

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DRIELI DE OLIVEIRA LUIZ

**AVALIAÇÃO INTEGRADA DA QUALIDADE AMBIENTAL DE RIACHOS DE 1º E
2º ORDEM DA REGIÃO DE MARINGÁ-PR.**

CAMPO MOURÃO

2021

DRIELI DE OLIVEIRA LUIZ

**AVALIAÇÃO INTEGRADA DA QUALIDADE AMBIENTAL DE RIACHOS DE 1º E
2º ORDEM DA REGIÃO DE MARINGÁ-PR**

**Integrated assessment of the Environmental Quality of 1st and 2nd order
creaks in the region of Maringa-PR.**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação,
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Ambiental da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR), Campus Campo Mourão.

Orientador: Prof. Dr. Edivando Vitor do Couto

Coorientador: Prof.^a Dr.^a Luciane Maria Vieira do
Couto

Coorientador: Prof. Me. Leonardo Antunes Pessoa

CAMPO MOURÃO

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

DRIELI DE OLIVEIRA LUIZ

**AVALIAÇÃO INTEGRADA DA QUALIDADE AMBIENTAL DE RIACHOS DE 1º E
2º ORDEM DA REGIÃO DE MARINGÁ-PR**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação,
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Ambiental da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

30 de novembro de 2021

Prof. Dr. Nelson Consolin Filho
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Campo Mourão

Prof.^a Dr.^a Débora Cristina de Souza
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Campo Mourão

Prof. Me. Leonardo Antunes Pessoa
Mestrado
Universidade Estadual de Maringá – Campus Maringá

Prof.^a Dr.^a Luciane Maria Vieira do Couto
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Campo Mourão

Prof. Dr. Edivando Vitor do Couto
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Campo Mourão

CAMPO MOURÃO

2021

Dedico este trabalho aos meus pais Marlene e Edivaldo, minha irmã Débora, e a minha família, amigos, e professores que sempre me incentivaram.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pelas bênçãos a mim concedida, pela força e resiliência diante dos meus maiores desafios que surgiram ao longo desses cinco anos de graduação, por ter colocado na minha vida pessoas maravilhosas, e principalmente pela minha vida.

Aos meus pais Edivaldo Aparecido e Marlene Oliveira, que nunca me deixaram desistir, com quem sempre pude contar sem hesitação, nunca medindo esforços, que sempre me incentivaram e acreditaram no meu potencial, por todo amor e dedicação.

A meu avô Joel Luiz pelas ligações, preocupação e orgulho de mim. Aos meus familiares pelas orações, força, palavras de carinho dedicadas a mim. A minha irmã Débora por todo carinho, comunicação nesses cinco anos morando fora. A minha prima Eloisa que conviveu comigo nos meus primeiros anos de faculdade me dando todo o apoio e carinho necessário.

Aos meus amigos que contribuíram de alguma forma durante minha passagem pela universidade, pelas risadas, pela ajuda e explicações, pela companhia nos bons e maus momentos, pelas palavras de apoio que me ajudaram a seguir firme, em especial à Barbara Sena, Mylena Ardenghi, Geovana Castro, Hellen Fernandes Paulino e Leticia Cabrera. Aos meus amigos de Lençóis Paulista por sempre se fazerem presente nesses anos estudando longe de casa.

A minha Prof.^a Dr.^a Luciane Maria Vieira do Couto pela coordenação e oportunidade do projeto de iniciação científica que deu base a este trabalho e ao Prof. Me. Leonardo Antunes Pessoa pela concessão dos dados e contribuição neste trabalho.

A minha banca examinadora, Prof.^a Dr.^a Débora Cristina Souza e Prof. Dr. Nelson Consolin Filho, por terem aceitado o convite e contribuído para o resultado deste trabalho.

Por fim, a todos meus professores por suas cobranças e ensinamentos, que me auxiliaram e permitiram a conclusão desta graduação e muito me inspiraram profissionalmente.

Minha gratidão à todos!

*“True motivation comes from achievement,
personal development, job satisfaction and
recognition”.*

(Frederick Herzberg).

RESUMO

A poluição ambiental em ambientes hídricos é um dos graves problemas que o mundo vem enfrentando nos últimos anos, a partir das mais diversas fontes, dentre elas descargas industriais e domésticas, urbanização e o uso de pesticidas na agricultura. O objetivo deste trabalho foi avaliar ambientalmente água e sedimento através de análises físico-químicas, índices matemáticos e os efeitos dos metais presentes. Foram coletadas amostras de água e sedimento de 12 riachos pertencentes as sub-bacias das bacias hidrográficas do rio Ivaí e Pirapó, em março de 2020. Para avaliação da qualidade do sedimento foi utilizado índice de geoacumulação, fator de contaminação, fator de enriquecimento e risco ecológico através de valores de TEL e PEL. Para avaliar a qualidade da água utilizou-se o índice canadense WQI-CCME e comparado aos Valores Máximos Permitidos (VMP) pela Resolução do CONAMA 357/2005. Os resultados para sedimento demonstraram que atividades antropogênicas do desenvolvimento econômico-social da região de Maringá-PR podem ter causado geoacumulação do metal Cu, Cr e Zn em uma quantidade significativa, com concentração média de 237,63 mg/kg, 137,29 mg/kg e 100,22 mg/kg respectivamente para todos os riachos de 1º e 2ª ordem, assim como, dos metais Pb, Ni, Zn, Cd. Como resultado dos fatores de contaminação a poluição do Cobre pode ter se dado principalmente pela agricultura, industrialização, e de forma natural pela formação basáltica presente na região onde os riachos encontram-se inseridos. O Cromo pelos resíduos industriais, pela presença de indústrias alimentícias e siderúrgicas na região de Maringá. O índice da qualidade da água permitiu concluir que a água é considerada de excelente à boa dos pontos coletados. Embora a amostra do riacho Guaiapó tenha sido considerada a única regular com um valor de 76,5, devido a concentração de cobre, nitrogênio e fósforo ter excedido o seu valor máximo permitido. O índice WQI-CCME apresentou-se como uma ótima ferramenta para avaliar a qualidade de água em corpos hídricos com diferentes características, possibilitando estudar o devido tratamento necessário para cada riacho.

Palavras-chave: índice da Qualidade da água; índice de geoacumulação; avaliação ambiental.

ABSTRACT

Environmental pollution in water environments is one of the serious problems that the world has been facing in recent years, from the most diverse sources, including industrial and domestic discharges, urbanization and the use of pesticides in agriculture. The objective of this work was to environmentally evaluate water and sediment through physical-chemical analysis, mathematical indexes and the effects of the metals present. Samples of water and sediment were collected from 12 streams belonging to the sub-basins of the river basins of the Ivaí and Pirapó rivers, in March 2020. To assess the quality of the sediment, the geoaccumulation index, contamination factor, enrichment and risk factor were used ecological through TEL and PEL values. To assess water quality, the Canadian WQI-CCME index was used and compared to the Maximum Allowable Values (VMP) by CONAMA Resolution 357/2005. The results for sediment showed that anthropogenic activities of economic and social development in the Maringá-PR region may have caused geoaccumulation of the metal Cu, Cr and Zn in a significant amount, with an average concentration of 237.63 mg/kg, 137.29 mg /kg and 100.22 mg/kg respectively for all 1st and 2nd order streams, as well as the metals Pb, Ni, Zn, Cd. As a result of the contamination factors, copper pollution may have been mainly caused by agriculture, industrialization, and naturally by the basaltic formation present in the region where the streams are located. Chromium due to industrial residues, due to the presence of food and steel industries in the region of Maringá. The water quality index allowed us to conclude that the water is considered from excellent to good from the collected points. Although the sample from the Guaiapó stream was considered the only regular with a value of 76.5, due to the concentration of copper, nitrogen and phosphorus having exceeded its maximum allowed value. The WQI-CCME index presented itself as an excellent tool to assess the quality of water in water bodies with different characteristics, making it possible to study the proper treatment needed for each stream.

Keywords: water quality index; geoaccumulation index; environmental assessment.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1: Pontos de coleta em riachos das sub-bacias das bacias hidrográficas dos Rios Pirapó e Ivaí..... | 26 |
| Figura 2: Gráfico da análise de risco ecológico para os metais. | 36 |
| Figura 3: Resultados do Índice WQI para cada riacho. | 38 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Materiais e quantidades de cada recipiente usados para coleta de cada riacho. | 28 |
| Tabela 2: Valores de Background dos metais identificados. | 29 |
| Tabela 3: Classificação ao Índice de Geoacumulação. | 29 |
| Tabela 4: Classificação ao índice FE. | 29 |
| Tabela 5: Classificação ao índice de Fator de Contaminação. | 30 |
| Tabela 6: Valores de referência TEL e PEL. | 31 |
| Tabela 7: Classificação para o índice WQI. | 32 |
| Tabela 8: Concentração de metais para cada riacho. | 33 |
| Tabela 9: Valores para os índices de geoacumulação em sedimento. | 34 |
| Tabela 10: Resultado das análises físico-química para os riachos. | 37 |
| Tabela 11: Valor Máximo Permitido para Classe 2. | 37 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-----------|--|
| CONAMA | Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| MMA | Ministério do Meio Ambiente |
| NBR | Normas Brasileiras |
| FE | <i>Fator de Enriquecimento</i> |
| CF | <i>Fator de Contaminação</i> |
| PEL | <i>Probable Effect Level</i> |
| TEL | <i>Threshold Effect Level</i> |
| WQI-CCME: | <i>Water Quality Index – Canadian Council of Minister of the Environmental</i> |
| SQGs: | <i>Sediment Quality Guidelines</i> |
| Igeo | Índice de Geoacumulação |
| UTFPR | Universidade Tecnológica Federal do Paraná |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|----|--------------------------|
| Ca | Cálcio |
| Fe | Ferro |
| Ni | Níquel |
| Zn | Zinco |
| Pb | Chumbo |
| Cr | Cromo |
| Cu | Cobre |
| pH | Potencial Hidrogeniônico |
| Al | Alumínio |

SUMÁRIO

| | | |
|------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 13 |
| 2 | OBJETIVOS | 15 |
| 2.1 | Objetivo Geral | 15 |
| 2.2 | Objetivos Específicos | 15 |
| 3 | JUSTIFICATIVA..... | 16 |
| 4 | REVISÃO DE LITERATURA | 17 |
| 4.1 | Bacia Hidrográfica..... | 17 |
| 4.2 | Avaliação da Qualidade da Água | 18 |
| 4.3 | Avaliação da Qualidade do Sedimento..... | 20 |
| 4.3.1 | Chumbo..... | 21 |
| 4.3.2 | Cromo..... | 22 |
| 4.3.3 | Cobre..... | 22 |
| 4.3.4 | Cádmio | 23 |
| 4.3.5 | Zinco..... | 23 |
| 4.3.6 | Níquel | 23 |
| 4.4 | Avaliação Empírica de Risco Ecológico..... | 24 |
| 5 | MATERIAL E MÉTODOS | 25 |
| 5.1 | Área de Estudo | 25 |
| 5.2 | Coleta de Amostras..... | 27 |
| 5.3 | Avaliação Ambiental | 28 |
| 5.3.1 | Sedimento | 28 |
| 5.3.2 | Avaliação do Risco Ecológico | 30 |
| 5.3.3 | Água | 31 |
| 6 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 33 |
| 6.1 | Geoacumulação dos Sedimentos | 33 |
| 6.2 | Avaliação da Qualidade da Água | 36 |
| 7 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 41 |
| | REFERÊNCIAS..... | 43 |

1 INTRODUÇÃO

A poluição ambiental é um dos graves problemas que o mundo vem enfrentando nos últimos anos, a partir das mais diversas fontes, dentre elas descargas industriais e domésticas, urbanização e o uso de pesticidas na agricultura, queima de florestas e combustíveis fósseis (JACOBSON, 2000). Akaishi (2003) e Jha (2004), consideram os ambientes aquáticos como sendo os mais atingidos pela poluição decorrente do crescimento populacional, desenvolvimento industrial, produção, consumo e eliminação de diversos resíduos para o meio ambiente.

Os poluentes provenientes de fontes antrópicas são distribuídos nos vários compartimentos abióticos e na cadeia trófica pelo poder do fluxo das águas pluviais (CARDOSO, 2011). Isto provoca sérios problemas de qualidade ambiental, com especial enfoque para a qualidade da água, seja esta superficial ou subsuperficial, podendo ir desde a transferência de nutrientes que são benéficos às plantas, à entrada de metais e outros contaminantes para a água. Pode implicar mudanças significativas em ecossistemas aquáticos e afetar, de modos diversos e cada vez mais acentuados, a qualidade de vida de todos os organismos, para além das alterações da morfologia fluvial causada pelo depósito desses resíduos sólidos no leito dos rios (POLETO & CASTILHOS, 2008).

A qualidade da água é determinada por fenômenos naturais e antrópicos atuando na bacia hidrográfica (Von Sperling, 2007). Dessa forma, estudar as bacias hidrográficas e entender a relação entre a qualidade do ecossistema aquático e as ações antrópicas em sua bacia é de extrema importância, pois permite a construção de opiniões que possam reduzir os impactos ambientais e, dessa maneira, garantir a utilização sustentável e sem poluição de recursos naturais (MOSCA E LEONARDO, 2003).

No ambiente aquático, o compartimento considerado mais significativo na concentração de metais é representado pelos sedimentos (AXTMANN & LUOMA 1991) e, por esse motivo, são muito utilizados como material de amostragem, tanto em pesquisa de prospecção mineral como em estudos de qualidade ambiental. Ao refletirem a qualidade do sistema e o desenvolvimento histórico de parâmetros hidrológicos e químicos (SALOMONS & FÖRSTNER 1984) são particularmente úteis na identificação, no monitoramento e no controle de fontes de poluição.

Pesquisas desenvolvidas por Poletto e Merten (2007), em centros urbanos do Brasil, mostram que os sedimentos suspensos nos corpos d'água urbanos estão apresentando um aumento nos níveis de metais em uma proporção de duas ou mais vezes superior às concentrações de referência local (background), como o zinco, chumbo, cromo, entre outros. Segundo Poggio *et al.* (2009), metais são os poluentes do solo e do sedimento mais estudados por causa da sua toxicidade e persistência, ainda que em baixas concentrações.

A poluição do solo e de sistemas aquáticos por esses metais é um fator que afeta a qualidade do ambiente e constitui risco elevado de intoxicação, causando risco a saúde humana. O sedimento de corpos d'água é considerado um ótimo indicador da poluição ambiental, devido seu alto poder acumulativo e por possuir índices mundialmente conhecidos para resultados tornando possível a gestão de melhoria desses ecossistemas (TAYLOR, K. G. *et al.*, 2009).

A avaliação de risco ecológico em ambientes aquáticos tem sido apontada como importante ferramenta para avaliar a sustentabilidade dos ambientes aquáticos, onde é possível estimar a probabilidade de ocorrência de um determinado acontecimento e a provável magnitude de efeitos adversos (KOLLURU e BROOKS, 1998). Esta ferramenta tem por objetivo proteger as funções das populações, das comunidades e dos ecossistemas (USEPA, 1997).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliação integrada da qualidade ambiental de 12 riachos de 1º e 2ª ordem pertencentes às sub-bacias das bacias hidrográficas dos rios Ivaí e Pirapó da região de Maringá-PR.

2.2 Objetivos Específicos

- Analisar a qualidade da água por parâmetros físico-químicos e microbiológicos;
- Avaliar a qualidade da água por índices brasileiro e canadense;
- Analisar a qualidade dos sedimentos dos riachos;
- Avaliar a qualidade ambiental dos sedimentos através dos índices de geoacumulação (Igeo, FE e CF) para os metais (Chumbo, Cromo, Níquel, Cobre, Zinco, Cádmio) presentes nos sedimentos dos riachos;
- Avaliar de forma empírica o risco ecológico dos metais encontrados.

3 JUSTIFICATIVA

Quando se faz uma avaliação ambiental através de análises de amostras de água e sedimento é possível se ter resultados precisos sobre a qualidade ambiental destes recursos hídricos. Os parâmetros escolhidos se justificam, pois, é possível calcular índices mundialmente conhecidos de qualidade da água e contaminação por metais nos sedimentos. Segundo Varol *et al.* (2012), a avaliação através de índices é uma ferramenta útil não só para avaliar os impactos das fontes de poluição, mas, também, para garantir uma gestão eficiente dos recursos hídricos e a proteção da vida humana e animal.

Informações levantadas através do índice da qualidade da água e metais presentes nos sedimentos das bacias hidrográficas são essenciais para o diagnóstico correto e a gestão eficiente dos recursos hídricos. De acordo com Strobl e Robillard (2008) e Finotti *et al.* (2009), é possível planejar intervenções para melhorias, identificar lançamentos clandestinos, subsidiar a fiscalização, o licenciamento ambiental e a formulação de políticas ambientais.

Com os parâmetros levantados através dos resultados das análises microbiológicas e físico-químicas de água e sedimento é possível avaliar de forma holística a qualidade ambiental das bacias hidrográficas, na qual interfere diretamente na qualidade da água, saúde humana e risco ecológico da biodiversidade dos riachos.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Bacia Hidrográfica

A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída. A bacia hidrográfica compõe-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório. É onde se realizam os balanços de entrada proveniente da chuva e saída de água através do exutório, permitindo que sejam delineadas bacias e sub-bacias, cuja interconexão se dá pelos sistemas hídricos (TUCCI, 1997).

Sobre o território definido como bacia hidrográfica, é onde se desenvolvem as atividades humanas. Todas as áreas urbanas, industriais, agrícolas ou de preservação fazem parte de alguma bacia hidrográfica. Pode-se dizer que, no seu exutório, estarão representados todos os processos que fazem parte do seu sistema. A gestão sustentável dos recursos hídricos requer a regulamentação do uso da água através do conhecimento do abastecimento de água da bacia e seu equilíbrio frente às demandas de uso e conservação ambiental (CRUZ e TUCCI, 2008).

As sub-bacias são áreas de drenagem dos tributários do curso d'água principal. Para definir sua área os autores utilizam-se de diferentes unidades de medida. Para Faustino (1996), as sub-bacias possuem áreas maiores que 100 km² e menores que 700 km², já para Rocha (1997, apud MARTINS *et al.*, 2005), são áreas entre 20.000 ha e 30.000 ha (200 km² a 300 km²). Para Santana (2004), bacias podem ser desmembradas em um número qualquer formadas por canais de 1^a e 2^a ordem e, em alguns casos, de 3^a ordem, devendo ser definida como base na dinâmica dos processos hidrológicos, geomorfológicos e biológicos.

A Lei nº 9.433 tem entre os fundamentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, a água como um bem de domínio público, atribuído de valor econômico, cujos usos prioritários são o abastecimento humano e a dessedentação de animais e cuja gestão deve tomar como unidade territorial a bacia hidrográfica. Prevê, como diretriz geral de ação, a gestão integrada, e como instrumentos para viabilizar sua implantação aos planos de recursos hídricos, o enquadramento dos corpos de água

em classes segundo os usos prevaletentes, a outorga de direito de uso, a cobrança pelo uso da água e o sistema de informação sobre recursos hídricos. A contribuição essencial desta lei para o país é sua contribuição para um novo paradigma de gestão de um bem de uso comum, cuja má administração pode trazer efeitos bastante maléficis para toda a sociedade brasileira (MMA, 2007).

Segundo dados do MMA (2007) a bacia hidrográfica do Paraná possui vazão média de 11.452 m³/s, densidade demográfica (1.000 hab/km²) de 62, e taxa de urbanização 91%.

4.2 Avaliação da Qualidade da Água

A avaliação da qualidade da água é de extrema importância ambiental e para saúde, pois a água é um elemento essencial à vida, porém pode trazer riscos à saúde em face de sua má qualidade, servindo de veículo para vários agentes biológicos e químicos, por isso, o homem deve estar atento aos fatores que podem interferir negativamente na qualidade da água que consome e no seu destino final. O rápido crescimento das áreas urbanas afetou ainda mais a qualidade da água subterrânea devido ao excesso da exploração de recursos e práticas impróprias de eliminação de resíduos (MOHRIR *et al.*, 2002).

Os principais parâmetros de análise da qualidade da água são descritos a seguir, de acordo com von Sperling (2005):

- Cor: responsável pela coloração da água, pode ser verdadeira, quando causada por substâncias orgânicas e inorgânicas, e aparente, quando causada por suspensões. Pode ser tóxica além de ser esteticamente indesejável.
- Turbidez: representa o grau de interferência com a presença da luz através da água. É devida à presença de sólidos suspensos, de origem orgânica e inorgânica. Esteticamente indesejável
- Ferro e manganês: conferem sabor, odor, coloração e turbidez à água, além de depositarem-se nas tubulações, causando corrosão e incrustações.
- Cloretos: é advindo da dissolução de sais, podendo, em altas concentrações, imprimir um sabor salgado à água, podendo também indicar a presença de águas residuárias.

- Dureza: concentração de cátions multimetálicos em solução, principalmente cálcio e magnésio, causando sabor desagradável, podendo ter efeito laxativo, além de causar incrustações em tubulações de água quente e reduzir a formação de espuma, aumentando o gasto de sabão. Em alguns estudos realizados em áreas com maior dureza, verificou-se uma menor incidência de doenças cardíacas.
- Oxigênio dissolvido: é de essencial importância para os organismos aeróbios; a presença de matéria orgânica no corpo d'água faz com que sua concentração diminuída, pois esse é utilizado pelas bactérias na estabilização da matéria orgânica.
- Demanda bioquímica de oxigênio: é uma forma indireta de avaliar-se a quantidade de carbono orgânico presente em um corpo d'água, sendo um importante parâmetro para avaliar-se o grau de poluição com matéria orgânica do corpo d'água.
- Coliformes fecais: principal indicador da presença de contaminação fecal no corpo d'água.

De acordo com Gouzee *et al.* (1995), a necessidade de tratar as informações ambientais na forma original têm conduzido ao desenvolvimento de metodologias, entre as quais se salienta a utilização de indicadores e índices ambientais. A sua utilização revela-se importante no sentido de analisar os dados científicos mais facilmente e serem utilizados para tomadas de conclusões através de técnicos, gestores, cientistas, políticos e grupos de interesse. Ao selecionar um indicador ou ao construir um índice, tal como ao adaptar um parâmetro estatístico, ganha-se clareza e operacionalidade. A necessidade de analisar os resultados das avaliações da qualidade ambiental constitui exigência imprescindível nos processos de gestão ambiental.

O índice de qualidade da água WQI é considerado uma das formas mais eficazes de analisar a qualidade da água. Este índice pode ser utilizado para monitorar a qualidade da água e suas mudanças em um determinado abastecimento de água ao longo do tempo, ou pode ser usado para comparar o abastecimento de água em questão de qualidade com outras fontes de água na região ou de todo o mundo. Os resultados também podem ser usados para determinar se um determinado trecho de água é considerado "ideal" (PRADHAN S K *et al.*, 2001).

A resolução 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) de 2005 define a qualidade da água ao tipo de uso ao qual se destina, e estabelece os padrões de qualidade. Os parâmetros são definidos em limites aceitáveis das substâncias presentes de acordo com o uso da água. Análises estatísticas e índices têm sido utilizados, com sucesso, para caracterizar o estado e as tendências da qualidade da água e anunciar essas informações. Porém, somente os dados de concentração das variáveis de qualidade da água não são capazes de prover informações suficientes para identificar as fontes de poluição e métodos estratégicos de gestão para recuperação. Portanto, é de grande relevância o estudo conjunto dos índices de qualidade da água e geoacumulação em sedimentos, para então obter resultados mais precisos (TUCCI, 2009).

4.3 Avaliação da Qualidade do Sedimento

A intensificação da industrialização e das atividades humanas resultou na liberação de vários contaminantes no meio ambiente. Entre eles, os metais estão frequentemente presentes como resultado da mineração, moagem e manufatura industrial. Segundo Mozeto (1996), os sedimentos são considerados de grande importância na avaliação ambiental do nível de contaminação dos ecossistemas aquáticos, devido a sua capacidade em acumular elementos, e refletem a quantidade corrente do sistema aquático, podendo ser usados para detectar a presença de contaminantes que não permanecem solúveis após seu lançamento em águas superficiais.

Os sedimentos, em geral, têm a capacidade de absorver e ligar metais, compostos orgânicos e nutrientes (Miguel *et al.*, 2005; Taylor; Owens, 2009). Assim, os sedimentos podem ser considerados como destino final de alguns poluentes, bem como fontes de poluição que podem interferir na biota (Burton Junior, 2002). Metais, em geral, em sedimentos suspensos, são frequentemente usados como indicativos de mudanças no uso do solo, por exemplo, aumento do nível de urbanização (Horowitz, Elrick, Smith, 2008). Os metais As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb e Zn são amplamente utilizados para medir a contaminação ambiental de sedimentos. Segundo Duffos (2001), metais referem-se a um grupo de elementos com densidade específica e, principalmente, características de toxicidade particulares. Os metais,

principalmente os metais, em grande concentração, merecem maior preocupação, principalmente por serem não degradáveis, permanecendo por longos períodos no ambiente, principalmente nos sedimentos.

Existem diferentes índices geralmente usados para identificar metais com concentrações de preocupação ambiental como: o fator de enriquecimento (*FE*), índice de geoacumulação (*Igeo*) e índice de fator de contaminação (*CF*) (Feng H. *et al*, 2011). O fator de contaminação é um quantificador do grau de contaminação em relação à composição média do respectivo metal ou aos valores de fundo (background) medidos de área geologicamente semelhante e não contaminada (Tijani *et al.*, 2004). O índice de geoacumulação e o fator de enriquecimento são usados para entender melhor a presença e variação dos metais nos sedimentos. O *Igeo* estima a extensão do acúmulo de metal. Este índice foi originalmente definido por Müller (1969) como um critério para avaliar o acúmulo de metais, portanto a poluição.

4.3.1 Chumbo

O chumbo é um elemento tóxico, mesmo quando ingerido em pequenas quantidades, porque possui efeito acumulativo no organismo. A intoxicação pública se manifesta, principalmente, por sintomas gastrointestinais, seguidos de perturbações neurológicas e hematológicas. Uma intoxicação crônica deste metal é quando ocorre no sistema nervoso central, causando tontura, irritabilidade, dor de cabeça, e perda de memória. A toxicidade do chumbo, quando aguda, é caracterizada pela sede intensa, sabor metálico e diarreia. A presença de chumbo na água é causada pela poluição por despejos industriais, ou pelo contato com o metal dos encanamentos (EMBRATEL, 1983; MANAHAN, 1993; DERISIO, 2000).

Em sistemas aquáticos, o comportamento dos compostos de chumbo é determinado principalmente pela solubilidade. Concentrações de chumbo acima de $0,1 \text{ mg/L}^{-1}$ inibem a oxidação bioquímica de substâncias orgânicas, e são prejudiciais para os organismos aquáticos inferiores. Concentrações de Pb entre $0,2 \text{ mg/L}^{-2}$. Segundo o CONAMA (2005) os valores padrões limitam o Pb em $0,01 \text{ mg/L}^{-1}$.

4.3.2 Cromo

O cromo é obtido do minério cromita, metal de cor cinza que reage com os ácidos clorídrico e sulfúrico. Baixos teores de cromo trivalente são necessários ao metabolismo humano e animal, porém o hexavalente não tem função nenhuma ao organismo humano, além de ser extremamente tóxico. Quase todo cromo hexavalente existente no meio ambiente é proveniente de atividades humanas (WHO, 1988).

É um elemento raramente encontrado em águas naturais não poluídas. O cromo trivalente presente nas águas decorre, principalmente, do lançamento de despejos de curtumes. Quando ocorre a presença de cromo hexavalente é devido aos despejos industriais, que utilizam processos de cromagem de metais, processamentos de tintas, corantes e vernizes, curtumes, fertilizantes, explosivos, cerâmica, vidro, papel, soldagem metálicas, lâmpadas e circulação de água de refrigeração (EMBRATEL, 1983; WHO, 1988; DERISIO, 2000).

4.3.3 Cobre

As fontes de cobre para o meio ambiente incluem corrosão de tubulações por águas ácidas, efluentes de estações de tratamento de esgotos, uso de compostos de cobre como algicidas aquáticos, escoamento superficial e contaminação da água subterrânea a partir de usos agrícolas do cobre como fungicida e pesticida no tratamento de solos e efluentes, além de precipitação atmosférica de fontes industriais. No homem, a ingestão de doses excessivamente altas pode acarretar irritação e corrosão da mucosa, danos capilares, problemas hepáticos e renais e irritação do sistema nervoso (EMBRATEL, 1983; DERISIO, 2000).

Os sais de cobre, quando presentes na água em concentração superior a 1 mg/L^{-1} , produzem sabor metálico, mas os teores de cobre são permitidos até $0,009 \text{ mg/L}^{-1}$ (EMBRATEL, 1983; CONAMA, 2005).

4.3.4 Cádmi

O cádmio é um elemento poluente em águas que pode ter origem das descargas industriais e resíduos de mineração. Não apresenta nenhuma qualidade que o torne benéfico e essencial aos processos vitais da natureza. Seus efeitos em humanos são acumulativos e profundos principalmente nos rins e fígado, podendo ainda ocasionar uma alta pressão arterial, destruição dos glóbulos vermelhos e do tecido testicular (EMBRATEL, 1983; MANAHAN, 1993)

Nas águas naturais o cádmio é encontrado nos sedimentos de fundo e nas partículas em suspensão. É um elemento obtido da refinação de complexos de zinco e outros metais (BATALHA e PARLATORE, 1977).

Os valores máximos permitidos limitam a quantidade de Cd em $0,001 \text{ mg/L}^{-1}$, a presença deste em teores elevados é preocupante por se tratar de um elemento muito tóxico. O cádmio é encontrado em águas naturais em concentrações bastante baixas (EMBRATEL, 1983; CONAMA, 2005; DERISIO, 2000).

4.3.5 Zinco

O zinco é oriundo de processos naturais e antrópicos, destacando-se a combustão de madeira, incineração de resíduos, siderúrgicas, cimento, concreto, cal e gesso, indústrias têxteis, termoelétricas e efluentes domésticas. Alguns compostos orgânicos de zinco são aplicados como pesticidas (DERISIO, 2000).

O limite máximo permissível na água é de $0,18 \text{ mg/L}^{-1}$, quando presente acima do limite, a água apresenta gosto desagradável e em altas concentrações tóxicas (EMBRATEL, 1983; CONAMA, 2005).

4.3.6 Níquel

A exposição ocupacional ao níquel metálico pode ocorrer através de uma variedade de fontes, como as operações metalúrgicas, incluindo a fabricação de aço inoxidável, a produção de liga de níquel, e as operações de metalurgia do pó. Em quase todos os casos, as exposições ao níquel metálico incluem exposições

concomitantes a outros compostos de níquel e podem ser confundidas com a exposição a materiais tóxicos (OLLER, 2002).

Os efeitos observados na saúde dos trabalhadores expostos ao níquel metálico correm no sistema respiratório e podem ser benignos (incluindo asma e fibrose) ou câncer respiratório (EMBRATEL, 1983; MANAHAN, 1993).

4.4 Avaliação Empírica de Risco Ecológico

O risco ecológico é associado ao estudo de metais em sedimentos superficiais e é classificado de acordo com o fator de contaminação (*CF*) e o índice de geoacumulação (*Igeo*). O TEL (*Threshold Effect Level*) define a concentração abaixo da qual efeitos biológicos adversos raramente ocorrem e PEL (*Probable Effect Level*) representa uma concentração acima da qual efeitos são esperados que ocorram em uma gama mais ampla de organismos. (HRONCOVÁ *et al.*, 2014; MACDONALD *et al.*, 2000)

De acordo com Zhuang *et al* (2016), o TEL e o PEL são amplamente usados para avaliar o peso total das concentrações de metais em sedimentos. Se o peso do teor de metal está abaixo do valor TEL, a toxicidade raramente ocorre. Pelo contrário, se o conteúdo estiver acima do valor PEL, essa influência ocorrerá com frequência. Caso o conteúdo esteja entre TEL e PEL, o impacto ocorrerá ocasionalmente, ou seja, tendo um baixo risco ecológico.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Área de Estudo

O estudo foi realizado em doze riachos de 1ª e 2ª ordem das sub-bacias das bacias hidrográficas dos rios Pirapó e Ivaí, inseridos próximos à região metropolitana de Maringá, Paraná Brasil (Figura 1). Os níveis pluviométricos registrados anualmente ultrapassam 1.000 mm, enquanto as temperaturas médias anuais variam entre 16 e 20°C, sendo janeiro o mês mais quente e úmido e julho o mais frio e seco (Passos, 2007). Esta região insere-se na faixa de transição entre o clima tropical e subtropical, sendo caracterizada, segundo o sistema de classificação climática de Köppen, como zona temperada quente sempre úmida, CFA (Maack, 2002). A paisagem predominante dessas bacias caracteriza-se por um mosaico de atividade agrícola e urbano, especialmente na região metropolitana de Maringá, a qual se destaca como importante centro agroindustrial da região, sendo a terceira cidade mais populosa do estado (IBGE, 2019).

A região de Maringá-PR abrange terrenos nas bacias dos rios Pirapó e Ivaí, com extensão até a bacia. As altitudes encontradas variaram de 360 m (localizado no vale mais cortante do noroeste e sudeste da cidade) a 599 m (localizado no ponto mais alto da área urbana). Eles estão localizados no topo da bacia hidrográfica principal, conectando as sub-bacias do rio Maringá, pertencendo à bacia do rio Pirapó, bem como as sub-bacias dos rios Moscado e Borba Gato, pertencentes à bacia do rio Ivaí.

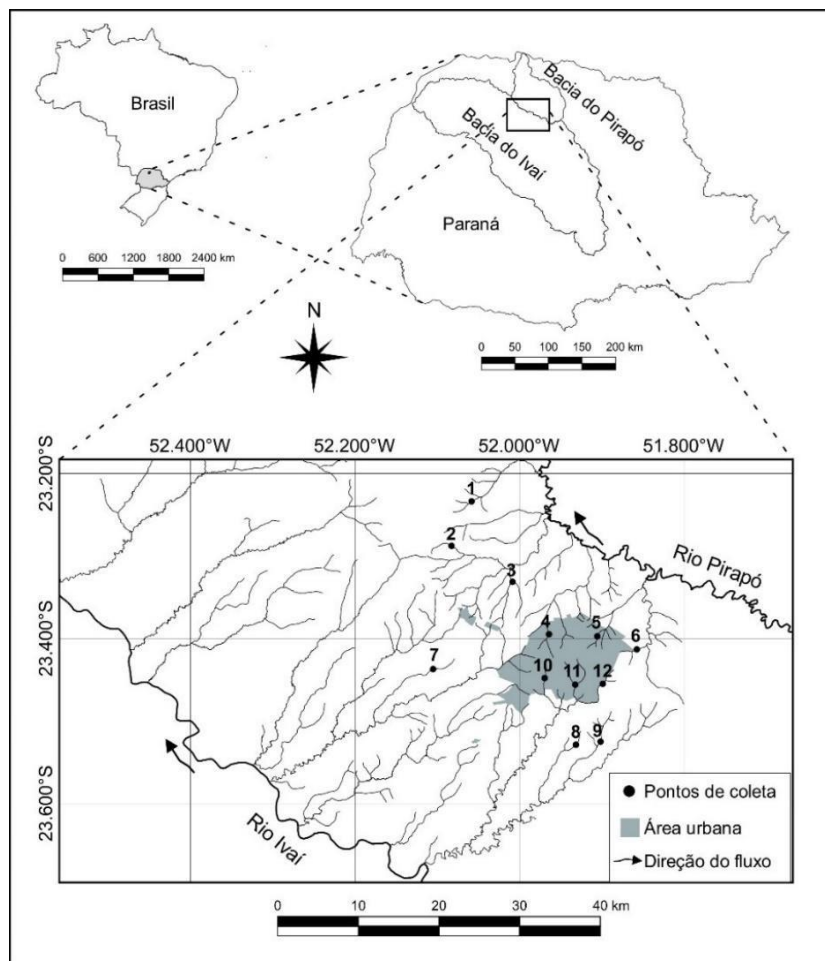
Segundo Zamuner (2001), o substrato geológico do município é constituído por rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, resultante dos derrames de lava do período Jurássico-Cretáceo. Segundo o autor, a intemperização das rochas gerou os Latossolos Roxos e a Terra Roxa Estruturada, que são solos profundos, desenvolvidos de alta fertilidade natural.

Nos extremos oeste e noroeste do município, verifica-se a ocorrência de arenito, mas em pequena proporção. Esse arenito é classificado por Mack (1953), citado em Silveira (2003) como “arenito Caiuá”. A forma do relevo é basicamente a de espigões longos, aplainados e levemente ondulados nos topos dos divisores de água, em especial na área urbana. A partir das médias vertentes e

nos fundos dos vales mais dissecados é que se verificam as superfícies mais onduladas (Silveira, 2003).

A vegetação da Floresta Estacional Semi decidual que cobria a parte norte do Terceiro Planalto e seus vales fluviais é uma variação da mata pluvial tropical do litoral (Silveira, 2003). No interior do município, ainda hoje existem algumas reservas remanescentes dessa vegetação, sendo que as três principais são o Bosque II, Parque do Ingá e Horto Florestal. Apenas a primeira encontra-se em estado natural, sendo que as duas últimas já possuem obras de urbanização no seu interior.

Figura 1: Pontos de coleta em riachos das sub-bacias das bacias hidrográficas dos Rios Pirapó e Ivaí.



Fonte: Autoria Própria (2021).

Cada numeração equivale a um riacho na qual serão realizadas coletas de sedimento e água. Onde, 1 = Atalaia, 2 = Polinópolis, 3 = Atlântico, 4 = Maringá, 5 = Morangueira, 6 = Guaiapó, 7 = Paçandu, 8 = Floriano, 9 = Jaçana, 10 = Borba Gato, 11 = Moscado e 12 = Pinguim.

5.2 Coleta de Amostras

Este estudo está inserido em uma pesquisa de doutorado do PPG de ecossistemas aquáticos da Universidade Estadual de Maringá (UEM) que disponibilizou os resultados das amostras de água e sedimento para que pudesse ser feita apenas a análise dos resultados. As coletas das amostras foram realizadas no período de março de 2020, em doze riachos, seis pertencentes à bacia do rio Pirapó (1-6) e seis à bacia do rio Ivaí (7-12). Destes 12 riachos, seis estão inseridos na paisagem urbana (4-6 e 10-12) e seis na paisagem rural (1-3 e 7-9) (Figura 1). O período da coleta se deve pelo período de cheia das bacias. O rio Ivaí não possui período sazonal (cheia e vazante) definido. Isto se deve à pequena capacidade de armazenamento da bacia em relação ao comprimento do canal, induzindo a uma rápida resposta da vazão em relação à pluviosidade. As cheias ocorrem preferencialmente nos meses de janeiro, maio e junho, para a maioria das estações da bacia do Ivaí e Pirapó (DESTEFANI, 2005).

Coletou-se água e sedimento no mesmo dia próxima as nascentes dos riachos, na qual foram enviados para o laboratório Merieux NutriSciences de Curitiba-PR para as análises físico-química, microbiológica e metais. Vale ressaltar que as amostras foram armazenadas em recipientes fornecidos pelo laboratório (Tabela 1), na qual utilizou-se 6 frascos para água e 1 frasco de vidro para o sedimento para cada riacho com as devidas quantidades e identificações. Após a coleta do material, os frascos foram colocados em uma caixa de isopor com gelo e transportados diretamente para o laboratório de Curitiba – PR através de transportadora, para que as análises chegassem em menos de 24 horas para as análises. Vale ressaltar que não houve repetições de coleta.

As quantidades de água coletadas variaram de acordo com a análise a ser realizada, porém, sempre excederam o valor recomendado para se garantir representatividade nos procedimentos laboratoriais.

Sendo os seguintes parâmetros avaliados para água: demanda bioquímica de oxigênio (DBO), oxigênio dissolvido (OD), sólidos totais dissolvidos (STD), nitrogênio (NT), fósforo (P), pH e turbidez. Foram coletadas amostras em embalagem plástica de 100 mL apropriadas para a realização de análises microbiológicas de coliformes totais.

Os resultados foram comparados com os limites recomendados pela resolução CONAMA 357/05 para rios de classe 2 (CONAMA, 2005) junto ao limite canadense WQI utilizado mundialmente (CCME, 2017).

Tabela 1: Materiais e quantidades de cada recipiente usados para coleta de cada riacho.

| Item | Tipo de Frascos | Quantidade | Volume |
|------|-----------------------|------------|--------|
| 1 | Plástico (1000 mL) | 3 | 1000 |
| 1 | Plástico (500 mL) | 3 | 500 |
| 1 | Pote Estéril (100 mL) | 1 | 100 |
| 1 | Tubo Digestão (50 mL) | 2 | 50 |
| 2 | Vidro Boca larga | 1 | 200 |

Fonte: Laboratório Merieux NutriSciences (2020).

5.3 Avaliação Ambiental

5.3.1 Sedimento

Para a avaliação do sedimento, foi analisada a presença ou não de metais tendo como base modelos de geacumulação. A concentração de contaminantes no sedimento é comparada com a concentração ambiente (background) de locais não contaminados situados na mesma área (MacDonald, 2000). O Igeo estima a extensão do acúmulo de metal. Este índice foi definido por Müller (1969) como um critério para avaliar o acúmulo de metais, portanto o nível de é definido através da Eq. (1)

$$Igeo = \text{Log}_2 \frac{C_n}{(1.5B_n)} \quad (1)$$

Onde C_n é a concentração de metal na amostra e B_n é o de background do local ou valor de nível de fundo (Tabela 2). Os valores usados como concentrações de background são medições da crosta terrestre realizada por MacDonald (2000). O fator 1.5 é o fator de correção da matriz de fundo dos efeitos duetolitogênicos. O Igeo será avaliado de acordo com de acordo com a Tabela 3.

Tabela 2: Valores de Background dos metais identificados.

| | Chumbo (Pb) | Cromo (Cr) | Níquel (Ni) | Cobre (Cu) | Zinco (Zn) | Cádmio (Cd) |
|-----------------------------|----------------|---------------|----------------|---------------|---------------|----------------|
| Background (ppm) | 14,8 | 116 | 19,1 | 25 | 65 | 0,102 |

Fonte: MacDonald (2000).

Tabela 3: Classificação ao Índice de Geoacumulação.

| Classes | Valor | Classificação |
|---------|-------|------------------------------------|
| 0 | <0 | Níveis de Fundo |
| 1 | 0-1 | Não Poluído |
| 2 | 1-2 | Não Poluído a modernamente poluído |
| 3 | 2-3 | Moderadamente Poluído |
| 4 | 3-4 | Moderadamente a fortemente poluído |
| 5 | 4-5 | Fortemente Poluído |
| 6 | 5-6 | Muito fortemente poluído |

Fonte: Muller (1969).

O fator de enriquecimento é útil para determinar o grau de interferência humana examinado por poluição de metal e auxilia no entendimento do acúmulo e contaminação por metal. O método FE de acordo com Salomons & Forstner (1984) normaliza as concentrações elementares medidas em relação a uma amostra de metal de referência, como Fe, Sc ou Al. É obtido pela seguinte fórmula abaixo Eq. 2:

$$FE = \frac{Mx \times Feb}{Mb \times Fex} \quad (2)$$

Na qual Mx e Fex são as concentrações dos metais analisados e Feb e Mb são as concentrações do elemento de fundos (background), onde pode ser observado na Tabela 2. O índice será avaliado de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4: Classificação ao índice FE.

| Valor | Classificação |
|--------|----------------------|
| FE < 1 | Sem enriquecimento |
| FE < 3 | Enriquecimento Menor |

| | |
|----------|-------------------------------------|
| FE 3-5 | Enriquecimento Moderado |
| FE 5-10 | Enriquecimento Moderadamente Severo |
| FE 10-25 | Enriquecimento Severo |

Fonte: Forstner (1964).

Com a finalidade de estimar a contribuição antropogênica dos metais, onde se dá significativa contaminação do sedimento de fundo, foi calculado o Fator de Contaminação de Hakanson (1980). Esse Fator de Contaminação (CF) é calculado pela razão da concentração do metal no sedimento pelo teor do nível de referência (background) (Tabela 1). É obtido pela Eq. 3 abaixo.

$$Cf = \frac{Coi-1}{(Bt)} \quad (3)$$

O Fator de Contaminação (CF) será avaliado de acordo com as seguintes classificações (Tabela 5).

Tabela 5: Classificação ao índice de Fator de Contaminação

| Valor | Classificação |
|--------------|---------------------------|
| $CF < 1$ | Baixa Contaminação |
| $1 < CF < 3$ | Contaminação Moderada |
| $3 < CF < 6$ | Contaminação Considerável |
| $CF > 6$ | Contaminação Alta |

Fonte: Hakanson (1980).

5.3.2 Avaliação do Risco Ecológico

O risco ecológico potencial procede de um protocolo com dois valores-guia, para concentração total de metais, e faz parte da diretriz de qualidade de sedimentos (SQGs): TEL (*Threshold Effect Level*), ou seja, nível de efeito de limite, abaixo deste não ocorre efeito adverso à comunidade biológica, e PEL (*Probable Effect Level*), nível de efeito provável a ocorrência de efeitos adversos para os organismos. Na faixa entre TEL e PEL situam-se os valores onde, ocasionalmente,

espera-se a ocorrência de tais efeitos (Silvério *et al.* 2006, Mozeto *et al.* 2007). Este índice tem como objetivo determinar se os metais nos sedimentos representam uma ameaça aos ecossistemas aquáticos (MACDONALD *et al.*, 2000).

A Tabela 6 apresenta os valores de referência de qualidade propostos para comparação com as concentrações totais dos metais extraídos.

Tabela 6: Valores de referência TEL e PEL.

| Valores de Referência | Cu | Cr | Zn | Cd | Ni | Pb |
|-----------------------|---------|------|-----|-------|------|------|
| | (mg/kg) | | | | | |
| TEL | 35,7 | 43,4 | 123 | 0,596 | 22,7 | 35 |
| PEL | 197 | 111 | 315 | 3,53 | 48,6 | 91,3 |

Fonte: MacDonald (2000).

5.3.3 Água

O índice da qualidade da água WQI-CCME matematicamente combina três medidas de variância (Espectro, frequência e magnitude) e também produz um número único sem unidade que representa a qualidade global da água em um local (CCME, 2001). É uma ferramenta amplamente utilizada em diferentes partes do mundo para resolver os problemas de gerenciamento de dados e avaliar sucesso e falhas nas estratégias de gestão para melhorar a qualidade da água. Uma série de índices foram desenvolvidos para resumir os dados de qualidade da água para comunicação ao público em geral de forma eficaz. Em índices gerais de qualidade da água é incorporado dados de vários parâmetros de qualidade da água para uma equação matemática (Eq. 4) que avalia a saúde do corpo d'água com um único número. Esse número é colocado em uma escala para justificar a qualidade da água em categorias que variam de muito ruim a excelente (CCME, 2017).

$$CCMEWQI = 100 - \left(\frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1.732} \right) \quad (4)$$

Onde F1 é definido como escopo, ou seja, representa a porcentagem de parâmetros que obtiveram falhas em relação ao número total de parâmetros medidos. Já F2 é a porcentagem de testes individuais que não atendem às especificações, ou seja, os testes que foram reprovados. E F3 definido como

amplitude, na qual constitui a quantidade pela qual os valores de testes reprovados não atendem às suas diretrizes.

O divisor 1.732 normaliza os valores resultantes para uma faixa entre 0 e 100 (Tabela 7), onde 0 representa uma água de péssima qualidade e 100 representa uma ótima qualidade da água.

Tabela 7: Classificação para o índice WQI.

| Nível de Qualidade / Categoria | Faixa | Interpretação |
|---------------------------------------|--------------|---|
| Excelente | 95-100 | água protegida, com uma virtual ausência de ameaça ou prejuízo; condições muito próximas dos níveis naturais ou intocada. |
| Bom | 80-94 | água protegida, com baixa probabilidade de ameaça ou prejuízo; condições próximas dos níveis naturais ou desejáveis. |
| Regular | 65-79 | água geralmente protegida, mas, ocasionalmente, ameaçada ou prejudicada; condições, por vezes, afasta-se dos níveis naturais ou desejáveis. |
| Ruim | 45-64 | água frequentemente ameaçada ou prejudicada; condições muitas vezes fora dos níveis naturais ou desejáveis. |
| Muito Ruim | 0-44 | água quase sempre ameaçada ou prejudicada, condições geralmente fora de níveis naturais ou desejáveis. |

Fonte: CCME (2017).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Geoacumulação dos Sedimentos

De acordo com a concentração média dos metais, o Cádmiio (Cd) apresentou valores não detectáveis (ND), abaixo de 0. Por outro lado, o Cobre (Cu) apresentou os maiores valores, com concentração média de 237,63 mg/kg, o Cromo (Cr) 137,29 mg/kg e o Zinco (Zn) 100,22 mg/kg para todos os riachos de 1º e 2º ordem (Tabela 8). Com esses resultados foi possível se calcular o índice de geoacumulação para cada metal.

Tabela 8: Concentração de metais para cada riacho.

| Riachos | Pb (mg/kg) | Cr (mg/kg) | Ni (mg/kg) | Cu (mg/kg) | Zn (mg/kg) | Cd (mg/kg) |
|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Jaçana | 18,1 | 186 | 53,3 | 498 | 193 | ND |
| Floriano | 19,5 | 161 | 56,3 | 468 | 145 | ND |
| Paiçandu | 14,4 | 70,3 | 21,5 | 226 | 94,6 | ND |
| Polinópolis | 1,29 | 21,2 | 5,38 | 2,69 | 5,97 | ND |
| Atalaia | 2,59 | 12,8 | 4,18 | 3,89 | 3,09 | ND |
| Atlântico | 10,3 | 61,7 | 26,8 | 314 | 143 | ND |
| Maringá | 9,24 | 44,5 | 16,7 | 161 | 81,7 | ND |
| Guaiapó | 8,13 | 105 | 19,9 | 238 | 87,3 | ND |
| Moscado | 9,9 | 293 | 23,5 | 218 | 115 | ND |
| Borba gato | 11,7 | 117 | 24,6 | 263 | 117 | ND |
| Pinguim | 25,4 | 475 | 28,7 | 235 | 109 | ND |
| Morangueira | 19,6 | 100 | 24,4 | 224 | 108 | ND |

Fonte: Autoria Própria (2021).

O riacho Jaçaná, Floriano, Atlântico, obteve maior concentração do metal Cu em comparação com os outros metais, com valor 498 mg/kg, 468 mg/kg, 314 mg/kg, respectivamente. Em alguns riachos como Moscado e Pinguim obtiveram valores altos de concentração de Cr, 293 mg/kg e 475 mg/kg respectivamente. Já os riachos Borba gato e Morangueira tiveram destaque com o metal Zn, com 117 mg/kg e 108 mg/kg de concentração.

Tabela 9: Valores para os índices de geoacumulação em sedimento.

| Elementos | <i>Igeo</i> | <i>FE</i> | <i>CF</i> |
|-----------|-------------|-----------|-----------|
| Pb | -0,8275 | 0,7362 | 0,7777 |
| Cr | -0,3419 | 1,0308 | 1,1749 |
| Ni | -0,1720 | 1,1596 | 1,2791 |
| Cu | 2,6638 | 8,2787 | 9,4652 |
| Zn | 0,0397 | 1,3429 | 1,5265 |
| Cd | 0 | 0 | 0 |

Fonte: Autoria Própria (2021).

A maioria dos metais apresentaram valores de geoacumulação (*Igeo*) baixos para os riachos, variando de 0 a 2 e abaixo de 0. Portanto, não são considerados poluidores. No entanto, o Cu mostrou um valor de 2,66 para os riachos, sendo classificado como moderadamente poluidor, e os demais metais classificados como não poluidor (Tabela 9).

Em um estudo realizado em Arroio João Dias, onde se coletou amostras de sedimentos do Rio Reno mostrou que o Cobre apresentou um *Igeo* igual a 1 e 2, sendo classificado moderado poluidor para o riacho. Os resultados de *Igeo* de Cobre determinados no curso médio e inferior do Arroio João Dias foram significativamente superiores aos valores do Rio Reno, podendo ser contaminado por influência da mineração presente no local (LUCIANO LAYBAUER, 1997).

O Fator de enriquecimento (FE) determina o grau de interferência humana examinado por poluição de metal e auxilia no entendimento do acúmulo e contaminação por metal, sendo medido com base em uma amostra de metal de referência, como por exemplo o Ferro. De acordo com a Tabela 9, percebe-se que o cobre é o metal que possui o maior valor de FE comparado aos outros metais, tendo como valor 8,27. Portanto, a concentração de Cobre para todos os riachos mostrou uma classificação de enriquecimento moderadamente severo de acordo com suas classificações.

Os valores de CF mostram que novamente o Cu apresentou valores acima do background, com valor de 9,46 para os riachos. Portanto, por ter apresentado valores acima de 6, esse metal constitui um elemento de alta contaminação para ambos os riachos na região de Maringá. (Tabela 8).

Um estudo realizado no Rio Jordão na região Centro-Sul do Estado do Paraná observou-se através do índice fator de contaminação que o metal Cu e Zn apresentaram contaminação moderada entre 1 e 3, e os demais metais determinados se encontram na faixa de valores de baixa contaminação. Os metais Cu e Zn, sob condições oxidantes e em meio ácido, são solúveis e possuem uma boa mobilidade nos sistemas aquáticos. Foi verificado neste estudo que onde há o maior incremento em Cu, Pb e Zn foi observado, principalmente, onde há evidências de lançamento de cargas orgânicas e efluentes domésticos (ADELMO LOWE *et al.*, 2010).

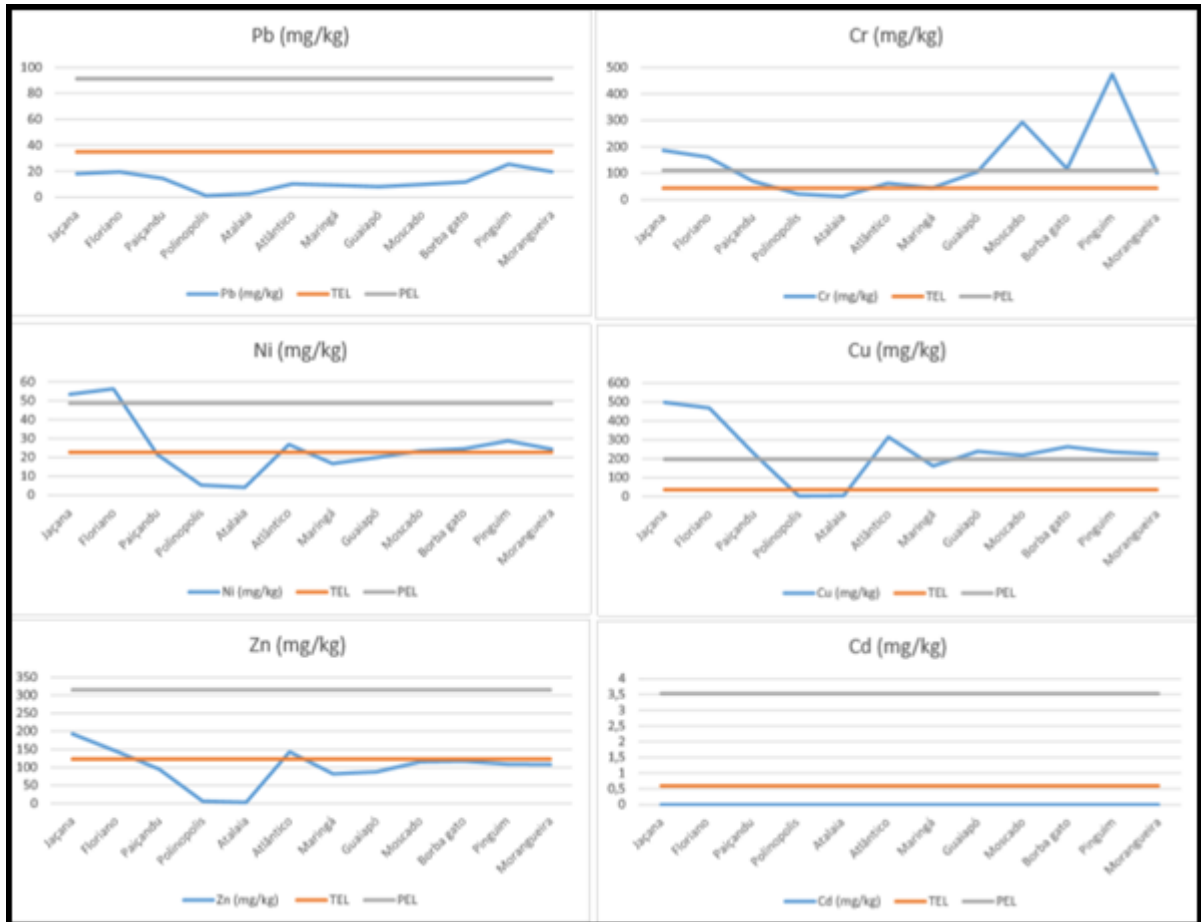
O aumento da industrialização provocou um deslocamento massivo do cobre da litosfera para a superfície terrestre, o que se caracterizou um poluente (Ellgaard; Guillot, 1988). Isso se dá por suas propriedades, como durabilidade, condutividade elétrica e térmica. O cobre tem sido utilizado em diversas aplicações nas indústrias, como ligas, manufaturas de fios e condutores, utensílios de cozinha, tubulações residenciais, manufatura de moedas, tintas, baterias, mineração, agrotóxicos no solo, podendo ser facilmente detectado em efluentes industriais, efluentes domésticos e em incineradores de resíduos municipais. (GUNTHER, 1998; SPEHAR *et al.*, 1982).

Os rios do Sul e Sudeste do Brasil têm apresentado um aumento nas concentrações de cobre nas últimas décadas, devido a intensa industrialização e uso de agrotóxicos para agricultura, que apresenta diversos ramos de produção agrícola, como o algodão, soja, milho, cana de açúcar e trigo destas regiões (CETESB, 1998).

Para determinar se os metais nos sedimentos representam uma ameaça aos ecossistemas aquáticos, foram comparadas as concentrações dos metais com os valores limites de TEL e PEL (Figura 2). O TEL (*Threshold Effect Level*) define a concentração abaixo da qual efeitos biológicos adversos raramente ocorrem e PEL (*Probable Effect Level*) representa uma concentração acima da qual efeitos são esperados que ocorram em uma gama mais ampla de organismos, e na faixa entre TEL e PEL situam-se os valores onde, ocasionalmente, espera-se a ocorrência de tais efeitos. De acordo com os resultados, o elemento cromo representa um risco ecológico para os riachos Jaçana, Floriano, Moscado, Borba Gato, Pinguim e Morangueira pelo fato de estarem acima da linha de TEL e PEL. O Níquel apresenta um risco ecológico para os riachos Jaçana e Floriano. Cu apresenta risco para todos

os riachos, exceto os riachos Polinópolis e Atalaia. O cádmio e o chumbo, em ambos os riachos, não representam nenhum risco, por possuir valores abaixo do limite detectável, o chumbo fica bem próximo a zero, não representando uma ameaça. Já o zinco é detectável e poluidor, porém ele não representa uma ameaça para os riachos, por estar abaixo da linha PEL.

Figura 2: Gráfico da análise de risco ecológico para os metais.



Fonte: Autoria Própria (2021).

6.2 Avaliação da Qualidade da Água

A partir dos resultados das análises físico-química e microbiológica realizada pelo laboratório Meriux NutriScience foi possível se ter parâmetros para serem calculados pelo índice da qualidade da água e serem comparados pelos valores máximos permitidos pela resolução CONAMA 357 (Tabela 11). As análises microbiológicas foram qualitativas, obtendo presença de coliformes totais e termotolerantes para todos os riachos. Percebe-se através dos resultados das

análises físico-químicas que os riachos Morangueira, Pinguim, Guaiapó e Maringá obtiveram resultados altos de Nitrogênio, com 7,46 mg/L, 6,29 mg/L, 8,65 mg/L, 5,66 mg/L respectivamente. Os metais que se mostraram presentes foi o Zinco e Cobre, para os riachos Morangueira, Moscado, Atlântico, Paiçandu, Floriano e Jaçana (Tabela 10).

Tabela 10: Resultado das análises físico-química para os riachos.

| Riachos | pH (a 25°C) | DBO (mg/L) | DQO (mg/L) | Turbidez (NTU) | Nitrogênio (mg/L) | Fósforo (mg/L) | Cd (mg/L) | Pb (mg/L) | Cr (mg/L) | Zn (mg/L) | Ni (mg/L) | Cu (mg/L) |
|-------------|-------------|------------|------------|----------------|-------------------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Morangueira | 7,3 | 0 | 0 | 55,3 | 7,46 | 0,08 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,01 |
| Pinguim | 7,37 | < 3 | 10,6 | 0,89 | 6,29 | 0,04 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Borba gato | 7,43 | 0 | 0 | 1 | 4,8 | 0,04 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Moscado | 6,94 | 0 | 14 | 11,4 | 3,45 | 0,1 | 0 | 0 | 0 | 0,046 | 0 | 0,009 |
| Guaiapó | 7,15 | 0 | 0 | 2,76 | 8,65 | 0,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Maringá | 7,14 | 0 | 0 | 4,8 | 5,66 | 0,07 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Atlântico | 6,77 | 0 | 0 | 6,73 | 0,63 | 0,04 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,007 |
| Atalaia | 6,94 | 0 | 0 | 4,6 | 2,23 | 0,04 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Polinópolis | 6,99 | 0 | 0 | 30,5 | 1,28 | 0,03 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Paiçandu | 7,43 | 0 | 0 | 89,2 | 0,6 | 0,08 | 0 | 0 | 0 | 0,012 | 0 | 0,016 |
| Floriano | 7,08 | 0 | 0 | 12,8 | 1,77 | 0,06 | 0 | 0 | 0 | 0,001 | 0 | 0,005 |
| Jaçana | 7,45 | 0 | 0 | 14,4 | 1,37 | 0,08 | 0 | 0 | 0 | 0,018 | 0 | 0,013 |

Fonte: Laboratório Merieux NutriSciences (2020).

Tabela 11: Valor Máximo Permitido para Classe 2.

| Parâmetros Inorgânicos | Valor Máximo (mg/L) |
|------------------------|---------------------|
| Cádmio Total | 0,5 |
| Chumbo total | 0,01 |
| Cianeto livre | 0,005 |
| Cloreto total | 250 |
| Cobre dissolvido | 0,009 |

| | |
|------------------|--------------------|
| Cromo total | 0,05 |
| Ferro dissolvido | 0,3 |
| Fluoreto total | 1,4 |
| Fósforo total | 0,1 |
| Níquel total | 0,025 |
| Nitrogênio total | 2,0 (pH 7,5 à 8,0) |
| Zinco total | 0,18 |

Fonte: CONAMA 357/2005.

Os resultados do WQI apresentados demonstram uma qualidade classificada como excelente, entre 95 a 100, boa, entre 80 a 94, e regular, entre 65 a 79 de acordo com o Quadro 1. O riacho Guaiapó inserido na paisagem urbana foi o único que obteve a classificação regular, com um índice de 76,5 indicando estar ameaçada e prejudicada, por não estar em condições naturais ideais (Figura 3 e Tabela 11).

Figura 3: Resultados do Índice WQI para cada riacho.



Fonte: Autoria Própria (2021).

A variável que ocasionou a queda na qualidade da água para alguns riachos foi o Cobre (Cu) que ficou acima do VMP (0,009 mg/L), Nitrogênio que também ficou acima (2,0 mg/L para pH menor que 7,5), e o parâmetro Fósforo (P) ficando acima de 0,1 mg/L de acordo com a resolução CONAMA 357/2005. A Agência Nacional de Águas (ANA) junto ao CONAMA 357/2005 define todos os riachos coletados como

classe 2 (Tabela 10). O valor médio de concentração para o cobre para os pontos coletados foram 0,005 mg/L, Nitrogênio com 3,68 mg/L, e o Fósforo 0,08 mg/L.

O elemento fósforo pode ser encontrado nos corpos d'água sob várias formas, sendo as comuns os ortofosfatos, polifosfatos e o fósforo orgânico. O fósforo é constituinte em sólidos em suspensão e sólidos solutos, na natureza é proveniente da dissolução dos solos e decomposição de matéria orgânica, já sua ocorrência antrópica pode advir do uso de fertilizantes, despejo domésticos e industriais, detergentes e excrementos animais. O fósforo quando em excesso em um curso d'água pode possibilitar crescimento de algas podendo vir a causar a eutrofização do curso d'água. Embora não traga prejuízos diretos à saúde humana, elevados índices de fósforo podem indicar fontes de poluição como os citados resíduos domésticos e industriais (SPERLING, 2005).

O nitrogênio pode ser encontrado no meio aquático nas seguintes formas: nitrogênio molecular, nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal (amônia), nitrato e nitrito. Na natureza o nitrogênio está presente nas proteínas e pode advir também da composição celular de microrganismos. Quanto à origem antropogênica do nitrogênio pode ser proveniente também de despejos domésticos e industriais assim como decomposição de animais e fertilizantes químicos, podendo indicar grau de contaminação (Sperling, 2005).

Já o cobre de acordo com Ramalho *et al.* (2000) possui características relevantes quando se trata de impactos ambientais, pois estão presentes em fertilizantes e pesticidas. O Brasil é o campeão mundial em consumo de agrotóxicos. Em 2008, foram utilizadas 673.862 toneladas de agrotóxicos, dos quais o Paraná, estado onde está inserida a área de estudo, participa com a utilização de aproximadamente 100 mil toneladas de agrotóxicos. Na qual, vale ressaltar que os riachos estudados que estão inseridos na área rural ficam próximos de plantações de milho e soja. O Paraná utiliza 12 quilos de agrotóxico por hectare ao ano, enquanto a média brasileira de consumo é de 4 quilos/ha/ano. Os agrotóxicos utilizados no estado são considerados “muito perigosos” e “perigosos”, numa classificação que vai de “pouco” a “altamente perigoso” (IBGE, 2012).

A presença do cobre também pode ocorrer de forma natural, ou seja, nativa em basaltos da Bacia do Paraná. A origem deste mineral, bem como sua distribuição nestas rochas, representa um problema geológico. O cobre nativo é acompanhado por argilominerais, calcita, quartzo e zeólitas. E ocorre no interior da rocha

associados aos minerais da mesóstase. A província basáltica do Paraná cobre uma extensão área de 1.200.00 km² no sudeste da América do Sul. (PEATE *et al.*, 1992; TURNER *et al.*, 1999)

De acordo com Pinto *et al.* (2011) que realizou um estudo em Vista Alegre no Paraná conclui que o distrito abriga 85 ocorrências conhecidas de cobre nativo e associados a minerais nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, extremo sul do Brasil. Ocorrências de cobre nativo são principalmente associadas a crostas amigdalóides superiores de fluxos de lava basáltica, mas também estão presentes nos núcleos das lavas. A mineralização do cobre nativo foi o resultado da atividade epigenética e hidrotérmica de baixa temperatura.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação ambiental através das análises dos sedimentos de fundo de riachos inseridos em paisagens urbanas e rurais pertencentes às sub-bacias das bacias hidrográficas dos rios Ivaí e Pirapó foi possível através dos índices de avaliação de sedimentos, como índice de geoacumulação, fator de contaminação, fator de enriquecimento e risco ecológico.

Os resultados mostraram uma alteração em relação aos valores de background, indicando uma possível contaminação antropogênica. As atividades antropogênicas do desenvolvimento econômico-social da região de Maringá-PR podem ter causado a geoacumulação do metal Cu e Cr em uma quantidade significativa, e dos metais Pb, Ni, Zn, Cd nos riachos. A poluição do Cobre pode ter acontecido principalmente pela atividade agrícola presente na região onde os riachos encontram-se inseridos ou de forma natural através da formação basáltica do Paraná. Já o Cromo pelos resíduos industriais, pela presença de indústrias alimentícias e siderúrgicas presentes na região.

Consequentemente os metais apresentam índice poluidor, porém apenas o elemento Cu não apresenta um risco ambiental significativo devido suas altas concentrações nos sedimentos dos riachos. O Cádmiu que obteve concentrações muito próximas a zero, não se classifica um elemento poluidor e prejudicial para os riachos estudados.

A avaliação da qualidade da água aplicando o WQI CCME no período estudado permitiu concluir que a água é considerada de excelente à boa dos pontos coletados. Embora a amostra do riacho Guaiapó tenha sido a única considerada regular, devido à concentração de cobre, nitrogênio e fósforo ter excedido o seu valor máximo permitido pela resolução CONAMA 357/2005, possibilita o estudo de alta tecnologia para o tratamento da água.

O WQI-CCME apresentou-se como uma ótima ferramenta para avaliar a qualidade de água em corpos hídricos com diferentes características, uma vez que este é justificado na flexibilidade em incluir ou excluir parâmetros da qualidade da água, possibilitando a sua adaptação aos objetivos existentes para cada classe de uso do corpo hídrico.

É de extrema importância o estudo da qualidade ambiental de riachos a nível de gestão pública, na qual facilita trabalhos de melhorias de bacias hidrográficas

interferindo diretamente na saúde pública, preservação do ecossistema e controle de fontes de poluição.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA), **HIDROWEB**. Disponível em: www.ana.gov.br. Acesso em: 15 abr. 2021.

ADELMO LOWE *et al.* Caracterização de sedimento superficial do Rio Jordão na Região Centro-Sul do Estado do Paraná, Brasil. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**. Vol. 5. N 1, abril, 2010, pp. 134-144.

ALLEONI, L.R.F.; BORBA, R.P. & CAMARGO, O.A. **Metais: da cosmogênese aos solos brasileiros**. Tópicos em Ciências do Solo, v. 4, p. 1-42, 2005.

AKAISHI, Fabíola Mazzaro. **Aplicação de biomarcadores de contaminação ambiental em estudos de laboratório e monitoramento em campo**. Dissertação de Mestrado em Morfologia. Programa de Pós-graduação em Biologia Celular e Molecular. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2003. 123p.

AXTMANN E. V. & LUOMA S. N. 1991. **Large-scale distribution of metal contamination in the finegrained sediments of the Clark Fork River**. Montana. Appl. Geochem. 6 (1): 75-88.

BRASIL. Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005. **Conselho Nacional de Meio Ambiente**. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 20 abr. 2021.

BATALHA, Bem-Hur Luttembarck; PARLATORE, Antonio Carlos. **Controle da Qualidade da Água para Consumo Humano - Bases Conceituais e Operacionais**. São Paulo: CETESB, 1977. 198p.

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT (CCME). 2017. **Water Quality Index1.0 technical report**. Disponível em:

<https://www.ccme.ca/fr/res/synthesis-of-research-and-application-of-the-ccme-water-quality-index-2017.pdf>. Acesso em: 21 abr.2021.

CARDOSO, Alice Rodrigues. **Evolução urbana e o enriquecimento de sedimentos por metais-traço na barragem mãe d'água, sub-bacia do arroio dilúvio, RMPA-RS.** Dissertação de Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. 87p

CETESB – **Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.** Relatórios de Qualidade das Águas Superficiais no Estado de São Paulo dos anos de 2005, 2006, 2007, 2008 e 2009. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 20 abr.2021.

CRUZ, J.C.; TUCCI, C.E.M. **Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência.** *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v.13, n.1, p.111-124. 2008.

DESTEFANI, E. V. **Regime Hidrológico do Rio Ivaí – PR.** 2005. 95f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Estadual de Maringá, Maringá. 2005.

DERISIO, José Carlos. **Introdução ao Controle de Poluição Ambiental.** 2.ed. São Paulo: Signus, 2000. 164p.

EMBRATEL. **Empresa Brasileira de Telecomunicações.** Guia de Águas. Divisão de Benefícios. Medicina do Trabalho. 1983. 49p.

FAUSTINO, J. **Planificación y gestión de manejo de cuencas.** Turrialba: CATIE, 1996. 90p.

FENG H, JIANG H, GAO W, WEINSTEIN MP, ZHANG Q, *et al* (2011). **Metal contamination in sediments of the western Bohai Bay and adjacent estuaries, China.** *J Environ Manag* 92: 1185-1197.

FINOTTI, A. R.; FINKLER, R.; SILVA, M. D.; CEMIM, G. **Monitoramento de Recursos Hídricos em Áreas Urbanas.** Caxias do Sul: Educ., 2009. p272.

GOUZEE, N., MAZIJN, B. & BILLHARZ, S. (1995). **Indicators of Sustainable Development for Decision-Making. Report of the Workshop of Ghent,**

Belgium, 9-11 January 1995, Submitted to Zomission on Sustainable Development. Published by the Federal Planning Office of Belgium.

GUILHERME, L.R.G. *et al.* **Elementos-traço em solos e sistemas aquáticos.** Tópicos em Ciências do Solo, v. 4, p. 345-390, 2005.

HAKANSON, L. **An ecological risk index aquatic pollution control.** A sedimentological approach. *Water Res.*, v.14, p.975-1001, 1980.

HERZBERG, Frederick. **The motivation to work.** Ed. John Wiley, and Sons, Inc., New York, 1960.

HOROWITZ, A. J.; ELRICK, K. A.; SMITH, J. J. **Monitoring urban impacts on suspended sediment, trace element, and nutrient fluxes within the City of Atlanta, Georgia, USA: program design, methodological considerations, and initial results.** *Hydrological Processes*, v. 22, n. 10, p. 1473-1496, 2008.
<http://dx.doi.org/10.1002/hyp.6699>

HRONCOVÁ, E., LADOMERSKÝ, J. & DIRNER, V., 2014. The contamination of bottom sediments in water reservoirs in the vicinity of Banská Štiavnica (Slovakia) by potentially toxic elements. **Carpathian Journal of Earth and Environmental Science**, 9, 2.231-239.

IBGE - **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019).** Base de dados eletrônica. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 20 abr. 2021.

JACOBSON, M. **Atmospheric pollution.** Cambridge University Press, London, 339pp. 2000.

JHA, A. N. **Genotoxic studies in aquatic organisms: on overview.** *Mutation Research*, v. 552, 1-17pp, 2004.

JOHN H. DUFFUS. Discussão do termo em *Chemistry International*. Vol 23 No 6 November 2001 – **Heavy Metals** – A Meaningless Term.

KOLLURU, R. V & BROOKS, D. G. **Evaluación de riesgos integrada y administración estratégica**. R. S. (Ed.). McGraw-Hill, 1998.

LEONARDO, H.C.L. **Indicadores de qualidade de solo e água para avaliação do uso sustentável da microbacia hidrográfica do rio Passo CUE, região oeste do Estado do Paraná**. 2003. 121p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

LUCIANO LAYBAUER, 1997. **Influência da Mineração no Incremento e na Disponibilidade Geoquímica de Cobre em Sedimentos Fluviais – O Caso das Minas do Camaquã, RS, Brasil**. CPGeo. Instituto de Geociências. UFRGS, Caixa Postal 15001 , CEP 91 501-970 , Porto Alegre, RS, Brasil

MAACK, R. (2002). **Geografia física do estado do Paraná**. Imprensa Oficial, Curitiba.

MANAHAN, Stanley E. (Eds). **Fundamentals of Environmental Chemistry**. Lewis: Boca Raton, 1993. 844p.

MARTINS, F.B. *et al.* **Zoneamento Ambiental da sub – bacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria (RS)**. Estudo de caso. Cerne, Lavras, v.11, n.3, p.315-322, jul./set. 2005.

MACDONALD, D. D., INGERSOLL, C. G., & BERGER, T. A. (2000). **Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems**. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 39(1), 20– 31. <https://doi.org/10.1007/s002440010075>.

MIGUEL, D. E.; CHARLESWORTH, E.; ORDÓÑEZ, S.; SEIJAS, A.; GEOCHEMICAL, E. Fingerprints and controls in the sediments of an urban river: River Manzanares, Madrid (Spain). **The Science of the Total Environment**, v.340, n.1-3, p.137-148, 2005. PMID:15752498. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.07.031>

MMA. GEO Brasil: **Recursos Hídricos**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente; Agência Nacional de Águas; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, 2007.

MOHRIR A.; RAMTEKE D S.; MOGHE C. A.; WATE S. R.; SARIN R. **Surface and groundwater quality assessment in Bina region**, IJEP, 2002, 22(4), 961-969.

MOSCA, A.A.O. **Caracterização hidrológica de duas microbacias visando a identificação de indicadores hidrológicos para o monitoramento ambiental de manejo de florestas plantadas**. 2003. 96p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

MOZETO A.A., NASCIMENTO M.R.L. DO, SILVA E.F.A, FIORAVANTI M.I.A. 2007. **Avaliação da contaminação por metais e metaloides (água, sedimento e peixe) no rio São Francisco em Três Marias (MG - Brasil)**: Projeto de pesquisa participativa com a comunidade local. São Carlos, UFSCar, Relatório Técnico- científico, 68 p.

MOZETO, A. A. **Manejo da qualidade da água e da dinâmica do sedimento e do particulado da represa do Guarapiranga e do rio Grande, RMSP, UFSCAR: São Carlos, 1996**. (Projeto RHAÉ, processo nº 610419/95-1).

MÜLLER, G. (1969). **Index of Geoaccumulation in sediments of the Rhine River**. GeoJournal, 2, 108.

NRIAGU, J.O.; PACYNA, J.M. **Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils with trace metals**. Nature, v. 33, p. 134-139, 1988.

PASSOS, M. M. (2007). **A raia divisória: eco história da raia divisória**. EDUEM, Maringá-PR.

PEATE *et al.*, 1992. **Chemical stratigraphy of the Paraná lavas (South America)**: Classification of magma types and their spatial distribution: Bulletin of Volcanology, v. 55, p. 119–139.

PINTO, VITER MAGALHÃES *et al.* **Epigenetic hydrothermal origin of native copper and supergene enrichment in the Vista Alegre district, Paraná basaltic province, southernmost Brazil**. International Geology Review. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto

Alegre, Brazil. p. 1163-1179. Vol. 53. 20 ago. 2011. Disponível em: <https://scihub.se/https://doi.org/10.1080/00206810903464547>. Acesso em: 20 jul. 2021.

POGGIO, L.; VRASCAJ, B.; SHULIN, R.; HEPERLE, E.; AJMONE, F. Metals pollution and human bioaccessibility of topsoils in Grugliasco (Italy) **Environmental Pollution**, v. 157, p. 680-689, 2009.

POLETO, C.; CHARLESWORTH, S. **Sedimentology of Aqueous Systems**. Londres: Wiley-Blackwell, 2010. 216p.

POLETO, C.; MERTEN, G. H. **Urban watershed studies in southern Brazil**. **Journal of Urban and Environmental Engineering**, v.1, n.2, p. 70-78, 2007.

POLETO, C.; CASTILHOS, Z. C. **Impactos por poluição difusa de sedimentos em bacias urbanas**. **Ambiente e sedimentos**. Porto Alegre: ABRH, 2008.

PRADHAN S. K.; PATNAIK D.; ROUT S. P. 2001. **Groundwater quality index for groundwater around a phosphatic fertilizers plant**, **Indian J Environ Protect.**, 21(4), 355-358.

OLLER, A. R. **Respiratory carcinogenicity assesement of soluble nickel compounds**. **Environ. Health. Perspect**, v. 110, suppl 5, p. 841-4,. 2002.

SANTANA, D.P. **Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 63p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 30).

SALOMONS, W. & FÖRSTNER, U. 1984. **Metals in the hydrocycle**. Springer-Verlag, Berlin, 349p.

SILVEIRA, L. M. **Análise rítmica dos tipos de tempo no Norte do Paraná, aplicada ao clima local de Maringá - PR**. 2003. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003

SILVÉRIO P.F., NASCIMENTO M.R.L., MOZETO A.A. 2006. **Valores-guia de qualidade de sedimentos de ambientes aquáticos continentais e valores de**

referência de metais e metalóides em sedimentos. São Carlos, Cubo Multimídia, p. 71-89.

SPERLING, M.V. – **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 1 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG; 1996. 452 p.

STROBL, R.O.; ROBILLARD, P.D. Network design for water quality monitoring of surface freshwaters: a review. **Journal of Environmental Management**, v. 87, n. 4, p. 639-648, 2008.

TAYLOR, K. G.; OWENS, P. N. Sediments in urban river basins: a review of sediment–contaminant dynamics in an environmental system conditioned by human activities. **Journal of Soils and Sediments**, v. 9, n. 4, p. 281-303, 2009. <http://dx.doi.org/10.1007/s11368009-0103-z>.

TIJANI, M. N., JINNO, K., & HIROSHIRO, Y. (2004). **Environmental impact of heavy metal distribution in water and sediment of Ogunpa River**, Ibadan area, southwestern Nigeria. *J. Min. Geol.*, 40(1), 73-83.

TUCCI, C. E. M. 1997. **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** 2.ed. Porto Alegre: ABRH/ Editora da UFRGS, 1997. (Col. ABRH de Recursos Hídricos, v 4).

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia - Ciência e Aplicação.** 4 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2009a. 943 p.

VAROL, M.; GÖKOT, B.; BEKLEYEN, A.; ŞEN, B. **Spatial and temporal variations in surface water quality of the dam reservoirs in the Tigris River basin, Turkey.** *Catena*, v. 92, p. 11-21, 2012.

VON SPERLING, M. **Estudos de modelagem da qualidade da água de rios.** Belo Horizonte: UFMG, 2007. Vol. 7. 452 p.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3ª Ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais; 2005.

USEPA (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY).
Priorities for ecological protection: an initial list and discussion document for EPA. Washington, DC: Office of Research and Development. EPA/600/S-002F.1997.

WHO. **World Health Organization. Chromium. Geneva.** 1988. Disponível em: <https://www.euro.who.int/en>. Acesso em: 20 ago. 2021.

ZAMUNER, L.D. **Erosão urbana em Maringá-PR: o caso do Parque Florestal dos Pioneiros - Bosque II.** 2001. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2001.

ZHUANG W, LIU Y, CHEN Q *et al* (2016). **A new index for assessing heavy metal contamination in sediments of the Beijing-Hangzhou Grand Canal (Zaozhuang Segment): a case study.** *Ecol. Indic.* 69:252–26.