PONTOS
PRESERVADA	DE 40 A 48 PONTOS

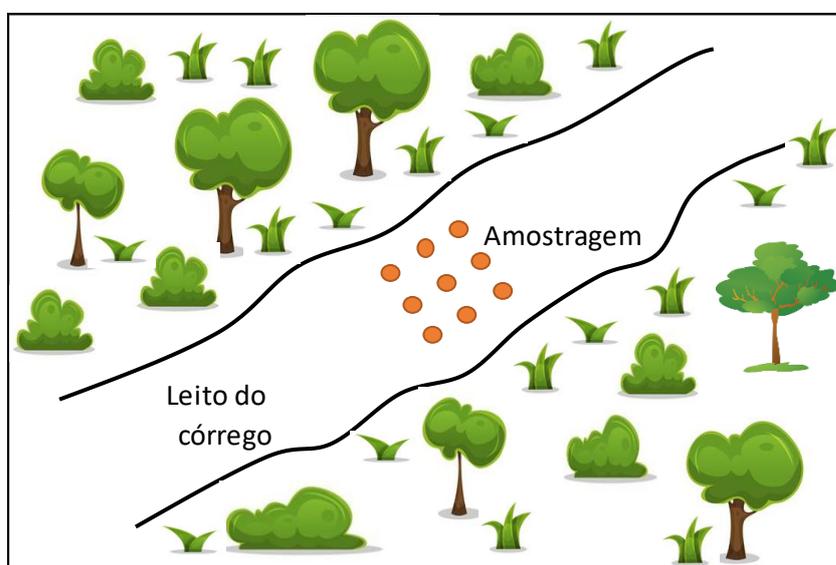
**Fonte:** Adaptado de Gomes (2015).

#### 4.4. Coleta e tratamento do sedimento

Visando analisar a qualidade do sedimento nas estações seca e chuvosa, foram coletados os sedimentos nos meses de julho e agosto de 2020, compreendendo a estação seca, e nos meses de janeiro e fevereiro de 2021, compreendendo a estação chuvosa.

O sedimento foi coletado através de uma pá de aço tipo jardinagem. Foi delimitada uma área de 1 m<sup>2</sup> onde foram coletados sedimentos de 9 pontos, correspondendo a uma amostra (figura 7), sendo que o deslocamento da amostragem se deu no sentido a montante do córrego.

**Figura 7:** Esquema da amostragem nos pontos de coleta nos córregos analisados



**Fonte:** Autor.

Foram recolhidos os 5 primeiros centímetros da camada superficial do sedimento, onde foram armazenados em sacos plásticos transparentes e refrigerados em caixas de isopor com gelo. As amostras foram levadas até o Laboratório de Ecotoxicologia Ambiental da Universidade de Araraquara e armazenadas em potes plásticos transparentes de 1 litro, refrigeradas em geladeira a 4°C. Todas as amostras foram secas em estufa a uma temperatura de 50° por 48 horas, macerada e peneirada para retirada de pedriscos e plantas. Após homogeneização, as amostras foram refrigeradas novamente (ANA, 2011; ABNT NBR 15469 – 12/2015). Foram realizadas 4 coletas, sendo 2 da estação seca e 2 na estação chuvosa. Nos 3 corpos hídricos analisados foram coletadas 3 amostras em pontos diferentes, totalizando 9 por coleta. Ao final obteve-se 36 amostras nas 4 coletas realizadas.

#### **4.4.1. Análise da matéria orgânica no sedimento**

A análise do carbono orgânico total (COT) no sedimento foi adaptada conforme metodologia estabelecida por Goldin (1987) e Carmo (2012):

- A secagem prévia das amostras em estufa a 50° C por um período de 48 h, eliminando, assim, toda a água presente nos resíduos (higroscópica, capilar ou de cristalização (RODELLA e ALCARDE, 1994).
- Após a secagem, foram colocados 10 gramas de sedimento em cadinhos de cerâmica, previamente calcinados, sendo novamente pesados e acondicionadas em forno do tipo mufla, a uma temperatura de 550 °C, por 3 h.
- Posteriormente, o conjunto (cadinho + amostra) foi acondicionado em dessecador e, em seguida, pesado.

Obteve-se a porcentagem de matéria orgânica subtraindo o peso inicial do cadinho + sedimento do peso final do cadinho + cinzas. A diferença de peso corresponde a matéria orgânica queimada. Através de regra de três simples, usando o peso inicial da amostra de sedimento e a diferença de peso após a queima, obteve-se a porcentagem de matéria orgânica no sedimento.

#### **4.5. Análises físico-químicas**

Foram realizadas as aferições de temperatura, pH, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica nos pontos de coleta, tanto na estação seca quanto na chuvosa. As análises foram realizadas também na primeira geração de cada experimento. As aferições foram realizadas no multiparâmetro YSI, modelo 556MPS. Não foram realizadas análises físico-química do sedimento.

#### **4.6. Cultura do organismo-teste**

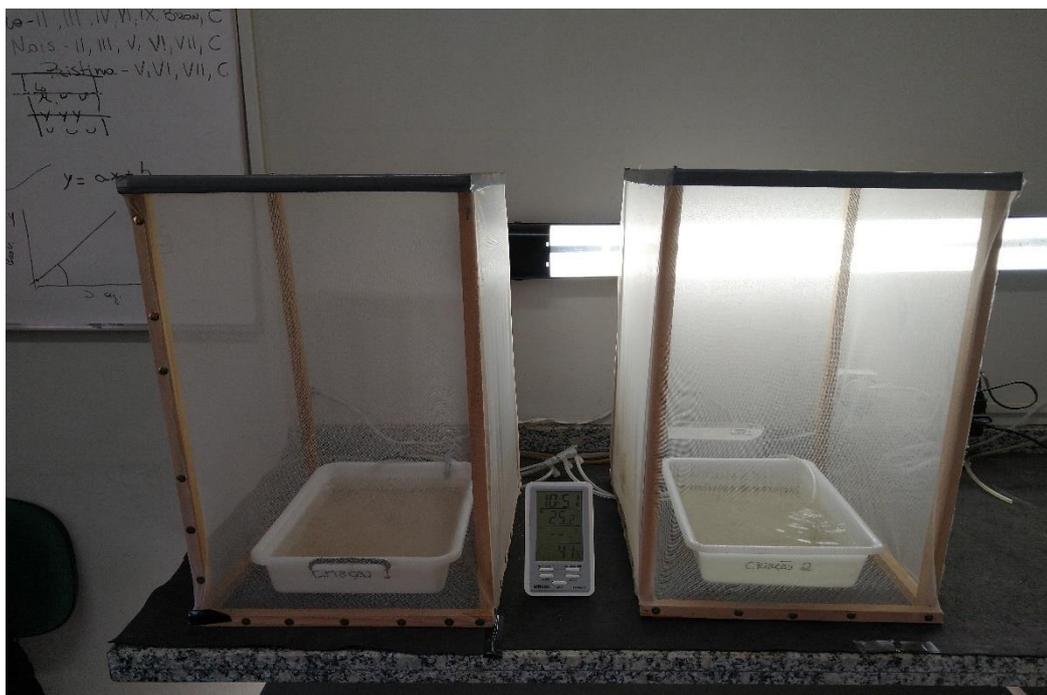
Os animais utilizados no experimento foram criados no laboratório de Ecotoxicologia Ambiental (LEA) da Universidade de Araraquara – UNIARA. A criação da espécie segue a metodologia descrita por Dornfeld (2006), onde os organismos são acondicionados em bandejas de plástico, cobertas por gaiolas de nylon para retenção dos organismos adultos (Figura 8).

Nas bandejas foram colocados sedimento esterilizado (areia fina comum, lavada em água corrente, seca em estufa a 60°C e levada a mufla por 4 horas a 560°C) e água deionizada (condutividade entre 25-55  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , pH entre 6,5 e 7,5 com

temperatura de 23 a 27°C). A aeração foi constante (através de bomba compressor para aquário – modelo Big Air A-420) e o fotoperíodo foi de 12h luz / 12h escuro.

A alimentação foi preparada com 5 g de ração para peixe, da marca TretaMin®, macerada e misturada em 1 litro de água deionizada, sendo a mesma trocada a cada 15 dias. Após o preparo, a criação foi alimentada 2 vezes por semana com 20 ml da solução, conforme metodologia de Dornfeld (2006) e Viveiros (2012).

**Figura 8:** Criação da cultura de *Chironomus sancticaroli*, no Laboratório de Ecotoxicologia Ambiental da Universidade de Araraquara.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

#### 4.7. Teste de sensibilidade do organismo-teste

O teste de sensibilidade tem como objetivo determinar a qualidade dos organismos-teste através da exposição a uma substância de referência. É aplicado com intuito de determinar se os organismos que serão utilizados nos testes de toxicidade estão em condições ideais para responder de forma eficiente à exposição ao sedimento natural e possivelmente a contaminantes ambientais. O teste de sensibilidade também se faz necessário quando novos organismos são adicionados à cultura estoque ou quando a cultura sofre grandes modificações (OECD 2004).

Conforme a metodologia de Fonseca (1997), foram realizados testes de sensibilidade visando avaliar a potencialidade da criação para realização dos testes crônicos compreendidos nesse trabalho. A substância de referência usada foi o Cloreto de Potássio (KCL) nas concentrações de 1,5; 2,25; 3,5; 5,0 e 7,5 g.L<sup>-1</sup>, conforme ilustração na Figura 9. Foral utilizados 60 g de substrato (areia de cultivo), 240 mL de solução-teste de KCL em diferentes concentrações e 6 larvas de III instar final / IV instar inicial em cada pote, sendo todos em triplicata. Os organismos foram alimentados somente no início do teste, com 5 mL de solução composta por 5 g de ração tipo TetraMin® em 1 litro de água deionizada e sem aeração. Os testes tiveram a duração de 96 horas. As análises foram realizadas através do programa estatístico R, versão 3.5.1.

**Figura 9:** Esquema ilustrativo da dinâmica do teste de sensibilidade do organismo *Chironomus sanctcaroli*.

Número de réplicas	Concentrações de KCL (g.L <sup>-1</sup> )					
	Controle	1,5	2,25	3,5	5	7,5
Réplica 1						
Réplica 2						
Réplica 3						

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

#### 4.8. Teste de toxicidade crônica

Nos testes crônicos foram seguidas as metodologias utilizadas no trabalho de Dornfeld (2006). Em potes de 1 litro foram colocados 60 g de sedimento natural, para cada ponto, e 240 mL de água deionizada, todos em triplicata. Em cada pote colocou-se 15 larvas de 1º instar, com fotoperíodo de 12h luz/ 12h escuro, aeração constante (através de bomba compressora para aquário – modelo Big Air A-420) e temperatura controlada (entre 22º e 26º C). Visando comparar as amostras, obteve-se um tratamento controle, com 60 g de areia de cultivo e 240 mL de água deionizada, também em triplicata (Figura 10). Todos os organismos foram alimentados no início do teste, e posteriormente alimentados a cada 3 dias com 9 mL de solução contendo 5,0 g de ração tipo TretaMin® diluídas em 1 litro de água deionizada (Figura 11).

**Figura 10:** Esquema ilustrativo da dinâmica do teste de toxicidade crônica do organismo *Chironomus sancticaroli*.

Número de réplicas	Controle	Córrego Águas do Paiol			Ribeirão do Lajeado			Ribeirão das Cruzes		
		Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
Réplica 1										
Réplica 2										
Réplica 3										

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 11:** Experimento em andamento nos testes de toxicidade crônica do organismo teste *Chironomus sancticaroli*, no laboratório de ecotoxicologia ambiental da Universidade de Araraquara.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

#### 4.9. Avaliação da fecundidade potencial

Desenvolvida por Trivinho – Strixino e Strixino (1980), essa metodologia propõe uma estimativa da fecundidade potencial das fêmeas, em número de ovos, da espécie *Chironomus sancticaroli* através da medida da asa da fêmea, da álula até seu ápice (Figura 12), e utilizá-la na fórmula:

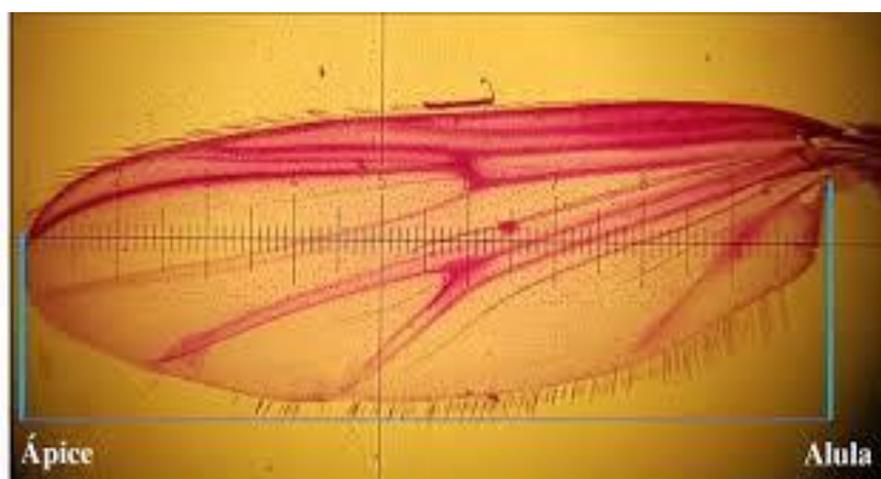
$$F = (K \cdot L) - m$$

Onde:

- F = fecundidade potencial
- K = constante (471,64)
- L = distância álula - ápice
- m = constante (707,41)

Nesse trabalho adotou-se como padrão a medida da asa direita de cada fêmea.

**Figura 12:** Medida da asa de *Chironomus sancticaroli*, para análise da fecundidade potencial das fêmeas.



**Fonte:** Berganossi *et al.* (2019).

#### 4.10. Análise de deformidade bucal

Após as desovas de cada ponto, as mesmas foram acondicionadas em potes de 1 litro contendo 80 g de sedimento, correspondentes a seus respectivos pontos, e 320 ml de água deionizada. Posteriormente, foram alimentados a cada 3 dias com 15 ml de solução contendo 5,0 g de ração tipo TretaMin® diluídas em 1 litro de água deionizada. Após 8 a 10 dias, as larvas foram retiradas dos potes e armazenadas em frascos plásticos de 30mL em álcool 70%.

As cápsulas cefálicas das larvas de IV ínstar foram retiradas com auxílio de lupa estereoscópica e diafanizadas em solução de Hidróxido de potássio (KOH) a 10% durante 24 horas. As cápsulas cefálicas foram fixadas em lâminas com verniz vitral diluídas em solvente da marca Acrilex®. Os aparelhos bucais foram analisados em microscópio óptico da marca Nikon®, modelo Eclipse - E200, com lente de aumento de 400x.

Foram 100 cápsulas para cada estação, seca e chuvosa, por corpo d'água e 200 para o controle. Os resultado foram expressos em deformidade fraca (um ou dois dentes arredondados/limados; um dente ausente ou adicional; um dente bífido; um dente serrilhado; dois dentes unidos; assimetria fraca) e deformidade severa (dentes muito redondos/limados; dois ou mais dentes ausentes ou adicionais; dois ou mais dentes bífidos; dentes serrilhados; três ou mais dentes unidos; assimetria severa; combinação de diferentes deformidades), conforme metodologia utilizada por Goretta *et al.* (2020).

#### 4.11. Análises estatísticas

Para o tempo de emergência, taxa de emergência e taxa de mortalidade foram realizados o teste de Levene visando analisar se as variâncias são homogêneas. O resultado mostrou um  $p(\text{valor}) \leq 0,05$ , indicando não haver normalidade entre os dados, portanto para o tempo de emergência dos adultos foram usados os testes de KRUSKAL-WALLIS e MANN -WHITNEY.

Para a fecundidade potencial das fêmeas, foi realizado o teste de Levene visando analisar se as variâncias são homogêneas. O resultado mostrou um  $p(\text{valor}) \geq 0,05$ , indicando haver normalidade entre os dados, portanto para a fecundidade potencial foram usados os testes One- Way ANOVA seguido de TUKEY.

Todos os dados foram analisados através do programa PALEONTOLOGICAL STATISTICS SOFTWARE – PAST<sup>®</sup> (HAMMER *et al.*, 2001)

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Protocolo de Avaliação de Impacto Ambiental

O Ribeirão das Cruzes obteve uma pontuação média de 42 pontos, sendo classificado como preservado. Os parâmetros negativos foram pontos de ausência de proteção do local, residências entre 50 e 100 m, uso esporádico por humanos, pontos com resíduo sólido e material flutuante no corpo d'água. Outro parâmetro a ser levantado são as redes de galerias de águas pluviais, pois a sub-bacia do córrego em questão é a principal área de drenagem, além do córrego possuir mais 4 tributários entre os pontos de coleta (Figura 13).

**Figura 13:** Pontos de coleta do sedimento no Ribeirão das Cruzes onde foram realizadas as Avaliações de Impactos Ambientais.



Ponto 1

Ponto 2

Ponto 3

**Fonte:** Autor.

O Ribeirão do Lajeado obteve uma pontuação média de 45 pontos, sendo classificada como preservada. Os parâmetros negativos foram a turbidez da água e a ausência de proteção e acesso ao local. Sua pontuação foi a melhor dentre os corpos hídricos analisados (Figura 14).

**Figura 14:** Pontos de coleta do sedimento no Ribeirão do Lajeado onde foram realizadas as Avaliações de Impactos Ambientais.



Ponto 1



Ponto 2



Ponto 3

**Fonte:** Autor.

O Córrego do Paiol obteve uma pontuação média de 40 pontos, sendo classificada como preservada. Sua pontuação foi a menor dentre os córregos analisados, devido a problemas como odor e turbidez na água, resíduos sólidos na APP e no corpo d'água, material flutuante no corpo d'água, uso por humanos, proteção com acesso de pessoas e proximidade de residências entre 50 e 100m (Figura 15).

**Figura 15:** Pontos de coleta do sedimento no Córrego do Paiol onde foram realizadas as Avaliações de Impactos Ambientais.



Ponto 1

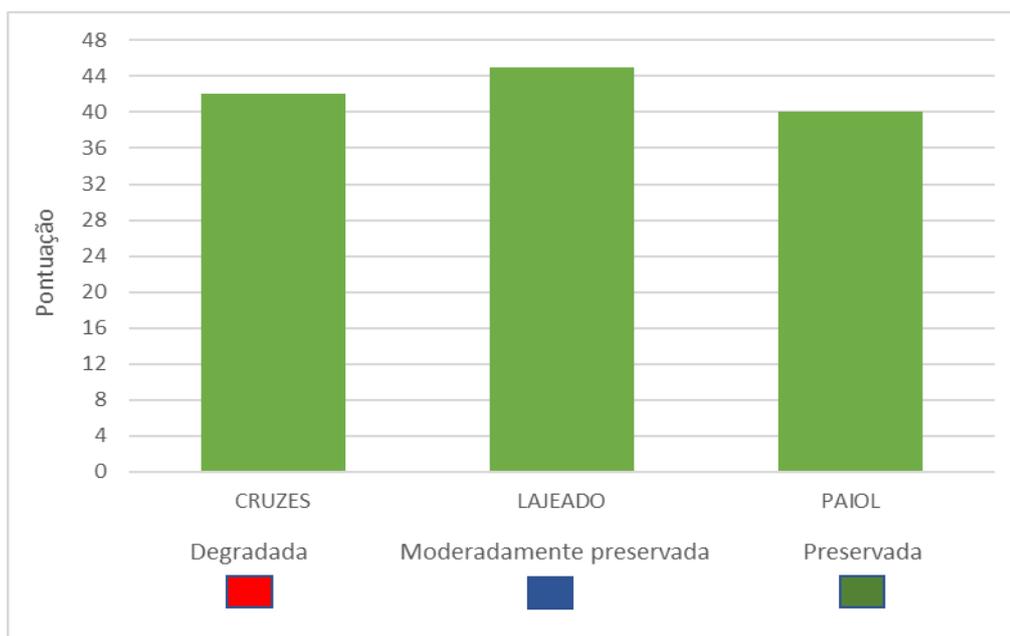
Ponto 2

Ponto 3

**Fonte:** Autor.

Os parâmetros ambientais macroscópicos foram realizados em cada ponto das amostras coletadas nos córregos, ou seja, cada córrego teve 3 análises com suas respectivas notas, onde foram somadas e feita uma média final ponderada (Figura 16).

**Figura 16:** Classificação das áreas onde foram recolhidas as amostras de sedimento, segundo Protocolo de Avaliação de Impacto Ambiental.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

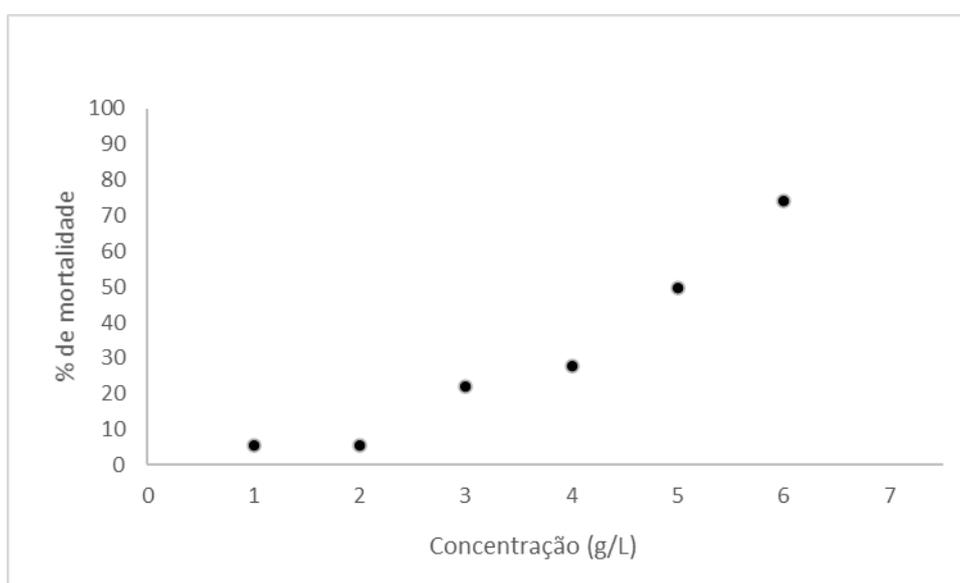
## 5.2. Teste de sensibilidade do organismo teste

No presente trabalho encontrou-se uma faixa de sensibilidade para a substância cloreto de potássio (KCL) de 4,3 g.L<sup>-1</sup>, com intervalo de confiança de 95% entre os limites inferior de 3,2 g.L<sup>-1</sup> e superior de 5,4 g.L<sup>-1</sup> (Figura 17).

Comparando os resultados obtidos neste trabalho com o de outros autores, como por exemplo Campagna (2010), que obteve uma faixa média de 3,38 g.L<sup>-1</sup>; Santos (2007) cujo valor médio encontrado foi de 5,84 g.L<sup>-1</sup> e Fonseca (1997) cuja faixa encontra-se entre os valores inferior e superior de 2,6 e 6,4 g.L<sup>-1</sup>., obteve-se um resultado satisfatório e condizente com o de outros autores.

. Portanto, pode-se sugerir que a população de *Chironomus sancticaroli* criada no Laboratório de ecotoxicologia ambiental, da Universidade de Araraquara, está adequada para ser utilizada como organismo teste nos bioensaios ecotoxicológicos nesse estudo.

**Figura 17:** Curva dose resposta de *Chironomus sancticaroli* ao cloreto de potássio nos testes de toxicidade aguda



Legenda das concentrações: 1- controle; 2- 1,5 g/L; 3- 2,25 g/L; 4- 3,5 g/L; 5- 5,0 g/L; 6- 7,5 g/L.

**Fonte:** Autor.

### 5.3. Análises físico-química nos pontos de coleta

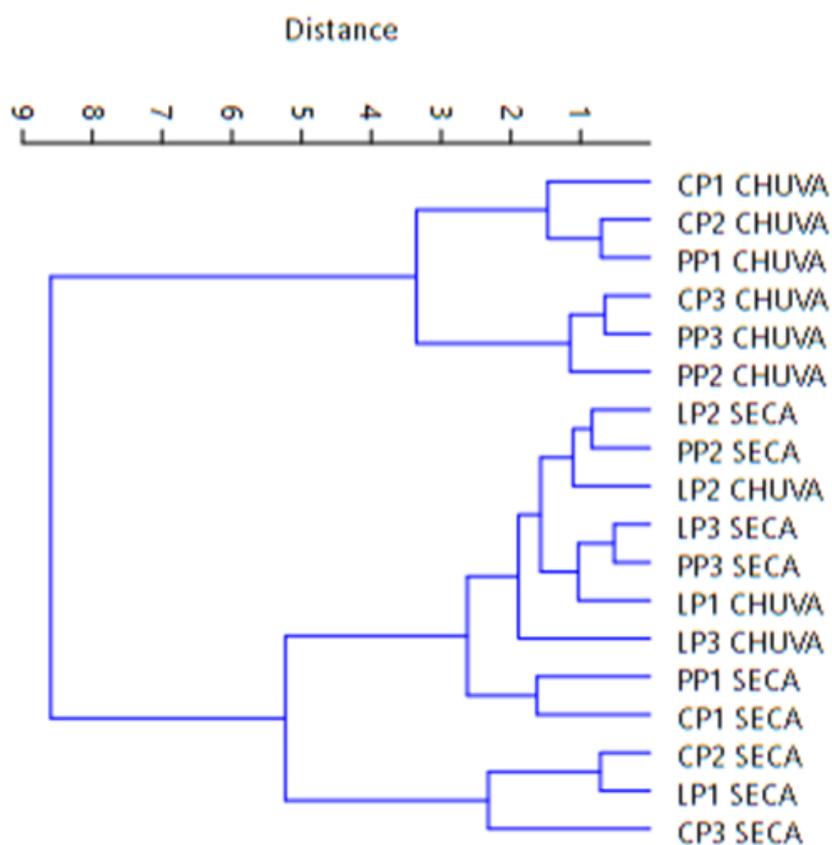
Os dados físico-químicos dos 3 corpos hídricos analisados foram reunidos na Tabela 6, com suas respectivas médias e desvio padrão. Para se verificar se há similaridade entre as variáveis físico-química nos pontos de coleta dentro de um mesmo corpo hídrico e entre os corpos hídricos, realizou-se uma análise de Cluster com distância Euclidiana, conforme Figura 18. Os resultados mostraram uma correlação cofenética de 0,8267, indicando que o Dendograma gerado foi eficiente em explicar a matriz de dissimilaridade. Os resultados mostram que o Ribeirão das Cruzes e do Ribeirão do Lajeado possui pouca diferença entre eles na estação chuvosa, estando a uma distância abaixo de 2. O mesmo não acontece com o Córrego do paiol, haja vista que os dados indicam uma maior correlação com a estação seca. Na estação seca todos os corpos hídricos analisados se agruparam e também mostram pouca diferença entre eles, estando a uma distância abaixo de 3.

**Tabela 6:** Dados físico-químicos dos corpos hídricos analisados, com desvio padrão (D.P), nas estações de seca e chuva.

CORPO HÍDRICO	ESTAÇÃO	O <sub>2</sub> (mg/L)		pH		TEMPERATURA (°C)		CONDUTIVIDADE (µS/cm <sup>2</sup> )	
		MÉDIA	D.P (±)	MÉDIA	D.P (±)	MÉDIA	D.P (±)	MÉDIA	D.P (±)
CRUZES	SECA	6,87	0,44	6,85	0,29	19,40	0,67	64,90	6,47
	CHUVA	7,30	0,25	6,58	0,29	22,00	0,60	76,20	5,30
LAJEADO	SECA	6,90	0,31	7,08	0,23	19,80	0,38	65,80	6,57
	CHUVA	7,20	0,28	6,72	0,21	20,90	0,83	73,20	6,38
PAIOL	SECA	7,05	0,30	6,87	0,32	19,40	1,02	68,20	9,05
	CHUVA	7,30	0,23	6,82	0,25	22,10	0,62	74,40	6,96

**Fonte:** Autor.

**Figura 18:** Análise de Cluster das variáveis físico-químicas nas estações seca e chuvosa, nos pontos de coleta dos 3 corpos hídricos analisados.



**Legenda:** Corpo Hídrico (Cruzes – C, Lajeado – L, Paiol – P) + Ponto de coleta (P1, P2, P3) + Estação (Seca e Chuva).

**Fonte:** Autor.

#### 5.4. Análises físico-químicas nos testes crônicos

No início dos experimentos laboratoriais, as variáveis de pH e condutividade foram aferidas somente no início de cada experimento. As variáveis oxigênio dissolvido e temperatura não foram aferidas, haja vista que a temperatura do laboratório é constante, 25°C e a oxigenação do experimento ficou constante do início ao fim. A maior média de pH (7,5) foi no período chuvoso no Ribeirão do Lajeado e a menor média (6,8) no Ribeirão das Cruzes. A maior e menor média de condutividade elétrica variou de 16,6 na estação seca e 8,2 na estação chuvosa no Ribeirão das Cruzes. Todos os resultados das variáveis estão na tabela 7.

**Tabela 7:** Dados físico-químicos no início dos testes crônicos nas estações de seca e chuva.

CORPO D'ÁGUA	ESTAÇÃO	pH		CONDUTIVIDADE ( $\mu\text{S/cm}$ )	
		MÉDIA	DESVIO PADRÃO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
CRUZES	SECA	7,00	$\pm 0,30$	12,5	$\pm 0,60$
		6,95	$\pm 0,15$	16,4	$\pm 0,82$
	CHUVA	6,80	$\pm 0,30$	11,6	$\pm 1,05$
		7,10	$\pm 0,20$	8,2	$\pm 2,08$
LAJEADO	SECA	7,10	$\pm 0,10$	9,1	$\pm 0,45$
		7,15	$\pm 0,15$	8,5	$\pm 2,25$
	CHUVA	7,50	$\pm 0,05$	11,0	$\pm 1,03$
		7,10	$\pm 0,20$	11,9	$\pm 0,33$
PAIOL	SECA	7,15	$\pm 0,35$	10,5	$\pm 2,25$
		7,15	$\pm 0,25$	10,6	$\pm 2,20$
	CHUVA	6,90	$\pm 0,20$	12,2	$\pm 1,43$
		7,10	$\pm 0,20$	9,3	$\pm 1,65$

**Fonte:** Autor.

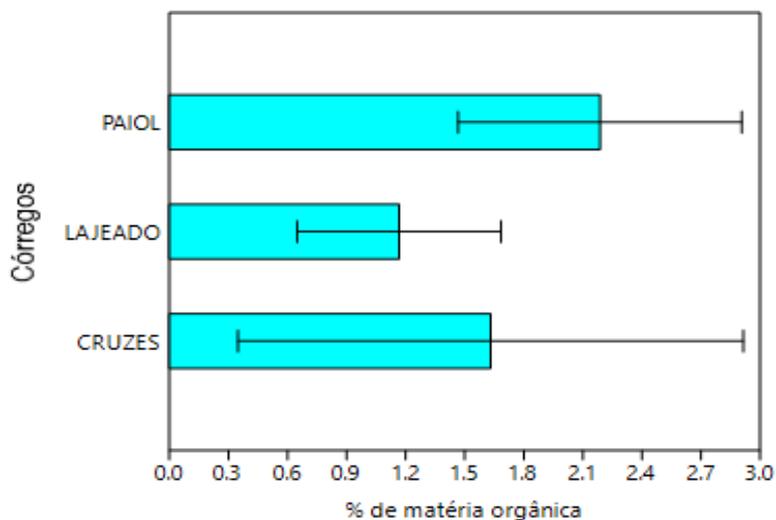
### 5.5. Análise da matéria orgânica no sedimento

Em relação a M.O. entre os córregos, o teste estatístico de KRUSKAL – WALLIS, verificou-se um  $p(\text{valor}) \leq 0,05$ , mostrando haver uma diferença significativa na matéria orgânica entre os córregos analisados. Os dados referem-se às amostras coletadas entre julho de 2020 e fevereiro de 2021. Na figura 19 observa-se que o córrego do Paiol obteve a maior porcentagem de matéria orgânica em relação ao Ribeirão das Cruzes e do Lajeado.

Os resultados também foram analisados entre as estações seca e chuvosa, e dentre os corpos d'água analisados, o ribeirão das Cruzes, foi o único que diferiu na quantidade de matéria orgânica na estação seca, com  $p(\text{valor}) \leq 0,05$  (Figura 20).

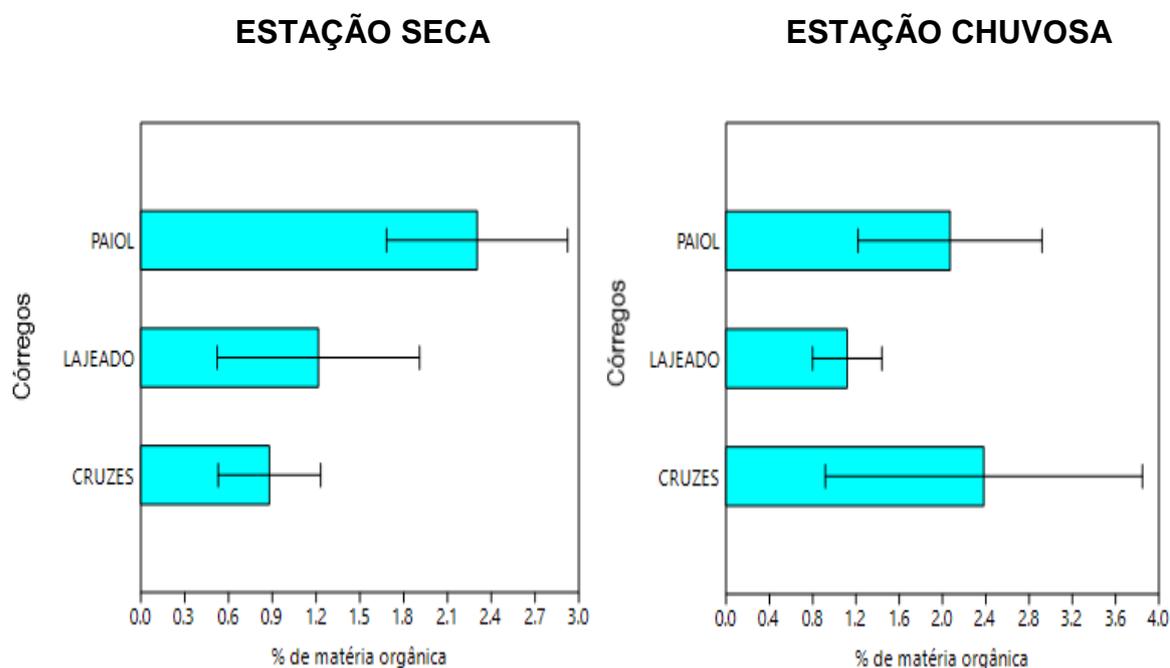
Na estação chuvosa os testes mostraram haver uma diferença significativa, com  $p(\text{valor}) \leq 0,05$ , sendo o ribeirão do Lajeado que diferiu dos demais.

**Figura 19:** Porcentagem de matéria orgânica total, com desvio padrão, nos períodos de julho de 2020 e fevereiro de 2021.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 20:** Porcentagem de matéria orgânica entre as estações seca e chuvosa, com desvio padrão, realizadas nos meses de julho de 2020 e fevereiro de 2021.

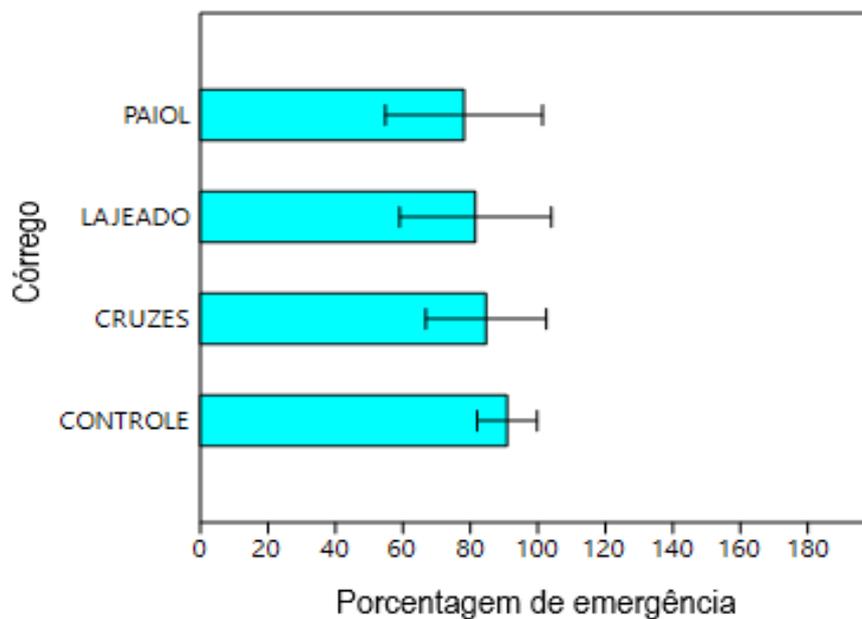


**Fonte:** Elaborada pelo autor.

## 5.6. Taxa de emergência dos adultos

Os resultados do teste de KRUSKAL-WALLIS mostraram haver uma diferença significativa, com  $p$  (valor) = 0,04296. O teste estatístico de MANN -WHITNEY mostrou que o Córrego do Paiol foi o único que diferiu do grupo controle. Embora haja uma diferença entre o córrego em questão e o controle o  $p$ (valor) foi muito próximo ao nível de significância normal ( $p \geq 0,05$ ), mostrando uma proximidade entre os resultados (Figura 22).

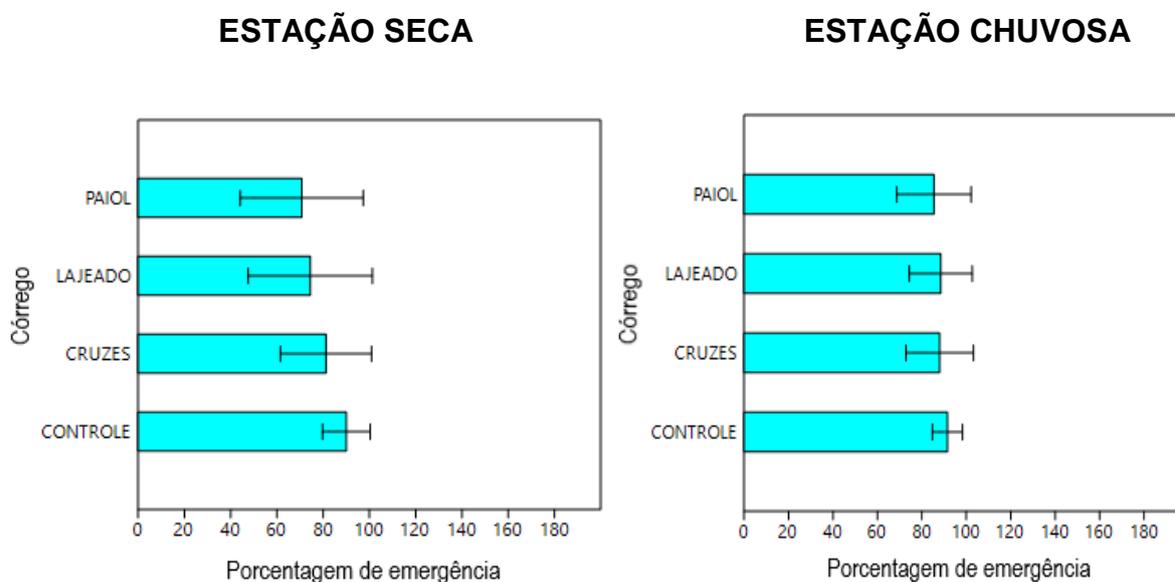
**Figura 21:** Porcentagem da taxa de emergência dos adultos de *Chironomus sancticaroli*, com desvio padrão, comparando os tratamentos e o grupo controle nas coletas realizadas nos meses de julho de 2020 e fevereiro de 2021.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Os resultados também foram analisados entre as estações seca e chuvosa. Na estação seca o teste de KRUSKAL-WALLIS mostrou haver diferença significativa entre os tratamentos e o grupo controle, com  $p$  (valor)  $\leq 0,05$ , sendo o ribeirão do Lajeado e o córrego Paiol os que diferiram do grupo controle. Na estação chuvosa o teste estatístico de KRUSKAL-WALLIS mostrou não haver diferença significativa entre os córregos analisados e o grupo controle, com  $p$  (valor)  $\geq 0,05$  (Figura 23).

**Figura 22:** Porcentagem da taxa de emergência dos adultos, com desvio padrão, entre as estações seca e chuvosa, realizadas nos meses de julho de 2020 e fevereiro de 2021.

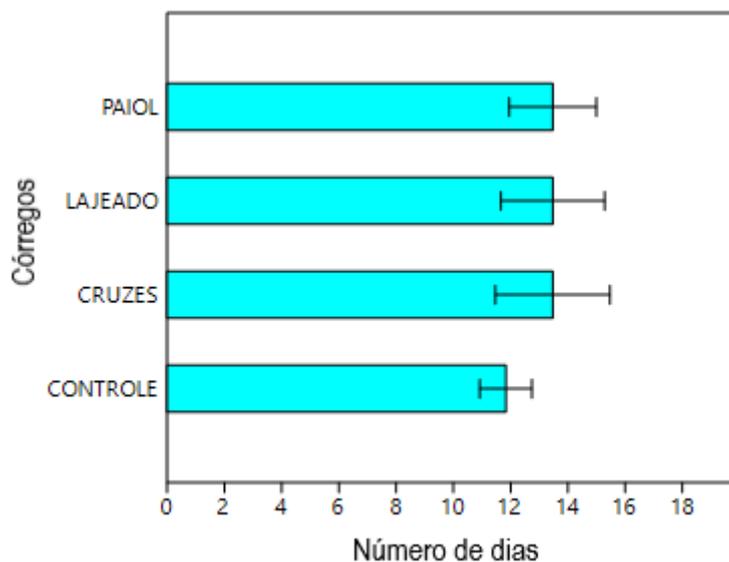


**Fonte:** Elaborada pelo autor.

### 5.7. Tempo de emergência

Os resultados do teste de KRUSKAL-WALLIS mostrou haver uma diferença significativa, com  $p(\text{valor}) \leq 0,05$ . Todos os córregos apresentaram diferença em comparação ao do grupo controle (Figura 24). Houve uma emergência média de 11,8 dias na para o grupo controle, enquanto O Ribeirão das cruces, Ribeirão do Lajeado e o Córrego do paiol tiveram 13,4 dias, 13,5 dias e 13,5 dias, respectivamente.

**Figura 23:** Tempo médio da emergência dos adultos de *Chironomus sancticaroli*, com desvio padrão, comparando os tratamentos e o grupo controle.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Os resultados também foram analisados separadamente por estação e comparados com o grupo controle (Tabela 08). Na estação seca (julho – agosto de 2020), os testes estatísticos de KRUSKAL-WALLIS E MANN-WHITNEY mostrou haver diferença significativa entre os tratamentos e o controle, com  $p(\text{valor}) \leq 0,05$ . Todos os córregos diferiram do grupo controle. Na estação chuvosa (janeiro – fevereiro 2021), os testes estatísticos de KRUSKAL-WALLIS e MANN-WHITNEY mostraram não haver diferença significativa entre o grupo controle e os córregos analisados.

**Tabela 8:** Média do tempo de emergência (em dias) anual, comparando os tratamentos em relação ao grupo controle.

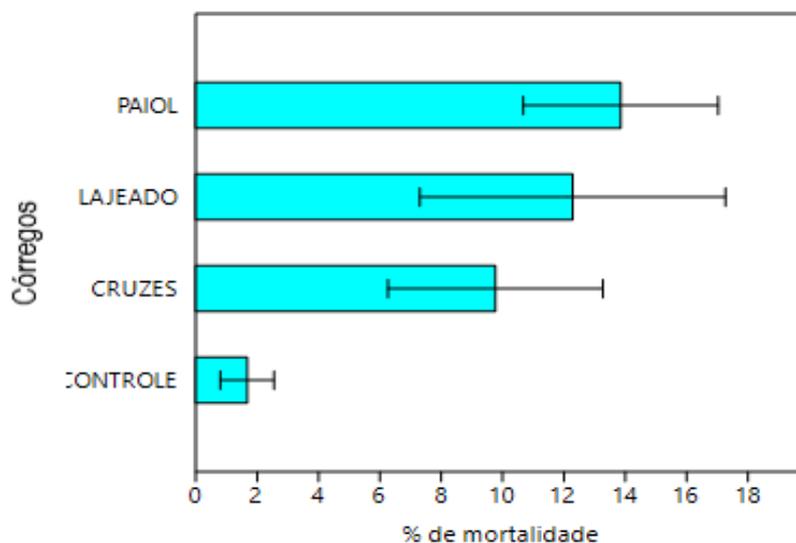
ESTAÇÃO	CONTROLE		CORPO HÍDRICO					
			CRUZES		LAJEADO		PAIOL	
	MÉDIA	D.P	MÉDIA	D.P	MÉDIA	D.P	MÉDIA	D.P
SECA	11,5	0,5	13,6	1,88	13,8	1,67	14	1,41
CHUVA	11,5	0,5	11,8	2,47	11,5	1,98	13,5	1,61

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

## 5.8. Mortalidade

Os resultados do teste de KRUSKAL-WALLIS e MANN-WHITNEY mostraram haver uma diferença significativa, com  $p(\text{valor}) \leq 0,05$ . Todos os sedimentos diferiram do grupo controle (Figura 25). Em relação ao grupo controle, que obteve uma média de 1,6%, todos obtiveram um aumento significativo, mas destes o Ribeirão das Cruzes obteve a menor porcentagem, ficando próximo aos 10%. O Córrego do Paiol obteve a maior média de porcentagem de mortalidade, ficando próximo aos 14%.

**Figura 24:** Taxa de mortalidade, expresso em porcentagem, com desvio padrão, dos tratamentos em comparação ao grupo controle.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Os dados da mortalidade também foram analisados entre as estações seca e chuvosa (Tabela 9). Entre as estações, os testes estatísticos de KRUSKAL-WALLIS mostraram que há uma diferença significativa entre os tratamentos, com  $p(\text{valor}) \leq 0,05$ .

**Tabela 9:** Porcentagem de mortalidade entre as estações seca e chuvosa.

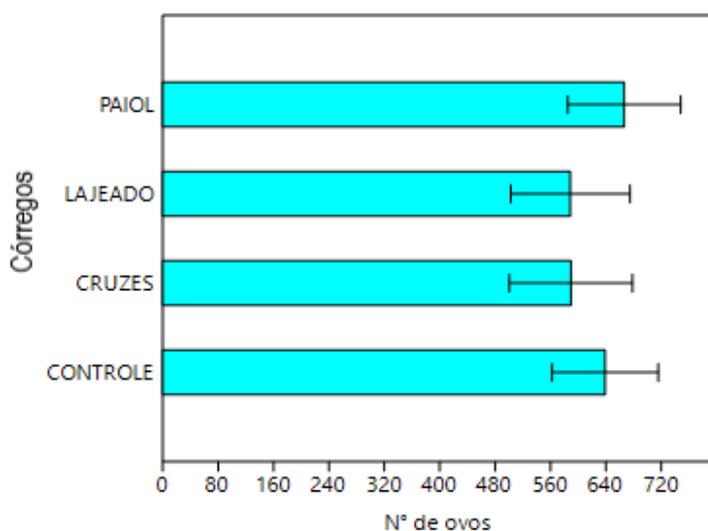
ESTAÇÃO	CONTROLE		CORPO HÍDRICO					
			CRUZES		LAJEADO		PAIOL	
	MÉDIA	D.P	MÉDIA	D.P	MÉDIA	D.P	MÉDIA	D.P
SECA	3,3	3,3	11,1	7,59	18,5	20,7	18,9	7,34
CHUVA	0,0	0,0	8,4	14,4	6,1	6,17	8,8	10,86

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

### 5.9. Avaliação da fecundidade potencial

O resultado do teste de KRUSKAL-WALLIS mostrou não haver uma diferença significativa em relação ao grupo controle, com  $p(\text{valor}) \geq 0,05$  (Figura 26).

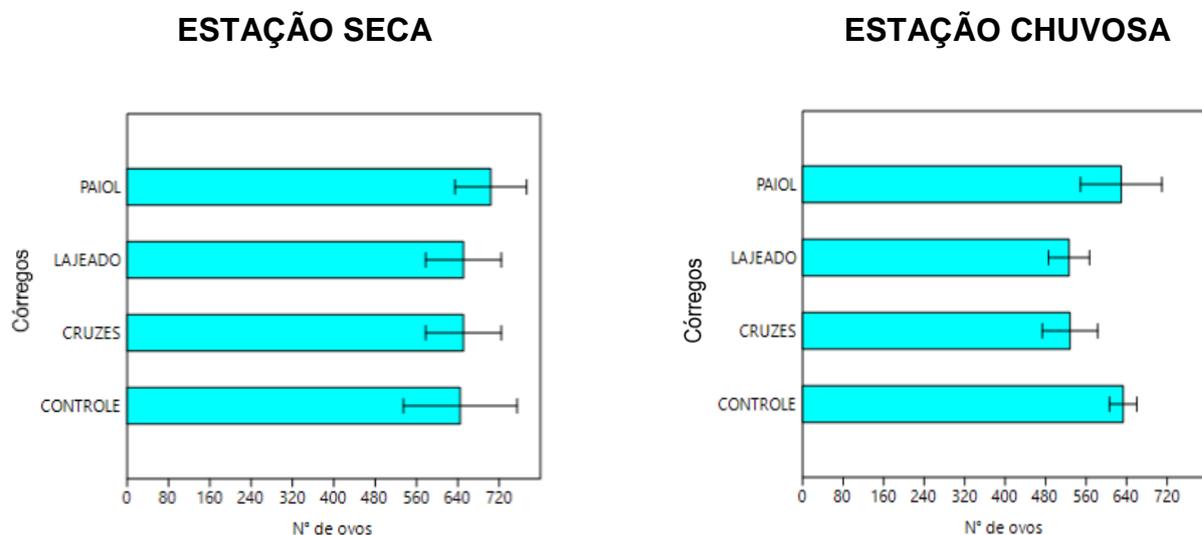
**Figura 25:** Fecundidade potencial das fêmeas, expressa em número de ovos, com desvio padrão, comparando os tratamentos e o grupo controle.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

A fecundidade potencial também foi analisada entre as estações seca e chuvosa (Figura 27). Na estação seca o teste estatístico de KRUSKAL-WALLIS mostrou não haver diferença significativa entre os tratamentos e o grupo controle, com  $p(\text{valor}) \geq 0,05$ . Na estação chuvosa os testes estatísticos de KRUSKAL-WALLIS e MANN-WHITNEY mostraram haver diferença significativa, com  $p(\text{valor}) \leq 0,05$ . Os tratamentos que diferiram do grupo controle foram o Ribeirão das Cruzes e o Ribeirão do Lajeado.

**Figura 26:** Fecundidade potencial das fêmeas de *Chironomus sancticaroli*, expressa em número de ovos, e seus respectivos desvios padrões, com sedimento coletado nas estações seca e chuvosa.

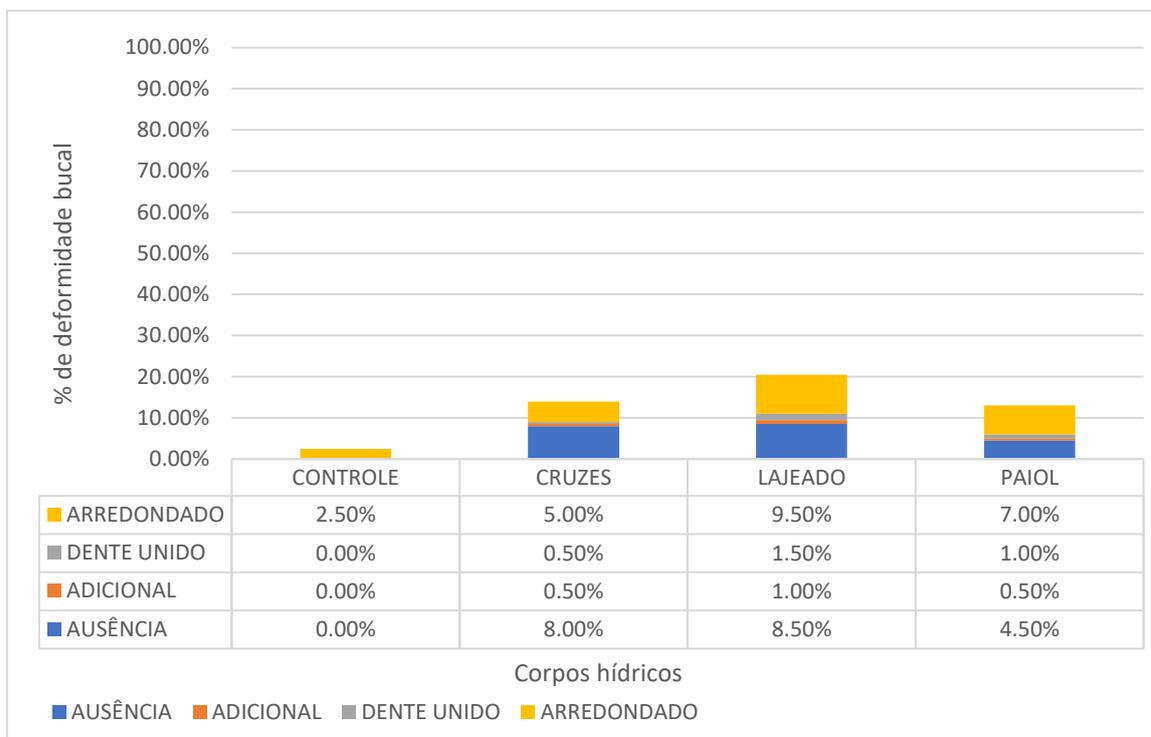


**Fonte:** Elaborada pelo autor.

### 5.10. Análise de deformidade bucal

O grupo controle apresentou uma taxa total de deformidade de 2,5%, sendo a mesma de grau fraco. Os animais criados no sedimento do Ribeirão das Cruzes apresentou uma taxa total de deformidade de 14%, não apresentando deformidades severas. Já no sedimento Ribeirão do Lajeado os mesmos apresentaram uma taxa total de deformidade de 20,5%, sendo 2,5% destas, deformidades severas. No sedimento do Córrego do paiol, os animais apresentaram uma taxa total de deformidade de 13%, não apresentando deformidades severas. Os tipos de deformidades e as porcentagens das mesmas estão colocadas na Figura 28.

**Figura 27:** Porcentagem de deformidade bucal em *Chironomus sancticaroli*, através do teste com sedimento natural nos corpos hídricos analisados.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

## **6. DISCUSSÃO**

### **6.1. Protocolo de Avaliação de Impacto Ambiental**

O protocolo avaliou, de forma macroscópica, o conjunto (corpo d'água mais a área de entorno). Dos 16 parâmetros analisados, 8 são exclusivos para análise macroscópica da água, e os outros 8 para o ambiente de entorno. Segundo Resh e Jackson (1993), esses protocolos são comparados aos termômetros para avaliar a saúde humana, visando analisar a normalidade (da saúde) através dos valores obtidos. Todos os corpos d'água analisados obtiveram pontuação acima ou igual a 40 pontos, o que os classifica como preservados.

Analisando separadamente cada córrego/ribeirão verificou-se pontos importantes em cada subconjunto (corpo d'água mais área de entorno), principalmente no tocante ao corpo hídrico, haja vista que este trabalho visa analisar a qualidade do sedimento aquático.

O Ribeirão das Cruzes (42 de 48 pontos) obteve parâmetros negativos (menor pontuação) principalmente no corpo hídrico, como odor na água, turbidez, material flutuante, erosão na margem e despejo de água pluvial por galerias, além do desague de seus tributários (4 córregos que desaguam entre o primeiro e o último ponto de coleta), o que na época de chuva acaba aumentando a vazão do ribeirão. Segundo o PROSAB, os sistemas de drenagem pluvial urbana, acabam por carrear uma quantidade variável de sedimentos, resíduos sólidos, resíduos domésticos e industriais, e período chuvoso a quantidade de água despejada no ribeirão acaba carreando consigo um aporte de matéria orgânica alóctone, substâncias diversas e outros materiais. Por mais que a classificação do ribeirão seja em caráter preservado, o corpo d'água em questão necessita de cuidados especiais, principalmente no

tocante aos materiais flutuantes. Segundo Felipe (2009), resíduos líquidos e sólidos podem acarretar a contaminação de águas subterrâneas. Outro ponto importante é a ausência de proteção do local nos pontos de coleta, o que facilita o uso do ribeirão para fins de recreação, principalmente a pesca.

O Ribeirão do Lajeado (45 de 48 pontos) obteve a maior pontuação no protocolo de AIA, sendo classificado como preservado. Desde a sua nascente, na área rural, o ribeirão se encontra rodeado pela monocultura de cana-de-açúcar, até desaguar no Ribeirão das Cruzes. O ribeirão se encontra em área particular, o que dificulta o uso por humanos para fins de recreação e também o uso de criação de animais doméstico. Os pontos negativos se deram apenas pela turbidez da água.

O córrego do Paiol obteve a menor pontuação, e mesmo sendo categorizado como preservado, necessita de cuidados especiais. Os pontos principais se dão pelo odor na água, o que sugere pontos de despejo de esgoto e um processo de eutrofização. Notou-se, próximo ao corpo d'água, criação de animais de grande porte, e por mais que área de acesso esteja cercada, os dejetos da criação tenderão a entrar no corpo d'água, principalmente em períodos mais chuvosos. Em outros pontos notou-se um assoreamento do córrego, com ausência total de vegetação de grande porte, encontrando-se somente gramíneas. Nessas áreas em questão notou-se ausência de proteção do local e uso por humanos e animais, principalmente do gênero *Equus* (cavalos, jumentos e mulas).

A proposta do protocolo de AIA foi analisar previamente, *in loco*, a qualidade da área nos pontos de coleta foi unir os dados dessa análise com os dados obtidos nos testes de toxicidade de sedimento. Por mais que todos foram classificados como preservados, essa classificação não foi diretamente proporcional com resultados encontrados nos testes laboratoriais.

Os resultados de mortalidade e deformidade bucal tiveram uma diferença significativa em relação ao grupo controle, ou seja, um aumento no número de mortalidade e de deformidades. Mesmo o protocolo de AIA não corroborar com os resultados ecotoxicológicos, não se deve descartar tal avaliação, haja vista que quando utilizado de forma preliminar, pode-se analisar se a interferência no corpo hídrico advém da área de preservação que se encontra degradada ou de fontes pontuais externas.

## **6.2. Análises físico-químicas**

Segundo a resolução CONAMA nº 357 de 2005, foram estabelecidos parâmetros com valores limites para se analisar a qualidade das águas de classe 2 e 3, sendo para o Oxigênio dissolvido uma concentração  $\geq 5,0$  mg/L, para o pH uma faixa de 6,0 a 9,0 e uma Condutividade  $\leq 100$   $\mu$ S/cm. Os resultados encontrados nas aferições em campo mostraram que os 3 corpos hídricos estão de acordo com dados estabelecidos pela Resolução.

## **6.3. Análise da matéria orgânica no sedimento**

Segundo Prezotti *et al.* (2007), a quantidade de matéria orgânica presente no sedimento será considerada baixa se seus níveis se encontrarem abaixo de 1,5%; na média se estiver entre em 1,5 e 3,0%, ou alta se estiver acima de 3,0%. Para Campagna (2008), resultados de M.O, inferior a 10% da matéria seca caracterizam o sedimento de como inorgânico, o que favorece a solubilização de minerais na coluna de água.

O Ribeirão das Cruzes obteve uma porcentagem abaixo de 1%, somente na estação seca nos pontos de coleta 2 e 3, localizados a jusante da estação de captação de água do município. A estação sofreu, na mesma época de coleta, dragagem do leito da represa devido ao acúmulo de areia, segundo o responsável pela estação de captação de água. Esse fator pode ter sido um motivo da baixa concentração de M.O, haja vista que a mesma teve um aumento 1,5% na estação seguinte, ou seja, chuvosa

Em todos os pontos observou-se um processo de erosão das margens e, conseqüentemente, carreamento do solo para dentro do corpo d'água. Para Reusser *et al.* (2015), erosão é o fenômeno de desgaste dos solos, com desagregação e deslocamento ou arrasto das partículas. Os processos erosivos são complexos e dependem de diversos fatores, como: água, temperatura, topografia, tipo de solo, cobertura vegetal, entre outros.

#### **6.4. Tempo de emergência**

Para o cálculo do tempo de emergência, somou-se os adultos (macho e fêmea), as larvas (todas de IV instar) e as pupas. Todos os tratamentos diferiram do grupo controle em aproximadamente 2 dias de atraso. Neste trabalho verificou-se um tempo de emergência de 12 dias para o grupo controle e de 14 dias para os tratamentos. Vários estudos demonstram algumas variáveis que podem interferir no tempo de emergência dos adultos, como a temperatura e a quantidade de alimento disponível (ZILLI, 2005). Em trabalhos realizados por Trivinho-Strixino (2011), verificou-se que temperaturas dentro de uma faixa de 21 a 24 °C, o tempo de emergência se encontra entre 15 e 17 dias.

Nunes (2015), analisando a potencialidade, em laboratório, da espécie *Chironomus sancticaroli* para trabalhos ecotoxicológicos, encontrou uma média de 15 dias para a emergência dos adultos. Outros fatores podem afetar o desenvolvimento dos adultos e conseqüentemente interferir na emergência, como a disponibilidade de espaço físico, filogenia, a disponibilidade de recursos, e a estabilidade de habitat (ZILLI, 2008).

O tempo de emergência encontrado no presente trabalho está de acordo com os encontrados em outros trabalhos, indicando que os sedimentos testados não afetaram o tempo de desenvolvimento da espécie.

#### **6.5. Taxa de emergência e Mortalidade**

Analisando a taxa de emergência anual, nota-se um declínio da emergência na estação seca, principalmente no Ribeirão do Lajeado e no Córrego do Paiol. Isso se deve a maior mortalidade encontrada nesses corpos d'água em relação ao Ribeirão das Cruzes. Ambos os córregos se situam em área rural (Lajeado) e de transição (Paiol), sendo os mesmos cercados por cana-de-açúcar.

Analisando a taxa de mortalidade média (anual) dos tratamentos, nota-se um aumento aproximado de 300% em relação ao grupo controle. Em ambas as estações, seca e chuvosa, os tratamentos obtiveram uma mortalidade superior em relação ao grupo controle, o qual apresentou uma média de mortalidade de 1,65%. Na estação seca foi observada a maior taxa de mortalidade, com um aumento de aproximadamente 400% para Ribeirão das Cruzes, e de 450% para o Ribeirão do Lajeado e para o Córrego do Paiol.

Vários compostos podem ser encontrados nos corpos d'água, como hormônios, cafeína, agrotóxicos, substâncias provenientes do esgoto doméstico, dentre outros. Nos períodos de chuva ocorre um aumento brusco de substâncias alóctone, favorecendo suas concentrações na estação seca. Dentre os agrotóxicos usados na monocultura da cana-de-açúcar destacam-se 24 compostos que apresentam elevada toxicidade, persistência no ambiente e alta mobilidade (BEDA, 2014; CARVALHO *et al.*, 2019).

Em testes empíricos, Dell'Acqua (2017) observou uma mortalidade próxima a 60% em relação ao hormônio  $17\alpha$ -etinilestradiol, onde os testes estatísticos mostraram indícios de toxicidade para a espécie *Chironomus sancticaroli*.

Segundo Rebechi (2012), o inseticida Malathion® causa distúrbios no sistema nervoso e no metabolismo das larvas de *Chironomus sancticaroli*, mesmo nas menores concentrações, inclusive na concentração máxima permitida pelo CONAMA para rios de classe 1.

Dentre os compostos que podem ser encontrados nos corpos d'água, deve-se levar em consideração as interações que podem ocorrer entre eles, como sinergismo e antagonismo. A presença de compostos não analisados aliado ao desconhecimento da toxicidade causada por tal interação podem contribuir para a complexidade da carga tóxica total da amostra (VERMEULEN, 1995).

Para Lee *et al.* (2000), o modo de alimentação dos quironomídeos (ingestão de partículas do sedimento bruto) favorece a interação entre as partículas ingeridas durante o processo digestivo, promovendo a disponibilização de compostos químicos e sua absorção pelos organismos.

Utilizando os preceitos de Barbosa (2000), adaptou-se uma classificação para a toxicidade do sedimento, onde dependendo da porcentagem de sobreviventes, o sedimento será considerado : Tóxico (sobrevivência < 50%), ter indícios de toxicidade ( 50% < sobrevivência < 90%) ou não tóxico ( sobrevivência > 90%).

De modo geral os resultados sugerem que os sedimentos analisados possuem indícios de toxicidade.

#### **6.6. Avaliação da fecundidade potencial**

Na fecundidade potencial das fêmeas os testes estatísticos mostraram haver diferença significativa entre o grupo controle e os ribeirões das Cruzes e do Lajeado. A média de ovos encontrados no grupo controle foi de 662 ovos, no Ribeirão das cruzes foi de 604 ovos, no Ribeirão do Lajeado foi de 633 ovos, e no Córrego do Paiol foi de 644 ovos.

Segundo Strixino-Strixino (1982), o fator alimentação, na fase larval, está diretamente relacionado com tempo de desenvolvimento e a quantidade de ovos depositadas pelas fêmeas. Também encontrou-se relação entre temperatura, variando entre 15 e 18°C, e o atraso na maturação dos ovos nas fêmeas adultas, juntamente com a diminuição da fecundidade potencial, devido a energia absorvida ser utilizada para a própria manutenção.

Em trabalhos anteriores foram encontrados resultados na fecundidade potencial variando entre 500 e 600 ovos (FONSECA e ROCHA,2004). No trabalho de Strixino-Strixino (1982) também foram encontrados uma fecundidade potencial de 500 a 1045 ovos, com uma média de 744 ovos.

Mesmo as análises estatísticas mostrando uma diferença entre a fecundidade potencial do grupo controle em relação aos ribeirões das Cruzes e do Lajeado, não se pode inferir que os sedimentos analisados interferiram na fecundidade potencial das fêmeas, pois os resultados estão dentro do observado na literatura.

### **6.7. Análise de deformidade bucal**

No grupo controle encontrou-se deformidades leves em 2,5% das cápsulas analisadas, do tipo desgaste de dente principal. Mesmo o sedimento do controle sendo estéril, em trabalhos anteriores também se encontrou deformidades no mesmo grupo. No trabalho de Dornfeld (2006) observou-se uma variação de 2,0 a 3,0 % de deformidade no mento nos organismos do grupo controle. Nos estudos realizados por Vermeulen *et al.* (2000), verificou-se alta incidência de deformidade no mento em suas culturas e nos controles de seu experimento, chegando a 30%, concluindo-se que o cruzamento entre parentes nas culturas é tido como maior fator responsável pelas deformidades nos controles.

No Ribeirão das Cruzes, localizado em área urbana, encontrou-se uma porcentagem de deformidade em torno de 14%, um aumento de 560% em relação ao grupo controle. Nos estudos realizados por Kuhlmann *et al.* (2000), no Rio Tietê (São Paulo), observou-se alterações no aparelho bucal de *Chironomus* em 11,3% das larvas. Para Milesi *et al.* (2008), altos valores de Cobre e Zinco propiciam a incidência de deformidade de mento, atribuindo a relação entre córregos urbanos e tal incidência. Para Bird (1994) as alterações biológicas em larvas de Chironomidae estão ligadas com a severidade de degradação ambiental e que áreas intensamente urbanizadas tendem a apresentar maiores índices de deformidades.

No Ribeirão do Lajeado, localizado em área estritamente agrícola, encontrou-se uma porcentagem de deformidade em torno de 20,5%, um aumento em torno de 800% em relação ao grupo controle. Entre as deformidades, verificou-se mais de uma anomalia em um mesmo ponto em 2,5% do total de pontos analisados. As atividades agrícolas contribuem para o alto potencial poluidor por metais pesados dos insumos agrícolas de uso continuado, pois em grandes quantidades, os mesmos são capazes de aumentar os teores de elementos químicos a níveis potencialmente tóxicos (SANTOS, 2019). Couceiro (2005), em seu trabalho, encontrou deformidades bucais em larvas de *Chironomus* nas bacias do Educandos e na bacia do São Raimundo (Manaus – Amazonas), associando tal anomalia as altas concentrações de metais pesados (cobre, cromo, níquel e zinco). Dentre as principais fontes de metais pesados temos os fertilizantes minerais (MEHMOOD *et al.*, 2009) e os agrotóxicos (DEFARGE *et al.*, 2018).

No Córrego do Paiol, localizado em uma área urbano-rural, encontrou-se uma porcentagem de deformidade em torno de 13%, um aumento de 520% em relação ao grupo controle. Os resultados coincidem com os do Ribeirão das Cruzes, sugerindo que as atividades antrópicas influenciaram na qualidade do sedimento no corpo d'água em questão.

Em estudos realizados pela CETESB em 2002, no rio Atibaia (Itatiba – S.P), local considerado de boa qualidade ambiental pela mesma agência, onde não foram encontrados contaminantes ambientais no sedimento, obteve-se uma incidência de deformidade de ponto de 2,4%. Em outros trabalhos, como o de Burt *et al.* (2003), estipula-se um índice aceitável de incidência de deformidade de 3%.

Levando-se em consideração os resultados obtidos deste trabalho e comparando com trabalhos anteriores (CETESB, 2002; BURT, 2003), pode-se inferir

que o sedimento nos 3 corpos d'água analisados possuem um grau, ainda desconhecido, de contaminação. Para tanto necessita-se de estudos posteriores para analisar possíveis contaminantes presentes nos sedimentos.

## 7. CONCLUSÃO

- O protocolo de avaliação de impacto ambiental se mostrou ineficaz como ferramenta de uso exclusivo na caracterização de preservação. Os resultados dos parâmetros mortalidade e deformidade bucal na espécie bioindicadora sugerem que o sedimento não apresenta boa qualidade.
- Na variável tempo de emergência dos adultos foram comparados com outros trabalhos realizados por outros pesquisadores para o mesmo organismo teste, e não se encontrou indícios que os sedimentos testados interferiram no desenvolvimento dos organismos, o que sugere a necessidade de testes com um número maior de organismos, minimizando possíveis erros nos resultados.
- Na variável taxa de emergência verificou-se uma diferença significativa quando comparada ao grupo controle, principalmente na estação seca, o que sugere a possibilidade de ocorrência de substâncias alóctones oriundas das áreas de entorno.
- Os testes mostraram uma mortalidade significativa, em comparação ao grupo controle, principalmente na estação seca, ficando entre 15 e 20%, sugerindo a possibilidade de ocorrência de substâncias alóctones oriundas das áreas de entorno. Esse parâmetro se mostra eficaz em análises emergenciais, ou seja, que necessitem de respostas rápidas sobre a qualidade do sedimento.

- No parâmetro fecundidade potencial das fêmeas os resultados não mostraram anormalidades em relação a trabalhos de pesquisa anteriores, sugerindo que o sedimento não interfere na fecundidade potencial das fêmeas. Porém, para se obter um resultado com mais confiabilidade, necessita-se de uma amostragem maior de asas de fêmeas, com  $n > 100$ .
- Na análise de deformidade bucal verificou-se a presença de deformidades em todos os sedimentos analisados, sugerindo a presença de compostos que estão contribuindo para este evento.
- De modo geral, verificou-se uma homogeneidade na qualidade do sedimento entre as áreas analisadas. Era esperado que tais áreas, sendo consideradas como preservadas, segundo o protocolo de avaliação de impacto ambiental, tivessem uma qualidade do sedimento compatível com a área de entorno. Há uma visão que somente a preservação e manutenção das APP's é suficiente para abranger a qualidade total do conjunto APP mais recurso hídrico, o que não foi comprovado neste trabalho.
- Para uma melhor compreensão dos resultados e para uma ação de recuperação da qualidade do sedimento, deve-se analisar possíveis substâncias alóctones presentes no sedimento e como ocorre a dinâmica de entrada dessas substâncias.

- A visão para a qualidade do sedimento aquático deve ser ampliada através de pesquisas realizadas como as desse trabalho, que podem inclusive ser realizadas por órgãos de fiscalização ambiental, após treinamento prévio, haja vista que um dos objetivos deste trabalho é fornecer uma ferramenta cuja implementação seja viável.
- Os parâmetros mortalidade e deformidade bucal se mostraram eficientes para uma análise sobre a qualidade do sedimento. Ambos podem ser realizados em análises crônicas de 10 dias, fazendo com que os órgãos de fiscalização ambiental possam identificar, em pouco tempo e com eficiência, como está a qualidade do sedimento dos corpos hídricos.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA (Brasil); COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Guia nacional de coleta de preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. Brasília, DF: ANA; São Paulo: CETESB, 2011.
- [Abnt] Associação Brasileira De Normas Técnicas. 2015. - **Ecotoxicologia - Coleta, Preservação E Preparo De Amostras**. Abnt Nbr 15469, Segunda Edição, 16.12.2015
- ADAMS, W. J.; ROWLAND, C. D. Em Handbook of Ecotoxicology; Hoffman, D. J.; Rattner B. A.; Burton Jr., G. A.; Cairns Jr., J., eds.; 2<sup>nd</sup> ed., Lewis Publishers: Boca Raton, 2003, cap. 2.
- ALLAN, J. D. **Stream ecology: structure and function of running waters**. London, Chapman & Hall, 388p, 1995.
- ASHE, P. A **catalogue of chironomid genera and subgenera of the world including synonyms (Diptera: Chironomidae)**. Entomologica Scandinavica (Suppl) v17. Pag. 3-17. 1983.
- BALDAN, L. T. **Macroinvertebrados em cavas adjacentes ao rio iguaçu e uso de chironomus xanthus rempel, 1939 como potencial bioindicador ambiental**. Tese (Doutorado - Área de Concentração em Zoologia). 97 p. Universidade federal do Paraná – Curitiba. PR. 2012.

BARBOSA, R. M. **Avaliação do impacto de efluentes (lodos) de estações de tratamento de água à biota aquática através de testes de toxicidade.** 2000. 199 f. Tese (Doutorado) – Escola de engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2000.

BEDA C. **Avaliação de agrotóxicos de uso canavieiro em águas subterrâneas: uma proposta para o Sistema Aquífero Guarani.** 2014. 98f. Dissertação (Mestrado em Ciências na área de Enfermagem Saúde Pública). Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto. 2014.

BERNEGOSI, A.; CORBI, J. **Efeitos crônicos da cafeína em concentrações subletais no macroinvertebrado aquático Chironomus sancticaroli em teste de geração.** 2019.

BIRD, G. A. **Use of Chironomid deformities to assess environmental degradation in the Yamaska River, Quebec.** Environmental Monitoring and Assessment, v.30, p.163-175, 1994.

BOTTÉ, S.E., HUGO FREIJE, R. & MARCOVECCHIO, J.E. **Dissolved Heavy Metal (Cd, Pb, Cr, Ni) Concentrations in Surface Water and Porewater from Bahia Blanca Estuary Tidal Flats .** Bull Environ Contam Toxicol. v.79, p.415–421. 2007.

BRASIL. **LEI Nº 12.727, DE 17 DE OUTUBRO DE 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. 2012. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm).

BURT, J.; CIBOROWSKI, J. J. H.; REYNOLDSON, T. B. **Baseline incidence of Mouthpart Deformities in Chironomidae (Diptera) From The Laurentian Great Lakes, Canadá.** Journal of Great Lakes Research, v. 29, n. 1, p. 172-180, 2003.

CAIRES, C. E. M. **Análises Físico-Químicas, Ecotoxicológicas e Risco Ambiental de Ambientes Aquáticos em Assentamentos.** Dissertação (mestrado em meio ambiente). 77 p. Universidade de Araraquara – UNIARA. Araraquara – SP. 2018

CAIRNS, JR. J.; NIEDERLE B. R.; BIDWELL, J. R. **Ecological toxicity testing.** In: MEYERS R. A. Encyclopedia environmental analysis and remediation. 1998.

CAMPAGNA, A. F.; FRACÁCIO, R.; RODRIGUES, B. K.; ELER, M. N., FENERICH VERANI, N.; ESPÍNDOLA, E. L. G. **Analyses of the sediment toxicity of Monjolinho River, São Carlos, São Paulo State, Brazil, using survey, growth and gill morphology of two fish species (*Danio rerio* and *Poecilia reticulata*).** Brazilian Archives of Biology and Technology, v. 51, n. 1, p. 193-201, 2008.

CAMPAGNA, A. F. **Estudos limnológicos e ecotoxicológicos da bacia do alto Jacaré – Guaçu com ênfase no desenvolvimento de sedimentos artificiais para avaliação da toxicidade do cromo.** Tese (Doutorado). 2010, 188 p. Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010.

CARMO, D. L.; SILVA, C. A. **Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos.** Revista Brasileira de Ciências do Solo. Pag.1211 – 1220. 2012.

CARVALHO, A.G.B.M; SANTOS, R.M. **Córregos urbanos na visão da justiça ambiental: uma reflexão na bacia hidrográfica do córrego da onça - Três Lagoas/M.S – Brasil.** Bol. geogr., Maringá, v. 31, n. 1, p. 79-90, jan.-abr., 2013.

CARVALHO, A.P.G.C; PEREIRA, D.; BORGES, E.A.; OLIVEIRA, G.P.; SANTOS, M.C.N.P.; MORAIS, R.O.A.; MAIA, A.L.; POIARES, D.A.; PINTO, L.C.; GUERRA, S.F.S. 2019. **Detecção de pesticidas organoclorados na água e a associação da exposição humana à esses poluentes com o risco de diabetes mellitus tipo 2.** Revista Destaques Acadêmicos, Lajeado, 11(3):71-83.

CAVALCANTI, V. A. Avaliação da toxicidade de sedimento e água contaminados com azocorantes têxteis utilizando *Chironomus xanthus* e *Daphnia similis*. Dissertação (mestrado). 78 p. Escola Nacional de Saúde Pública – FIOCRUZ. Rio de Janeiro – RJ. 2010.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo, 2002.** São Paulo, 2003.

CETESB - DECRETO N. 8.468, DE 8 DE SETEMBRO DE 1976 Aprova o Regulamento da Lei n. 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a Prevenção e o Controle da Poluição do Meio Ambiente.  
[https://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/Servicos/licenciamento/postos/legislacao/Decreto\\_Estadual\\_8468\\_76.pdf](https://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/Servicos/licenciamento/postos/legislacao/Decreto_Estadual_8468_76.pdf).

COSTA, Lúcia Maria Sá Antunes (org). **Rios e paisagens urbanas em cidades brasileiras**. Viana; Mosley. Ed. PROURB, Rio de Janeiro, 2006.

COSTA, C. R. OLIVI, P; BOTTA C. M. R.; ESPINDOLA E. L. G. **A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação**. Quím. Nova, São Paulo, v.31, n.7, p.1820-1830, 2008. Organismos teste: *Chironomus sancticaroli*.

COTTA, J. A. O.; REZENDE, M. O. O.; PIOVANI, M. R. **Avaliação do teor de metais em sedimento do Rio Betari no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira - Petar, São Paulo, Brasil**. Química Nova, v. 29, n. 1, 2006.

COUCEIRO, S.R.M. **Efeitos do desmatamento e da poluição sobre riqueza, densidade e composição de macroinvertebrados aquáticos de igarapés urbanos de Manaus, Amazonas**. Dissertação (Mestrado em Biologia Tropical e Recursos Naturais). 98 p. Universidade Federal do Amazonas - Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia. Manaus, Amazonas. 2005.

CUMMINS, K. W.; KLUG, M. J. **Feeding ecology on stream invertebrates**. *Annual Review of Ecology and Systematic*, 10: 147-172. 1979.

DAAE. Departamento Autônomo de Água e Esgoto. **Mapeamento das nascentes para certificação do selo verde azul 2018**. Araraquara – S.P. 2017.

DEFARGE, N.; VENDÔMOIS, J. S. ; SÉRALINI, G. E. **Toxicity of formulants and heavy metals in glyphosate-based herbicides and other pesticides. Toxicology Reports**, [S.l.], v. 5, p. 156-163, 2018.

DELCOL, R.F.R. **A discussão urbanística e ambientalista na percepção das APP**. Anais...Maringá: SIMPGEU, 2009.

DELL'ACQUA, M. M. **Efeito do hormônio 17 $\alpha$ -etinilestradiol sobre a biologia de *Chironomus sancticariol* (Chironomidae, Diptera)**. Dissertação (mestrado em Ciências). 80 p. Universidade de São Paulo – USP. São Carlos – S.P. 2017.

DORNFELD, C. B. **Utilização de análises limnológicas, bioensaios de toxicidade e macroinvertebrados bentônicos para o diagnóstico ambiental do reservatório de Salto Grande (Americana, SP)**. Dissertação de Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos – S.P. 2002.

DORNFELD, C. B. **Utilização de *Chironomus* sp (Diptera, Chironomidae) para a avaliação da qualidade de sedimentos e contaminação por metais**. 2006. 239 pag. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.

DUARTE, L. B. **Ocupação urbana e degradação ambiental na área de preservação permanente do Córrego Prosa em Campo Grande – MS**. 295p. Dissertação (Mestrado em urbanismo). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – S.C. 2014.

DRIVER, E. A.; SUGDEN, L. G.; KOVACH, R. J. **Calorific, chemical, physical values of potential duck foods**. Freshwat. Biol. v. 4. Pag. 281-292. 1974.

ESTEVEES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

EZAKI, S.; HYPOLITO, R.; PÉREZ-AGUILAR, A.; MOSCHINI, F. A. **Avaliação da qualidade das águas e sedimentos na microbacia hidrográfica do Córrego do Ajudante, Salto (SP)**. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 30, n. 3, p. 415-430, 2011.

FELIPPE, M. F.; MAGALHAES JR., A. P. **Consequências da ocupação urbana na dinâmica das nascentes em Belo Horizonte-MG**. In: VI Encontro Nacional sobre Migrações, 2009, Belo Horizonte. Anais do.... Belo Horizonte: ABEP, 2009.

FONSECA, A. L., 1997, **Avaliação da qualidade da água na Bacia do Rio Piracicaba através de testes de toxicidade com invertebrados**. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 211 p.

FONSECA, A. L. & Rocha, O. 2004. **Laboratory cultures of the native species *Chironomus xanthus* Rempel, 1939 (Diptera, Chironomidae)**. Acta Limnologica Brasiliensia 16: 153–161.

FURTADO, A. L. S.; CASPER, P.; ESTEVES, F. A. **Methanogenesis in an impacted and two dystrophic coastal lagoons (Macaé, Brazil)**. Brazilian Archives of Biology and Technology, v. 45, p. 195-20, 2002.

GHERARDI-GOLDSTEIN, E.; BERTOLETTI, E.; ZAGATTO, P. A.; ARAÚJO, R. P. A.; RAMOS, M. L. L. C. **Procedimentos para Utilização de Testes de Toxicidade no Controle de Efluentes Líquidos, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB)**. São Paulo, 1990.

- GOLDIN, A. **Reassessing the use of loss-on-ignition for estimating organic matter content in noncalcareous soils.** *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.*, 18:1111-1116. 1987.
- GOMES, E. R. **Diagnóstico e avaliação ambiental das nascentes da serra dos matões, município de pedro II, Piauí.** Tese (doutorado em Geografia). 137 p. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP. Rio Claro – SP. 2015.
- GORETTI, E.; PALLOTTINI, M.; PAGLIARINI, S.; LA PORTA, M. C. G.; SELVAGGI, R.; GAINO, E.; DI GIULIO, A. M.; ALI, A. 2020. "Uso de Deformidades Morfológicas Larvais em *Chironomus plumosus* (Chironomidae: Diptera) como Indicador de Contaminação Ambiental de Água Doce (Lago Trasimeno, Itália)" *Água* 12, nº. 1: 1. <https://doi.org/10.3390/w12010001>
- GOULART, M. D. C.; CALLISTO, M. **Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental.** *Revista da FAPAM*, ano 2, n.1, pag. 153-164. 2003.
- HAMADA, N.; NESSIMIAN, J. L.; QUERINO, R. B. **Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia.** Manaus: Editora INPA. 2014.
- HAMMER, Ø., Harper, D.A.T., Ryan, P.D. 2001. **PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis.** *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9pp.

HIGASHI, Erika Silva. **Bioensaios de toxicidade da água do efluente de biofiltros em areia como ferramenta de avaliação da qualidade da água.** 2016. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-16092016-105143/>>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População rural e urbana.** Disponível em :<https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/populacao>. 2015.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados.** Disponível em : <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/araraquara.html>. 2020.

KHAN, R.; ISRAILI, S.H.; AHMAD, H. & MOHAN, A. **Heavy Metal Pollution Assessment in Surface Water Bodies and its Suitability for Irrigation around the Neyevli Lignite Mines and Associated Industrial Complex,** Tamil Nadu, India. *Mine Water and the Environment* v. 24, p.155–161. 2005.

KENDALL, R. J.; Anderson, T. A.; Baker, R. J.; Bens, C. M.; Carr, J. A.; Chiodo, L. A.; Cob III, G. P.; Dickerson, R. L.; Dixon, K. R.; Frame, L. T.; Hooper, M. J.; Martin, C. F.; McMurry, S. T.; Patino, R.; Smith, E. E.; Theodorakis, W. Em **Casarett and Doull's Toxicology – The Basic Science of Poisons;** Klaassen, C. D., ed.; 6th ed., MacGraw-Hill: New York, 2001, cap. 29.

KUHLMANN, M. L.; HAYASHIDA, C. Y.; ARAÚJO, R. P. A. **Using Chironomus (Chironomidae: Diptera) mentum deformities in environmental assessment.** *Acta Limnologia Brasiliensia*, v.12, p.55-61, 2000.

LEE, B. G.; GRISCOM, S.B.; LEE, J.S.; CHOI, H.J.; KOH, C.H.; LUOMA, S.N.; FISHER, N.S. **Influences of dietary uptake and reactive sulfides on metal bioavailability from aquatic sediments**. Science n. 287, p. 282-284, 2000.

LOPES, N. P.; QUEIROZ, M. E. L. R.; NEVES, A. A. **INFLUÊNCIA DA MATÉRIA ORGÂNICA NA ADSORÇÃO DO FUNGICIDA TRIADIMENOL PELO SOLO**. QUIM. NOVA, VOL. 25, NO. 4, 544-547, 2002.

LOPES, M. G.; SANCHES, N. A. O.; GORNI, G. R.; CORBI, J. J.; CORBI, V. C. **Qualidade da água em nascentes do município de Araraquara-SP: uma abordagem utilizando bioindicadores ambientais**. REVISTA BRASILEIRA MULTIDISCIPLINAR – REBRAM. Vol. 22. N1. 2019. Pag: 109-120.

MEDEIROS, G. A.; ARCHANJO, P.; SIMIONATO, R.; REIS, F. A. G. V. **Diagnóstico da qualidade da água na microbacia do Córrego Recanto, em Americana, no Estado de São Paulo**. Geociências, v. 28, n. 2, p. 181-191, 2009.

MEHMOOD, T.; CHAUDHRY, M. M.; TUFAIL, M.; IRFAN, N. **Heavy metal pollution from phosphate rock used for the production of fertilizer in Pakistan**. Microchemical Journal, New York, v. 91, n. 1, p. 94-99, 2009.

MENDES, I. A. S.; RIBEIRO, E. V. **A qualidade da água e do sedimento na bacia do córrego tripuí, Ouro Preto – MG: ensaios de ecotoxicidade e uso do solo**. REVISTA GEONORTE, Edição Especial 4, V.10, N.1, p.46-51, 2014. (ISSN 2237-1419)

- MILESI, S. V.; BIASI, C.; RESTELLO, R. M.; HEPP, L. U. **Efeito de metais Cobre (Cu) e Zinco (Zn) sobre a comunidade de macroinvertebrados bentônicos em riachos do sul do Brasil**. Acta Scientiarum Biology Science, v.30, n.3, p.283–289, 2008.
- MORAIS, G. S. **Efeitos genotóxicos e biológicos em Chironomus sancticaroli (Strixino & Strixino, 1981) causados pela exposição ao fenantreno**. Dissertação (mestrado em entomologia). 75 p. Universidade federal do Paraná. Curitiba – PR. 2014.
- NUNES, I. V. O. **Estudo do ciclo de vida de uma espécie subtropical de chironomidae (insecta: diptera) com potencial uso nos ensaios ecotoxicológicos**. Dissertação (mestrado Meio Ambiente e Recursos Hídricos). 123 p. UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ – MG. 2015.
- OECD. Organization for Economic Co-operation and Development. 2004. Sediment Water Chironomid Toxicity Test Using Spiker Water. **Guidelines for Testing of Chemicals 219**.
- OLIVEIRA, M. Z.; VERONEZ, M. R.; TURANI, M.; REINHARDT, A. O. **Imagens do Google Earth para fins de planejamento ambiental: uma análise de exatidão para o município de São Leopoldo/RS**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, 2009. p. 1835-1842.
- PEREIRA, J. C.; GUIMARÃES-SILVA, A. K.; NALINI JÚNIOR, H. A.; PACHECO-SILVA, E.; LENA, J. C. **Distribuição, fracionamento e mobilidade de elementos-traço em sedimentos superficiais**. Química Nova, v. 30, n. 5, p. 1249- 1255, 2007.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ARARAQUARA. **Mapas Georreferenciados da Hidrografia Urbana, das APP's Vegetadas e dos Maciços Urbanos.** Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 2017.

PROSAB – Programa de pesquisa em saneamento básico. **Manejo de águas pluviais urbanas.** 1ª ed. 2009. Editora ABES. Natal – RN. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/prosab/index.html>. Acesso em: 12 outubro de 2020.

RAND, G. M.; PETROCELLI S. R. **Fundamentals of aquatic toxicology: methods and applications.** Washington. Hemisphere Publishing. 1985.

RAND, G. M.; WELLS, P. G.; MCCARTY, L. S. **Em Fundamentals of Aquatic Toxicology: Effects, Environmental Fate, and Risk Assessment;** Rand, G. M., ed.; 2<sup>nd</sup> ed., Taylor & Francis: Washington, 1995, cap. 1.

REBECHI, D. **Efeitos ecotoxicológicos em *Chironomus sancticaroli* Strixino & Strixino, 1981 (Diptera: Chironomidae) expostos ao malathion.** Dissertação (Mestrado). 2012. 85 p. Universidade Federal do Paraná, 2012.

RESH, V. H. & JACKSON, J. K., 1993. **Rapid assessment approaches to biomonitoring using benthic macroinvertebrates.** In: **Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates** (D. M. Rosenberg & V. H. Resh, ed.), pp. 195-233, New York: Chapman & Hall.

REUSSER, L.; BIERMAN, P.; ROOD, D. **Quantifying human impacts on rates of erosion and sediment transport at a landscape scale.** *Geology*, v. 43, n. 2, p.171-174, fev. 2015.

- RIBEIRO, L. O.; UIEDA, V. S. **Estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos de um riacho de serra em Itatinga, São Paulo, Brasil.** Revista Brasileira de Zoologia, v.22, n.3, p.613-618, 2005.
- RIBO, J. M.; **Environ. Toxicol. Water Qual.** 1997, 12, 283.
- ROBAINA, L. E.; FORMOSO, M. L. L.; PIRES, C. A. F. **Metais pesados nos sedimentos de corrente, como indicadores de risco ambiental - Vale do Rio Sinos, RS.** Revista do Instituto Geológico, v. 23, n. 2, p. 35-47, 2002.
- RODELLA, A. A.; ALCARDE, J. C. Avaliação de materiais orgânicos empregados como fertilizantes. *Sci. Agric.*, 51:556-562. 1994.
- ROSIU, C. J. GYESI, J. P. KREIS, JR. R. G. **toxicity of vertical sediments in the treton channel.** Detroit River, Michigan, to *Chironomus tentans* (Insecta Chironomidae). *J. Great Lakes Res.* V15. N4. P570-580. 1989.
- SANTIAGO, C. D.; CUNHA-SANTINO, M. B. **Avaliação preliminar da qualidade dos sedimentos de duas nascentes, córrego espriado e rio monjolinho, São Carlos – SP.** REVISTA DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS - RCA (ISSN 1981-8858). 16 p. Canoas, vol. 8, n. 1, 2014.
- SANTOS, D. S. **Metais pesados em áreas agrícolas e cerrado nativo no oeste da bahia.** Tese (Doutorado na área de concentração em Fitotecnia). 103 p. Universidade Federal de Uberlândia – UBERLÂNDIA – MG. 2019.

SARAIVA, V. K. *et al.* **Avaliação da qualidade de sedimentos - estudo de caso: sub-bacia do Ribeirão Espírito Santo, afluente do Rio São Francisco.** Química Nova [online]. 2009, v. 32, n. 8 [Acessado 3 Março 2022]. pp. 1995-2002. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000800003>>. Epub 26 Nov 2009. ISSN 1678-7064. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000800003>.

SAVINO, J. F.; MARSCHALL, E. A.; STEIN, R. A. **Bluegill growth as modified by plant density: An exploration of underlying mechanisms.** Oecologia (Heidelberg). v. 89. n.2. pag. 153-160. 1992.

SHRIVASTAVA, P.; SAXENA, A. & SWARUP, A. **Heavy metal pollution in a sewage-fed lake of Bhopal, (M. P.) India.** Lakes & Reservoirs: Research and Management v.8, p. 1–4. 2003.

SOARES, H. M. V. M.; BOAVENTURA, R. A. R.; MACHADO, A. A. S. C.; ESTEVES da SILVA, J. C. G. **Sediments as monitors of heavy metal contamination in the Ave River Basin (Portugal): multivariate analysis of data.** Environmental Pollution, v. 105, p. 311-323, 1999.

SPIES, M.; REISS, F. **Catalog and bibliography of neotropical and Mexican Chironomidae (Insecta, Diptera).** Spixiana v.22. Pag. 61-119. 1996.

STRIXINO, S. T. **Estudos sobre a fecundidade de *Chironomus sancticaroli* sp. (Diptera: Chironomidae).** Tese de Doutorado. Inst. Biociências, USP. 157 p. 1980.

STRIXINO, S. T. & Strixino, G., 1982b. **Ciclo de vida de *Chironomus sancticaroli* (Diptera: Chironomidae).** *Revta bras. Ent.*, 26(2): 183-189.

- TOKESHI, M. Production ecology. In: ARMITAGE, P. D.; CRANSTON, P. S.; PINDER, L. C. V. **The Chironomidae: biology and ecology of non-biting midges.** Chapman & Hall, London, UK, pag. 269-296. 1995.
- TRIVINHO-STRIXINO, S.; STRIXINO, G. **Nova espécie do gênero *Chironomus* Meigen do Sul do Brasil (Diptera: Chironomidae).** Rev.Bras. Entomol. v 25. n 4. Pag. 333-340. 1981.
- VERMEULEN, A.C. **Elaborating chironomid deformities as bioindicators of toxic sediment stress: the potencial application of mixture toxicity concepts.** Ann. Zool. Fennici. v. 32, p. 265-285, 1995.
- VERMEULEN, A.C.; LIBERLOO, G.; DUMONT, P.; OLLEVIER, F. GODDEERIS, B. **Exposure of *Chironomus riparius* larvae (diptera) to lead, mercury and b-sitosterol: effects on mouthpart deformation and moulting.** Chemosfere. v. 41, p. 1581- 1591, 2000.
- VIVEIROS, William. ***Chironomus sancticaroli* - do cultivo em laboratório ao ensaio ecotoxicológico com amostras ambientais de sedimento.** 2012. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear - Materiais) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- Yu, M. H. **Environmental Toxicology: Biological and Health Effects of Pollutants,** 2ed., CRC Press: Boca Raton, 2005.
- ZILLI, F.L.; MONTALTO, L.; PAGGI, A.C.; MARCHESE, M.R. 2008. **Biometry and life cycle of *Chironomus calligraphus* Goeldi, 1905 (Diptera, Chironomidae) in laboratory conditions.** Interciência, 33(10): 767- 770.

# Apêndices

**APÊNDICE A:** Parâmetros macroscópicos a serem avaliados no protocolo de avaliação de impacto ambiental.

PARÂMETROS	QUANTIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS		
	1	2	3
Cor	Colorida	X	Incolor
turbidez	Turva	X	Ausente de turbidez
Odor	Com odor	X	Inodoro
Espuma	Muita	Pouca	Ausente
Óleo	Muito	Pouco	Ausente
Esgoto	Fluxo direto	Fluxo superficial	Ausente
Resíduos sólidos na APP	Presença	X	Ausencia
Material flutuante	Muito	Pouco	Ausente
Uso por humanos	Uso observado	Esporádico	Ausente
Uso por animais de criação	Visível	Vestígios	Ausente
Proteção do local	Ausente	Proteção com acesso	Inacessível
Proximidade com residências ou estabelecimentos	Menos de 50 m	Entre 50 e 100 m	Mais de 100 m
Vegetação	Suprimida	Alterada	Nativa
APP de margem	Impactada	X	Preservada
Processos observados na APP	Erosão e/ou assoreamento	X	Sem erosão e/ou assoreamento
Despejo de água pluvial por galerias	Presente	X	Ausente
<b>TOTAL PARCIAL</b>			
<b>TOTAL GERAL</b>			

**Fonte:** Adaptado de Gomes (2015), Souza (2018), Pereira (2004), Paraguassú *et. al.*, (2010).

**APÊNDICE B:** Dados das variáveis físico-químicas dos corpos hídricos, analisados nas estações seca e chuvosa.

CORPO D'ÁGUA E PONTOS	COLETA	O <sub>2</sub> (mg/L)				pH				TEMPERATURA (°C)				CONDUTIVIDADE (µS/cm <sup>2</sup> )			
		SECA	CHUVA	MÉDIA	D.P (±)	SECA	CHUVA	MÉDIA	D.P (±)	SECA	CHUVA	MÉDIA	D.P (±)	SECA	CHUVA	MÉDIA	D.P (±)
CRUZES P1	SECA	6,9	7,2	7,05	0,15	6,9	6,5	6,70	0,20	19,8	22,2	21,0	1,20	62,5	72,3	67,40	4,90
CRUZES P2		6,3	6,9	6,60	0,30	6,5	6,1	6,30	0,20	19,9	21,5	20,7	0,80	58,5	78,2	68,35	9,85
CRUZES P3		7,0	7,3	7,15	0,15	7,3	6,8	7,05	0,25	20,1	23,1	21,6	1,50	63,4	82,3	72,85	9,45
LAJEADO P1		6,7	7,2	6,95	0,25	7,1	6,9	7,00	0,10	19,5	20,8	20,2	0,65	73,8	82,2	78,00	4,20
LAJEADO P2		7,6	7,4	7,50	0,10	7,3	6,8	7,05	0,25	19,3	20,2	19,8	0,45	68,5	75,2	71,85	3,35
LAJEADO P3		6,4	6,9	6,65	0,25	7,1	7,0	7,05	0,05	20,4	22,6	21,5	1,10	70,4	76,3	73,35	2,95
PAIOL P1		6,9	7,1	7,00	0,10	6,8	6,5	6,65	0,15	18,2	21,4	19,8	1,60	70,8	75,2	73,00	2,20
PAIOL P2		7,1	7,3	7,20	0,10	6,3	6,2	6,25	0,05	20,8	22,7	21,8	0,95	51,3	62,7	57,00	5,70
PAIOL P3		6,6	6,8	6,70	0,10	6,8	6,5	6,65	0,15	20,3	22,5	21,4	1,10	62,6	69,5	66,05	3,45
CRUZES P1	SECA	6,3	7,1	6,70	0,40	7,1	7,0	7,05	0,05	19,4	21,6	20,5	1,10	77,5	82,5	80,00	2,50
CRUZES P2		7,5	7,6	7,55	0,05	6,5	6,4	6,45	0,05	18,2	22,1	20,2	1,95	68,4	73,6	71,00	2,60
CRUZES P3		7,2	7,6	7,40	0,20	6,8	6,7	6,75	0,05	18,8	21,3	20,1	1,25	59,3	68,1	63,70	4,40
LAJEADO P1		6,9	7,3	7,10	0,20	6,6	6,5	6,55	0,05	19,6	20,9	20,3	0,65	53,7	62,7	58,20	4,50
LAJEADO P2		7,1	7,6	7,35	0,25	7,3	6,4	6,85	0,45	20,1	20,5	20,3	0,20	61,4	67,3	64,35	2,95
LAJEADO P3		6,5	6,8	6,65	0,15	7,1	6,7	6,90	0,20	20,0	20,1	20,1	0,05	66,7	75,3	71,00	4,30
PAIOL P1		7,1	7,5	7,30	0,20	6,8	6,6	6,70	0,10	18,6	21,1	19,9	1,25	72,8	77,1	74,95	2,15
PAIOL P2		7,6	7,3	7,45	0,15	7,3	7,1	7,20	0,10	18,5	22,3	20,4	1,90	79,8	85,2	82,50	2,70
PAIOL P3		7,0	7,4	7,20	0,20	7,2	6,4	6,80	0,40	20,2	22,6	21,4	1,20	71,6	76,7	74,15	2,55
CRUZES P1	CHUVA	6,2	6,7	6,45	0,25	7,2	6,0	6,60	0,60	19,5	21,8	20,7	1,15	65,8	73,7	69,75	3,95
CRUZES P2		6,7	7,2	6,95	0,25	7,1	6,8	6,95	0,15	19,6	21,4	20,5	0,90	54,6	68,9	61,75	7,15
CRUZES P3		6,8	7,6	7,20	0,40	6,9	6,6	6,75	0,15	19,5	21,3	20,4	0,90	67,2	71,9	69,55	2,35
LAJEADO P1		7,2	7,5	7,35	0,15	6,7	6,6	6,65	0,05	18,4	22,2	20,3	1,90	59,9	65,3	62,60	2,70
LAJEADO P2		7,4	7,6	7,50	0,10	6,8	6,4	6,60	0,20	18,2	20,8	19,5	1,30	72,3	85,1	78,70	6,40
LAJEADO P3		6,7	7,1	6,90	0,20	7,3	7,2	7,25	0,05	18,9	20,2	19,6	0,65	122,2	136,1	129,15	6,95
PAIOL P1		7,3	7,4	7,35	0,05	7,0	6,8	6,90	0,10	19,5	21,4	20,5	0,95	80,3	86,3	83,30	3,00
PAIOL P2		6,6	7,2	6,90	0,30	7,3	7,1	7,20	0,10	19,3	20,3	19,8	0,50	52,1	65,9	59,00	6,90
PAIOL P3		7,4	7,5	7,45	0,05	7,2	6,9	7,05	0,15	18,2	22,2	20,2	2,00	53,9	64,2	59,05	5,15
CRUZES P1	CHUVA	7,2	7,3	7,25	0,05	6,8	6,5	6,65	0,15	19,1	23,1	21,1	2,00	78,3	85,1	81,70	3,40
CRUZES P2		6,8	7,1	6,95	0,15	6,9	6,4	6,65	0,25	20,2	23,6	21,9	1,70	77,2	84,3	80,75	3,55
CRUZES P3		7,1	7,5	7,30	0,20	6,4	6,2	6,30	0,10	19,8	21,1	20,5	0,65	69,1	76,9	73,00	3,90
LAJEADO P1		6,5	6,9	6,70	0,20	7,1	6,6	6,85	0,25	18,6	22,6	20,6	2,00	74,63	78,1	76,37	1,74
LAJEADO P2		7,2	7,6	7,40	0,20	7,3	7,0	7,15	0,15	18,3	20,5	19,4	1,10	65,4	69,4	67,40	2,00
LAJEADO P3		7,4	7,4	7,40	0,00	6,8	6,6	6,70	0,10	19,4	20,9	20,2	0,75	58,9	64,9	61,90	3,00
PAIOL P1		7,3	7,6	7,45	0,15	6,7	6,5	6,60	0,10	19,7	20,2	20,0	0,25	81,4	88,9	85,15	3,75
PAIOL P2		6,2	6,7	6,45	0,25	6,6	6,8	6,70	0,10	19,5	20,7	20,1	0,60	73,8	77,2	75,50	1,70
PAIOL P3		7,2	7,6	7,40	0,20	6,9	6,8	6,85	0,05	18,6	20,2	19,4	0,80	51,3	62,8	57,05	5,75

Fonte: Autor.