



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE
FEDERAL DE RONDÔNIA

ETIENNE OLIVEIRA SILVA

**HIDROGEOQUÍMICA DO RIO MACHADO E SEUS
PRINCIPAIS AFLUENTES - RESERVA BIOLÓGICA DO JARU
– RONDÔNIA**

Ji-Paraná
2020

**PROFÁGUA - MESTRADO PROFISSIONAL EM REDE
NACIONAL EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE
RECURSOS HÍDRICOS**



Campus Ji-Paraná

ETIENNE OLIVEIRA SILVA

**HIDROGEOQUÍMICA DO RIO MACHADO E SEUS
PRINCIPAIS AFLUENTES - RESERVA BIOLÓGICA DO JARU
– RONDÔNIA**

Ji-Paraná
2020

Dissertação apresentada ao PROFÁGUA – Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação Dos Recursos Hídricos, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação dos Recursos Hídricos.

Área de concentração: Instrumentos da Política de Recursos Hídricos

Linha de pesquisa: Ferramentas Aplicadas aos Instrumentos de Gestão

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo de Almeida

Coorientadora: Prof. Dra. Elisabete Lourdes do Nascimento

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Fundação Universidade Federal de Rondônia
Gerada automaticamente mediante informações fornecidas pelo(a) autor(a)

S586h Silva, Etienne Oliveira.

Hidroguequímica do Rio Machado e seus principais afluentes - Reserva Biológica do Jaru - Rondônia / Etienne Oliveira Silva. – Ji-Paraná, RO, 2020.

168 f. : il.

Orientador(a): Prof. Dr. Ronaldo de Almeida

Coorientador(a): Prof.ª Dra. Elisabete Lourdes do Nascimento.

Dissertação ((Profágua)) - Fundação Universidade Federal de Rondônia

1.Hidroguequímica. 2.Recursos Hídricos. 3.Reserva Biológica. I. Almeida, Ronaldo de. II. Título.

CDU 550.4

Bibliotecário(a) Alex Almeida

CRB 11.853

-
- **PROFÁGUA – MESTRADO PROFISSIONAL EM REDE NACIONAL EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS**



MINISTERIO DA EDUCAÇÃO
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM REDE NACIONAL EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título da dissertação: Hidrogeoquímica do Rio Machado e seus principais afluentes - Reserva Biológica do Jaru – Rondônia

Autor : Etienne Oliveira Silva

Orientador: Ronaldo de Almeida

Coorientadora: Elisabete Lourdes do Nascimento

A presente dissertação foi aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS, área de concentração: Instrumentos da Política de Recursos Hídricos, pela Comissão examinadora:

Prof. Dr. Ronaldo de Almeida - Universidade Federal de Rondônia – UNIR, Orientador

Prof. Dr. Wanderley Rodrigues Bastos - Universidade Federal de Rondônia – UNIR, Membro interno (Profªgua)

Prof. Dr. Angelo Gilberto Manzatto - Universidade Federal de Rondônia – UNIR, Membro externo

Ji-Paraná, 27 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **RONALDO DE ALMEIDA, Docente**, em 27/11/2020, às 18:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **WANDERLEY RODRIGUES BASTOS, Docente**, em 27/11/2020, às 18:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **ANGELO GILBERTO MANZATTO, Membro de Comissão**, em 27/11/2020, às 18:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.unir.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 0543965 e o código CRC 4BE409A1.

Referência: Processo nº 999119631.000002/2020-39

SEI nº 0543965

Certificado PROFAGUA 0543965

SEI 999119631.000002/2020-39 / pg. 1

• **PROFÁGUA – MESTRADO PROFISSIONAL EM REDE NACIONAL EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao Grande Arquiteto do Universo (Deus) e aos meus familiares. Em especial à minha mãe, ao meu pai (*in memoriam*), à minha esposa, às minhas filhas por todo o apoio, compreensão e carinho sempre presentes na minha caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos gestores e funcionários da REBIO do Jaru/ICMBio, ao meu orientador, a minha coorientadora, à todos do Laboratório de Limnologia e Microbiologia da UNIR campus de Ji-Paraná e a equipe do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental Wolfgang Christian Pfeiffer da UNIR, campus de Porto Velho pelo suporte, prontidão, paciência e orientações ao longo de todo o processo. Também agradeço aos amigos que ganhei no mestrado pelas diversas parcerias formadas nas construções das atividades complementares e também pelas amizades sinceras para a vida. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. O autor também agradece ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE nº 2717/2015 e ao *campus* Ji-Paraná da Fundação Universidade Federal de Rondônia.

EPÍGRAFE

“Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.”

Constituição da República Federativa do Brasil,
Caput do artigo 225 de 05 de outubro de 1988.

RESUMO

Existe uma lacuna de informação acerca da dinâmica hidrogeoquímica dos corpos d'água de áreas protegidas por lei no Brasil, à exemplo da Reserva Biológica do Jaru, Rondônia. Um dos principais instrumentos de sustentação de uma política de planejamento e gestão de recursos hídricos é o monitoramento da qualidade da água. Tal procedimento possibilita analisar por exemplo, os impactos que ações antrópicas podem causar aos recursos hídricos. Essas informações subsidiam a tomada de ações adequadas de controle ambiental. O objetivo deste trabalho foi analisar a dinâmica de parâmetros físico-químicos e biológicos da água dos principais afluentes da margem direita e esquerda do Rio Machado, inseridos nos limites da REBIO do Jaru, com foco na análise dos elementos-traço. A área de estudo é o trecho do Rio Machado que margeia e delimita a porção da Reserva Biológica do Jaru (9°50' 17,573"S e 61°42'28,333"O) com uma extensão de 144,6 km. Foram realizadas quatro coletas, abrangendo os quatro períodos do ciclo hidrológico (águas altas, vazante, águas baixas e enchente). Os pontos de coleta corresponderam a quatro corpos hídricos da margem esquerda, seis corpos hídricos da margem direita e três pontos no Rio Machado totalizando 13 pontos. *In loco* foram analisados a transparência da água com disco de Secchi, temperatura, condutividade elétrica e potencial hidrogeniônico. As amostras de sedimento de fundo foram coletadas com draga de Van Veen e as amostras de água da superfície foram coletadas com garrafa de Van Dorn para determinação em laboratório das seguintes variáveis: oxigênio dissolvido, sólidos em suspensão, turbidez, nutrientes totais e dissolvidos, clorofila *a*, elementos-traço (Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sr, V e Zn). A condutividade elétrica teve seu maior valor no período das águas baixas no Rio Jaru (75,10 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) e o menor valor encontrado no período da vazante no Igarapé Cajueiro (5,50 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$). O resultado da média da variável nitrato, apresentou desconformidade com os valores de referência (10,00 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ NO_3), onde o maior valor encontrado foi no ponto correspondente ao médio Rio Machado (18,61±17,86 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$). O cálculo do Índice de Estado trófico - IET para as concentrações de fósforo total, indicaram que na vazante o rio Anari apresentou o seu estado em eutrófico (61,39) e o Igarapé Azul, apresentou-se como ultraoligotrófico (45,58). Os resultados da estatística descritiva das concentrações médias totais dos elementos-traço na água seguiram a seguinte ordem decrescente: Zn>Fe>Mn>Al> Ni>Ba>Sr> V>As>Pb >Cd >Cu >Co. O cromo não foi detectado em todo o ciclo hidrológico analisado e o zinco registrou desconformidade com a resolução CONAMA nº 357/2005 em relação ao limite máximo permitido (180 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), onde o maior valor encontrado (3192,00 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) foi nas águas baixas no Igarapé Buenos Aires. As concentrações dos elementos-traço dissolvidos foram verificadas nas águas altas e baixas, onde as concentrações médias seguiram em ordem decrescente: Fe>Mn>Zn>Ba>Al>Sr>Pb>V>Ni. Na estatística descritiva das concentrações das médias gerais dos elementos-traço no sedimento, a ordem decrescente foi: Al>Fe>Mn>Ba>V>Z>Cr>Ni>As>Cd>Pb>Cu>Sr>Co. Os resultados dos elementos-traço no sedimento do trecho do Rio Machado e seus afluentes não apresentaram contaminações pontuais no período deste estudo, uma vez que seus valores estiveram abaixo dos limites permitidos. Os resultados encontrados neste trabalho podem contribuir para a preservação e melhor gestão dos recursos hídricos da área estudada e, tais contribuições, estão alinhadas com os globais Objetivos do Desenvolvimento Sustentável - ODS 6 e 15.

Palavras-chave: Hidrogeoquímica, Recursos Hídricos, Reserva Biológica.

ABSTRACT

Abstract: There is a gap in information about the hydrogeochemical dynamics of water bodies in law-protected areas in Brazil, such as Jaru Biological Reserve, Rondônia. One of the main instruments to support a water resource planning and management policy is water quality monitoring. This procedure makes it possible to analyse, for example, the impacts that anthropic actions can cause to water resources. This information supports the taking of appropriate environmental control actions. The objective of this work was to analyze the dynamics of physical-chemical and biological parameters of the water of the main tributaries of the right and left margins of the Machado River, inserted in the limits of REBIO do Jaru, focusing on the analysis of the trace elements. The study area is the stretch of the Machado River that borders and borders the portion of the Jaru Biological Reserve (9°50' 17,573"S and 61°42'28,333"O) with an extension of 144,6 km. Four collections were performed, covering the four periods of the hydrological cycle (high water, descending water period, low water and rise water). The collection points correspond to four water bodies on the left bank, six water bodies on the right bank and three points on the Machado River totalling 13 points. In loco, water transparency with Secchi disk, temperature, electrical conductivity and hydrogen potential were analyzed. Bottom sediment samples were collected with Van Veen dredge and surface water samples were collected with Van Dorn bottle for laboratory determination of the following variables: dissolved oxygen, suspended solids, turbidity, total and dissolved nutrients, chlorophyll a, trace elements (Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sr, V and Zn). The electrical conductivity had its highest value in the period of low waters in the Jaru River (75.10 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) and the lowest value found in the period of ebb in the Igarapé Cajueiro (5.50 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$). The result of the mean of the nitrate variable, showed non-conformity with the reference values (10.00 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ NO₃), where the highest value was found at the point corresponding to the middle Machado River (18.61 ± 17.86 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$). The calculation of the Trophic State Index - TSI for the concentrations of total phosphorus, indicated that at low tide the Anari river presented its eutrophic state (61.39) and the Igarapé Azul, presented itself as ultraoligotrophic (45.58). The results of the descriptive statistics of the average total concentrations of trace elements in water followed the decreasing order: Zn>Fe>Mn>Al>Ni>Ba>Sr>V>As>Pb>Cd>Cu>Co. Chromium was not detected in the entire hydrological cycle analyzed and zinc registered non-compliance with CONAMA resolution n° 357/2005 in relation to the maximum allowed limit (180 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), where the highest value found (3192.00 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) was in the low waters at Igarapé Buenos Aires. The concentrations of the dissolved trace elements were verified in the high and low waters, where the average concentrations followed in decreasing order: Fe>Mn>Zn>Ba>Al>Sr>Pb>V>Ni. In the descriptive statistics of the concentrations of the general means of the trace elements in the sediment, the decreasing order was: Al>Fe>Mn>Ba>V>Z>Cr>Ni>As>Cd>Pb>Cu>Sr>Co. The results of the trace elements in the sediment of the Machado River section and its tributaries did not show occasional contamination during the period of this study, since their values were below the permitted limits. The results found in this work can contribute to the preservation and better management of water resources in the studied area and, such contributions, are aligned with the global Sustainable Development Goals - SDG 6 and 15.

Keyword: Hydrogeochemistry, Water Resources, Biological Reserve

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| LISTA DE FIGURAS | XII |
| LISTA DE TABELAS E QUADROS | XIII |
| LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS | XV |
| 1 INTRODUÇÃO..... | 18 |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO..... | 23 |
| 2.1 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA E RECURSOS HÍDRICOS..... | 23 |
| 2.2 CONTAMINAÇÃO DOS ECOSISTEMAS AQUÁTICOS | 25 |
| 2.3 ÍNDICE DO ESTADO TRÓFICO - IET | 26 |
| 2.4 ELEMENTOS – TRAÇO..... | 27 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS | 30 |
| 3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO | 30 |
| 3.1.1 <i>Caracterização física e ambiental das Bacias Hidrográficas</i> | 32 |
| 3.2 AMOSTRAGEM, PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS E ANÁLISES..... | 41 |
| 3.2.1 <i>Coleta, preservação das amostras e determinação dos parâmetros químicos, físicos e biológicos</i> | 41 |
| 3.2.2 <i>Determinação de parâmetros físicos, químicos e biológicos</i> | 44 |
| 3.2.3 <i>Determinação de Clorofila a</i> | 45 |
| 3.2.4 <i>Determinação do Fósforo Dissolvido</i> | 46 |
| 3.2.5 <i>Determinação do Fósforo Total (PTOTAL)</i> | 46 |
| 3.2.6 <i>Determinação de Amônia (N-NH₃+NH₄⁺)</i> | 47 |
| 3.2.7 <i>Determinação de Nitrito (N-NO₂⁻)</i> | 47 |
| 3.2.8 <i>Determinação de Nitrato (NO₃⁻)</i> | 47 |
| 3.2.9 <i>Determinação do Índice de Estado Trófico</i> | 48 |
| 3.2.10 <i>Determinação do Oxigênio Dissolvido</i> | 48 |
| 3.2.11 <i>Determinação de Sólidos em Suspensão</i> | 49 |
| 3.2.12 <i>Determinação da Transparência</i> | 49 |
| 3.2.13 <i>Determinação da Turbidez</i> | 50 |
| 3.2.14 <i>Determinação de elementos-traço na água e no sedimento de fundo</i> | 50 |
| 3.2.15 <i>Controle de qualidade analítico</i> | 51 |
| 3.2.16 <i>Tratamento estatístico</i> | 52 |
| 3.2.17 <i>Análise das Componentes Principais - ACP</i> | 52 |
| 3.3 PRODUTO TÉCNICO..... | 53 |
| 4 RESULTADOS | 53 |
| 4.1 PARÂMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DA ÁGUA | 53 |
| 4.2 CÁLCULO DO ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO (IET) | 64 |
| 4.3 RESULTADOS DA CONCENTRAÇÃO DOS ELEMENTOS-TRAÇO NAS MATRIZES ÁGUA E SEDIMENTO..... | 67 |
| 4.3.1 <i>Elementos-traço na matriz água por sazonalidade entre afluentes e rio principal: Fração Total</i> | 67 |
| 4.3.2 <i>Elementos-traço na matriz água por sazonalidade entre afluentes e rio principal: Fração dissolvida</i> | 73 |
| 4.3.3 <i>Elementos-traço no sedimento por sazonalidade entre afluentes e rio principal</i> | 77 |
| 4.4 ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS COM A LEGISLAÇÃO BRASILEIRA | 84 |
| 4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA DOS ELEMENTOS-TRAÇO | 87 |
| 5 DISCUSSÃO..... | 91 |
| 5.1 VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS..... | 91 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 5.2 | ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO..... | 98 |
| 5.3 | ELEMENTOS-TRAÇO..... | 100 |
| 5.3.1 | <i>Elementos-traço na água</i> | 100 |
| 5.3.2 | <i>Elementos-traço no sedimento</i> | 104 |
| 6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 106 |
| 7 | RECOMENDAÇÕES | 107 |
| | REFERÊNCIAS | 108 |
| | APÊNDICES | 119 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Localização da área de estudo e distribuição dos pontos amostrais. | 32 |
| Figura 2 - Delimitação das bacias hidrográficas da margem direita e margem esquerda do Rio Machado na área de estudo..... | 34 |
| Figura 3 - Bacia hidrográfica do Rio Machado – RO e uso da terra. | 36 |
| Figura 4 - Regime hidrológico do Rio Machado no período de janeiro a dezembro de 2019 evidenciando os períodos de amostragem. Dados da estação fluviométrica (15560000). | 39 |
| Figura 5 – Imagens do Ciclo hidrológico de 2019 e sua respectiva variação de sazonalidade registrada no exutório do Rio Tarumã. | 40 |
| Figura 6 - Regime de precipitação pluviométrica do Rio Machado no período de janeiro a dezembro de 2019. Dados da estação pluviométrica (1061003). | 41 |
| Figura 7 - a) Draga de Van Veen para coleta de sedimento de fundo. b) Garrafa de Van Dorn para coleta de água superficial..... | 43 |
| Figura 8 - Fluxograma das análises e métodos realizados durante a pesquisa..... | 44 |
| Figura 9 - Valores do Índice do Estado Trófico por ponto de coleta. | 66 |
| Figura 10 - Valores do Índice de Estado Trófico por sazonalidade. | 67 |
| Figura 11 - Gráfico da PCA dos elementos traço nos sedimentos. | 90 |
| Figura 12 - Resultado da PCA dos elementos traço na água..... | 91 |

LISTA DE TABELAS E QUADROS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Características físicas e ambientais da Bacia hidrográfica (BH) do Rio Machado. | 35 |
| Tabela 2 - Características morfométricas das bacias hidrográficas (BHs) da área de estudo. | 37 |
| Tabela 3 - Pontos de coleta de água, sedimento de fundo e parâmetros físico-químicos e biológicos, codificação e coordenadas (SIRGAS 2000 - 20 S)..... | 41 |
| Tabela 4 - Análises e métodos realizados durante a pesquisa. | 43 |
| Tabela 5 –Recuperação percentual média dos elementos-traço em sedimentos em relação a amostra certificada (EnviroMatt SS2 - SCP-SCIENCE, 2005)..... | 51 |
| Tabela 6 - Resultado estatístico dos parâmetros físicos e químicos na água..... | 57 |
| Tabela 7 - Resultado estatístico do fósforo dissolvido ($\mu\text{g.L}^{-1}$); fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$), nitrato (mg.L^{-1}), nitrito ($\mu\text{g.L}^{-1}$), nitrogênio amoniacal ($\mu\text{g.L}^{-1}$), oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}), Potencial Hidrogeniônico (pH) por sazonalidade entre afluentes e rio principal..... | 59 |
| Tabela 8 - Resultado estatístico do fósforo dissolvido ($\mu\text{g.L}^{-1}$); fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$), nitrato (mg.L^{-1}), nitrito ($\mu\text{g.L}^{-1}$), nitrogênio amoniacal ($\mu\text{g.L}^{-1}$), oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}), Potencial Hidrogeniônico (pH) por sazonalidade entre afluentes e rio principal..... | 61 |
| Tabela 9 - Resultado estatístico dos parâmetros físicos condutividade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$), material particulado em suspensão (mg.L^{-1}), temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$), transparência (m), turbidez (UNT) por sazonalidade e por margem de contribuição | 62 |
| Tabela 10 - Resultado estatístico dos parâmetros físicos condutividade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$), material particulado em suspensão (mg.L^{-1}), temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$), transparência (m), turbidez (UNT) por sazonalidade e por margem de contribuição | 63 |
| Tabela 11 - Valores dos limites das concentrações de fósforo total para os diferentes estados tróficos..... | 64 |
| Tabela 12 - Índice de Estado Trófico – IET. | 65 |
| Tabela 13 - Estatística descritiva da concentração de elementos-traços na água em $\mu\text{g.L}^{-1}$ (fração total). | 69 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 14 - Resultado estatístico dos elementos-traço na água ($\mu\text{g.L}^{-1}$) por sazonalidade (Águas altas/águas baixas) entre afluentes e rio principal | 71 |
| Tabela 15 - Resultado estatístico dos elementos-traço totais na água ($\mu\text{g.L}^{-1}$) por sazonalidade (vazante/enchente) entre afluentes e rio principal | 72 |
| Tabela 16 - Estatística descritiva da concentração ($\mu\text{g.L}^{-1}$) de elementos-traço na fração dissolvida..... | 74 |
| Tabela 17 - Resultado estatístico dos elementos traços dissolvidos na água ($\mu\text{g.L}^{-1}$) por sazonalidade entre afluentes e rio principal..... | 76 |
| Tabela 18 - Estatística descritiva da concentração de elementos-traço ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) no sedimento. | 79 |
| Tabela 19 - Resultado estatístico das concentrações de elementos-traço no sedimento ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) por sazonalidade (águas altas e baixas) entre afluentes e rio principal. | 82 |
| Tabela 20 - Resultado estatístico das concentrações de elementos-traço no sedimento ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) por sazonalidade (vazante/enchente) entre afluentes e rio principal. | 83 |
| Tabela 21 - Matriz de correlação de Pearson..... | 87 |
| Tabela 22 – Resultado de comparação de médias (<i>Wilcoxon</i>) entre os elementos-traço por sazonalidade e entre afluentes e rio principal. | 89 |
| Tabela 23 - Resultados de concentração de amônia ($\mu\text{g/L}$) na água | 119 |
| Tabela 24 - Resultados de concentração de clorofila a ($\mu\text{g/L}$) na água..... | 119 |
| Tabela 25 - Resultados de condutividade elétrica da água ($\mu\text{S/cm}$)..... | 120 |
| Tabela 26 - Resultados de fósforo dissolvido ($\mu\text{g/L}$). | 120 |
| Tabela 27 - Resultado de fósforo total na água ($\mu\text{g/L}$)..... | 121 |
| Tabela 28 - Resultados de nitrato na água (mg/L)..... | 121 |
| Tabela 29 - Resultados de nitrito na água ($\mu\text{g/L}$). | 121 |
| Tabela 30 - Resultados de oxigênio dissolvido (OD) na água (mg/L). | 122 |
| Tabela 31 - Resultados de pH da água. | 123 |
| Tabela 32 - Profundidade de coleta de amostras de sedimento (m). | 123 |
| Tabela 33 - Resultados de sólidos em suspensão na água (mg.L^{-1}). | 124 |
| Tabela 34 - Resultados da temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$). | 124 |
| Tabela 35 - Resultados de transparência da água (m). | 125 |

Tabela 36 - Resultados de turbidez da água (UNT). 125

Quadro 1 - Características dos elementos-traço (ET's) estudados no meio ambiente. 29

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

| | |
|--------------------|---|
| AA | Águas Altas |
| AB | Águas Baixas |
| ACP | Análise de Componentes Principais |
| ANA | Agência Nacional de Águas |
| Al | Alumínio |
| As | Arsênio |
| Ba | Bário |
| BHs | Bacias Hidrográficas |
| CE | Condutividade Elétrica |
| Co | Cobalto |
| CONAMA | Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| CO ₂ | Dióxido de carbono |
| CP | Componente Principal |
| CPRM | Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais |
| Cu | Cobre |
| EMBRAPA | Empresa Brasileira de Pesquisa de Pesquisa Agropecuária |
| ETs | Elementos-traço |
| EN | Enchente |
| DP | Desvio-padrão |
| Fe | Ferro |
| GIS | <i>Geographic Information System</i> |
| GRH | Gerenciamento dos Recursos Hídricos |
| g.cm ⁻³ | Grama por centímetro cúbico |
| HCl | Ácido clorídrico |
| Hg | Mercúrio |
| HNO ₃ | Ácido nítrico |
| IET | Índice de Estado Trófico |
| IBAMA | Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis |
| ICMBio | Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade |
| ICP-OES | <i>Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy</i> (Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Acoplado Indutivamente) |

| | |
|---|--|
| K | Potássio |
| km | Quilômetro |
| Km ² | Quilômetros quadrados |
| KW | Kruskal-Wallis |
| m | metro |
| m ³ .s ⁻¹ | Metro cúbico por segundo |
| MMA | Ministério do Meio Ambiente |
| MnSO ₄ .H ₂ O | Sulfato Manganoso Hidratado |
| µg.L ⁻¹ | Micrograma por litro |
| µm | Micrômetro |
| µS.cm ⁻¹ | Microsiemens por centímetro |
| mL | Mililitro |
| mm | Milímetro |
| Mn | Manganês |
| MPS | Material particulado em suspensão em Suspensão |
| Na ₂ S ₂ O ₃ | Tiosulfato de Sódio |
| NaN ₃ | Azida de Sódio |
| NaOH | Hidróxido de Sódio |
| NO ₂ ⁻ | Nitrito |
| NO ₃ ⁻ | Nitrato |
| O ₂ | Oxigênio |
| OD | Oxigênio Dissolvido |
| ODS | Objetivos do Desenvolvimento Sustentável |
| N | Normal |
| Ni | Níquel |
| NTU | <i>Nephelometric Turbidity Units</i> (Unidade nefelométrica de turbidez) |
| °C | Grau <i>Celsius</i> |
| Pb | Chumbo |
| PCA | Principal Component Analysis |
| PERH | Plano Estadual de Recursos Hídricos |
| pH | Potencial Hidrogeniônico |
| PET | Poli (Tereftalato de Etileno) |
| PNRH | Política Nacional de Recursos Hídricos |
| ppb | Partes por Bilhão |
| ppm | Partes por Milhão |
| REBIO | Reserva Biológica |
| RO | Rondônia |
| SEDAM | Secretaria do Estado de Desenvolvimento Ambiental de Rondônia |
| SIG | Sistema de Informações Geográficas |
| SIRGAS | Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas |
| SIRH | Sistema de Informações de Recursos Hídricos |
| Si | Silício |
| SNUC | Sistema Nacional de Unidade de Conservação |

| | |
|------------------------|---|
| Sr | Estrôncio |
| TFP | Transporte Fluvial Particulado |
| TSS | Total de Sólidos em Suspensão |
| 3HCl:1HNO ₃ | Água régia |
| UC | Unidade de Conservação |
| UNIR | Universidade Federal de Rondônia |
| V | Vanádio |
| Zn | Zinco |
| <LDT | Abaixo do limite de detecção da técnica |

1 INTRODUÇÃO

O Governo Federal através da Lei Nº 9.985, de 18 de julho de 2000, instituiu o Sistema Nacional de Unidade de Conservação – SNUC. Este sistema estabeleceu a divisão das Unidades de Conservação - UCs em dois grandes grupos: as Unidades de Proteção Integral, que têm como objetivo preservar a natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais e, no outro grupo onde estão as Unidades de Uso Sustentável o objetivo é compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais (BRASIL, 2000). A Reserva Biológica do Jaru é uma unidade de conservação federal de proteção integral e representa uma das estratégias nacionais para o cumprimento dos compromissos, acordos e tratados multilaterais firmados pelo Brasil e por outros países, em busca de soluções globais para as questões ambientais (ICMBIO, 2010).

O SNUC dispõe o objetivo de conservação, a partir da seleção do objetivo de categoria. Esse objetivo identifica o motivo legal para a criação de uma determinada UC e exprime a resposta esperada da política pública para a conservação da natureza. Dessa maneira, o objetivo de categoria estabelecido na lei do SNUC para REBIO, consiste em preservar integralmente a biota e demais atributos naturais existentes em seus limites, sem interferência humana direta ou modificações ambientais (BRASIL, 2000). Ademais, também existe o objetivo de unidade, que por sua vez, é estabelecido pelo decreto de criação da UC, pelo planejamento específico e pelos objetivos estratégicos (ICMBIO, 2010).

As unidades de conservação - UCs detêm um papel importante na dinâmica climática, controlando o aumento da concentração de gases do efeito estufa na atmosfera, uma vez que agem como um filtro natural, absorvendo o CO₂ e liberando O₂. Também garantem a preservação da vasta variedade de espécies e o equilíbrio do meio através da conservação das florestas nativas, que por sua vez, estão situadas em diferentes posições de relevo exercendo variadas funções eco hidrológicas, como a regulação da vazão, o controle de erosão e o aporte de sedimentos, influenciando diretamente nos parâmetros físico-químicos dos cursos d'água e protegendo as áreas ripárias (TAMBOSI *et al.*, 2015).

A área continental total protegida no Brasil através das UCs federais correspondem à 1.717.875,48 km², representando 41,05% do total de todas as áreas protegidas sem considerar

as sobreposições e 9,32% do território continental nacional (MMA, 2020). A perpetuação desses espaços protegidos por lei são fundamentais para a manutenção da grande biodiversidade amazônica, deixando em nossas mãos a imensa responsabilidade de manutenção desta riqueza. No futuro, existe a possibilidade que essas áreas sejam as únicas amostras de ecossistemas naturais preservados, e as únicas fontes para novas descobertas científicas (PRIMACK e CORLETT, 2005). No Brasil, têm se mostrado cada vez mais importantes no sentido de preservação dos recursos naturais e dos serviços ambientais por elas prestados, frente ao desmatamento e demais danos antrópicos causados ao meio. Neste contexto está inserido a Reserva Biológica do Jaru - REBIO do Jaru, uma UC federal de proteção integral (ZIEMNICZAK, 2019).

A Reserva Biológica do Jaru - REBIO do Jaru está situada entre o limite estadual Rondônia - Mato Grosso, o igarapé Azul e o Rio Machado e mantém sob sua proteção uma área de 3.468,61 km² (ICMBIO, 2019). Foi criada em 1979 com intuito de preservar amostras de Floresta Ombrófila Aberta e manchas de contato entre a Floresta Amazônica e o Cerrado. Sua área de localização é considerada pelo Ministério do Meio Ambiente como área de extrema importância para a conservação da natureza, principalmente pela diversidade de invertebrados, biota aquática e aves. Sua área de abrangência envolve os territórios dos municípios de Ji-Paraná, Vale do Anari e Machadinho D'Oeste, estes estão no limite do estado de Rondônia com o Mato Grosso. A REBIO do Jaru pertence em sua totalidade à bacia hidrográfica do Rio Machado, afluente do Rio Madeira que é afluente do Rio Amazonas, pela margem direita (ICMBIO, 2010).

As decisões para administração e o manejo de rios são dependentes das complexas interações entre históricos de processos naturais, de usos do solo, dos efeitos da expansão industrial, do crescimento e consumo das populações humanas, da carga de matérias e das modificações no seu curso, que alteram as características do escoamento da sua bacia de drenagem, a qualidade da água, a distribuição dos sedimentos e conseqüentemente, a vida aquática (SCHWARZBOLD, 2000).

Os recursos hídricos vêm ao longo dos anos, sofrendo modificações por ação antrópica, resultando em prejuízos na qualidade e disponibilidade de água, levando a necessidade crescente do monitoramento das alterações na qualidade da água, de forma a garantir o não

comprometimento do seu aproveitamento múltiplo e de minimizar os seus impactos negativos ao ambiente (FRANCO, 2009).

Um dos principais instrumentos de sustentação de uma política de planejamento e gestão de recursos hídricos é monitoramento da qualidade da água, que funciona como um sensor possibilitando o acompanhamento do processo de uso dos corpos hídricos, apresentando seus efeitos sobre as características qualitativas das águas, visando subsidiar as ações de controle ambiental (GUEDES *et al.*, 2012).

Dentre os parâmetros utilizados para caracterizar fisicamente as águas naturais estão a cor, o sabor, o odor, a turbidez, os níveis de sólidos em suas diversas frações e a temperatura. Esses parâmetros físicos fornecem indicações preliminares importantes para a caracterização da qualidade química da água como, por exemplo, os níveis de sólidos em suspensão (associados à turbidez) e as concentrações de sólidos dissolvidos (associados à cor), os sólidos orgânicos (voláteis) e os sólidos minerais (fixos), os compostos que produzem odor, etc. As aplicações desses parâmetros nos estudos são imprescindíveis à maioria dos trabalhos envolvendo qualidade de águas. Os parâmetros químicos envolvem o potencial hidrogeniônico (pH), acidez, oxigênio dissolvido, fósforo, cloretos, dentre outros. Esses parâmetros permitem avaliar o conteúdo orgânico, a força iônica, gases dissolvidos, nutrientes, presença de compostos orgânicos sintéticos, dentre outros (PIVELI, 2010).

A qualidade da água nos corpos hídricos possui diversas maneiras de avaliação, dentre elas as análises físico-químicas e biológicas se destacam, sendo largamente utilizadas como parâmetros indicadores da qualidade. Segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo-CETESB (2014), clorofila *a*, por exemplo, é considerada uma importante variável indicadora do estado trófico de ambientes aquáticos e uma ferramenta útil na avaliação de impacto de contaminantes orgânicos e inorgânicos.

Um dos problemas mais sérios da toxicidade dos ambientes aquáticos, são as substâncias dissolvidas na água que causam inúmeros impactos diretos ou indiretos na saúde humana (TUNDISI, 2006). Os metais potencialmente tóxicos que têm como fontes principais os pesticidas, são representados pelo cobre (Cu), zinco (Zn) e chumbo (Pb), os fertilizantes pelo cádmio (Cd), cobre (Cu), níquel (Ni), chumbo (Pb) e zinco (Zn); enquanto aqueles cuja fonte é a queima de combustíveis fósseis podem ser representados pelo chumbo (Pb), cádmio (Cd),

zinco (Zn), cobre (Cu) dispersos na atmosfera, podendo depositar - se nos solos onde são lixiviados para os corpos de águas acumulando – se nos sedimentos (BELLUTA *et al.*, 2008).

É de conhecimento no meio científico, que os elementos químicos presentes no ambiente, fruto de lançamentos naturais e/ou antropogênicos (alguns neurotóxicos como o Cd, Pb, As e Hg) não são encontrados isoladamente, mas sim associados. A presença de Hg associado a outros metais pesados neurotóxicos como o Pb e o Cd são encontrados em algumas regiões do Brasil. Em Rondônia, algumas pequenas indústrias, lançadoras potenciais desses metais pesados, vêm se instalando às margens dos tributários do rio Madeira (BASTOS, 2004).

O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA (2007) realizou uma avaliação ecológica rápida para a revisão do Plano de Manejo da Reserva Biológica do Jaru, concluindo que a conservação da biodiversidade na unidade de conservação depende não só de sua criação, mas principalmente do conhecimento dos impactos causados sobre seu ecossistema e do desenvolvimento de estratégias apropriadas de fiscalização e manejo para mitigar os efeitos das interferências antrópicas. Este documento descreve sugestões de manejo para subsidiar a gestão da Unidade, tendo como recomendação sugerida como prioridade alta, o monitoramento da qualidade da água a ser realizado em diferentes pontos do Rio Machado e seus afluentes. Portanto, a manutenção da integridade biológica é fundamental para preservar a biodiversidade dulcícola da região como todo, assim como a saúde de seus recursos aquáticos.

Existe uma lacuna de informação acerca da dinâmica hidrogeoquímica dos corpos d'água de áreas protegidas por lei no Brasil, à exemplo da Reserva Biológica do Jaru, Rondônia. O monitoramento da qualidade da água é um dos principais instrumentos de sustentação de uma política de planejamento e de gestão dos recursos hídricos. Esse procedimento possibilita analisar por exemplo, os impactos que atividades antrópicas podem causar aos rios e igarapés. As informações geradas subsidiam a tomada de ações adequadas de controle ambiental (SILVA *et al.*, 2019).

O Rio Machado ou Ji-Paraná, constituído pela junção dos rios Pimenta Bueno e Comemoração, representa uma drenagem de suma importância, sendo um dos principais afluentes do rio Madeira pela sua margem direita. Da sua nascente até a sua foz no rio madeira, recebe a carga de despejo de efluentes sólidos e líquidos de cidades do interior de Rondônia, tais como, Cacoal,

Presidente Médici e Ji-Paraná. O Município de Ji-Paraná é a segunda maior cidade do Estado de Rondônia, sendo a mais próxima da Unidade de Conservação via fluvial, contribuindo para essa poluição e conseqüentemente pelo comprometimento da REBIO do Jaru que é banhada pelo Rio Machado em aproximadamente 145 km de extensão. Baseado neste contexto, o presente trabalho tem a importância de investigar a qualidade da água da área de estudo.

O levantamento de informações sobre os poluentes presentes na água do Rio Machado e seus afluentes, estabelece o conhecimento para mensuração do potencial risco de alteração do habitat natural da fauna e flora local. Além disso, o controle dos poluentes aquáticos serve como ferramenta para a realização de ações inibidoras contra aqueles que os produzem. É extremamente importante o monitoramento da qualidade de água e das atividades poluentes ocorridas no entorno imediato na REBIO do Jaru, devido a estes gerarem interferências diretas e indiretas na qualidade ambiental da reserva.

Os resultados encontrados neste trabalho podem contribuir para a manutenção e melhor gestão dos recursos hídricos da área estudada e, tais contribuições, estão alinhadas com os globais Objetivos do Desenvolvimento Sustentável - ODS 6 e 15 (ONU, 2015). Especificamente o objetivo 6, que traz a importância de assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento básico para todos e, o objetivo 15 que visa proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade.

Diante do exposto, o objetivo desta pesquisa foi analisar a dinâmica de parâmetros físico-químicos e biológicos da água dos principais afluentes da margem direita e esquerda do Rio Machado, inseridos nos limites da REBIO do Jaru, com foco na análise de elementos-traço tanto na matriz água quanto na matriz de sedimento. Os objetivos específicos foram:

- a) Realizar análises físico-químicas e biológicas da água dos principais afluentes da margem direita e esquerda do Rio Machado;
- b) Analisar influência sazonal dos principais afluentes do Rio Machado no fluxo de elementos-traço na água e sedimentos para compreensão deste ecossistema sob condições naturais e antrópicas;

- c) Verificar através do cálculo do Índice de Estado Trófico (IET) se ocorre alterações na qualidade da água devido ao enriquecimento por nutrientes possibilitando a compreensão deste ecossistema sob condições naturais e antrópicas;
- d) Comparar os valores encontrados com os valores estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 357/2005, 420/2009 e 454/2012).
- e) Confeccionar relatório técnico destinado aos gestores ambientais e de recursos hídricos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 *Legislação brasileira e recursos hídricos*

A Política Nacional de Recursos Hídricos e o Sistema Nacional de Recursos Hídricos estabelece os principais objetivos, fundamentos e instrumentos de gestão das águas no Brasil, a fim de garantir, às atuais e futuras gerações, água em quantidade e em qualidade suficientes para o atendimento das demandas, destacando que um de seus objetivos, é a percepção da conservação da água como valor socioambiental relevante (BRASIL, 1997).

No Estado de Rondônia, foi instituída a Política Estadual de Recursos Hídricos, pela Lei complementar nº 255 de 22 de janeiro de 2002, que por sua vez, é regulamentada pelo Decreto estadual nº 10114 de 20 de setembro de 2002, trazendo como um dos seus instrumentos para a gestão dos recursos hídricos o enquadramento dos corpos d'água, segundo os seus usos preponderantes (RONDÔNIA, 2002).

No âmbito Estadual, ainda não há Agência de Bacia Hidrográfica e, dessa forma, os corpos hídricos de Rondônia não possuem enquadramento quando se segue os tramites legais e critérios estabelecidos na Resolução CONAMA nº 357/05. Nesse sentido, enquanto não há efetivação do programa de enquadramento dos corpos d'água, considera-se o Art. 42º da referida Resolução, enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas classe 2, exceto se as condições de qualidade atuais forem melhores, o que determinará a aplicação da classe mais rigorosa. É um grande desafio à aplicação desse instrumento legal e para sua efetivação, é preciso constantes investimentos em capacitação

técnica nos órgãos gestores de recursos hídricos a fim de sanar as limitações existentes (COTA *et al.*, 2020).

Pesquisas recentes endossam que as características do meio físico acentuam a diversidade dos tipos de água da bacia Amazônica (SILVA *et al.*, 2016). O Estado de Rondônia por estar inserido na região Amazônica, no uso de seus recursos hídricos, também existem essas especificidades das características do meio físico, tais como como geologia, relevo e o solo, que tornam as águas da Amazônia diferentes entre si (SIOLI, 1951).

As águas Amazônicas foram classificadas por Sioli (1951) em três tipos, de acordo com sua cor: rios de águas brancas (barrentas), rios de águas pretas (marrons) e rios de águas claras (transparentes), mas nem sempre as águas Amazônicas estão distintas nessas três características, pois existem zonas de transição entre águas brancas e claras, claras e pretas, brancas e pretas, além de variação de tipo que ocorrem devido às variações sazonais (SIOLI e KLINGE, 1962).

Rios de águas brancas são rios que apresentam maior turbidez, tendo coloração em vários matizes de ocre, com quantidade de eletrólitos relativamente alta e com pH praticamente neutro, possuindo alto teor de sedimentos em suspensão e alta concentração de sais minerais. Os rios de águas pretas são muito ácidos, onde a acidez e a cor real de suas águas são atribuídas a presença de ácidos húmicos, originados de substâncias orgânicas não mineralizadas no solo da floresta. Já os de águas claras, geralmente possuem uma aparência mais transparente, devido à menor quantidade de matéria orgânica dissolvida, onde carregam pouco material em suspensão em virtude de suas áreas apresentarem relevo mais regular e oferecer menor possibilidade de erosão. Além disso, os rios de águas claras podem, dependendo das condições do local e da estação do ano, assumir características de águas brancas ou pretas, ou uma mistura destes dois tipos de água (SIOLI e KLINGE, 1962; SANTOS e RIBEIRO, 1988; SIOLI, 1991; FILIZOLA JR., 1999; DA CUNHA e PASCOALOTO, 2009)

Apesar da classificação das águas Amazônicas descritas anteriormente, poderem ser distinguidas por suas colorações, o que atribui diferenciação mais completa, são suas características físico-químicas. Tais características, como por exemplo, a turbidez elevada das águas brancas, bem como os valores de pH muito baixos das águas pretas são considerados

como naturais e, assim, dificultam as propostas de enquadramentos dos cursos de água na bacia Amazônica conforme os padrões estabelecidos na Resolução CONAMA n° 357/2005.

2.2 Contaminação dos ecossistemas aquáticos

Os ecossistemas aquáticos agem como integradores de todos os processos biogeoquímicos superficiais ou subterrâneos, sendo os principais destinos de defensivos químicos (RIBAS e MATSUMURA, 2009). Quando carregados para dentro dos corpos de água, os compostos tóxicos podem interagir diretamente com os organismos por ingestão e contato, ou se depositar no sedimento (MAGALHÃES e FERRÃO-FILHO, 2008). Os sedimentos compõem o compartimento ambiental em contato permanentemente com a água, por esse motivo a sua compreensão é importante para entender os diversos ciclos biogeoquímicos dos ecossistemas aquáticos (LOPES, 2010).

Por sua vez, os agrotóxicos são aplicados em larga escala, na agricultura e pastagens para a pecuária. Podem ser classificados como inseticidas, fungicidas, herbicidas, desfolhantes, fumegantes, rodenticidas / raticidas, nematicidas e acaricidas. O aumento considerável no volume aplicado tem trazido uma série de transtornos e modificações para o ambiente, tanto pela contaminação das comunidades de seres vivos que o compõe, quanto pela sua acumulação nos segmentos bióticos e abióticos do ecossistema, sabe-se que alguns podem persistir no ambiente por décadas (RIBAS e MATSUMURA, 2009).

No Plano Estadual de Recursos Hídricos de Rondônia - PERH-RO, observa-se a existência de lacunas no que diz respeito às possíveis poluições resultantes das atividades agrosilvopastoris, industriais e de extrativismo mineral. Por esses motivos, percebe-se que ainda a necessidade da implementação efetiva de pontos de controle e monitoramento da qualidade da água no Estado, o que iria apontar os principais contaminantes nestes corpos hídricos. O Plano abrange de forma muito ampla e genérica as causas de poluição destas atividades, trazendo a reflexão da expansão da fronteira agropecuária voltada prioritariamente para a produção de gado e grãos, representando a maior fonte de desmatamento no interior dos redutos florestais remanescentes em Rondônia, onde a expansão dessas atividades, tende muitas vezes, no manejo inadequado

do solo com o uso de agrotóxicos e fertilizantes que contaminam os corpos d'água locais (SEDAM, 2018).

O uso dos recursos hídricos vem se intensificando ao longo do tempo, onde os maiores utilizadores desses recursos no país são o setor industrial de transformação e minério (ANA, 2017). De acordo com Connor e Koncagül (2015), existe uma perspectiva de crescimento em demanda de água no mundo nesse setor, gerando uma preocupação com a disponibilidade e a qualidade desse recurso já que com o crescimento do uso da água em indústrias, muitas vezes estão associados ao aumento na geração de efluentes, o que provoca riscos para a qualidade da água dos corpos receptores.

Desta forma, a geração de efluentes do setor industrial traz diversos riscos para os corpos hídricos, uma vez que originam muitos tipos de poluentes orgânicos e inorgânicos, principalmente os metais pesados, que são um dos maiores problemas de poluição hídrica, tendo em vista que os sistemas de tratamentos industriais não são eficientes na sua remoção (ARCHELA *et al.*, 2003).

2.3 Índice do estado trófico - IET

Tundisi e Matsumura-Tundisi (2020) destacam que a eutrofização é resultado do enriquecimento com nutrientes (fósforo e nitrogênio) despejados de forma dissolvida ou particulada em lagos, represas e rios, e transformados em partículas orgânicas, matéria viva vegetal, pelo metabolismo das plantas.

O aporte excessivo de nutrientes ocasiona a eutrofização dos corpos d'água e provoca o crescimento exagerado de algas e cianobactérias que interferem nos processos fotossintéticos fazendo com que haja desequilíbrio da biota aquática e conseqüentemente, ocasionando a mortandade de peixes, decorrente da ausência de oxigênio dissolvido no meio (HELBEL *et al.*, 2020).

A degradação da qualidade das águas superficiais e subterrâneas é outro componente relevante dos usos da água na agricultura, e essa degradação deve ser quantificada. A eutrofização de lagos, represas e rios é uma das conseqüências dos usos excessivos de fertilizantes, os quais,

combinados com alterações de drenagem, podem aumentar consideravelmente e com rapidez os índices de estado trófico - IET (TUNDISI, 2008).

O IET, avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas ou ao aumento da infestação de macrófitas aquáticas, sendo utilizado para classificar corpos d'água em diferentes graus de trofia (ANA, 2018). A Clorofila *a* uma ferramenta útil frequentemente utilizada como indicadora da biomassa fitoplanctônica, ou seja, um indicador do crescimento de algas e cianobactérias devido ao enriquecimento por nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, fenômeno este denominado eutrofização (CETESB, 2014).

De acordo com Barreto et al. (2013) estudos sobre o estado trófico são mais frequentes em ambientes lênticos e durante muito tempo, as equações elaboradas para esses ambientes foram continuamente usadas para classificar rios, até que Lamparelli (2004) propôs a modificação destes índices diferenciados para aplicação específica para ambientes lóticos. Ainda existe uma carência de estudos sobre eutrofização em rios, principalmente no norte e nordeste do Brasil (BARRETO *et. al.*, 2013; LAMPARELLI, 2004).

2.4 ELEMENTOS – TRAÇO

Os elementos-traço podem ser metais alcalinos (por exemplo, Li e Cs), alcalino - terrosos (por exemplo, Sr e Ba), de transição (por exemplo, Cr e Fe) e não metais (por exemplo, As e Br), encontrados no meio ambiente em pequenas concentrações que vão da ordem de partes por bilhão (ppb) a partes por milhão (ppm) (ESTEVES, 2011; LEMES, 2001; GUILHERME *et al.*, 2005). Já os metais alcalinos Na e K, e metais alcalinos terrosos, Ca e Mg, devido a abundância e necessidade para os organismos vivos, geralmente são considerados como elementos maiores, principais, essenciais ou majoritários (GOLTERMAN, 1975).

Elementos-traço ou metais-traço são aqueles que se encontram em uma concentração menor que $100 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ no ambiente e sendo também considerados elementos químicos com densidade superior a $5 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-3}$ e número atômico maior que 20, estáveis e não degradáveis. A sua concentração de forma natural no solo é devido a ação do intemperismo da rocha mãe e de

outros processos pedogenéticos no material de origem. A preocupação com tais elementos se justifica pelos danos que eles podem causar do ponto de vista ambiental e a saúde pública (REBÊLO *et al.*, 2020).

É um consenso que um elemento é considerado traço na natureza (litosfera) quando estiver presente em níveis menores que 0,1%. Contudo, em pesquisas bioquímicas e biomédicas, elementos-traço são considerados como sendo aqueles que estão ordinariamente presentes no tecido de plantas e animais em concentrações menores que 0,01% do organismo. Em nutrição alimentar, elemento-traço pode ser definido como um elemento que seja de comum ocorrência, mas cuja concentração raramente exceda 20 partes por milhão (ppm) nos gêneros alimentícios quando consumido (ADRIANO, 2001).

Sabe-se que alguns desses elementos são considerados essenciais do ponto de vista biológico, enquanto outros não o são. Entre os elementos-traço para os quais não se conhecem nenhuma função biológica, estão arsênio (As), cádmio (Cd), chumbo (Pb) e mercúrio (Hg). Já entre aqueles considerados importantes para os homens e/ou as plantas estão o cromo (Cr), ferro (Fe), níquel (Ni), selênio (Se) e zinco (Zn). Mesmo os essenciais, quando presentes em altas concentrações no ambiente e sob certas condições específicas, podem causar impactos negativos dos mais diversos aos ecossistemas e à saúde humana (EMBRAPA, 2009).

Deve ser notado que alguns dos elementos-traço “nutritivos” (por exemplo, Mn e Zn) podem frequentemente exceder esta concentração. Outros termos que têm sido usados e considerados sinônimos para elementos traço são: metais traço, micronutrientes, microelementos, oligoelementos, elementos menores e inorgânicos traço. O termo “micronutrientes” usualmente é restringido para aqueles elementos (B, Cu, Fe, Mo, Mn e Zn) que são requeridos por plantas superiores (ADRIANO, 2001).

A carga total de elementos-traço nos solos e nos rios por exemplo, dependem das características geológicas e ecológicas das bacias de drenagem e do tipo de atividades humanas nelas presentes que podem alterar as suas concentrações (BURAK *et al.*, 2010). Os elementos-traço contaminam os solos principalmente pelo descarte inadequado de produtos comerciais e pela queima do carvão. Já nos ecossistemas aquáticos, as fontes de contaminação estão associadas ao descarte inadequado dos efluentes domésticos (As, Cr, Cu, Mn e Ni), da dispersão do lodo de esgotos (As, Mn e Pb), também pela queima do carvão (As, Hg e Se), nos processos de fabricação

de aço e ferro (Cr, Mo, Sb e Zn), na fundição de metais não-ferrosos (Cd, Ni, Pb e Se) e, por último, na deposição atmosférica (Pb e V) (GUILHERME *et al.*, 2005). Rios que recebem grandes cargas de rejeitos industriais apresentam, na maioria dos casos, grandes concentrações de elementos na fase dissolvida, enquanto rios sem contribuição antrópica apresentam a maior parte da carga total de elementos-traço associada ao material particulado em suspensão (LACERDA, 1983).

Estudos sobre a biogeoquímica dos elementos-traço são fundamentais para o delineamento de um panorama referente às contribuições naturais e antrópicas para os ecossistemas amazônicos, além de contribuir para a identificação de possíveis áreas das fontes de contaminação. O sedimento de fundo é local de deposição acumuladora dos poluentes e uma fonte de contaminação em potencial, onde qualquer interferência nesse sistema pode causar sérios impactos no que se refere à ecotoxicologia desse ambiente (COSTA JUNIOR, 2017). O Quadro 1 apresenta as características dos elementos-traço (ET's) quanto ao seu comportamento no meio ambiente.

Quadro 1 - Características dos elementos-traço (ET's) estudados no meio ambiente.

| ET's | Comportamento no meio ambiente |
|----------|---|
| Alumínio | O alumínio não é encontrado como um metal livre devido à sua reatividade. Possui somente um estado de oxidação (3+); desta forma, seu transporte e sua distribuição no meio ambiente dependem da constituição química e das características do local específico. A partição do alumínio da água para o sedimento e material particulado ocorre principalmente em pHs próximos a valores neutros. Na presença de altas quantidades de material orgânico como ácido fúlvico, os quais se ligam ao alumínio, podem acusar um aumento nas concentrações de alumínio dissolvido em ribeirões e lagos. |
| Cádmio | Em ecossistemas aquáticos, o Cd tem mais mobilidade que a maioria dos metais. Ele é encontrado em águas superficiais na forma hidratada $(Cd(H_2O)^{+2})$, como complexo iônico do tipo $CdCl^+$ ou ligado às substâncias inorgânicas ou orgânicas. Enquanto, as formas solúveis podem migrar na água, o Cd em complexos insolúveis ou adsorvidos a sedimentos é relativamente imóvel. No solo comporta-se de forma semelhante, sendo que em sua forma biodisponível pode ser bioacumulado por organismos aquáticos ou terrestres. |
| Chumbo | O chumbo é um metal ligado à poluição e tóxico, bioacumulativo e sem função biológica conhecida, tanto para as plantas como para os seres humanos. Formas orgânicas tóxicas deste metal estão também presentes no meio ambiente a partir de fontes diretas, além da possível metilação química/biológica de chumbo inorgânico em sedimentos anaeróbios. Uma fração significativa de chumbo insolúvel pode ser incorporada em material particulado de superfície de escoamento, como íons sorvidos (adsorvidos e absorvidos) ou ainda na cobertura de superfície em sedimentos. A maior parte do chumbo é retida nos sedimentos e muito pouco é transportado em águas de superfície ou subterrâneas. |
| Cobre | Em ecossistemas aquáticos, o Cu pode existir em formas dissolvidas (por exemplo, Cu^{2+}), ou ainda complexada com ânions inorgânicos ou ligantes orgânicos (por exemplo: carbonatos, cloretos, ácidos húmicos e fúlvicos). Esse metal forma hidróxido, fosfato e sulfeto insolúveis. Estas formas são adsorvidas pelo material particulado e sedimento, por isso em algumas regiões é comum encontrar altas concentrações desse |

| | |
|----------|---|
| | metal em sistemas aquáticos. No solo, o Cu possui afinidade para a sorção por ligantes orgânicos e inorgânicos. Na forma de sulfatos e cloretos, o Cu é mais biodisponível, do que nas formas orgânicas. |
| Cromo | Dos vários estados de oxidação do Cr, apenas as formas trivalentes e hexavalentes são consideradas importantes biologicamente. Em ecossistemas aquáticos, o Cr ⁶⁺ é solúvel, sendo estável o suficiente para sofrer transporte pelos sistemas aquáticos, terrestres e biológico. No entanto, a presença de NH ⁴⁺ , NO ₂ ⁻ e S ²⁻ , o Cr ⁶⁺ pode reagir e sofrer redução a Cr ³⁺ . O Cr ³⁺ geralmente não migra em sistemas naturais, pois precipita com facilidade, sendo adsorvido pelo material em suspensão e sedimentos. No solo o Cr ³⁺ é altamente imóvel podendo ser adsorvido, já o Cr ⁶⁺ no solo é instável e móvel. |
| Ferro | O Fe em pH abaixo de 7,5, baixas concentrações de oxigênio e baixo potencial redox, é encontrado basicamente na forma de Fe ²⁺ , que é solúvel sob a forma de bicarbonato (Fe(HCO ₃) ₂). Como hidróxido, carbonatos e sulfetos, o Fe ²⁺ se precipita. Já o Fe ³⁺ é mais solúvel na forma de hidróxido, Fe(OH) ₃ . Tanto o Fe ²⁺ quanto o Fe ³⁺ podem estar adsorvidos em partículas em suspensão ou complexados com substâncias orgânicas. |
| Manganês | O Mn é encontrado em todo ambiente aquático mesmo que em quantidades mínimas, podendo variar apenas seu estado de oxidação. O Mn precipita-se como: MnCO ₃ , MnS, Mn(OH) ₂ , e solubiliza-se principalmente, como Mn(HCO ₃) ₂ . Em ambientes bastantes oxigenados e pH levemente básico, parte do Mn é precipitado na forma de Mn(OH) ₂ . |
| Níquel | O transporte e a distribuição do níquel particulado entre os diferentes compartimentos ambientais são fortemente influenciados pelo tamanho das partículas e condições meteorológicas. Nos rios, o níquel é transportado como partículas precipitadas com materiais orgânicos. Nos sedimentos podem ser depositados por processos como: precipitação, complexação e adsorção sobre a argila e também agregação à biota. |
| Vanádio | Na natureza pode ser encontrado em vários tipos de minerais, no carvão mineral, no óleo combustível e no óleo bruto como, por exemplo, no petróleo, que são as fontes mais difundidas de descarga de vanádio no meio ambiente. A emissão de elementos tóxicos provenientes da queima de combustíveis fósseis é um assunto de grande preocupação. O vanádio está entre os elementos nocivos liberados na queima de combustíveis, podendo escoar em sistemas de combustão, por vaporização de seus compostos orgânicos voláteis ou por meio de partículas. No petróleo e no carvão, o vanádio existe predominantemente como íon vanadila (VO ²⁻), como complexos porfirínicos e não porfirínicos muito estáveis, porém este elemento é emitido como óxido em qualquer tipo de matriz. Uma vez emitido, pode ser transportado a longas distâncias, resultando em efeitos adversos à saúde humana e ao meio ambiente. |
| Zinco | O Zn ocorre em ecossistemas aquáticos no estado de oxidação Zn ²⁺ , nas formas de íons hidratados, complexos, composto dissolvidos ou insolúveis, que podem se associar, predominantemente, ao material em suspensão antes de se acumular no sedimento. No solo, o Zn permanece fortemente sorvido, e, em geral, migra facilmente para o meio ambiente, nas formas de sulfatos e cloretos solúveis. Por outro lado, o Zn ligado à matéria orgânica é menos móvel, pois formam compostos pouco solúveis. |

Fonte: Adaptado Lopes (2010).

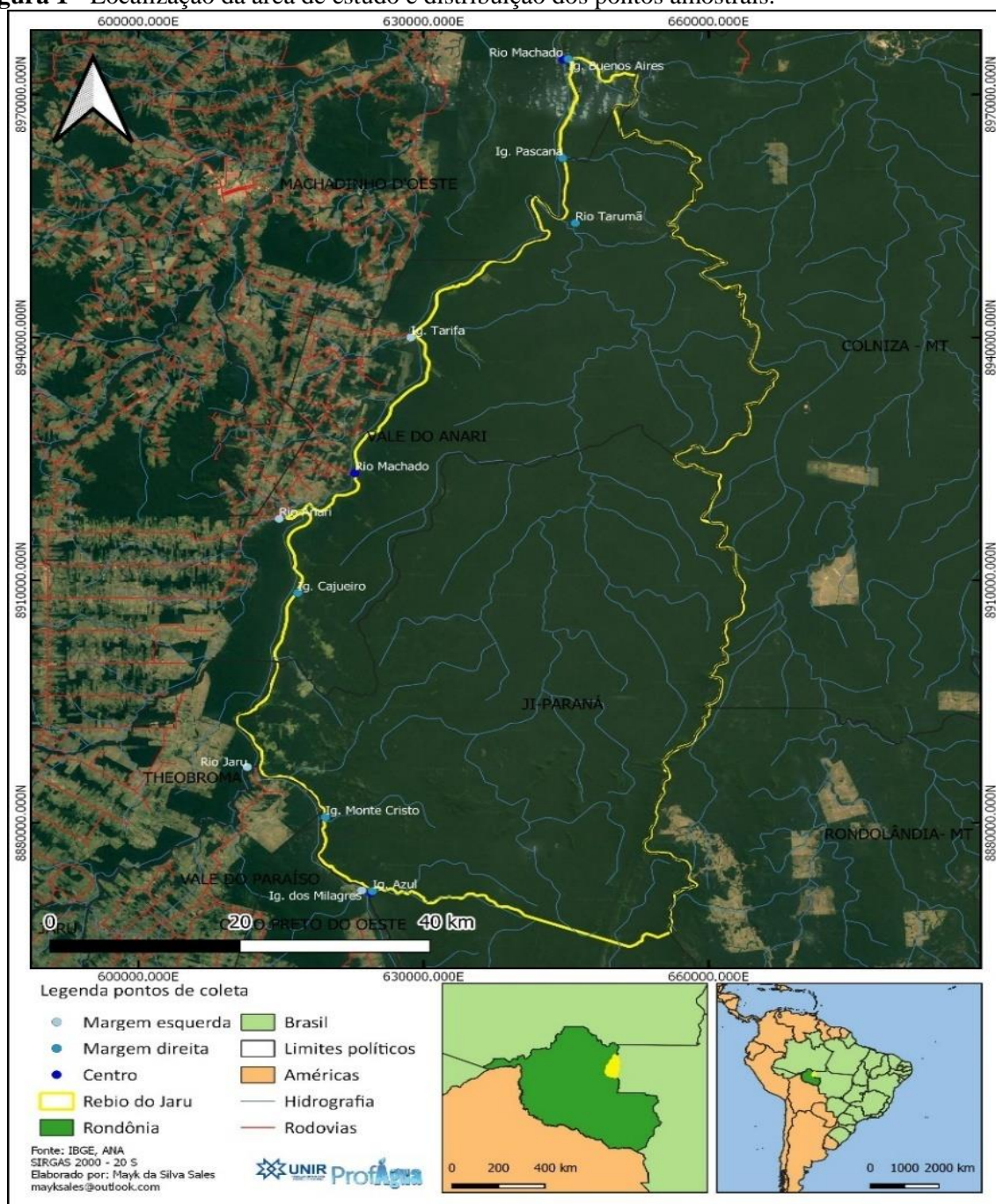
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é o trecho do Rio Machado (Figura 1) que margeia e delimita a porção da Reserva Biológica do Jaru (9°50' 17,573"S e 61°42'28,333"O) com uma extensão de 144,6 km.

Foram amostrados neste trecho os principais afluentes do Rio Machado, sendo quatro corpos hídricos da margem esquerda e seis corpos hídricos da margem direita. Além disso, ao longo da extensão do Rio Machado que delimita a unidade de conservação, mais três pontos de amostragem também foram estabelecidos. Totalizando 13 pontos de amostragem. A saber, são no sentido montante a jusante: Igarapé Azul (margem direita), Igarapé dos Milagres (margem esquerda), Igarapé Monte Cristo (margem direita), Rio Jaru (margem esquerda), Igarapé Cajueiro (margem direita), Rio Anari (margem esquerda), Igarapé Tarifa (margem esquerda), Rio Tarumã (margem direita), Igarapé Pascana (margem direita), Igarapé Buenos Aires (margem direita). Já no Rio Machado, os pontos correspondem, respectivamente, a região à montante, à metade da extensão do trecho e à jusante da REBIO do Jaru. Tal trecho selecionado de estudo corresponde ao médio baixo Rio Machado e a sua extensão corresponde à 11,63% da extensão do Rio Machado. A Figura 1 apresenta o mapa de localização e a distribuição dos pontos amostrais.

Figura 1 - Localização da área de estudo e distribuição dos pontos amostrais.



Fonte: Sales *et al* (2020).

3.1.1 Caracterização física e ambiental das Bacias Hidrográficas

A Lei Federal nº 9.433, de 08.01.97, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos com seus fundamentos básicos. Essa Lei considera a bacia hidrográfica como unidade territorial de gestão dos recursos hídricos, porque, enquanto espaço geográfico integra a maior parte das relações de causa e efeito a serem

consideradas na gestão deste recurso, entre elas aquelas que dizem respeito à contaminação devida às atividades antrópicas (BRASIL, 1997).

Para o processamento das informações geográficas e demais produções cartográficas foi realizado o levantamento de dados bibliográficos com base nos *shapes* em sítios governamentais. A espacialização desses dados vetoriais e matriciais foram processados no software QGIS (*Geographic Information System*) versão 3.2 (SALES *et al.*, 2020). A figura 2 demonstra o mapa de delimitação das bacias hidrográficas da margem direita e margem esquerda do Rio Machado na área de estudo.

Figura 2 - Delimitação das bacias hidrográficas da margem direita e margem esquerda do Rio Machado na área de estudo.



Fonte: Sales (2020).

O Rio Machado possui a extensão de aproximadamente 1.243 km desde a nascente (rio Pimenta Bueno) até a foz no rio Madeira, ao norte do Estado. No seu percurso, apresenta corredeiras e cachoeiras ao longo de seu trajeto que devido ao desmatamento, os processos de assoreamento são agravados, provocando a perda da nevegalidade principalmente no período de estiagem (FERNANDES e GUIMARÃES 2002).

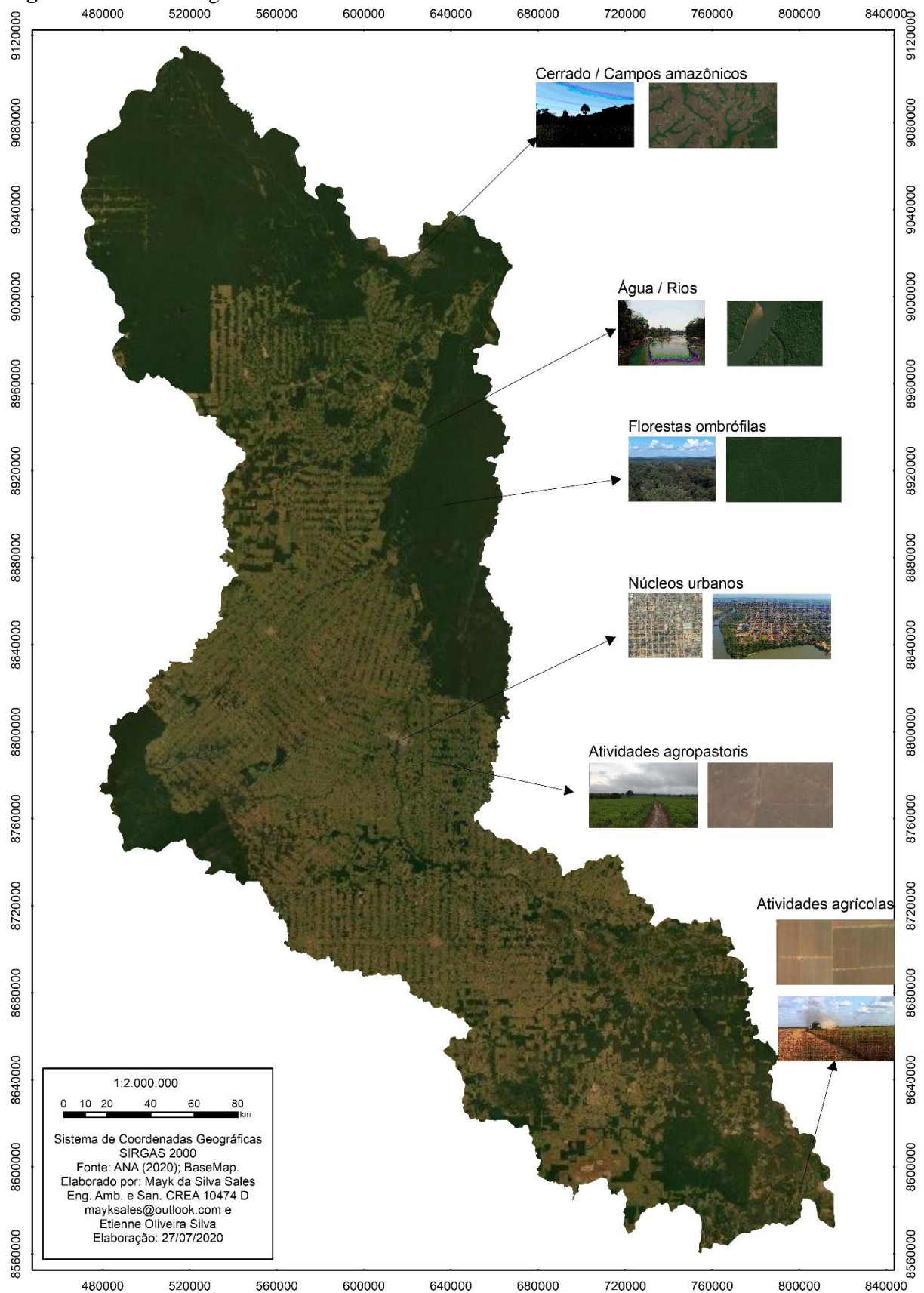
A bacia do Rio Machado é uma das principais bacias hidrográficas (BHs) do Estado de Rondônia com uma área total de drenagem de aproximadamente 75.400 km² de extensão (KRUSHER *et al.*, 2005). A área do Estado é de cerca de 237.576 km², logo a bacia representa 31,73 % de sua totalidade. A temperatura do ar média anual na região estudada é de 24,8±1,8 °C (ANDRADE, 2013). Soares e Webler (2016) destacam para a REBIO do Jaru, o índice de precipitação pluviométrica média anual com valores superiores a 2000 mm, onde o período úmido é característico de janeiro a março, úmido-seco de abril a junho, seco de julho a setembro e seco-úmido de outubro a dezembro. Nesse estudo, o período úmido foi definido como “águas altas”, o úmido-seco como “vazante”, o seco de “águas baixas” e o seco-úmido de “enchente”. As características físicas da bacia do Rio Machado como vazão, altitude, declividade, comprimento do canal principal, precipitação média anual, e temperaturas médias mínimas e máximas na bacia são apresentados na Tabela 1 abaixo. A figura 3 apresenta Bacia hidrográfica do Rio Machado – RO e uso da terra.

Tabela 1 - Características físicas e ambientais da Bacia hidrográfica (BH) do Rio Machado.

| Parâmetro | Valor |
|--------------------------------|--|
| Altitude máxima | 600,00 m |
| Altitude mínima | 75,00 m |
| Área | 75.400 km ² |
| Comprimento do canal principal | 972,00 km |
| Declividade média | 0,62 graus |
| Largura máxima | 500,00 m |
| Largura mínima | 150,00 m |
| Precipitação média anual | 2500,00 mm |
| Rede hidrográfica | 27.497,00 km |
| Temperatura média máxima | 33,00° C |
| Temperatura média mínima | 19,00° C |
| Vazão média anual | 700,00 m ³ .s ⁻¹ |

Fonte: (DINATO, 2013; Krusche *et al.*, 2005)

Figura 3 - Bacia hidrográfica do Rio Machado – RO e uso da terra.



Toda a rede hidrográfica da REBIO do Jaru está inserida na bacia do Rio Machado correspondendo a 4,60% da área total dessa bacia hidrográfica. A área da unidade de conservação (UC) é de 3.468,61 km² e está distribuída em três municípios de Rondônia. Seus limites pertencem com maior abrangência ao município de Ji-Paraná correspondendo à 2.102,74 km² (60,62%) do território da unidade, seguido do município de Vale do Anari com 1.310,65 km² (37,79%) e do município de Machadinho D'Oeste com área correspondente de 55,22 km² (1,59%). No trecho estudado, os afluentes da margem direita do Rio Machado drenam a área da REBIO do Jaru e, na margem oposta, os afluentes referentes a margem esquerda, drenam uma área total de 8.834,45 km² correspondente a 11,71% da área total da BH do Rio Machado. As áreas de drenagem dessas BHs pertencentes à margem esquerda são constituídas de áreas com finalidades agrosilvopastoris, de núcleos urbanos e de parte de remanescentes florestais na forma de fragmentos florestais. As características morfométricas das BHs da área de estudo são apresentadas na Tabela 2 abaixo.

Tabela 2 - Características morfométricas das bacias hidrográficas (BHs) da área de estudo.

| Bacia | A | P | CA | Cc | FF | IC | D | DD | H mín. | H máx |
|-------------------------|---------|--------|--------|------|------|------|---------|------|--------|--------|
| Azul ^{MD} | 149,67 | 69,25 | 17,81 | 1,58 | 0,47 | 0,39 | 130,66 | 0,87 | 120,00 | 413,00 |
| Jaru ^{ME} | 7244,75 | 605,95 | 171,33 | 1,99 | 0,25 | 0,25 | 5201,95 | 0,72 | 105,00 | 586,00 |
| Cajueiro ^{MD} | 30,09 | 29,93 | 7,80 | 1,53 | 0,49 | 0,42 | 26,37 | 0,88 | 110,00 | 192,00 |
| Anari ^{ME} | 1345,21 | 244,62 | 66,86 | 1,87 | 0,30 | 0,28 | 1014,83 | 0,75 | 102,00 | 342,00 |
| Tarifa ^{ME} | 110,77 | 56,27 | 15,46 | 1,50 | 0,46 | 0,44 | 139,35 | 1,26 | 100,00 | 258,00 |
| Tarumã ^{MD} | 2537,00 | 449,00 | 90,80 | 1,86 | 0,24 | 0,30 | 1983,98 | 0,77 | 113,00 | 472,00 |
| Pascana ^{MD} | 120,67 | 59,90 | 14,91 | 1,53 | 0,54 | 0,42 | 123,40 | 1,02 | 97,00 | 232,00 |
| B. Aires ^{MD} | 25,84 | 30,81 | 8,72 | 1,70 | 0,34 | 0,34 | 20,98 | 0,81 | 91,00 | 169,00 |
| Milagres ^{ME} | 133,72 | 66,16 | 19,93 | 1,60 | 0,34 | 0,38 | 113,45 | 0,85 | 117,00 | 368,00 |
| M. Cristo ^{MD} | 66,26 | 43,83 | 13,65 | 1,51 | 0,36 | 0,43 | 59,04 | 0,89 | 120,00 | 402,00 |

A: Área (km²); P: Perímetro (km); CA: Comprimento Axial (km); Cc: Coeficiente de compacidade (adimensional); FF: Fator Forma (adimensional); IC: Índice de conformação; D: Drenagens (km); DD: Densidade de drenagem (km/km²); H mín: Cota mínima (m); H máx: Cota máxima (m). ^{MD}: Afluentes da margem direita. ^{ME}: Afluentes margem esquerda. Fonte: Próprio autor.

A maior bacia da área de estudo inserida na BH do Rio Machado é a do Rio Jaru (7.244,75), enquanto a segunda maior é a do Rio Tarumã (2.537,00) e a terceira é a do Rio Anari (1.345,21). A BH do rio Jaru apresenta fator de forma de (0,25), coeficiente de compacidade de (1,99) e índice de conformação de (0,25), indicando que a mesma tem forma alongada e não está sujeita a enchentes em condições normais de pluviosidade. A BH do Rio Tarumã apresenta

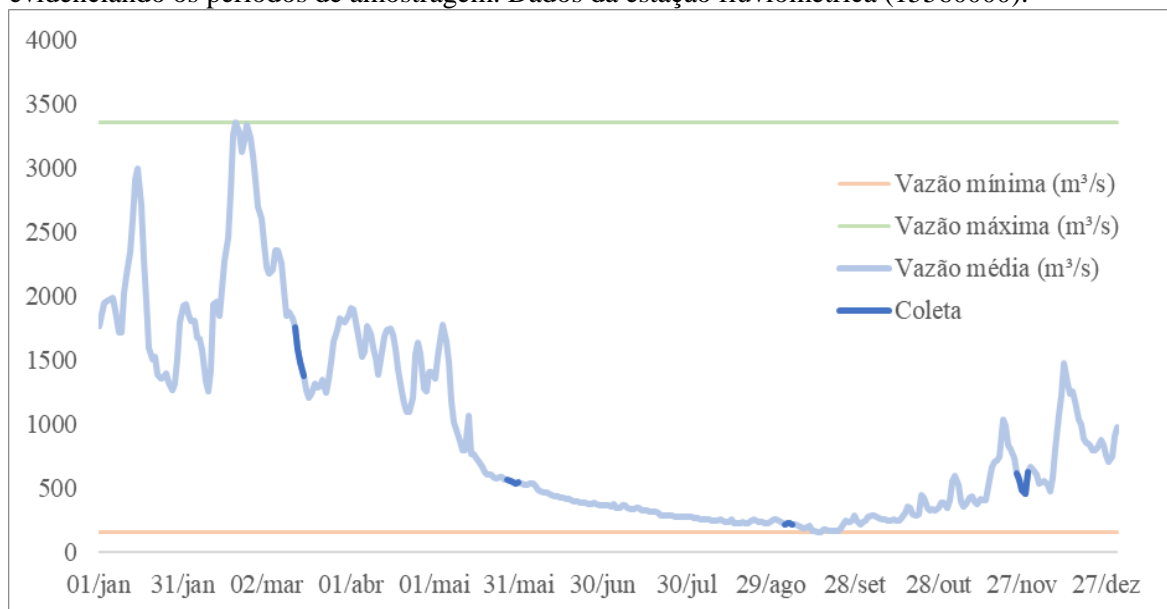
características de fator de forma igual a (0,24) indicando também que é pouco suscetível a enchentes e, apresenta o índice de conformação de (0,3) também indicando que seu formato é alongado. Estas características favorecem para a uma melhor conservação ambiental do solo. A BH do igarapé Tarifa apresenta a maior densidade de drenagem (1,26 km/km²) seguida do Igarapé Pascana (1,02 km/km²) e Igarapé Monte Cristo (0,89 km/km²). Nesse estudo foi possível constatar *in loco* a descoberta do regime de drenagem intermitente na BH do igarapé Monte Cristo no período hidrológico das águas baixas, apesar de ter a terceira maior largura entre os seis afluentes da margem direita, ficando atrás apenas do rio Tarumã e do igarapé Azul.

O rio Tarumã é a BH mais importante da REBIO do Jaru cobrindo aproximadamente 75 % da sua área, sendo que tem praticamente 100% de todos seus afluentes, apenas três afluentes nascem na Terra Indígena - T.I. Igarapé Lourdes. A BH do Rio Jaru é uma das mais impactadas em Rondônia, nascendo na Terra Indígena Uru Eu Wau Wau, banhando vários municípios e apresentando-se com poucas matas ciliares ao longo do seu percurso. Uma das principais fontes de poluição deste rio é o esgoto urbano. O rio Anari deságua praticamente no centro do curso do Rio Machado, próximo da localidade denominada de Piratini, banhando o município do Vale do Anari. Nesta área predominam atividades agropecuárias e as florestas nativas foram substituídas em grande parte por pastagens. Tanto na Bacia do rio Jaru, quanto na do rio Anari, as condições ambientais referentes ao uso e conservação do solo e preservação das águas são precárias. Tal situação, está relacionada com o fato de suas áreas serem as primeiras destinadas aos Projetos de colonização do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA, apresentando menos de 20% da área total com cobertura florestal nativa (IBAMA, 2007).

Segundo o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBIO (2010), também estão inseridas nos limites da REBIO do Jaru as BHs do leste do Rio Machado: Azul, ao sul; Monte Cristo e Cajueiro ao sudoeste; Pascana e Buenos Aires, ao norte. Dentre estas BHs vale destacar as dos igarapés Azul e Pascana, onde o igarapé Azul serve de divisor entre a unidade de conservação e a T.I. Igarapé Lourdes, nascendo na serra do Monte Cristo e, seu canal principal apresenta trechos com lajedos e blocos de rochas. Já o igarapé Pascana, nasce na encosta norte da Serra do Moquéim, entre as rochas areníticas da Formação Palmeiral, a 230m de altitude e deságua no Rio Machado, a 81 m de altitude, onde sua rede de drenagem apresenta padrão arborescente.

Através da plataforma HidroWeb, em consulta aos dados obtidos da estação fluviométrica (15560000) da Agência Nacional de Águas (ANA) no período correspondente ao regime de vazão do ano de 2019, foi possível verificar que a vazão média mínima foi de 160,58 m³/s na data de 15/09/2019 e a máxima registrada foi de 3.346,81 m³/s na data de 19/02/2019 (ANA, 2020). A figura 4 corresponde ao regime hidrológico do Rio Machado na área estudada no período de janeiro a dezembro de 2019. Entre o menor registro da vazão mínima e o maior registro da máxima, é possível averiguar uma diferença de valor de mais de vinte vezes no decorrer do ciclo hidrológico. Essa variação sazonal foi registrada *in loco* no exutório do rio Tarumã, principal afluente da margem direita do Rio Machado da área estudada, ficando demonstrada na figura 5.

Figura 4 - Regime hidrológico do Rio Machado no período de janeiro a dezembro de 2019 evidenciando os períodos de amostragem. Dados da estação fluviométrica (15560000).



Fonte: ANA (2020) e Sales (2020).

Figura 5 – Imagens do Ciclo hidrológico de 2019 e sua respectiva variação de sazonalidade registrada no exutório do Rio Taramã.

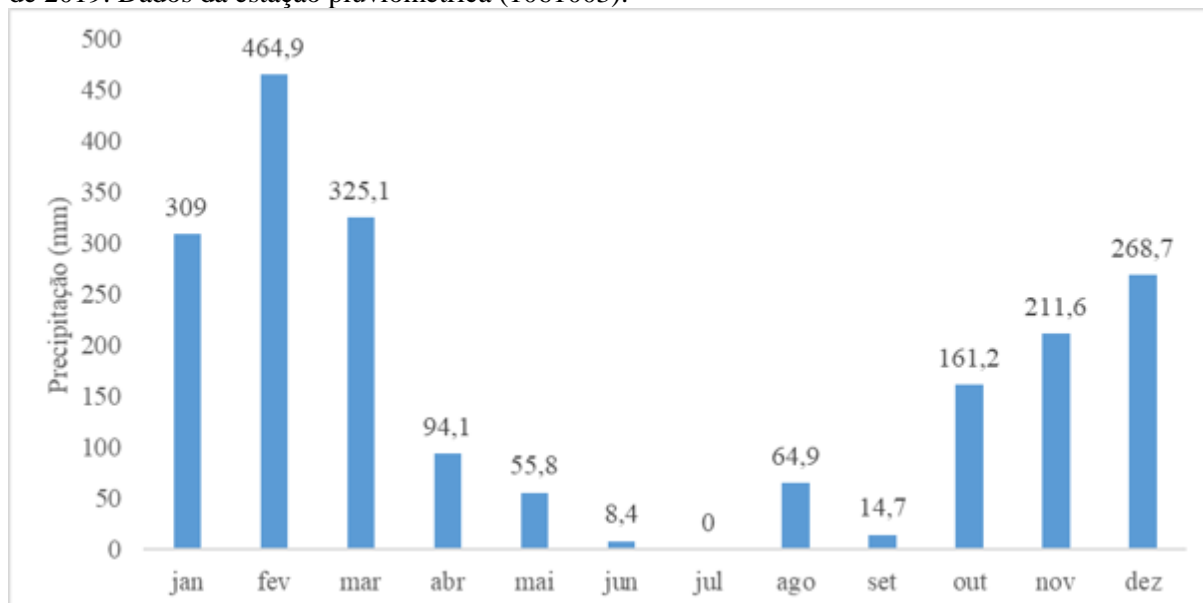


Fonte: Próprio autor.

Pela plataforma HidroWeb, também constatou através da estação pluviométrica (1061003) da Agência Nacional de Águas (ANA) que os meses mais chuvosos em 2019 foram janeiro, fevereiro e março sendo que o mês de fevereiro apresentou a máxima de 464,9 mm de precipitação e, o trimestre menos chuvoso foi referente aos meses de junho, julho e agosto, com mínima em agosto com 0 mm registrado, onde a precipitação anual não foi superior a 2000 mm.

Esses valores de precipitação apresentam relação direta com o regime de escoamento superficial. Volumes elevados de chuvas fazem com que o escoamento ocasione a lixiviação e carreamento de materiais dispostos para a área de drenagem da bacia e também contribuem para o revolvimento de sedimentos de fundo em decorrência do aumento da vazão (ALENCAR *et al.*, 2019). A Figura 5 corresponde ao regime de precipitação pluviométrica do Rio Machado na área estudada no período de janeiro a dezembro de 2019.

Figura 6 - Regime de precipitação pluviométrica do Rio Machado no período de janeiro a dezembro de 2019. Dados da estação pluviométrica (1061003).



Fonte: ANA, (2020)

3.2 AMOSTRAGEM, PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS E ANÁLISES

3.2.1 Coleta, preservação das amostras e determinação dos parâmetros químicos, físicos e biológicos.

As coletas das amostras na matriz água e na matriz sedimento de fundo foram realizadas nos quatro períodos hidrológicos (AA: Águas Altas; VZ: Vazante; AB: Águas Baixas; EN: Enchente). A primeira coleta (AA) ocorreu no período de março de 2019; a segunda (VZ) no período de maio de 2019; a terceira (AB) no período de setembro de 2019 e a quarta (EN) no período de novembro de 2019. A tabela 3 corresponde aos pontos de coleta georreferenciados através do sistema de coordenadas geográficas, Datum Sirgas 2000 - 20 S e os dados obtidos por dispositivo GPS (marca Garmin, modelo Oregon 650). As coletas das amostras foram realizadas conforme preconizado no guia nacional de coleta e preservação de amostras (CETESB, 2011).

Tabela 3 - Pontos de coleta de água, sedimento de fundo e parâmetros físico-químicos e biológicos, codificação e coordenadas (SIRGAS 2000 - 20 S).

| Nome | Código | Latitude | Longitude |
|--------------|--------|-----------|-----------|
| Igarapé Azul | P1 | -10,20592 | -61,86213 |

| Nome | Código | Latitude | Longitude |
|---------------------------|---------------|-----------------|------------------|
| Rio Machado ^m | P2 | -10,20808 | -61,86360 |
| Igarapé dos Milagres | P3 | -10,20518 | -61,87240 |
| Igarapé Monte Cristo | P4 | -10,12351 | -61,90670 |
| Igarapé Cajueiro | P5 | -9,87305 | -61,93507 |
| Rio Anari | P6 | -9,79020 | -61,95318 |
| Rio Machado ^{me} | P7 | -9,73899 | -61,88068 |
| Igarapé Tarifa | P8 | -9,58721 | -61,82470 |
| Rio Machado ^j | P9 | -9,27610 | -61,68258 |
| Igarapé Buenos Aires | P10 | -9,27563 | -61,67765 |
| Igarapé Pascana | P11 | -9,38651 | -61,68263 |
| Rio Tarumã | P12 | -9,45895 | -61,67028 |
| Rio Jaru | P13 | -10,06767 | -61,98288 |

Observações: ^m montante; ^{me} médio; ^j jusante.

Fonte: Próprio autor.

A água destinada às análises físico-químicas, biológicas e determinação de elementos-traço foram coletadas com o uso da garrafa de *Van Dorn* (figura 6-b) e posteriormente acondicionadas em diferentes recipientes de acordo com sua respectiva análise, a saber: frascos de vidro para oxigênio dissolvido (60 mL) com tampa esmerilhada e fixadas com solução de 500g de sulfato manganoso ($MnSO_4 \cdot 5H_2O$) em 1000mL de água destilada e solução alcalina de iodeto de azida obtida da dissolução de 500g de hidróxido de sódio (NaOH) em 1000mL de água destilada como descrito em APHA (1995). Foram coletados 1000 mL de água e acondicionados em 2 frascos de politereftalato de etileno (PET) de 500 mL. Um dos frascos foi envolvido com papel laminados para a conservação de amostras para clorofila *a*. As amostras de água foram mantidas refrigeradas até a realização das análises limnológicas realizadas no Laboratório de Limnologia e Microbiologia-LABLIM da UNIR, *campus* de Ji-Paraná.

As amostras de água para determinação de elementos-traço foram acondicionadas em tubos de centrifugação com capacidade para 15 mL com fundo cônico (marca Sarstedt), previamente descontaminados, e acidificadas em campo por meio da adição de ácido nítrico (HNO_3 65% ultra-puro, Merck) para a preservação das amostras. Em seguida, acondicionadas em caixas isotérmicas refrigeradas até o momento da análise no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental Wolfgang Christian Pfeiffer da UNIR, *campus* de Porto Velho, onde as concentrações dos metais foram determinadas por Espectrometria de Emissão óptica com Plasma Induzido-ICP-OES (Perkin-Elmer).

As amostras de sedimento de fundo foram coletadas com draga de *Van Veen* (figura 7-a) nos períodos distintos que compõem o ciclo hidrológico. Em seguida, as amostras de sedimento

foram acondicionadas em sacos plásticos identificados e mantidas refrigeradas até a sua preparação inicial no LABLIM. Nos laboratórios as amostras foram peneiradas úmidas em peneiras de porosidade de 200 mesh (<0,075mm), acondicionadas em cadinhos de porcelana para posterior secagem na estufa em temperatura não superior à 60° C. Posteriormente as amostras foram maceradas com o auxílio de um pistilo de porcelana, acondicionadas em recipientes plásticos e encaminhadas para suas respectivas análises de elementos-traço: alumínio (Al), arsênio (As), bário (Ba), cádmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr) cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), níquel (Ni), chumbo (Pb), estrôncio (Sr), vanádio (V) e zinco (Zn) através da técnica de Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES) realizada no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental Wolfgang Christian Pfeiffer da UNIR, *campus* de Porto Velho.

Figura 7 - a) Draga de Van Veen para coleta de sedimento de fundo. b) Garrafa de Van Dorn para coleta de água superficial.



Fonte: Próprio autor.

As metodologias de extrações químicas aplicadas no presente trabalho seguiram as descrições de APHA (1995) e de publicações que abordaram os mesmos tipos de análises e de amostragens (BASTOS et al, 1998; CETESB, 2011; CESTESB, 2014; COSTA JUNIOR, 2017; PINTO, 2015). A tabela 4 e figura 8 apresentam os parâmetros, métodos utilizados e fluxograma das metodologias utilizadas.

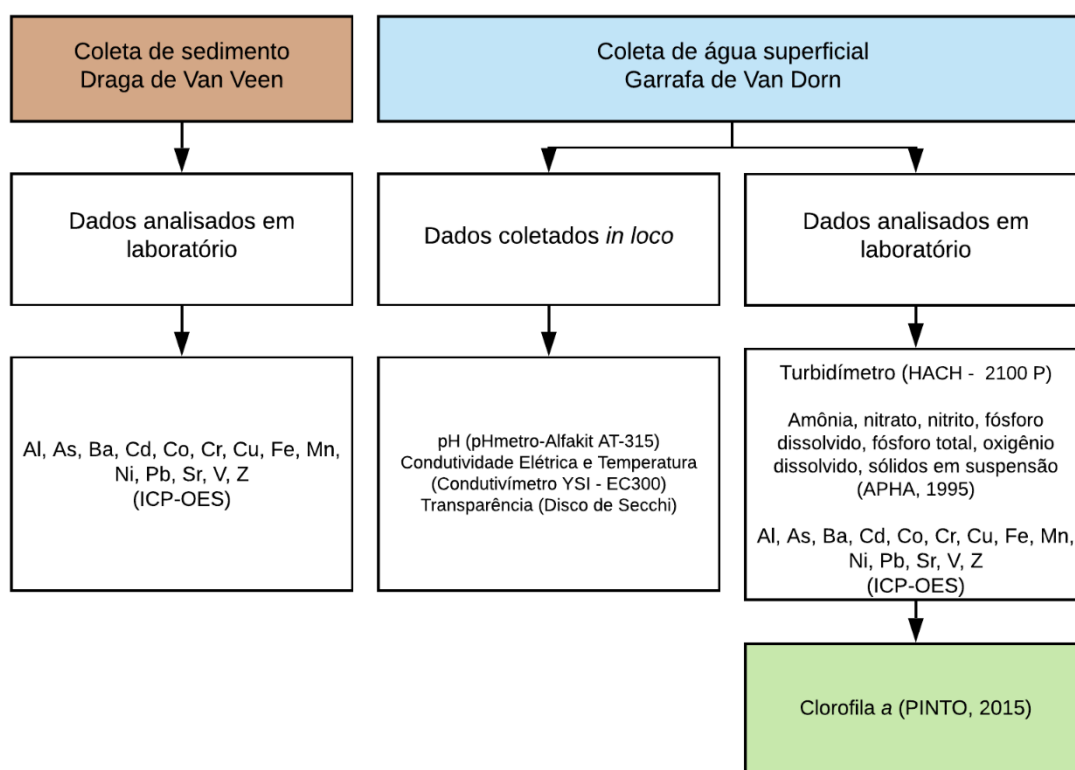
Tabela 4 - Análises e métodos realizados durante a pesquisa.

| Parâmetro | Métodos | Referências |
|-------------------------------|--------------------------|----------------|
| Transparência da Água | Disco de <i>Secchi</i> | ESTEVES (2011) |
| Temperatura | <i>in loco</i> por sonda | CETESB (2011) |
| Amônia | Espectrofotômetro | (APHA, 1995) |
| Condutividade Elétrica (CE) | <i>In loco</i> por Sonda | CETESB (2011) |
| Potencial Hidrogeniônico (pH) | <i>In loco</i> por Sonda | CETESB (2011) |

| | | |
|---|-------------------------|---------------|
| Turbidez | Turbidímetro de bancada | CETESB (2011) |
| Amônia | Espectrofotômetro | APHA, (1995) |
| Nitrato | Espectrofotômetro | APHA, (1995) |
| Nitrito | Espectrofotômetro | APHA, (1995) |
| Fósforo Dissolvido | Espectrofotômetro | APHA, (1995) |
| Fósforo Total | Espectrofotômetro | APHA, (1995) |
| Oxigênio Dissolvido (OD) | Titulométrico | APHA, (1995) |
| Sólidos totais | Gravimétrico | APHA, (1995) |
| Clorofila <i>a</i> | Etanol Quente | APHA, (1995) |
| Metais (elementos-traço) (Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sr, V e Zn) | ICP-OES | APHA, (1995) |

Fonte: Próprio autor.

Figura 8 - Fluxograma das análises e métodos realizados durante a pesquisa



Fonte: Próprio autor.

3.2.2 Determinação de parâmetros físicos, químicos e biológicos

As variáveis físico-químicas como temperatura, Condutividade Elétrica (CE) e Potencial Hidrogeniônico (pH) foram aferidas *in loco* por meio de sondas com o auxílio dos equipamentos: condutivímetro sonda YSI - EC 300 e pHmetro Alfakit AT 315 (método

potenciométrico), respectivamente. Para as mensurações por meio das sondas descritas anteriormente, lavou-se os eletrodos com água destilada antes de usar, inserindo-os na amostra d'água da superfície e esperando estabilizar (contando 5 segundos), realizando a leitura logo em seguida. O oxigênio dissolvido (OD), sólidos totais dissolvidos (TDS), turbidez, nitrato, nitrito, amônia, fósforo dissolvido e fósforo total foram determinados no LABLIM. Para a análise de fósforo total, foi utilizada amostra de água bruta. Para as análises dos nutrientes dissolvidos (nitrato, nitrito, amônia, fósforo dissolvido), foram utilizadas amostras previamente filtradas em membranas de microfibras de vidro com 0,45µm de abertura de poro (Merck-Millipore®). A turbidez foi mensurada através do turbidímetro portátil HACH – 2100 P, onde comparou-se o espalhamento de um feixe de luz ao passar pela amostra com o espalhamento de um feixe de igual intensidade ao passar por uma suspensão padrão. Os valores foram expressos em Unidade Nefelométrica de Turbidez (UNT).

3.2.3 Determinação de Clorofila *a*

Para o planejamento amostral e detalhamento dos procedimentos de coleta, foi consultado o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (CETESB, 2011). O volume de água filtrado das amostras foi de 500 mL. As concentrações de clorofila *a* são determinadas espectrofotometricamente (Kasuki modelo IL-226-NM), por meio das leituras nas densidades ópticas obtidas em comprimentos de onda. O método fornece resultados em termos de peso dos referidos pigmentos por unidade de volume (µg/L). As concentrações de clorofila *a* foram obtidas a partir da seguinte equação:

$$\text{Clor. } a \text{ (}\mu\text{g.L}^{-1}\text{)} = 11,4.K.[A664 - A750] - (A664a - A750a).(v/V.L) \text{ (6)}$$

Onde:

K é o fator destinado a estabelecer a concentração inicial em clorofila *a* a partir da redução da absorvância, cujo valor adotado foi de 2,25;

A664 e *A750* é a absorvância nos comprimentos de onda de 664 e 750;

A664a e *A750a* é a absorvância nos comprimentos de onda de 664 e 750 após a acidificação;

v é o volume de etanol usado na extração (mL);

V é o volume de água filtrado (L) e

L é o passo óptico da cubeta utilizada na leitura (cm).

A extração do pigmento foi realizada com etanol 95% quente, descrita por Jespersen e Christoffersen (1987), Nøges e Solovjova (2000), Pereira (2011) e do Protocolo de Monitorização e Processamento Laboratorial da Agência Portuguesa do Ambiente (APA, 2009) e, adaptada por Pinto (2015), onde as amostras foram colocadas em tubos para centrífuga escurecidos onde adicionou-se 5mL de etanol 95%, sendo levados a banho-maria e a temperatura elevada até 75°C, após esse procedimento os tubos foram mantidos por 5min nessa temperatura e então levados a choque térmico e imediatamente refrigerados e estocados no escuro por 6h. Após essa etapa as amostras foram centrifugadas e o sobrenadante levado para leitura em espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 664 e 750nm em branco de etanol 95%, as amostras foram então acidificadas e lidas novamente nos mesmos comprimentos de onda.

3.2.4 Determinação do Fósforo Dissolvido

Método: Colorimétrico. Ortofosfato ($P-P_4^{3-}$) Fosfato inorgânico dissolvido (Azul/ H_2O filtrada/duplicada). Todos os materiais e vidrarias de uso para esta análise, devem ser evitados o uso de detergentes na lavagem. Em soluções fortemente ácidas (H_2SO_4 -15% (Ácido Sulfúrico), o ortofosfato fornecerá um complexo amarelo com íons molibdato (molibdato de amônio). Este pode então ser reduzido para um complexo azul altamente colorido. Se o ácido ascórbico é usado como agente redutor, a formação da cor azul é estimulada pelo anti-amônio. Após a adição dos reagentes e homogeneização. Aguarda-se 20 minutos e realiza a leitura a 882 nm no espectrofotômetro.

3.2.5 Determinação do Fósforo Total (P_{TOTAL})

Colorimétrico. O princípio do método consiste na presença do fósforo na água que pode estar relacionada a processos naturais, como dissolução de rochas, carreamento de solo, decomposição de matéria orgânica, e também a processos antropogênicos, como lançamentos de esgotos, detergentes, fertilizantes e pesticidas. O fósforo total na água, quando reage com a solução molibdato-vanadato, fornece um complexo amarelo com íons molibdato (molibdato

de amônia). Portanto, o procedimento consiste em adicionar 1,5 ml amostra, 1 ml água destilado e 0,5 ml da solução molibdato-vanadato. Em seguida realiza-se a leitura no Espectrofotômetro, ler a 882 nm e antes de 2h.

3.2.6 Determinação de Amônia (N-NH₃+NH₄⁺)

Método: Colorimétrico (Azul de indofenol). (Azul/H₂O filtrada/triplicata). A determinação de amônia é realizada em amostras de água previamente filtradas (± 300 ml) com filtro de fibra de vidro tipo AP-20, onde em solução moderadamente alcalina (pH entre 8,0 a 11,5) o radical amônia reage com o hipoclorito, formando a monocloramina (NH₂Cl). Este produto formado, em presença de fenol e um excesso de hipoclorito, catalisado por íons nitroprussiato, forma o azul de indofenol, o qual obedece a Lei de Beer com concentrações inferiores a 500 μ g de N. NH₃/L. Caso a solução tenha amoníaco, forma-se um precipitado amarelo-acastanhado. A cor será tanto mais intensa quanto maior for a concentração das substâncias analisadas. Leitura no espectro. Aguardando 3h para iniciar a leitura em 630nm iniciando pelo padrão menos concentrado (branco =0,0). Antes do início das análises todos os tubos de ensaio foram lavados com HCl-10%

3.2.7 Determinação de Nitrito (N-NO₂⁻)

Método: Colorimétrico. (Rosa/H₂O filtrada/duplicada). O nitrito é um composto que apresenta instabilidade na água, sendo um estado intermediário da oxidação da amônia à nitrato e da redução da amônia à nitrato. Em meio fortemente ácido, o nitrito reage com sulfanil-amida (sulfanilamida) para formar o composto diazônico, o qual reage quantitativamente com N-(1-naftil) etilenodiamina dicloreto para formar um azo-composto fortemente colorido de coloração rósea, no qual será medida a absorbância por leitura em espectrofotômetro com comprimento de onda de 543 nm. As determinações devem ser efetuadas em amostras filtradas, frescas ou congeladas.

3.2.8 Determinação de Nitrato (NO₃⁻)

Método empregado é conhecido por Método de Brucina, o procedimento é descrito da seguinte forma: Pipetar 1,25 ml da amostra, adicionar 0,25 ml brucina e 2,5 ml H₂SO₄ (Colocar Escuro por 10min). 2,5 ml água destilada (20 min escuro), ler no espectro. O íon Nitrato, reage com a

Brucina em meio ácido. A coloração amarela resultante é determinada por espectrofotômetro a 410 nm. Este método aplica-se a concentrações de nitrato compreendidas entre 1 e 50 mg/NO₃/L. As principais interferências são: Salinidade, matéria orgânica, nitritos, agentes oxidantes e redutores. O efeito da salinidade é eliminado pela adição de cloreto de sódio no ensaio em branco e nos padrões. A interferência devido ao nitrito é eliminada pela utilização do ácido sulfanílico. Os íões Fe(II), Fe(III) e Mn(IV) originam uma fraca influência positiva, mas em concentrações inferiores a 1 mg/L é desprezível. As concentrações em nitratos (NO₃⁻ N) é dada pela curva de calibração.

3.2.9 Determinação do Índice de Estado Trófico

Este índice analisa principalmente a presença de fósforo e nitrogênio no ecossistema aquático para medir o grau de eutrofização do corpo d'água. Após a realização das análises de fósforo total foi aplicada a fórmula do IET para rios, onde obtivemos os resultados para os IET's dos respectivos afluentes objeto do estudo e suas respectivas classificações. IET para Rios segundo Lamparelli (2004):

$$IET = 10 * \left\{ 6 - \left[0,42 - 0,36 * \left(\frac{\ln * PT}{\ln 2} \right) \right] \right\} \quad (1)$$

Onde: PT = Fósforo total (µg/L).

3.2.10 Determinação do Oxigênio Dissolvido

Procedimento no Campo: com o uso do frasco de coleta de oxigênio (previamente calibrado o volume) de 60ml, coleta-se a amostra sem formar bolhas. Tampa-se o frasco retirando-se o excedente. Adiciona-se 250µL da solução de sulfato manganoso e 250µL da solução de azida. Tampa-se o frasco e homogeneiza-se. **No Laboratório:** adiciona-se na amostra 0,5ml de solução de ácido sulfúrico 50%, tampa-se o frasco e agita-se para dissolver todo o precipitado. Transfere-se 50mL da amostra para um erlemeyer de 250ml. Titula-se com solução de tiossulfato 0,01N, até que a amostra fique incolor. Anota-se o volume de tiossulfato gasto na titulação.

Para a fixação do OD em campo foi utilizado o sulfato manganoso monohidratado ($MnSO_4 \cdot H_2O$) e solução alcalina de iodeto de azida composto pelas seguintes substâncias e concentrações: Hidróxido de Sódio (NaOH) 50%; Água (H_2O) 34%; Iodeto de Potássio (KI) 15% e Azida de Sódio (NaN_3) 1%. Já em laboratório foi realizada a titulação com o uso do tiosulfato de sódio ($Na_2S_2O_3$ a 0,01N) até atingir a concentração de reação do método. Com os volumes utilizados foi empregado a fórmula apresentada por Golterman, Clymo e Ohnstad (1978). Já o método utilizado é Titulométrico (Winkler, 1969 descrito em APHA, 1998). O iodométrico de Winkler é procedimento volumétrico baseado na propriedade oxidante do OD, obtido por titulometria. A titulação refere-se à análise química quantitativa feita pela determinação do volume de uma solução cuja concentração é conhecida com exatidão, necessário para reagir quantitativamente com um volume determinado da solução que contém a substância a ser analisada (amostra).

3.2.11 Determinação de Sólidos em Suspensão

Gravimétrico. Para a pesquisa de sólidos em suspensão ou material particulado em suspensão (MPS), foram filtradas 100 mL de amostra de água bruta, utilizando um sistema de filtração a vácuo com membranas de acetato de celulose (Merck Millipore®) secas de 47 mm de diâmetro e com porosidade de 0,45 μm , previamente pesadas em balança analítica. Após a filtração, as membranas com o MPS foram levadas para secagem em dessecador em temperatura ambiente e, posteriormente pesadas novamente para se obter o total de sólidos em suspensão (TSS).

3.2.12 Determinação da Transparência

A transparência da água foi obtida com auxílio do disco de Secchi, onde o disco foi submerso no local onde foi realizada a determinação até seu desaparecimento do campo visual. Repetindo-se a operação para certificação de que o disco permanecia no seu limite de visualização e efetuando-se a medição deste limite no cabo graduado de apoio do equipamento. Anotando os resultados na ficha de coleta.

3.2.13 Determinação da Turbidez

A turbidez da água é a sua capacidade em dispersar a radiação, devido a partículas suspensas (argila, silte, areia, rochas) sendo o material em suspensão responsável pela cor aparente da água (ESTEVES, 2011). O equipamento utilizado é o Turbidímetro portátil HACH – 2100 P. Onde o método consiste na utilização deste equipamento dotado com fonte de luz (filamento de tungstênio), que incide na amostra, e um detector fotoelétrico capaz de medir a luz que é dispersada em um ângulo de 90° em relação à luz incidente. A luz dispersada, quando passa através da água, dá a medida em unidades nefelométricas de turbidez (UNT).

3.2.14 Determinação de elementos-traço na água e no sedimento de fundo

As amostras de água destinadas às análises dos elementos-traço foram acondicionadas em tubos tipo “falcon” de 15 mL e acidificadas ainda em campo por meio da adição de ácido nítrico (HNO₃ 65% ultra-puro, Merck) a fim de mantê-las em meio ácido com um pH abaixo de 2,0 e levadas ao laboratório onde foram filtradas com membranas de microfibras de vidro com 0,45µm de abertura de poro (Merck-Millipore®) e levadas para a análise no Espectrômetro de Emissão Óptica com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES Optima 8300/Perkin Elmer). Para a determinação da fração dissolvida, transferiu-se a alíquota de amostra de água após o processo de filtração também para os tubos do tipo *falcon* de 15 mL, preservando as amostras com adição de ácido nítrico (HNO₃ 65% ultra-puro, Merck), em seguida submetendo-as à leitura no Espectrômetro de Emissão Óptica com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES Optima 8300 / Perkin Elmer). As análises dessas frações dissolvidas só contemplaram as coletas correspondentes aos períodos do ciclo hidrológico das águas altas e baixas.

Para a quantificação dos elementos-traço nos sedimentos de fundo, pesou-se em duplicatas, cerca de 1,0 g de cada amostra (peso seco) em béqueres de 100 mL para a realização da solubilização química. Para esse processo, adicionou-se cerca de 8,0 mL de HNO₃ (ácido nítrico 65%, Merck, Alemanha) em cada béquer e levado para evaporar sob aquecimento em chapa aquecedora (Q313F, Quimis – Brasil) a uma temperatura de 120°C. Depois, adicionou-se cerca de 8,0 mL de solução de água régia (HCl:HNO₃ [3:1]) em cada béquer e repetiu-se a evaporação da solução. Após a evaporação, as amostras foram ressuspensas com HCl 0,1N, filtradas e armazenadas em tubos do tipo *Falcon* para o volume final de 15 mL. Em seguida foram

submetidas a leitura no equipamento de Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES).

3.2.15 Controle de qualidade analítico

Todos os frascos de coletas e vidrarias de laboratório foram descontaminadas em solução de ácido nítrico (HNO_3) à 5% por 24 horas e novamente enxaguadas com água destilada, sendo secadas em estufa a 40 °C por no mínimo 24 horas. No laboratório, todas as vidrarias que foram utilizadas para as análises sofreram processo de limpeza e descontaminação, tais como lavagens com detergente neutro, seguido de enxágue em água corrente e água destilada. Os recipientes, após a descontaminação foram mantidos lacrados até o momento da coleta.

Para o controle de qualidade analítico na determinação das concentrações dos elementos-traço nas matrizes águas e sedimentos adotou-se a preparação das amostras em duplicatas e branco controle, com intuito de verificar possíveis contaminantes presentes nos reagentes utilizados durante todo o processo. Também foram utilizadas amostras da referência certificada para determinar a exatidão dos resultados obtidos. O EnviroMAT SS-2 (SCP Science 140-025-002, QC, Canadá) foi utilizado como material de referência do solo para análise (SCP-SCIENCE, 2005), onde a porcentagem de recuperação permaneceu dentro dos padrões de exatidão e precisão de 90,25% a 119,37%. Carvalho (2018) demonstra que valores de recuperação entre 80% e 120% com precisão de até $\pm 20\%$ são considerados aceitáveis. Na tabela 5 estão descritos os valores encontrados de recuperação percentual dos elementos-traço estudados nos sedimentos em relação a amostra certificada.

Tabela 5 –Recuperação percentual média dos elementos-traço em sedimentos em relação a amostra certificada (EnviroMatt SS2 - SCP-SCIENCE, 2005).

| Elemento | Valor de referência (mg.kg^{-1}) | Valor médio encontrado (mg.kg^{-1}) | Recuperação (%) |
|----------|--|---|--------------------|
| Al | 13265,00 | 12392,05 | 93,42 |
| As | 75,00 | 72,96 | 97,28 |
| Ba | 215,00 | 199,04 | 92,57 |
| Cd | 2,00 | 2,21 | 113,42 |
| Co | 12,00 | 10,83 | 90,25 |
| Cr | 34,00 | 33,44 | 98,35 |
| Cu | 191,00 | 194,99 | 102,09 |
| Fe | 21046 | 25122,47 | 119,37 |
| Mn | 457,00 | 441,00 | 96,50 |

| | | | |
|----|--------|--------|-------|
| Ni | 54,00 | 49,71 | 92,06 |
| Pb | 126,00 | 115,69 | 91,82 |
| Sr | 214,00 | 193,89 | 90,60 |
| V | 34,00 | 32,92 | 96,83 |
| Zn | 467,00 | 454,76 | 97,38 |

Fonte: Próprio autor.

3.2.16 Tratamento estatístico

A análise dos dados foi realizada mediante a aplicação de técnicas estatísticas em planilhas eletrônicas (Microsoft Office Excel 2016) com o auxílio do software XLStat 2020 versão estudantil e RStudio 4.0. Inicialmente foi realizada uma análise estatística descritiva (média, desvio padrão, máximo e mínimo) para os conjuntos de dados gerados a partir das coletas no Rio Machado e seus afluentes no trecho que delimita a Reserva Biológica do Jaru. Para uma melhor interpretação, os dados foram organizados por sazonalidade e pelos pontos distribuídos entre os pontos de coleta dos afluentes da margem direita e margem esquerda existentes no trecho de estudo, com o intuito de verificar a variação dos mesmos e para a comparação entre todos os dados numa mesma escala temporal, aplicando-se o teste de *Wilcoxon*. Também foi utilizado a matriz de correlação de *Pearson*, sendo adotado o nível de significância de 5%.

3.2.17 Análise das Componentes Principais - ACP

Castro (2015) destaca a Análise de Componente Principal (PCA, *Principal Component Analysis*, em inglês) como uma ferramenta bastante difundida quando se refere à análise exploratória de dados com capacidade de reduzir uma quantidade considerável de variáveis a um número menor de variáveis latentes conhecidas como componentes principais (CPs) ou autovetores, que por sua vez, indica as variáveis de maior importância, permitindo que sejam verificadas similaridades de variáveis assim como amostras e pontos simultaneamente.

Como os resultados obtidos contêm um grande número de variáveis, as médias obtidas foram submetidas ao método exploratório da análise de componentes principais (PCA), tendo em vista que esta técnica estatística possui grande aceitação na análise de dados químicos, sendo utilizada para mostrar as principais correlações de todos os elementos analisados quimicamente e para colocar tanto os casos quanto as variáveis, em gráficos de duas dimensões, a partir de dois fatores (KOUMROUYAN & SANTANA, 2008). Esta técnica estatística multivariada tende a minimizar as dificuldades do grande número de variáveis, sendo empregada em diversas

áreas, como por exemplo, às relacionadas aos fenômenos hidrológicos, hidrometeorológicos e hidroquímicos (ANDRADE *et al.*, 2007).

A matriz de contagens (*scores*) de cada caso em relação aos componentes principais é fornecida pela multiplicação da matriz de carregamentos de cada variável com a matriz original de dados, onde os *scores* representam a projeção das amostras no novo sistema de coordenadas e, os pesos/cargas são os coeficientes que medem a importância de cada variável original em cada componente principal. Esses gráficos dos *scores* e dos pesos resultantes destas análises, podem identificar facilmente padrões de associação e similaridade tanto entre variáveis quanto entre localidades (MARTINS, 2009).

3.3 PRODUTO TÉCNICO

Os produtos gerados que versam sobre o tema Gestão e Regulação dos Recursos Hídricos no Brasil conforme a Resolução nº004/2017 do Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação dos Recursos Hídricos são esta dissertação e o relatório técnico final da pesquisa. O relatório técnico refere-se ao texto dissertativo encontrado no apêndice deste documento.

4 RESULTADOS

4.1 Parâmetros físicos, químicos e biológicos da água

As tabelas de 23 à 36 elencadas no apêndice, referem-se aos resultados encontrados dos parâmetros de todos os períodos hidrológicos de amônia, clorofila a, condutividade elétrica, fósforo dissolvido, fósforo total, nitrato, nitrito, oxigênio dissolvido, potencial hidrogeniônico, profundidade de coleta das amostras de sedimento, sólidos em suspensão, temperatura, transparência e turbidez da água.

O resultado estatístico quanto aos valores mínimos, médios e máximos dos parâmetros físico-químicos na matriz água e dos valores encontrados para o índice de estado trófico estão apresentados na tabela 6. A média geral da condutividade elétrica (CE) valor de (29,06 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$

¹⁾ referente a todo o ciclo hidrológico. O menor valor de CE aferido foi de (5,50 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), encontrado no período da vazante no Igarapé Cajueiro e a maior condutância obtida foi de (75,10 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) no período das águas baixas no Rio Jaru, conforme observa-se na tabela 25 do apêndice I.

Quanto maior a concentração de sólidos dissolvidos na água, maior será a condutividade. Em ambientes poluídos o valor de CE pode chegar a 1000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e nas águas naturais apresentam valores entre 10 a 100 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ representando medidas indiretas de concentração de efluentes, assim valores maiores que 100 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ podem indicar ambientes impactados (CETESB, 2018; VON SPERLING, 2005).

O fósforo total (P tot) registrou a média geral de (63,57 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$). O valor mínimo encontrado foi nas águas altas (13,86 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) no Rio Tarumã e o máximo valor encontrado foi na enchente (119,33 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) no ponto do Rio Machado à montante. É um nutriente essencial à biota em virtude de sua função de armazenamento de energia via adenosina trifosfato – ATP e sua origem natural é proveniente da dissolução de compostos do solo e da decomposição da matéria orgânica. Por outro lado, sua origem antrópica resulta de despejos domésticos, industriais, fertilizantes, detergentes e excrementos de animais.

O fósforo dissolvido (Pd) apresentou a média geral de (28,24 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$). O menor valor encontrado foi na enchente (4,94 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) no Igarapé Cajueiro e o maior valor encontrado foi na vazante (113,17 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) no Rio Jaru. A fração do fósforo dissolvido ou ortofosfato é menor que a fração de fósforo total e possui maior influência no meio por ser a forma disponível para o crescimento dos microrganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica. Porém, altas concentrações podem conduzir a um crescimento exagerado desses organismos (eutrofização).

A média geral do nitrato (NO_3^-) foi registrada no valor de (16,01 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$). O mínimo valor encontrado foi nas águas baixas (0,17 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) no Igarapé Azul e o máximo valor encontrado foi na vazante (37,41 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) no ponto correspondente ao médio Rio Machado.

O nitrato possui padrão de potabilidade, sendo 10 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ o valor máximo permitido pela Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde consolidada na Portaria de consolidação N° 5, de 28 de setembro de 2017. A ingestão de água com concentrações acima do valor máximo permitido, pode provocar a conversão excessiva da hemoglobina do sangue em meta-hemoglobina que, ao

contrário da hemoglobina, é incapaz de transportar oxigênio, ocasionando o desenvolvimento de doença em crianças que pode ser letal, conhecida como meta hemoglobinemia infantil ou a síndrome do sangue azul (CETESB, 2018; ESTEVES, 2011).

O nitrito (NO_2^-) apresentou o valor de média geral de (7,34 $\mu\text{g.L}^{-1}$), sendo o menor valor encontrado na vazante (0,77 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no igarapé Buenos Aires e o maior valor encontrado na enchente (25,07 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no ponto correspondente a jusante do Rio Machado. O nitrito é uma forma reduzida do nitrogênio produzido pelas bactérias anaeróbias e oxidado pelas bactérias aeróbias, onde em condições anaeróbicas há maiores valores de nitrito. Quando as análises de água de um corpo hídrico poluído demonstrarem predominância das formas reduzidas significa que o foco de poluição se encontra próximo se prevalecerem o nitrito e denotam que as descargas de esgotos se encontram distantes, se prevalecerem o nitrato (CETESB, 2018).

As concentrações de amônia ($\text{NH}_3\text{-NH}_4^+$) apresentaram valores de média geral de (75,64 $\mu\text{g.L}^{-1}$). O menor valor encontrado foi na vazante (2,10 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no Igarapé dos Milagres e o maior valor encontrado foi nas águas baixas (1277,60 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no Igarapé Monte Cristo. A amônia é um tóxico bastante restritivo à vida dos peixes, sendo que muitas espécies não suportam concentrações acima de 5000 $\mu\text{g.L}^{-1}$. No período das águas baixas, o Igarapé Monte Cristo apresentou-se intermitente, onde a coleta da amostra foi realizada num poço d'água encontrado aproximadamente 500 metros de seu exutório.

O oxigênio dissolvido (OD) é o principal parâmetro de caracterização dos efeitos da poluição das águas por despejos orgânicos. Durante a estabilização da matéria orgânica, as bactérias fazem uso do oxigênio nos seus processos respiratórios, podendo vir a causar uma redução da sua concentração no meio (VON SPERLING, 2005).

A taxa de reintrodução de oxigênio dissolvido em águas naturais através da superfície depende das características hidráulicas, sendo proporcional à velocidade (CETESB, 2018). Neste estudo, o OD registrou a média geral de (7,61 mg.L^{-1}). O menores valores encontrados foram na vazante e nas águas baixas (4,67 mg.L^{-1}) no Rio Tarumã e o maior valor encontrado foi nas águas baixas (11,67 mg.L^{-1}) no ponto correspondente à montante do Rio Machado.

O valor do potencial hidrogeniônico (pH) registrou a média geral de (6,51). O menor valor encontrado foi na vazante (4,07) no igarapé Buenos Aires e o maior valor encontrado foi nas

águas baixas (7,63) no Rio Jaru. O potencial hidrogeniônico, não demonstrou grandes variações sazonais, variando entre 4,07 a 7,63, mas apresentou diferença significativa.

A influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos naturais está diretamente relacionado aos seus efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies, onde os critérios de proteção à vida aquática fixam o pH entre 6 e 9. No entanto, a presença de ácidos húmicos e fúlvicos originados de substâncias orgânicas não mineralizadas no solo da floresta e da decomposição de compostos orgânicos presentes em folhas, dentre outros substratos, contribuem para a acidez das águas dos rios amazônicos, sendo que tais condições são consideradas como naturais.

Os valores para o material particulado em suspensão (MPS) ou sólidos em suspensão apresentaram a média geral de (48,25 mg.L⁻¹). O menor valor encontrado foi nas águas baixas (4,00 mg.L⁻¹) no Rio Tarumã e o maior valor encontrado também nas águas baixas foi de (112,0 mg.L⁻¹) no ponto correspondente à montante do Rio Machado. Para os recursos hídricos, os sólidos podem causar danos aos peixes e demais vidas aquáticas quando sedimentam no leito dos rios destruindo organismos que fornecem alimentos ou danificando os leitos de desova de peixes.

Com relação a temperatura da água, a média geral foi de (27,41 °C). O menor valor encontrado foi na enchente (24,90 °C) no Igarapé Azul e o maior valor encontrado foi na vazante (31,20 °C) no Igarapé Monte Cristo. Tais achados são justificados pela decorrência da mensuração das temperaturas terem sido realizadas diuturnamente, tendo a incidência solar relação direta com a superfície da água, onde a pouca nebulosidade aliada as temperaturas elevadas e as baixas vazões contribuíram para os resultados encontrados principalmente no período das águas baixas.

Além disso, variações de temperatura fazem parte do regime climático normal dos rios, onde a temperatura superficial é influenciada por diversos fatores, tais como latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade.

A transparência da água apresentou a média geral de (0,64 m). O menor valor encontrado foi nas águas baixas (0,20 m) no Igarapé Monte Cristo e o maior valor encontrado foi nas águas altas (1,2 m) no Igarapé Buenos Aires. Os baixos valores encontrados indicaram ser característicos de condições naturais existentes das bacias de drenagem estudadas. A turbidez

pode estar relacionada com a presença de materiais sólidos em suspensão na água, como argila, silte, substâncias orgânicas e inorgânica, organismo microscópicos e outras partículas. Os resultados da turbidez registraram a média geral de (25,35 UNT). O menor valor encontrado foi na vazante (4,00 UNT) no Igarapé Monte Cristo e o maior valor encontrado foi na enchente (86,10 UNT) no ponto correspondente ao Rio Machado à montante.

O índice de estado trófico (IET) determinado pela aplicação da equação de Lamparelli (2004), de acordo com os valores limites das concentrações de fósforo total encontrados para os diferentes níveis tróficos apresentou a média geral de 54,49 em todo o ciclo hidrológico. Tanto o menor quanto o maior valor encontrado, foram registrados na vazante, sendo o menor valor de 44,34 no Igarapé Azul e o maior valor encontrado de 61,39 foi no Rio Anari.

Tabela 6 - Resultado estatístico dos parâmetros físicos e químicos na água.

| Parâmetro | Mínimo | Máximo | Mediana | Média | Variância | Desvio Padrão |
|---|--------|---------|---------|-------|-----------|---------------|
| CE | 5,50 | 75,10 | 32,05 | 29,06 | 269,98 | 16,43 |
| IET | 44,34 | 61,39 | 55,03 | 54,49 | 13,00 | 3,61 |
| P d | 4,94 | 113,17 | 23,38 | 28,24 | 454,34 | 21,32 |
| P tot. | 7,40 | 197,40 | 58,03 | 63,57 | 1287,58 | 35,88 |
| NO ₃ ⁻ | 0,17 | 37,41 | 11,59 | 16,01 | 236,41 | 15,38 |
| NO ₂ ⁻ | 0,77 | 25,07 | 5,60 | 7,34 | 43,93 | 6,63 |
| NH ₃ -NH ₄ ⁺ | 2,10 | 1277,60 | 26,35 | 75,64 | 40310,75 | 200,78 |
| OD | 4,67 | 11,67 | 7,24 | 7,61 | 2,37 | 1,54 |
| pH | 4,07 | 7,63 | 6,70 | 6,51 | 0,45 | 0,67 |
| MPS | 4,00 | 112,00 | 48,70 | 48,25 | 0,55 | 26,55 |
| T H2O | 24,90 | 31,20 | 27,60 | 27,41 | 2,59 | 1,61 |
| T Ar | 25,00 | 33,70 | 28,65 | 28,78 | 3,41 | 1,85 |
| Transp. | 0,20 | 1,20 | 0,63 | 0,64 | 0,08 | 0,29 |
| Turbidez | 4,00 | 86,10 | 21,70 | 25,35 | 376,69 | 19,41 |

Valor de referência CONAMA N° 357/05 águas doce Classe 1 e 2: 100,00 µg.L⁻¹ Pt; 10,00 mg.L⁻¹ NO₃⁻; 1000,00 µg.L⁻¹ NO₂⁻; 3,7 mg.L⁻¹ NH₃, para pH ≤ 7,5; 2,0 mg.L⁻¹ NH₃, para 7,5 < pH ≤ 8,0; 1,0 mg.L⁻¹ NH₃, para 8,0 < pH ≤ 8,5; 0,5 mg.L⁻¹ NH₃, para pH > 8,5. OD > 6,00 mg.L⁻¹ Classe 1; OD > 5,00 mg.L⁻¹. Classe 2: 6,00 ≤ pH ≤ 9,00; UNT ≤ 40 Classe 1; UNT ≤ 100 Classe 2. Fonte: Próprio autor.

Os resultados estatísticos do fósforo dissolvido (µg.L⁻¹); fósforo total (µg.L⁻¹), nitrato (mg.L⁻¹), nitrito (µg.L⁻¹), nitrogênio amoniacal (µg.L⁻¹), oxigênio dissolvido (mg.L⁻¹), Potencial Hidrogeniônico (pH), por sazonalidade entre afluentes e rio principal estão apresentados nas tabelas 7 e 8.

O Fósforo dissolvido apresentou a menor variação de média nos afluentes da margem direita ($16,21 \mu\text{g.L}^{-1}$) no período das águas altas e a maior variação média ($46,33 \mu\text{g.L}^{-1}$) no Rio Machado no período da enchente. O menor valor encontrado foi na enchente ($4,94 \mu\text{g.L}^{-1}$) nos afluentes da margem direita e o maior valor encontrado foi na vazante ($95,40 \mu\text{g.L}^{-1}$) nos afluentes da margem esquerda.

O Fósforo total registrou a menor variação de média nos afluentes da margem direita ($39,57 \mu\text{g.L}^{-1}$) no período das águas altas e a maior variação média ($110,44 \mu\text{g.L}^{-1}$) no Rio Machado no período da enchente. O menor valor encontrado foi nas águas altas ($13,86 \mu\text{g.L}^{-1}$) nos afluentes da margem direita e o maior valor encontrado foi na enchente ($119,33 \mu\text{g.L}^{-1}$) no Rio Machado.

O Nitrato registrou a menor variação de média nos afluentes da margem esquerda ($0,60 \text{mg.L}^{-1}$) no período das águas baixas e a maior variação média ($32,88 \text{mg.L}^{-1}$) nos afluentes da margem esquerda no período da vazante. O menor valor encontrado foi nas águas baixas ($0,17 \text{mg.L}^{-1}$) nos afluentes da margem direita e o maior valor encontrado foi na vazante ($37,41 \text{mg.L}^{-1}$) no Rio Machado.

O Nitrito apresentou a menor variação de média nos afluentes da margem direita ($2,49 \mu\text{g.L}^{-1}$) no período da vazante e a maior variação média ($24,24 \mu\text{g.L}^{-1}$) no Rio Machado no período da enchente. O menor valor encontrado foi na vazante ($0,77 \mu\text{g.L}^{-1}$) nos afluentes da margem direita e o maior valor encontrado foi na enchente ($25,07 \mu\text{g.L}^{-1}$) no Rio Machado.

As concentrações de amônia apresentaram a menor variação de média nos afluentes da margem direita ($8,83 \mu\text{g.L}^{-1}$) no período da enchente e a maior variação média ($248,85 \mu\text{g.L}^{-1}$) nos afluentes da margem direita no período das águas baixas. O menor valor encontrado foi na vazante ($2,10 \mu\text{g.L}^{-1}$) nos afluentes da margem esquerda e o maior valor encontrado foi nas águas baixas ($1277,60 \mu\text{g.L}^{-1}$) nos afluentes da margem direita.

Quanto ao oxigênio dissolvido a menor variação de média foi no Rio Machado ($6,53 \text{mg.L}^{-1}$) no período das águas altas e a maior variação média ($10,00 \text{mg.L}^{-1}$) também no Rio Machado no período das águas baixas. Os menores valores encontrados foram na vazante e nas águas baixas ($4,67 \text{mg.L}^{-1}$) nos afluentes da margem direita e o maior valor encontrado foi nas águas baixas ($11,67 \text{mg.L}^{-1}$) no Rio Machado.

O Potencial Hidrogeniônico (pH) registrou a menor variação de média nos afluentes da margem direita (5,75) no período da vazante e a maior variação média (7,09) no Rio Machado no período da vazante. O menor valor encontrado foi na vazante (4,07) nos afluentes da margem direita e o maior valor encontrado foi nas águas baixas (7,63) nos afluentes da margem esquerda.

A Clorofila *a* não teve os seus valores detectados no período das águas baixas, mas foi possível detectar nos demais períodos do ciclo hidrológico, a menor variação de média foi apresentada nos afluentes da margem direita (1,09 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no período das águas altas e a maior variação média (5,30 $\mu\text{g.L}^{-1}$) também nos afluentes da margem direita no período da vazante. O maior valor encontrado foi na vazante (16,09 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no afluente da margem direita (Igarapé Monte Cristo) e o menor valor encontrado foi de (0,24 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no período das águas altas no afluente também da margem direita (Igarapé Cajueiro). Porém, a ausência de dados em todo o ciclo hidrológico, impossibilitou a sua utilização para a determinação do índice de estado trófico - IET dos corpos hídricos da área de estudo juntamente com os valores encontrados para o fósforo total.

A não detecção do pigmento pode estar associado ao fato das moléculas de clorofila não serem estáveis e, dependendo das condições do meio, tais como mudanças do pH, temperatura ou luminosidade excessiva, podem sofrer degradação, originando produtos conhecidos como feopigmentos. A feofitina *a*, produto da degradação da clorofila *a*, pode interferir nas medidas deste pigmento, por absorver luz na mesma região do espectro que a clorofila *a* (CETESB, 2014). Durante as coletas de campo de setembro de 2019, correspondente ao período das águas baixas, ocorreram luminosidades excessivas. Além disso, em ambientes lóticos, as reduções das concentrações de fósforo e nitrogênio também exercem influência direta nos valores da clorofila *a*.

Tabela 7 - Resultado estatístico do fósforo dissolvido ($\mu\text{g.L}^{-1}$); fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$), nitrato (mg.L^{-1}), nitrito ($\mu\text{g.L}^{-1}$), nitrogênio amoniacal ($\mu\text{g.L}^{-1}$), oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}), Potencial Hidrogeniônico (pH) por sazonalidade entre afluentes e rio principal.

| Parâmetro | Sistema | Águas altas | | | Águas baixas | | |
|-----------|---------|-------------|-----|-------|--------------|-----|-------|
| | | Mín | Máx | Média | Mín | Máx | Média |

| Parâmetro | Sistema | Águas altas | | | Águas baixas | | |
|---|----------------|--------------------|--------|--------|---------------------|---------|--------|
| Pd | RM | 16,57 | 34,43 | 25,14 | 17,67 | 32,67 | 25,44 |
| Pd | MD | 9,43 | 33,71 | 16,21 | 17,67 | 68,50 | 35,58 |
| Pd | ME | 9,43 | 19,43 | 13,54 | 17,67 | 33,50 | 28,92 |
| Pt | RM | 38,86 | 63,14 | 47,43 | 61,83 | 98,50 | 85,17 |
| Pt | MD | 13,86 | 68,86 | 39,57 | 51,00 | 107,67 | 67,25 |
| Pt | ME | 28,86 | 56,00 | 42,61 | 63,50 | 102,00 | 87,71 |
| NO ₃ ⁻ | RM | 25,20 | 35,99 | 32,24 | 0,65 | 1,22 | 1,02 |
| NO ₃ ⁻ | MD | 28,50 | 33,57 | 30,76 | 0,17 | 1,11 | 0,66 |
| NO ₃ ⁻ | ME | 21,15 | 30,25 | 27,40 | 0,29 | 1,02 | 0,60 |
| NO ₂ ⁻ | RM | 4,10 | 9,27 | 6,16 | 1,86 | 7,21 | 4,95 |
| NO ₂ ⁻ | MD | 2,10 | 6,93 | 3,74 | 0,96 | 8,64 | 4,74 |
| NO ₂ ⁻ | ME | 4,43 | 8,93 | 6,48 | 0,00 | 7,57 | 4,92 |
| NH ₃ -NH ₄ ⁺ | RM | 24,60 | 92,10 | 65,10 | 7,10 | 23,60 | 15,43 |
| NH ₃ -NH ₄ ⁺ | MD | 12,10 | 773,10 | 156,35 | 23,60 | 1277,60 | 248,85 |
| NH ₃ -NH ₄ ⁺ | ME | 15,60 | 255,60 | 89,98 | 9,10 | 34,10 | 22,10 |
| OD | RM | 6,12 | 6,94 | 6,53 | 8,00 | 11,67 | 10,00 |
| OD | MD | 5,31 | 8,89 | 6,86 | 4,67 | 10,67 | 7,17 |
| OD | ME | 5,71 | 7,14 | 6,73 | 7,33 | 10,33 | 8,75 |
| pH | RM | 6,78 | 6,91 | 6,83 | 6,60 | 7,40 | 6,97 |
| pH | MD | 6,55 | 6,94 | 6,77 | 4,74 | 7,30 | 6,20 |
| pH | ME | 6,57 | 7,13 | 6,82 | 5,85 | 7,63 | 6,66 |

Observações: RM: Rio Machado; MD: Margem direita (Afluentes do entorno da Rebio Jarú); ME: Margem esquerda (Afluentes da Rebio Jarú). Próprio autor.

Tabela 8 - Resultado estatístico do fósforo dissolvido ($\mu\text{g.L}^{-1}$); fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$), nitrato (mg.L^{-1}), nitrito ($\mu\text{g.L}^{-1}$), nitrogênio amoniacal ($\mu\text{g.L}^{-1}$), oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}), Potencial Hidrogeniônico (pH) por sazonalidade entre afluentes e rio principal.

| Parâmetro | Sistema | Vazante | | | Enchente | | |
|-----------------------------|---------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|
| | | Mín | Máx | Média | Min | Máx | Média |
| Pd | RM | 10,40 | 37,33 | 23,36 | 44,94 | 48,28 | 46,33 |
| Pd | MD | 9,40 | 51,40 | 26,83 | 4,94 | 44,94 | 19,25 |
| Pd | ME | 7,40 | 95,40 | 31,87 | 8,28 | 55,78 | 26,82 |
| Pt | RM | 19,83 | 103,40 | 68,54 | 101,00 | 119,33 | 110,44 |
| Pt | MD | 15,40 | 104,58 | 49,95 | 22,67 | 109,33 | 57,53 |
| Pt | ME | 35,67 | 197,40 | 108,66 | 36,00 | 100,17 | 61,21 |
| NO_3^- | RM | 29,02 | 37,41 | 32,48 | 0,58 | 1,01 | 0,82 |
| NO_3^- | MD | 27,20 | 36,36 | 31,79 | 0,47 | 1,85 | 0,97 |
| NO_3^- | ME | 30,74 | 35,48 | 32,88 | 0,36 | 2,03 | 1,09 |
| NO_2^- | RM | 4,43 | 4,93 | 4,71 | 23,11 | 25,07 | 24,24 |
| NO_2^- | MD | 0,77 | 4,77 | 2,49 | 5,61 | 24,89 | 13,20 |
| NO_2^- | ME | 0,93 | 5,60 | 2,89 | 9,54 | 21,14 | 14,36 |
| $\text{NH}_3\text{-NH}_4^+$ | RM | 26,60 | 71,60 | 48,77 | 8,10 | 18,21 | 11,97 |
| $\text{NH}_3\text{-NH}_4^+$ | MD | 26,10 | 168,10 | 59,77 | 7,55 | 11,47 | 8,83 |
| $\text{NH}_3\text{-NH}_4^+$ | ME | 2,10 | 72,60 | 41,60 | 8,26 | 20,82 | 12,93 |
| OD | RM | 7,00 | 10,33 | 8,44 | 6,67 | 8,00 | 7,44 |
| OD | MD | 4,67 | 10,67 | 7,72 | 7,00 | 8,00 | 7,28 |
| OD | ME | 7,33 | 10,33 | 8,75 | 6,33 | 7,00 | 6,83 |
| pH | RM | 7,00 | 7,20 | 7,09 | 6,70 | 6,72 | 6,71 |
| pH | MD | 4,07 | 6,65 | 5,75 | 5,35 | 6,75 | 6,21 |
| pH | ME | 5,94 | 7,00 | 6,50 | 6,24 | 6,87 | 6,61 |

Observações: RM: Rio Machado; MD: Margem direita (Afluentes do entorno da Rebio Jaru); ME: Margem esquerda (Afluentes da Rebio Jaru). Próprio autor

O resultado estatístico da condutividade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$), material particulado em suspensão (mg.L^{-1}), temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$), transparência (m), turbidez (UNT) por sazonalidade entre afluentes e rio principal estão apresentados nas tabelas 9 e 10.

Para a condutividade elétrica, os valores apresentaram a menor variação de média nos afluentes da margem direita ($15,10 \mu\text{S.cm}^{-1}$) no período da vazante e a maior variação média ($35,80 \mu\text{S.cm}^{-1}$) no Rio Machado no período das águas baixas. O menor valor encontrado foi na vazante ($5,50 \mu\text{S.cm}^{-1}$) nos afluentes da margem direita e o maior valor encontrado foi nas águas baixas ($75,10 \mu\text{S.cm}^{-1}$) nos afluentes da margem esquerda.

Os valores para o material particulado em suspensão apresentaram a menor variação de média no rio Machado ($17,00 \text{mg.L}^{-1}$) no período das águas baixas e a maior variação média ($92,40 \text{mg.L}^{-1}$) no Rio Machado no período das águas altas. O menor valor encontrado foi nas águas baixas ($4,00 \text{mg.L}^{-1}$) nos afluentes da margem direita e o maior valor encontrado foi nas águas baixas ($112,0 \text{mg.L}^{-1}$) no Rio Machado.

A temperatura da água apresentou a menor variação de média nos afluentes da margem direita (25,25 °C) no período da enchente e a maior variação média (29,97 °C) no Rio Machado no período da vazante. O menor valor encontrado foi na enchente (24,90 °C) nos afluentes da margem direita e o maior valor encontrado foi na vazante (31,20 °C) nos afluentes da margem direita.

A transparência da água apresentou a menor variação de média no Rio Machado (0,25 m) no período da enchente e a maior variação média (0,96 m) nos afluentes da margem direita no período das águas altas. O menor valor encontrado foi nas águas baixas (0,20 m) nos afluentes da margem direita e o maior valor encontrado foi nas águas altas (1,2 m) também nos afluentes da margem direita.

A turbidez registrou a menor variação de média nos afluentes da margem direita (9,92 UNT) no período da vazante e a maior variação média (75,93 UNT) no Rio Machado no período da enchente. O menor valor encontrado foi na vazante (4,00 UNT) nos afluentes da margem direita e o maior valor encontrado foi na enchente (86,10 UNT) no Rio Machado.

Tabela 9 - Resultado estatístico dos parâmetros físicos condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), material particulado em suspensão ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$), transparência (m), turbidez (UNT) por sazonalidade e por margem de contribuição

| Parâmetro | Sistema | Águas altas | | | Águas baixas | | |
|-----------------------|---------|-------------|--------|-------|--------------|-------|-------|
| | | Mín | Máx | Média | Mín | Máx | Média |
| CE | RM | 32,40 | 34,80 | 33,60 | 35,50 | 36,00 | 35,80 |
| CE | MD | 8,10 | 33,30 | 22,73 | 5,60 | 72,60 | 31,05 |
| CE | ME | 14,20 | 44,40 | 30,98 | 18,50 | 75,10 | 41,40 |
| MPS | RM | 91,00 | 112,00 | 92,40 | 5,00 | 65,00 | 17,00 |
| MPS | MD | 14,00 | 79,80 | 59,50 | 4,00 | 34,00 | 18,50 |
| MPS | ME | 37,80 | 96,60 | 86,10 | 31,00 | 79,00 | 49,50 |
| Temp_H ₂ O | RM | 27,30 | 30,00 | 28,33 | 28,50 | 29,20 | 29,10 |
| Temp_H ₂ O | MD | 25,10 | 28,00 | 26,43 | 26,00 | 29,00 | 27,00 |
| Temp_H ₂ O | ME | 25,80 | 28,00 | 27,03 | 26,90 | 29,40 | 28,50 |
| Transp | RM | 0,53 | 0,69 | 0,59 | 0,65 | 0,70 | 0,68 |
| Transp | MD | 0,80 | 1,20 | 0,96 | 0,20 | 1,15 | 0,55 |
| Transp | ME | 0,63 | 1,19 | 0,80 | 0,49 | 0,73 | 0,59 |
| Turbidez | RM | 32,40 | 36,60 | 34,60 | 8,88 | 14,40 | 12,19 |
| Turbidez | MD | 7,15 | 33,90 | 18,40 | 7,54 | 40,50 | 16,19 |
| Turbidez | ME | 9,34 | 46,40 | 27,41 | 5,20 | 34,80 | 19,98 |

Observações: RM: Rio Machado; MD: Margem direita (Afluentes do entorno da Rebio Jaru); ME: Margem esquerda (Afluentes da Rebio Jaru). Próprio autor.

Tabela 10 - Resultado estatístico dos parâmetros físicos condutividade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$), material particulado em suspensão (mg.L^{-1}), temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$), transparência (m), turbidez (UNT) por sazonalidade e por margem de contribuição

| Parâmetro | Sistema | Vazante | | | Enchente | | |
|-----------------------|---------|---------|-------|-------|----------|-------|-------|
| | | Mín | Máx | Média | Mín | Máx | Média |
| CE | RM | 32,60 | 34,70 | 33,83 | 34,90 | 37,40 | 35,77 |
| CE | MD | 5,50 | 29,90 | 15,10 | 8,00 | 36,60 | 15,10 |
| CE | ME | 13,10 | 49,90 | 28,00 | 19,00 | 47,00 | 28,00 |
| MPS | RM | 65,00 | 80,00 | 66,00 | 51,00 | 66,00 | 66,00 |
| MPS | MD | 10,00 | 57,00 | 42,50 | 16,00 | 43,00 | 42,50 |
| MPS | ME | 27,00 | 69,00 | 61,50 | 8,00 | 55,00 | 61,50 |
| Temp_H ₂ O | RM | 29,60 | 30,40 | 29,97 | 27,20 | 28,30 | 29,97 |
| Temp_H ₂ O | MD | 25,40 | 31,20 | 27,75 | 24,90 | 26,20 | 27,75 |
| Temp_H ₂ O | ME | 25,80 | 29,60 | 27,88 | 25,50 | 27,80 | 27,88 |
| Transp | RM | 0,28 | 0,38 | 0,35 | 0,22 | 0,31 | 0,35 |
| Transp | MD | 0,32 | 1,09 | 0,71 | 0,36 | 1,17 | 0,71 |
| Transp | ME | 0,33 | 0,95 | 0,58 | 0,41 | 0,63 | 0,58 |
| Turbidez | RM | 23,50 | 52,00 | 34,00 | 57,40 | 86,10 | 34,00 |
| Turbidez | MD | 4,00 | 16,50 | 9,92 | 8,60 | 66,40 | 9,92 |
| Turbidez | ME | 5,00 | 28,50 | 16,75 | 24,70 | 43,70 | 16,75 |

Observações: RM: Rio Machado; MD: Margem direita (Afluentes do entorno da Rebio Jarú); ME: Margem esquerda (Afluentes da Rebio Jarú). Próprio autor.

Neste estudo, ao comparar os valores encontrados das margens de contribuição, verificou que os afluentes da margem direita apresentaram os menores valores para os parâmetros clorofila a, potencial hidrogeniônico, oxigênio dissolvido, nitrato, nitrito, fósforo total, fósforo dissolvido, turbidez, transparência, temperatura da água, material particulado em suspensão e condutividade elétrica.

Tais resultados podem estar associados as condições naturais desses rios de águas claras, sendo considerados pobres em minerais com pouca carga de sedimentos decorrente da formação geológica antiga da bacia de drenagem (SIOLI, 1951). Além do fato de se encontrarem inseridos e preservados dentro dos limites da REBIO do Jarú.

O Rio Machado por sua vez, apresentou os maiores valores para o oxigênio dissolvido, nitrato, nitrito, turbidez e material particulado em suspensão indicando maior quantidade de matéria orgânica dissolvida, possuindo altos teores de sedimentos em suspensão, alta concentração de sais minerais e assumindo características de águas brancas principalmente nas épocas chuvosas do ano.

4.2 Cálculo do Índice de Estado Trófico (IET)

A classificações foram realizadas em todos os períodos correspondentes ao ciclo hidrológico de 2019 de acordo com os limites das concentrações de fósforo total para os diferentes níveis tróficos. Os limites estabelecidos para as diferentes classes de trofia para rios são: ultraoligotrófico ($IET \leq 47$), oligotrófico ($47 < IET \leq 52$), mesotrófico ($52 < IET \leq 59$), eutrófico ($59 < IET \leq 63$), supereutrófico ($63 < IET \leq 67$) e hipereutrófico ($IET > 67$) e estão apresentados na tabela 11. IET para Rios segundo Lamparelli (2004).

Tabela 11 - Valores dos limites das concentrações de fósforo total para os diferentes estados tróficos.

| Estado trófico | Fósf. total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) | Ponderação | Clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g.L}^{-1}$) | Secchi (m) |
|-------------------|--------------------------------------|--------------------|---|--------------------|
| Ultraoligotrófico | ≤ 13 | $IET \leq 47$ | $\leq 0,74$ | $\geq 2,4$ |
| Oligotrófico | $13 < PT \leq 35$ | $47 < IET \leq 52$ | $0,74 < Cla \leq 1,31$ | $2,4 > S \geq 1,7$ |
| Mesotrófico | $35 < PT \leq 137$ | $52 < IET \leq 59$ | $1,31 < Cla \leq 2,96$ | $1,7 > S \geq 1,1$ |
| Eutrófico | $137 < PT \leq 296$ | $59 < IET \leq 63$ | $2,96 < Cla \leq 4,70$ | $1,1 > S \geq 0,8$ |
| Supereutrófico | $296 < PT \leq 640$ | $63 < IET \leq 67$ | $4,70 < Cla \leq 7,46$ | $0,8 > S \geq 0,6$ |
| Hipereutrófico | $640 < PT$ | $IET > 67$ | $> 7,46$ | $< 0,6$ |

Fonte: Lamparelli, 2004.

O cálculo do Índice de Estado trófico - IET para as concentrações de fósforo total indicaram que o Rio Machado em seus trechos correspondentes aos pontos médio e a jusante, Igarapé Tarifa, Igarapé Buenos Aires, Igarapé Pascana e Rio Jaru tiveram classificação quanto aos seus estados tróficos como “mesotrófico” em todas as campanhas do ciclo hidrológico. Destaca-se o Rio Anari com classificação de seu estado em “eutrófico” (61,39) no período de vazante, onde tal achado revela possíveis implicações sobre a qualidade da água entendida como eutrofização. O Igarapé Azul, apresentou-se como “ultraoligotrófico” (45,58) no período de vazante e como “oligotrófico” (48,99) nas águas altas. Já o Rio Tarumã apresentou-se como “oligotrófico” nas águas altas e enchente respectivamente (47,59; 51,49), sendo ambos caracterizados como corpos d'água claras, com baixa produção primária, dos quais não ocorrem uso indesejado da água em decorrência de seus limites estarem inseridos no interior de uma unidade de conservação (REBIO do Jaru). A média do IET para todos os corpos hídricos analisados apresentou-se como “mesotrófico” em quase todos os períodos sazonais. A exceção foi o Igarapé Azul que apresentou estado trófico como “oligotrófico” (51,14) conforme apresentado na tabela 12.

Tabela 12 - Índice de Estado Trófico – IET.

| Ponto | Águas altas | Vazante | Águas baixas | Enchente | Média | Desv. Padrão |
|-----------------------|-------------|---------|--------------|----------|-------|--------------|
| Azul | 48,99 | 45,58 | 55,22 | 54,77 | 51,14 | 4,67 |
| Machado ^m | 53,14 | 46,10 | 57,78 | 58,78 | 53,95 | 5,78 |
| Milagres | 53,23 | 44,34 | 57,96 | 56,14 | 52,92 | 6,04 |
| Monte Cristo | 53,98 | 48,14 | 58,24 | 50,15 | 52,63 | 4,46 |
| Cajueiro | 55,92 | 55,33 | 56,14 | 51,63 | 54,76 | 2,11 |
| Anari | 51,40 | 61,39 | 55,50 | 52,67 | 55,24 | 4,44 |
| Machado ^{me} | 52,95 | 58,03 | 57,60 | 57,91 | 56,62 | 2,46 |
| Tarifa | 53,66 | 57,22 | 57,78 | 52,55 | 55,30 | 2,59 |
| Machado ^j | 55,47 | 56,85 | 55,36 | 58,40 | 56,52 | 1,42 |
| Buenos Aires | 54,36 | 53,52 | 54,77 | 57,78 | 55,11 | 1,86 |
| Pascana | 52,85 | 55,07 | 54,36 | 58,32 | 55,15 | 2,31 |
| Tarumã | 47,59 | 54,40 | 55,00 | 51,49 | 52,12 | 3,39 |
| Jaru | 54,85 | 57,61 | 57,13 | 57,87 | 56,86 | 1,38 |

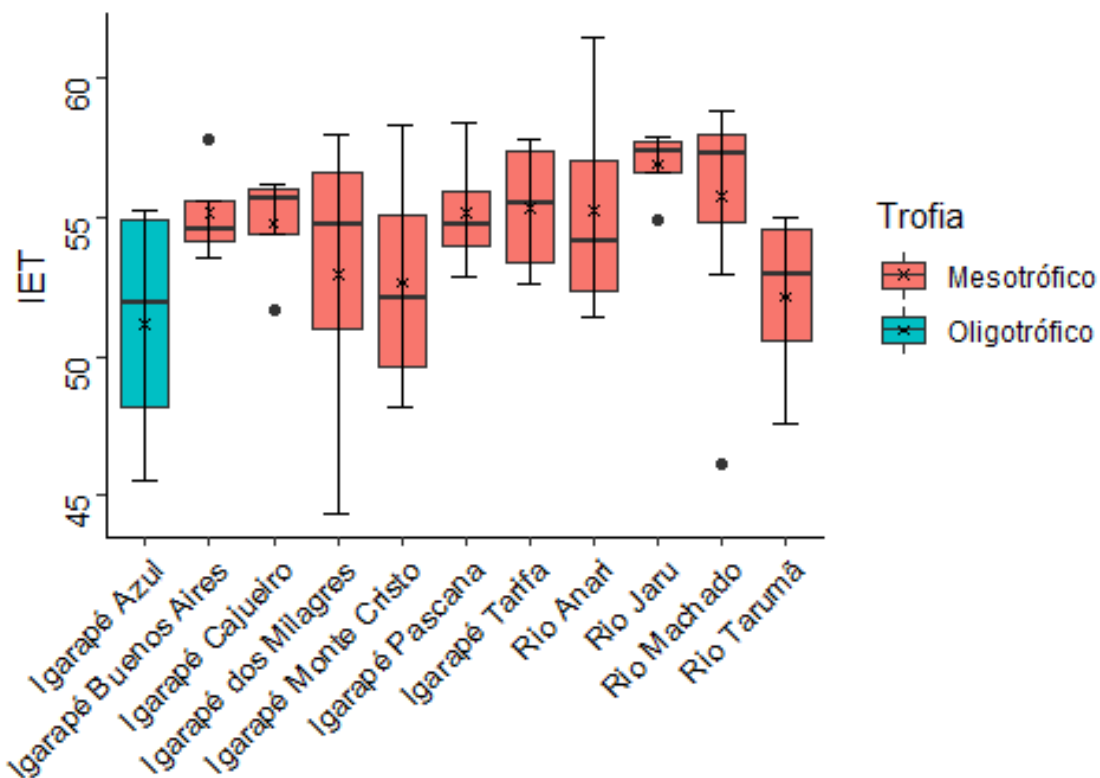
Observações: ^m montante; ^{me} médio; ^j jusante.

Fonte: Próprio autor.

As figuras 9 e 10 demonstram os gráficos *boxplots* referentes aos valores do Índice do Estado Trófico por ponto de coleta e aos valores do Índice de Estado Trófico por sazonalidade. O *boxplot* gerado dos valores encontrados do índice do Estado Trófico por ponto de coleta evidencia que o Rio Jaru apresentou a média e mediana mais elevada durante todo o ciclo hidrológico.

O valor mínimo registrado foi no Igarapé dos Milagres, enquanto o valor máximo registrado foi no Rio Anari. O Igarapé Tarifa, Buenos Aires e Pascana apresentaram as melhores distribuições dos valores encontrados, uma vez que a média e mediana permaneceram muito próximos. Por outro lado, o Igarapé dos Milagres, Rio Anari e Rio Machado apresentaram comportamento oposto, quando comparados com os igarapés já citados. Também no Rio Machado, tal resultado pode ter relação com a baixa contribuição alóctone do parâmetro fósforo total na água no período da vazante.

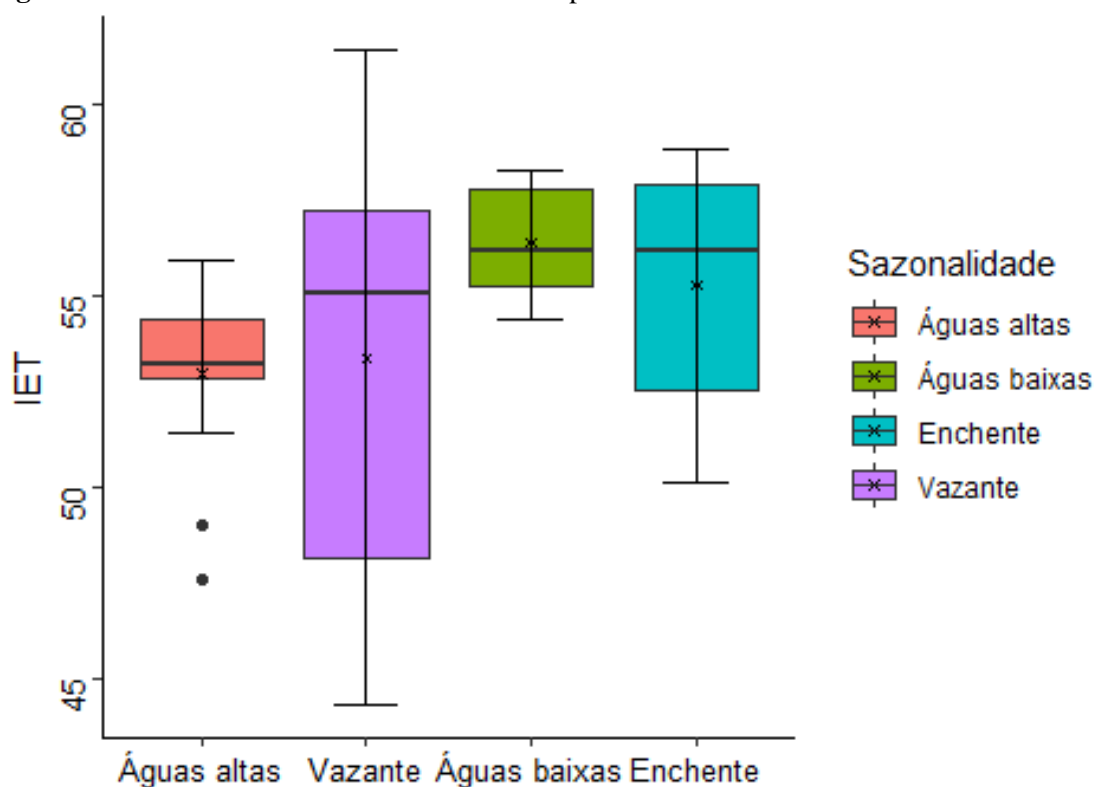
Figura 9 - Valores do Índice do Estado Trófico por ponto de coleta.



Fonte: Próprio autor.

Quanto aos valores do índice de estado trófico por sazonalidade, os achados de todo o ciclo hidrológico evidenciam a maior amplitude no período da vazante e a menor amplitude foi observada nas águas baixas. As médias mais elevadas foram observadas, respectivamente no período das águas baixas, seguido da enchente, vazante e águas altas.

Figura 10 - Valores do Índice de Estado Trófico por sazonalidade.



Fonte: Próprio autor.

4.3 Resultados da concentração dos Elementos-traço nas matrizes água e sedimento

4.3.1 Elementos-traço na matriz água por sazonalidade entre afluentes e rio principal: Fração Total

Na estatística descritiva as concentrações médias totais dos elementos-traço na água apresentaram a seguinte ordem decrescente Zn > Fe > Mn > Al > Ni > Ba > Sr > V > As > Pb > Cd > Cu > Co. Na fração total, o cromo (Cr) não foi detectado em todo o ciclo hidrológico analisado. O elemento ferro apresentou a média total de (1018,09 $\mu\text{g.L}^{-1}$) durante todo o ciclo hidrológico. O menor valor encontrado foi de (12,24 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no Igarapé tarifa no período da enchente e o maior valor encontrado foi nas águas baixas (2931,00 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no Igarapé Monte Cristo (Tabela 13).

O zinco registrou a média total de (105,00 $\mu\text{g.L}^{-1}$) durante todo o ciclo hidrológico, onde o menor valor encontrado foi na vazante (0,01 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no ponto correspondente ao Rio Machado

à montante e o maior valor encontrado ($3192,00 \mu\text{g.L}^{-1}$) foi nas águas baixas no Igarapé Buenos Aires.

O alumínio (Al) registrou o valor de média total de ($99,23 \mu\text{g.L}^{-1}$) durante todo o ciclo hidrológico. O menor valor encontrado foi no período da vazante ($25,93 \mu\text{g.L}^{-1}$) no Rio Tarumã e o maior valor encontrado ($250,80 \mu\text{g.L}^{-1}$) foi no período das águas baixas no Igarapé Buenos Aires.

O manganês registrou o valor de média total de ($54,76 \mu\text{g.L}^{-1}$) durante todo o ciclo hidrológico. O menor valor encontrado foi na vazante ($3,91 \mu\text{g.L}^{-1}$) no Igarapé Buenos Aires e o maior valor encontrado foi nas águas baixas ($260,70 \mu\text{g.L}^{-1}$) também no Igarapé Buenos Aires.

As concentrações do bário registraram a média total de ($23,21 \mu\text{g.L}^{-1}$) durante todo o ciclo hidrológico. O menor valor encontrado foi na vazante ($1,33 \mu\text{g.L}^{-1}$) no Igarapé Buenos Aires o maior valor encontrado foi na enchente ($45,46 \mu\text{g.L}^{-1}$) no Rio Jaru.

O estrôncio apresentou a maior média total no valor de ($12,08 \mu\text{g.L}^{-1}$) durante todo o ciclo hidrológico. O menor valor encontrado foi na vazante ($2,64 \mu\text{g.L}^{-1}$) no Igarapé Buenos Aires (Rebio Jaru) e o maior valor encontrado foi na enchente ($25,86 \mu\text{g.L}^{-1}$) no Igarapé Tarifa.

As concentrações de níquel foram observadas apenas nas águas altas e na enchente, onde o valor médio encontrado nessas duas fases do ciclo hidrológico foi de ($10,79 \mu\text{g.L}^{-1}$). O menor valor encontrado foi de ($0,13 \mu\text{g.L}^{-1}$) nas águas altas no Igarapé Buenos Aires e o maior valor encontrado foi de ($97,42 \mu\text{g.L}^{-1}$) na enchente, no Rio Anari.

As concentrações de vanádio apresentaram a média total o valor de ($7,20 \mu\text{g.L}^{-1}$) durante todo o ciclo hidrológico. O menor valor encontrado foi na enchente ($1,44 \mu\text{g.L}^{-1}$) no Igarapé tarifa e o maior valor encontrado foi na vazante ($9,76 \mu\text{g.L}^{-1}$) no Rio Jaru.

O arsênio, o cádmio e o cobalto apresentaram concentrações de detecção apenas para o período de enchente, sendo o menor valor encontrado ($0,29 \mu\text{g.L}^{-1}$; $3,56 \mu\text{g.L}^{-1}$; $0,19 \mu\text{g.L}^{-1}$) no Igarapé Buenos Aires; Rio Machado no ponto médio; Rio Tarumã. Já o maiores valores encontrados para esses elementos foram ($5,52 \mu\text{g.L}^{-1}$; $3,81 \mu\text{g.L}^{-1}$; $0,56 \mu\text{g.L}^{-1}$) no Rio Anari; Rio Anari; Rio Machado no ponto à jusante respectivamente.

O elemento chumbo apresentou a média total de (1,30 $\mu\text{g.L}^{-1}$) e não foi detectado no Rio Tarumã em todo o ciclo hidrológico. O menor valor detectado foi de (0,04 $\mu\text{g.L}^{-1}$) nas águas altas no ponto correspondente ao Rio Machado à jusante, o maior valor encontrado (5,34 $\mu\text{g.L}^{-1}$), por sua vez, foi no Igarapé Cajueiro no período das águas baixas.

O cobre não foi detectado na vazante e nem na enchente, sendo detectado nas águas altas apenas no Igarapé Tarifa e Igarapé Azul. Nas águas baixas foi detectado apenas no Igarapé Buenos Aires. A média total foi de (1,46 $\mu\text{g.L}^{-1}$), onde o menor valor detectado foi de (0,05 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no Igarapé Azul e maior valor (3,07 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no Igarapé Tarifa.

Tabela 13 - Estatística descritiva da concentração de elementos-traços na água em $\mu\text{g.L}^{-1}$ (fração total).

| Estatística | Mínimo | Máximo | Mediana | Média | Variância | Desvio Padrão |
|--------------------|---------------|---------------|----------------|--------------|------------------|----------------------|
| Al | 25,93 | 250,8 | 86,64 | 99,23 | 2351,07 | 48,49 |
| As | 0,29 | 5,52 | 2,82 | 2,78 | 2,27 | 1,51 |
| Ba | 1,33 | 45,46 | 22,4 | 23,21 | 145,97 | 12,08 |
| Cd | 3,56 | 3,81 | 3,65 | 3,67 | 0,01 | 0,07 |
| Co | 0,19 | 0,56 | 0,35 | 0,35 | 0,01 | 0,10 |
| Cu | 0,05 | 3,07 | 1,26 | 1,46 | 1,54 | 1,24 |
| Fe | 12,24 | 2931,00 | 967,75 | 1018,09 | 393177,00 | 627,04 |
| Mn | 3,91 | 260,7 | 36,7 | 54,76 | 2762,13 | 52,56 |
| Ni | 0,13 | 97,42 | 5,13 | 10,79 | 510,43 | 22,59 |
| Pb | 0,04 | 5,34 | 0,78 | 1,30 | 1,94 | 1,39 |
| Sr | 2,64 | 25,86 | 12,97 | 12,08 | 28,29 | 5,32 |
| V | 1,44 | 9,76 | 8,56 | 7,20 | 8,26 | 2,87 |
| Zn | 0,01 | 3192,00 | 24,42 | 105,00 | 192193 | 438,4 |

Fonte: Próprio autor.

As concentrações médias dos elementos-traços totais na água por sazonalidade entre os afluentes e o Rio Machado apresentaram-se na seguinte ordem decrescente Fe>Al>Mn>Ba>Sr>V>Zn. O elemento ferro apresentou a maior variação de média na margem esquerda (1764,50 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no período das águas altas e a menor variação média (425,80 $\mu\text{g.L}^{-1}$) nos afluentes da margem direita no período da enchente. Durante todo o ciclo hidrológico, o maior valor encontrado foi nas águas altas (2931,00 $\mu\text{g.L}^{-1}$) nos afluentes da margem direita e o menor valor encontrado foi na enchente (12,24 $\mu\text{g.L}^{-1}$) nos afluentes da margem esquerda (Tabelas 14 e 15).

As concentrações de alumínio registraram a maior variação de média no Rio Machado ($175,70 \mu\text{g.L}^{-1}$) no período das águas altas e a menor variação média ($57,15 \mu\text{g.L}^{-1}$) nos afluentes da margem esquerda no período das águas baixas. Durante todo o ciclo hidrológico, o maior valor encontrado foi na vazante ($228,90 \mu\text{g.L}^{-1}$) no Rio Machado e o menor valor encontrado também foi nas águas baixas ($25,93 \mu\text{g.L}^{-1}$), mas nos afluentes da margem direita.

O manganês registrou a maior variação de média na margem direita ($117,20 \mu\text{g.L}^{-1}$) no período das águas baixas e a menor variação média ($21,99 \mu\text{g.L}^{-1}$) também nos afluentes da margem direita no período da enchente. Durante todo o ciclo hidrológico, o maior valor encontrado foi nas águas baixas ($260,70 \mu\text{g.L}^{-1}$) nos afluentes da margem direita e o menor valor encontrado foi na vazante ($3,91 \mu\text{g.L}^{-1}$) também nos afluentes da margem direita.

As concentrações do bário registraram a maior variação de média no Rio Machado ($38,51 \mu\text{g.L}^{-1}$) no período das águas altas e a menor variação média ($14,00 \mu\text{g.L}^{-1}$) nos afluentes da margem direita no período da vazante. Durante todo o ciclo hidrológico, o maior valor encontrado foi na enchente ($45,46 \mu\text{g.L}^{-1}$) nos afluentes da margem esquerda e o menor valor encontrado foi na vazante ($1,33 \mu\text{g.L}^{-1}$) nos afluentes da margem direita.

O elemento estrôncio apresentou a maior variação de média nos afluentes da margem esquerda ($21,05 \mu\text{g.L}^{-1}$) no período da enchente e a menor variação média ($5,45 \mu\text{g.L}^{-1}$) nos afluentes da margem direita no período da vazante. Durante todo o ciclo hidrológico, o maior valor encontrado foi na enchente ($25,86 \mu\text{g.L}^{-1}$) nos afluentes da margem esquerda e o menor valor encontrado foi na vazante ($2,64 \mu\text{g.L}^{-1}$) nos afluentes da margem direita (Rebio Jaru).

As concentrações de vanádio apresentaram a maior variação de média no Rio Machado ($9,47 \mu\text{g.L}^{-1}$) no período da vazante e a menor variação média ($1,91 \mu\text{g.L}^{-1}$) nos afluentes da margem direita no período da enchente. Durante todo o ciclo hidrológico, o maior valor encontrado foi na vazante ($9,76 \mu\text{g.L}^{-1}$) nos afluentes da margem esquerda e o menor valor encontrado foi na enchente ($1,44 \mu\text{g.L}^{-1}$) nos afluentes da margem esquerda.

O zinco registrou a maior variação de média nos afluentes da margem direita ($655,43 \mu\text{g.L}^{-1}$) no período das águas baixas e a menor variação média ($4,51 \mu\text{g.L}^{-1}$) também nos afluentes da margem direita no período da vazante. Durante todo o ciclo hidrológico, o maior valor

encontrado foi nas águas baixas (3192,00 $\mu\text{g.L}^{-1}$) nos afluentes da margem direita e o menor valor encontrado foi na vazante (0,01 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no Rio Machado.

O arsênio, o cádmio e o cobalto apresentaram valores de detecção apenas para o período de enchente, sendo o menor valor encontrado (0,29 $\mu\text{g.L}^{-1}$; 3,56 $\mu\text{g.L}^{-1}$; 0,19 $\mu\text{g.L}^{-1}$) nos afluentes da margem direita; Rio Machado; margem direita respectivamente. Já os maiores valores encontrados para esses elementos foram (5,52 $\mu\text{g.L}^{-1}$; 3,81 $\mu\text{g.L}^{-1}$; 0,56 $\mu\text{g.L}^{-1}$) na margem esquerda; margem esquerda; Rio Machado respectivamente.

O cobre não foi detectado na vazante e nem na enchente, já nas águas altas o maior valor encontrado foi de (3,07 $\mu\text{g.L}^{-1}$) nos afluentes da margem esquerda e, nas águas baixas o maior valor encontrado de (1,26 $\mu\text{g.L}^{-1}$) foi nos afluentes da margem direita (Rebio Jaru).

As concentrações de níquel foram observadas apenas nas águas altas e na enchente, onde os maiores valores encontrados de (0,30 $\mu\text{g.L}^{-1}$; 97,42 $\mu\text{g.L}^{-1}$) foram nos afluentes da margem direita e esquerda respectivamente. O elemento chumbo durante todo o ciclo hidrológico, apresentou a maior média valor encontrada nas águas baixas (1,72 $\mu\text{g.L}^{-1}$) nos afluentes da margem direita. O cromo, por sua vez, não foi detectado em todo o ciclo hidrológico analisado.

Tabela 14 - Resultado estatístico dos elementos-traço na água ($\mu\text{g.L}^{-1}$) por sazonalidade (Águas altas/águas baixas) entre afluentes e rio principal

| Parâmetro | Sistema | Águas altas | | | Águas baixas | | |
|-----------|---------|-------------|---------|---------|--------------|---------|--------|
| | | Mín | Máx | Média | Mín | Máx | Média |
| Al | RM | 148,80 | 201,80 | 175,70 | 57,39 | 126,30 | 84,13 |
| Al | MD | 53,93 | 163,20 | 114,80 | 25,93 | 250,80 | 96,95 |
| Al | ME | 87,44 | 131,10 | 105,70 | 38,87 | 72,90 | 57,15 |
| As | RM | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| As | MD | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| As | ME | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| Ba | RM | 34,86 | 43,65 | 38,51 | 7,17 | 27,61 | 18,89 |
| Ba | MD | 10,23 | 36,98 | 27,53 | 3,15 | 41,36 | 15,75 |
| Ba | ME | 14,61 | 42,84 | 32,39 | 9,08 | 23,17 | 14,49 |
| Cd | RM | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| Cd | MD | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| Cd | ME | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| Co | RM | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| Co | MD | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| Co | ME | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| Cu | RM | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| Cu | MD | <LDT | 0,05 | <LDT | <LDT | 1,26 | 0,21 |
| Cu | ME | <LDT | 3,07 | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| Fe | RM | 1367,00 | 1589,00 | 1547,00 | 224,90 | 673,60 | 514,90 |
| Fe | MD | 478,90 | 1503,00 | 921,80 | 75,83 | 2931,00 | 914,12 |
| Fe | ME | 1445,00 | 2217,00 | 1764,50 | 525,20 | 1258,00 | 943,85 |
| Mn | RM | 34,30 | 58,46 | 57,50 | 33,64 | 61,04 | 51,60 |

| Parâmetro | Sistema | Águas altas | | | Águas baixas | | |
|-----------|---------|-------------|-------|-------|--------------|---------|--------|
| | | | | | | | |
| Mn | MD | 12,20 | 51,78 | 27,93 | 6,07 | 260,70 | 117,20 |
| Mn | ME | 28,14 | 97,77 | 51,99 | 23,46 | 54,29 | 34,61 |
| Ni | RM | <LDT | 0,30 | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| Ni | MD | <LDT | 0,14 | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| Ni | ME | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| Pb | RM | <LDT | 0,41 | 0,04 | <LDT | 2,64 | 0,88 |
| Pb | MD | <LDT | 1,17 | <LDT | <LDT | 5,34 | 1,72 |
| Pb | ME | <LDT | 2,18 | 0,36 | <LDT | 1,90 | 0,86 |
| Sr | RM | 13,95 | 15,36 | 15,03 | 6,83 | 15,34 | 10,90 |
| Sr | MD | 4,81 | 15,33 | 9,75 | 3,16 | 12,56 | 7,76 |
| Sr | ME | 9,17 | 19,94 | 14,28 | 6,48 | 13,37 | 9,90 |
| V | RM | 8,26 | 8,36 | 8,28 | 8,92 | 9,73 | 9,44 |
| V | MD | 7,46 | 9,11 | 8,45 | 8,53 | 9,61 | 9,05 |
| V | ME | 7,73 | 8,82 | 8,02 | 8,67 | 9,48 | 9,12 |
| Zn | RM | 5,35 | 21,81 | 12,28 | 64,08 | 155,70 | 94,97 |
| Zn | MD | 5,05 | 52,70 | 17,39 | 21,56 | 3192,00 | 655,43 |
| Zn | ME | 6,40 | 28,15 | 18,45 | 27,48 | 216,70 | 113,75 |

Observações: RM: Rio Machado; MD: Margem direita (Afluentes da Rebio Jaru); ME: Margem esquerda (Afluentes do Rio Machado no entorno da Rebio Jaru); <LDT: Abaixo do limite de detecção da técnica. Próprio autor

Tabela 15 - Resultado estatístico dos elementos-traço totais na água ($\mu\text{g.L}^{-1}$) por sazonalidade (vazante/enchente) entre afluentes e rio principal

| Parâmetro | Sistema | Vazante | | | Enchente | | |
|-----------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| | | Mín | Max | Média | Mín | Máx | Média |
| Al | RM | 134,30 | 228,90 | 148,80 | 100,40 | 183,00 | 130,80 |
| Al | MD | 36,02 | 130,00 | 58,73 | 45,14 | 139,30 | 67,96 |
| Al | ME | 85,36 | 95,59 | 90,79 | 63,64 | 106,30 | 88,01 |
| As | RM | <LDT | <LDT | <LDT | 1,96 | 3,56 | 2,74 |
| As | MD | <LDT | <LDT | <LDT | 0,29 | 4,23 | 2,86 |
| As | ME | <LDT | <LDT | <LDT | 0,75 | 5,52 | 2,85 |
| Ba | RM | 32,95 | 43,39 | 35,17 | 23,46 | 42,10 | 24,79 |
| Ba | MD | 1,33 | 26,55 | 14,00 | 8,29 | 29,08 | 18,23 |
| Ba | ME | 15,43 | 39,93 | 22,48 | 19,13 | 45,46 | 24,22 |
| Cd | RM | <LDT | <LDT | <LDT | 3,56 | 3,69 | 3,59 |
| Cd | MD | <LDT | <LDT | <LDT | 3,64 | 3,73 | 3,65 |
| Cd | ME | <LDT | <LDT | <LDT | 3,58 | 3,81 | 3,72 |
| Co | RM | <LDT | <LDT | <LDT | 0,24 | 0,56 | 0,33 |
| Co | MD | <LDT | <LDT | <LDT | 0,19 | 0,42 | 0,33 |
| Co | ME | <LDT | <LDT | <LDT | 0,21 | 0,46 | 0,41 |
| Cu | RM | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| Cu | MD | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| Cu | ME | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| Fe | RM | 1390,00 | 1727,00 | 1434,00 | 555,70 | 1404,00 | 870,70 |
| Fe | MD | 260,30 | 971,80 | 535,75 | 161,70 | 963,70 | 425,80 |
| Fe | ME | 1317,00 | 1913,00 | 1881,50 | 12,24 | 1696,00 | 1188,00 |
| Mn | RM | 51,08 | 104,90 | 54,58 | 24,74 | 105,60 | 62,57 |
| Mn | MD | 3,91 | 58,37 | 22,48 | 7,87 | 52,96 | 21,99 |
| Mn | ME | 25,33 | 60,54 | 52,51 | 51,04 | 185,30 | 77,74 |
| Ni | RM | <LDT | <LDT | <LDT | 5,53 | 5,92 | 5,75 |
| Ni | MD | <LDT | <LDT | <LDT | 4,64 | 7,68 | 5,04 |
| Ni | ME | <LDT | <LDT | <LDT | 5,02 | 97,42 | 10,00 |
| Pb | RM | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | 0,30 | <LDT |
| Pb | MD | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | 0,75 | <LDT |

| Parâmetro | Sistema | Vazante | | Enchente | | | |
|-----------|---------|---------|-------|----------|-------|-------|-------|
| | | | | | | | |
| Pb | ME | <LDT | 0,35 | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| Sr | RM | 15,18 | 16,31 | 15,94 | 14,36 | 19,48 | 14,71 |
| Sr | MD | 2,64 | 8,55 | 5,45 | 10,49 | 16,76 | 12,31 |
| Sr | ME | 9,38 | 23,13 | 12,02 | 17,26 | 25,86 | 21,05 |
| V | RM | 9,45 | 9,72 | 9,47 | 2,39 | 3,62 | 2,76 |
| V | MD | 8,21 | 9,24 | 8,74 | 1,61 | 2,64 | 1,91 |
| V | ME | 8,32 | 9,76 | 9,31 | 1,44 | 2,79 | 2,52 |
| Zn | RM | 0,01 | 15,68 | 4,51 | 13,88 | 28,97 | 27,95 |
| Zn | MD | 0,47 | 39,20 | 26,99 | 8,73 | 71,97 | 8,98 |
| Zn | ME | 12,55 | 50,41 | 26,33 | 6,63 | 40,77 | 17,42 |

Observações: RM: Rio Machado; MD: Margem direita (Afluentes da Rebio Jaru); ME: Margem esquerda (Afluentes do Rio Machado no entorno da Rebio Jaru); <LDT: Abaixo do limite de detecção da técnica. Próprio autor

4.3.2 Elementos-traço na matriz água por sazonalidade entre afluentes e rio principal: Fração dissolvida

Na estatística descritiva das concentrações dos elementos-traço dissolvidos observam-se que seus valores foram verificados em apenas dois períodos sazonais (águas altas e baixas), onde as concentrações médias dos metais dissolvidos na água apresentaram-se na seguinte ordem decrescente Fe > Mn > Zn > Ba > Al > Sr > Pb > V > Ni. O elemento ferro apresentou a média total de (580,24 $\mu\text{g.L}^{-1}$) durante os períodos hidrológicos verificados. O menor valor encontrado foi nas águas baixas (98,61 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no Igarapé Azul e o maior valor encontrado foi nas águas altas (1369,00 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no Rio Anari.

As concentrações de alumínio registraram a média geral de (60,59 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no período das águas altas e baixas. O menor valor encontrado foi nas águas altas (7,70 $\mu\text{g.L}^{-1}$), no Rio Jaru e o maior valor encontrado também nas águas altas (158,30 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no Igarapé Tarifa.

O zinco registrou a maior média geral de (58,99 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no período correspondente as águas altas e baixas. O menor valor encontrado foi também nas águas altas (3,32 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no Rio Jaru e o maior valor encontrado foi nas águas altas (454,10 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no Igarapé Monte Cristo.

As concentrações do bário registraram a média geral de (51,61 $\mu\text{g.L}^{-1}$) nos períodos hidrológicos verificados. O menor valor encontrado foi nas águas altas (27,66 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no Igarapé Monte Cristo e o maior valor encontrado foi nas águas baixas (167,40 $\mu\text{g.L}^{-1}$) também no Igarapé Monte Cristo

O manganês registrou a média geral de (47,79 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no período das águas altas e baixas. O menor valor encontrado foi nas águas altas (0,65 $\mu\text{g.L}^{-1}$) foi no Igarapé Pascana e o maior valor encontrado foi nas águas baixas (677,90 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no Igarapé Monte Cristo.

O elemento estrôncio apresentou a média geral de (14,49 $\mu\text{g.L}^{-1}$) durante os períodos hidrológicos verificados. Durante os períodos, o menor valor encontrado foi nas águas baixas (3,87 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no Igarapé Buenos Aires e o maior valor encontrado foi nas águas baixas (28,45 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no Igarapé Monte Cristo.

As concentrações de vanádio apresentaram a média geral de (8,32 $\mu\text{g.L}^{-1}$). O menor valor encontrado foi nas águas altas (7,26 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no Igarapé Monte Cristo e o maior valor encontrado foi nas águas baixas (9,12 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no Rio Machado no ponto correspondente à montante.

O elemento chumbo durante as duas fases do ciclo hidrológico, apresentou a média geral de (3,95 $\mu\text{g.L}^{-1}$). O menor valor detectado foi de (0,24 $\mu\text{g.L}^{-1}$) nas águas altas no Igarapé dos Milagres e o maior valor encontrado foi nas águas baixas (13,29 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no Rio Tarumã.

O Níquel apresentou a média geral de (2,82 $\mu\text{g.L}^{-1}$). O menor valor encontrado foi nas águas baixas (1,01 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no Rio Jaru e o maior valor encontrado também foi nas águas baixas (6,21 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no Rio Machado no ponto correspondente à montante.

O arsênio e o cobalto apresentaram valores de detecção apenas para o período das águas baixas, onde os valores encontrados para esses elementos foram de 0,65 $\mu\text{g.L}^{-1}$ no Igarapé Buenos Aires e de 3,33 $\mu\text{g.L}^{-1}$ no Igarapé Monte Cristo. O cromo, o cobre e o cádmio não foram detectados.

Tabela 16 - Estatística descritiva da concentração ($\mu\text{g.L}^{-1}$) de elementos-traço na fração dissolvida.

| Estatística | Al | Ba | Fe | Mn | Ni | Pb | Sr | V | Zn |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|
| Mínimo | 7,70 | 27,66 | 98,61 | 0,65 | 1,01 | 0,24 | 3,87 | 7,26 | 3,32 |
| Máximo | 158,30 | 167,40 | 1369,00 | 677,90 | 6,21 | 13,29 | 28,45 | 9,12 | 454,10 |
| Mediana | 39,79 | 49,10 | 385,90 | 12,81 | 1,23 | 2,17 | 15,09 | 8,30 | 31,47 |
| Média | 60,59 | 51,61 | 580,24 | 47,79 | 2,82 | 3,95 | 14,49 | 8,32 | 58,99 |
| Variância | 1938,52 | 634,37 | 178754,04 | 17703,16 | 5,78 | 16,42 | 37,48 | 0,18 | 8009,46 |
| Desvio Padrão | 44,03 | 25,19 | 422,79 | 133,05 | 2,40 | 4,05 | 6,12 | 0,42 | 89,50 |

Fonte: Próprio autor.

As concentrações dos elementos-traço na fração dissolvida foram verificadas em dois períodos sazonais (águas altas e baixas), onde as concentrações médias dos metais dissolvidos na água apresentaram-se na seguinte ordem decrescente Fe>Al>Ba>Sr>V>Zn>Mn. O elemento ferro apresentou a maior variação de média no Rio Machado (1096,67 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no período das águas altas e a menor variação média (245,20 $\mu\text{g.L}^{-1}$) nos afluentes da margem direita no período das águas baixas. Durante os períodos hidrológicos, o maior valor encontrado foi nas águas altas (1194,00 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no Rio Machado e o menor valor encontrado foi nas águas baixas (98,61 $\mu\text{g.L}^{-1}$) nos afluentes da margem direita.

As concentrações de alumínio registraram a maior variação de média no Rio Machado de (128,17 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no período das águas altas e a menor variação média de (21,61 $\mu\text{g.L}^{-1}$) nos afluentes da margem direita no período das águas baixas. O maior valor encontrado foi nas águas altas (158,30 $\mu\text{g.L}^{-1}$) nos afluentes da margem esquerda e o menor valor encontrado foi nas águas altas (21,61 $\mu\text{g.L}^{-1}$), no Rio Machado.

O manganês registrou a maior variação de média na margem direita de (137,06 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no período das águas baixas e a menor variação média de (2,20 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no Rio Machado no período das águas altas. O maior valor encontrado foi nas águas baixas (677,90 $\mu\text{g.L}^{-1}$) nos afluentes da margem direita e o menor valor encontrado foi nas águas altas (0,65 $\mu\text{g.L}^{-1}$) também nos afluentes da margem direita.

As concentrações do bário registraram a maior variação de média nos afluentes da margem direita de (61,40 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no período das águas baixas e a menor variação média de (43,13 $\mu\text{g.L}^{-1}$) também nos afluentes da margem direita, mas no período das águas altas. O maior valor encontrado foi nas águas baixas (167,40 $\mu\text{g.L}^{-1}$) nos afluentes da margem direita e o menor valor encontrado foi nas águas altas (27,66 $\mu\text{g.L}^{-1}$) também nos afluentes da margem direita.

O elemento estrôncio apresentou a maior variação de média nos afluentes da margem esquerda (18,44 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no período das águas baixas e a menor variação média de (10,66 $\mu\text{g.L}^{-1}$) nos afluentes da margem direita no período das águas altas. Durante o período, o maior valor encontrado foi nas águas baixas (28,45 $\mu\text{g.L}^{-1}$) nos afluentes da margem direita e o menor valor encontrado foi nas águas baixas (3,87 $\mu\text{g.L}^{-1}$) nos afluentes da margem direita.

As concentrações de vanádio não apresentaram variação significativa entre as duas fases do ciclo hidrológico, onde a maior variação de média foi no Rio Machado (8,81 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no período das águas baixas e a menor variação média de (8,16 $\mu\text{g.L}^{-1}$) nos afluentes da margem direita também no período das águas baixas. O maior valor encontrado foi nas águas baixas (9,12 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no sistema Rio Machado e o menor valor encontrado foi nas águas altas (7,26 $\mu\text{g.L}^{-1}$) nos afluentes da margem direita.

O zinco registrou a maior variação de média nos afluentes da margem direita (96,88 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no período das águas altas e a menor variação média (23,15 $\mu\text{g.L}^{-1}$) nos afluentes da margem esquerda no período das águas baixas. O maior valor encontrado foi nas águas altas (454,10 $\mu\text{g.L}^{-1}$) nos afluentes da margem direita e o menor valor encontrado foi também nas águas altas (3,32 $\mu\text{g.L}^{-1}$) nos afluentes da margem esquerda.

O arsênio, o cobalto e o níquel apresentaram valores de detecção apenas para o período das águas baixas, sendo os maiores valores encontrados para esses elementos foram de (0,65 $\mu\text{g.L}^{-1}$; 3,33 $\mu\text{g.L}^{-1}$; 6,21 $\mu\text{g.L}^{-1}$) na margem direita; margem direita; Rio Machado respectivamente.

O elemento chumbo da mesma forma em que foi possível a detecção deste elemento em virtude das baixas concentrações, apresentou a maior média de valor encontrada nas águas baixas (5,08 $\mu\text{g.L}^{-1}$) nos afluentes da margem direita. O maior valor encontrado foi nas águas baixas (13,29 $\mu\text{g.L}^{-1}$) também nos afluentes da margem direita. O cromo, o cobre e o cádmio não foram detectados nas duas fases analisadas do ciclo hidrológico.

Tabela 17 - Resultado estatístico dos elementos traços dissolvidos na água ($\mu\text{g.L}^{-1}$) por sazonalidade entre afluentes e rio principal.

| Parâmetro | Sistema | Águas altas | | | Águas baixas | | |
|-----------|---------|-------------|---------|---------|--------------|--------|--------|
| | | Mín | Máx | Média | Mín | Máx | Média |
| Al | RM | 103,00 | 158,10 | 128,17 | 19,94 | 24,76 | 21,61 |
| Al | MD | 23,99 | 123,20 | 82,64 | 29,94 | 53,24 | 37,50 |
| Al | ME | 7,70 | 158,30 | 77,36 | 21,03 | 26,61 | 23,94 |
| As | RM | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| As | MD | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | 0,65 | 0,11 |
| As | ME | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| Ba | RM | 52,66 | 63,45 | 57,90 | 38,30 | 49,29 | 44,91 |
| Ba | MD | 27,66 | 53,64 | 43,13 | 29,97 | 167,40 | 61,40 |
| Ba | ME | 38,27 | 53,69 | 46,09 | 40,88 | 61,05 | 55,47 |
| Co | RM | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| Co | MD | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | 3,33 | 0,55 |
| Co | ME | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| Fe | RM | 1004,00 | 1194,00 | 1096,67 | 140,10 | 165,90 | 152,80 |

| Parâmetro | Sistema | Águas altas | | | Águas baixas | | |
|-----------|---------|-------------|---------|---------|--------------|--------|--------|
| Fe | MD | 325,60 | 1133,00 | 727,18 | 98,61 | 389,40 | 245,20 |
| Fe | ME | 450,10 | 1369,00 | 1062,53 | 147,30 | 536,40 | 313,33 |
| Mn | RM | 0,85 | 3,34 | 2,20 | <LDT | 68,80 | 23,63 |
| Mn | MD | 0,65 | 27,82 | 10,20 | 12,38 | 677,90 | 137,06 |
| Mn | ME | <LDT | 76,03 | 26,24 | 3,57 | 50,43 | 20,23 |
| Ni | RM | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | 6,21 | 2,07 |
| Ni | MD | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | 1,23 | 0,20 |
| Ni | ME | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | 1,01 | 0,25 |
| Pb | RM | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | 11,12 | 4,59 |
| Pb | MD | <LDT | 0,92 | 0,28 | <LDT | 13,29 | 5,08 |
| Pb | ME | <LDT | 0,24 | 0,06 | 0,90 | 3,98 | 2,28 |
| Sr | RM | 15,97 | 17,07 | 16,39 | 13,75 | 20,48 | 16,50 |
| Sr | MD | 5,02 | 16,25 | 10,66 | 3,87 | 28,45 | 13,04 |
| Sr | ME | 9,97 | 21,01 | 15,51 | 10,84 | 27,60 | 18,44 |
| V | RM | 8,24 | 8,36 | 8,28 | 8,60 | 9,12 | 8,81 |
| V | MD | 7,26 | 8,58 | 8,18 | 7,80 | 8,97 | 8,16 |
| V | ME | 7,65 | 9,08 | 8,29 | 8,10 | 8,78 | 8,47 |
| Zn | RM | 8,19 | 93,80 | 39,55 | 13,47 | 54,10 | 28,02 |
| Zn | MD | 8,59 | 454,10 | 96,88 | 33,04 | 136,00 | 67,92 |
| Zn | ME | 3,32 | 192,20 | 62,37 | 21,31 | 28,27 | 23,15 |

Observações: RM: Rio Machado; MD: Margem direita (Afluentes do entorno da Rebio Jarú); ME: Margem esquerda (Afluentes da Rebio Jarú); <LDT: Abaixo do limite de detecção da técnica. Próprio autor

4.3.3 Elementos-traço no sedimento por sazonalidade entre afluentes e rio principal

Na estatística descritiva das concentrações das médias gerais dos elementos-traço no sedimento apresentaram-se na seguinte ordem decrescente Al>Fe>Mn>Ba>V>Z>Cr>Ni>As>Cd>Pb>Cu>Sr>Co. O elemento ferro apresentou a média geral de (16169,52 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) durante todo o ciclo hidrológico. O menor valor encontrado foi na enchente (5676,17 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) no Igarapé Azul e o maior valor encontrado foi nas águas baixas (108565,94 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) no Igarapé dos Milagres.

As concentrações de alumínio registraram a média geral de (12484,62 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) durante todo o ciclo hidrológico. O menor valor encontrado também foi na vazante (2855,20 $\mu\text{g.kg}^{-1}$), no Igarapé Buenos Aires e o maior valor encontrado foi nas águas baixas (122882,05 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) no Rio Machado no ponto correspondente à jusante.

O manganês registrou a média geral de (472,33 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) durante todo o ciclo hidrológico. O menor (17,82 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) e o maior (1627,17 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) valor foram encontrados na enchente, sendo o menor no Igarapé Azul e o maior valor no Igarapé cajueiro.

As concentrações do bário registraram a média geral de (106,68 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) durante todo o ciclo hidrológico. O menor valor encontrado foi nas águas altas (21,79 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) no Rio Anari e o maior valor encontrado foi na enchente (409,57 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) no ponto correspondente ao médio Rio Machado.

O elemento estrôncio apresentou a maior variação de média no Rio Machado (5,63 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) durante todo o ciclo hidrológico. O menor valor encontrado foi na vazante (1,56 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) no Igarapé Azul e o maior valor encontrado foi nas águas altas (10,88 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) no ponto correspondente ao médio Rio Machado.

As concentrações de vanádio apresentaram a média geral de (34,46 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) durante todo o ciclo hidrológico. O menor valor encontrado foi na vazante (11,90 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) no Igarapé dos Milagres e o maior valor encontrado foi na enchente 88,74 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) no Rio Anari.

O zinco registrou a média de (32,62 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) durante todo o ciclo hidrológico. O menor valor encontrado foi na vazante (11,86 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) no Igarapé Buenos Aires e o maior valor encontrado foi na enchente (61,42 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) no Igarapé dos Milagres.

O cromo registrou a média geral de (19,63 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) durante todo o ciclo hidrológico. O menor valor encontrado foi na vazante (5,30 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) no Igarapé Monte Cristo e o maior valor encontrado foi na enchente (44,74 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) no Rio Anari.

O cádmio registrou a média geral de (10,48 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) durante todo o ciclo hidrológico. O menor valor encontrado foi nas águas altas (0,001 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) no ponto à montante do Rio Machado e o maior valor encontrado foi na enchente (32,49 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) no Igarapé Pascana.

O cobalto apresentou a média geral de (5,60 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) durante todo o ciclo hidrológico. O menor valor encontrado foi na vazante (2,07 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) no Igarapé Buenos Aires e o maior valor encontrado foi na enchente (10,54 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) no Igarapé Cajueiro.

O cobre registrou a média geral de (8,35 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) durante todo o ciclo hidrológico. O menor valor encontrado foi na vazante (2,82 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) no Igarapé Buenos Aires e o maior valor encontrado foi nas águas baixas (16,00 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) no Igarapé dos milagres.

O arsênio apresentou valores consideráveis no período de enchente, sendo o menor valor encontrado nas águas altas de (0,13 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) no Rio Tarumã e o maior valor encontrado de (34,75 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) na enchente no Igarapé Buenos Aires.

As concentrações de vanádio apresentaram a média geral de (34,36 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) durante todo o ciclo hidrológico. O menor valor encontrado foi na vazante (11,90 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) no Igarapé dos Milagres e o maior valor encontrado foi na enchente (88,74 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) no Rio Anari.

As concentrações de níquel apresentaram a média geral de (13,33 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) durante todo o ciclo hidrológico. O menor valor encontrado foi na vazante (1,89 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) no Igarapé Monte cristo e o maior valor encontrado foi na enchente (43,18 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) no Rio tarumã.

As concentrações de chumbo registraram a média geral de (9,15 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) durante todo o ciclo hidrológico. O menor valor encontrado foi na vazante (4,39 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) no Igarapé Pascana e o maior valor encontrado foi nas águas baixas (16,01 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) no Igarapé Azul.

Tabela 18 - Estatística descritiva da concentração de elementos-traço ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) no sedimento.

| Estatística | Mínimo | Máximo | Mediana | Média | Variância | Desvio Padrão |
|--------------------|---------------|---------------|----------------|--------------|------------------|----------------------|
| Al | 2855,20 | 122882,00 | 10776,6 | 12484,6 | 251533826,3 | 15859,8 |
| As | 0,13 | 34,75 | 10,57 | 12,15 | 130,63 | 11,43 |
| Ba | 21,79 | 409,57 | 92,90 | 106,68 | 4170,61 | 64,58 |
| Cd | 0,001 | 32,49 | 3,41 | 10,48 | 159,40 | 12,63 |
| Co | 2,07 | 10,54 | 5,42 | 5,60 | 5,62 | 2,37 |
| Cu | 2,82 | 16,00 | 8,47 | 8,35 | 6,74 | 2,60 |
| Cr | 5,30 | 44,74 | 20,15 | 19,63 | 65,59 | 8,10 |
| Fe | 5676,17 | 108566,00 | 12281,90 | 16169,50 | 227847583,20 | 15094,60 |
| Mn | 17,82 | 1627,17 | 275,75 | 472,33 | 164009,55 | 404,98 |
| Ni | 1,89 | 43,18 | 5,54 | 13,33 | 213,22 | 14,60 |
| Pb | 4,39 | 16,01 | 8,97 | 9,15 | 0,25 | 2,280 |
| Sr | 1,56 | 10,88 | 4,88 | 5,63 | 7,39 | 2,72 |
| V | 11,90 | 88,74 | 30,38 | 34,46 | 322,72 | 17,96 |
| Zn | 11,86 | 61,42 | 31,72 | 32,62 | 119,08 | 10,91 |

Fonte: Próprio autor.

As concentrações médias dos elementos-traço no sedimento por sazonalidade entre afluentes e rio principal apresentaram-se na seguinte ordem decrescente Fe>Al>Mn>Ba>Z>V>Cr. O elemento ferro apresentou a maior variação de média nos afluentes da margem esquerda (36246,27 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) no período das águas baixas e a menor variação média (6669,68 $\mu\text{g.kg}^{-1}$)

nos afluentes da margem direita no período da vazante. Durante todo o ciclo hidrológico, o maior valor encontrado foi nas águas baixas ($108565,94 \mu\text{g.kg}^{-1}$) nos afluentes da margem esquerda e o menor valor encontrado foi na enchente ($5676,17 \mu\text{g.kg}^{-1}$) nos afluentes da margem direita.

As concentrações de alumínio registraram a maior variação média no Rio Machado ($50207,54 \mu\text{g.kg}^{-1}$) no período das águas baixas e a menor variação média ($6320,69 \mu\text{g.kg}^{-1}$) nos afluentes da margem direita na vazante. Durante todo o ciclo hidrológico, o maior valor encontrado foi nas águas baixas ($122882,05 \mu\text{g.kg}^{-1}$) no Rio Machado e o menor valor encontrado também foi na vazante ($2855,20 \mu\text{g.kg}^{-1}$), mas nos afluentes da margem direita.

O manganês registrou a maior variação média na margem direita ($1001,77 \mu\text{g.kg}^{-1}$) no período da enchente e a menor variação média ($101,42 \mu\text{g.kg}^{-1}$) nos afluentes da margem direita no período da vazante. Durante todo o ciclo hidrológico, tanto o maior valor encontrado ($1627,17 \mu\text{g.kg}^{-1}$), quanto o menor valor encontrado ($17,82 \mu\text{g.kg}^{-1}$) foram registrados na enchente nos afluentes da margem direita.

As concentrações do bário registraram a maior variação média no Rio Machado ($226,15 \mu\text{g.kg}^{-1}$) no período das águas altas e a menor variação média ($50,54 \mu\text{g.kg}^{-1}$) nos afluentes da margem direita no período da vazante. Durante todo o ciclo hidrológico, o maior valor encontrado foi na enchente ($409,57 \mu\text{g.kg}^{-1}$) no Rio Machado e o menor valor encontrado foi nas águas altas ($21,79 \mu\text{g.kg}^{-1}$) nos afluentes da margem esquerda.

O valor máximo permitido de bário na água potável é de $0,7 \text{ mg/L}$ de acordo com a Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde consolidada na Portaria de consolidação N° 5, de 28 de setembro de 2017.

O elemento estrôncio apresentou a maior variação média no Rio Machado ($9,37 \mu\text{g.kg}^{-1}$) no período da enchente e a menor variação média ($2,56 \mu\text{g.kg}^{-1}$) nos afluentes da margem direita no período da vazante. Durante todo o ciclo hidrológico, o maior valor encontrado foi nas águas altas ($10,88 \mu\text{g.kg}^{-1}$) no Rio Machado e o menor valor encontrado foi na vazante ($1,56 \mu\text{g.kg}^{-1}$) nos afluentes da margem direita (Rebio Jarú).

As concentrações de vanádio apresentaram a maior variação média no Rio Machado ($62,60 \mu\text{g.kg}^{-1}$) no período da enchente e a menor variação média ($17,50 \mu\text{g.kg}^{-1}$) nos afluentes da

margem direita no período da vazante. Durante todo o ciclo hidrológico, o maior valor encontrado foi na enchente ($88,74 \mu\text{g.kg}^{-1}$) nos afluentes da margem esquerda e o menor valor encontrado foi na vazante ($11,90 \mu\text{g.kg}^{-1}$) também nos afluentes da margem esquerda.

O zinco registrou a maior variação média no Rio Machado ($49,69 \mu\text{g.kg}^{-1}$) no período da enchente e a menor variação média ($23,12 \mu\text{g.kg}^{-1}$) nos afluentes da margem direita no período da vazante. Durante todo o ciclo hidrológico, o maior valor encontrado foi na enchente ($61,42 \mu\text{g.kg}^{-1}$) nos afluentes da margem esquerda e o menor valor encontrado foi na vazante ($11,86 \mu\text{g.kg}^{-1}$) nos afluentes da margem direita.

O cromo registrou a maior variação média nos afluentes da margem esquerda ($25,93 \mu\text{g.kg}^{-1}$) no período da enchente e a menor variação média ($13,99 \mu\text{g.kg}^{-1}$) no Rio Machado no período da vazante. Durante todo o ciclo hidrológico, o maior valor encontrado foi na enchente ($44,74 \mu\text{g.kg}^{-1}$) nos afluentes da margem esquerda e o menor valor encontrado foi na vazante ($5,30 \mu\text{g.kg}^{-1}$) nos afluentes da margem direita.

O cádmio registrou a maior variação média no Rio Machado ($31,26 \mu\text{g.kg}^{-1}$) no período da enchente e a menor variação média ($1,90 \mu\text{g.kg}^{-1}$) nos afluentes da margem direita no período das águas altas. Durante todo o ciclo hidrológico, o maior valor encontrado foi na enchente ($32,49 \mu\text{g.kg}^{-1}$) nos afluentes da margem direita e o menor valor encontrado foi nas águas altas ($0,001 \mu\text{g.kg}^{-1}$) no Rio Machado.

O cobalto apresentou a maior variação média no Rio Machado ($9,0 \mu\text{g.kg}^{-1}$) no período da enchente e a menor variação média ($2,99 \mu\text{g.kg}^{-1}$) nos afluentes da margem direita no período da vazante. Durante todo o ciclo hidrológico, o maior valor encontrado foi na enchente ($10,54 \mu\text{g.kg}^{-1}$) nos afluentes da margem direita e o menor valor encontrado foi na vazante ($2,07 \mu\text{g.kg}^{-1}$) nos afluentes da margem direita.

O cobre registrou a maior variação média no Rio Machado ($9,45 \mu\text{g.kg}^{-1}$) no período da enchente e a menor variação média ($5,41 \mu\text{g.kg}^{-1}$) nos afluentes da margem direita no período da vazante. Durante todo o ciclo hidrológico, o maior valor encontrado foi nas águas baixas ($16,00 \mu\text{g.kg}^{-1}$) nos afluentes da margem esquerda e o menor valor encontrado foi na vazante ($2,82 \mu\text{g.kg}^{-1}$) nos afluentes da margem direita. O arsênio apresentou valores consideráveis no

período de enchente, sendo o menor valor encontrado nas águas altas ($0,13 \mu\text{g.kg}^{-1}$) e o maior valor encontrado ($34,75 \mu\text{g.kg}^{-1}$) na enchente nos afluentes da margem direita

As concentrações de vanádio apresentaram a maior variação média no Rio Machado ($62,60 \mu\text{g.kg}^{-1}$) no período da enchente e a menor variação média ($17,50 \mu\text{g.kg}^{-1}$) nos afluentes da margem direita no período da vazante. Durante todo o ciclo hidrológico, o maior valor encontrado foi na enchente ($88,74 \mu\text{g.kg}^{-1}$) nos afluentes da margem esquerda e o menor valor encontrado foi na vazante ($11,90 \mu\text{g.kg}^{-1}$) também nos afluentes da margem esquerda.

As concentrações de níquel apresentaram a maior variação média nos afluentes da margem esquerda ($38,16 \mu\text{g.kg}^{-1}$) no período da enchente e a menor variação média ($2,59 \mu\text{g.kg}^{-1}$) nos afluentes da margem direita no período da vazante. Durante todo o ciclo hidrológico, o maior valor encontrado foi na enchente ($43,18 \mu\text{g.kg}^{-1}$) nos afluentes da margem direita e o menor valor encontrado foi na vazante ($1,89 \mu\text{g.kg}^{-1}$) também nos afluentes da margem direita

As concentrações de chumbo apresentaram a maior variação média nos afluentes da margem direita ($11,48 \mu\text{g.kg}^{-1}$) no período das águas baixas e a menor variação média ($7,44 \mu\text{g.kg}^{-1}$) nos afluentes da margem direita no período da vazante. Durante todo o ciclo hidrológico, o maior valor encontrado foi nas águas baixas ($16,01 \mu\text{g.kg}^{-1}$) nos afluentes da margem direita e o menor valor encontrado foi na vazante ($4,39 \mu\text{g.kg}^{-1}$) também nos afluentes da margem direita.

Tabela 19 - Resultado estatístico das concentrações de elementos-traço no sedimento ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) por sazonalidade (águas altas e baixas) entre afluentes e rio principal.

| Parâmetro | Sistema | Águas altas | | | Águas baixas | | |
|-----------|---------|-------------|----------|----------|--------------|-----------|----------|
| | | Mín | Máx | Média | Mín | Máx | Média |
| Al | RM | 4951,11 | 12374,03 | 9569,42 | 12611,42 | 122882,05 | 50207,54 |
| Al | MD | 5803,33 | 12958,09 | 9546,93 | 6200,78 | 12701,64 | 9436,46 |
| Al | ME | 2959,52 | 14799,73 | 11021,50 | 5430,03 | 11362,02 | 9586,33 |
| As | RM | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | 16,86 | 5,62 |
| As | MD | <LDT | 0,70 | 0,24 | <LDT | <LDT | <LDT |
| As | ME | <LDT | 0,36 | 0,09 | <LDT | <LDT | <LDT |
| Ba | RM | 66,76 | 105,27 | 91,69 | 110,58 | 172,48 | 132,18 |
| Ba | MD | 55,56 | 93,71 | 74,30 | 44,37 | 122,86 | 80,06 |
| Ba | ME | 21,79 | 114,47 | 77,97 | 33,40 | 95,97 | 78,70 |
| Cd | RM | 0,001 | 2,79 | 1,75 | 2,54 | 31,31 | 12,85 |
| Cd | MD | 0,05 | 2,69 | 1,90 | 2,43 | 4,79 | 3,38 |
| Cd | ME | 1,96 | 2,45 | 2,15 | 2,83 | 4,70 | 3,77 |
| Co | RM | 4,68 | 6,74 | 5,73 | 4,95 | 7,79 | 6,29 |
| Co | MD | 2,59 | 6,61 | 5,03 | 2,64 | 8,70 | 5,57 |
| Co | ME | 2,17 | 10,08 | 6,37 | 3,26 | 7,87 | 5,87 |
| Cu | RM | 5,65 | 11,38 | 9,32 | 7,13 | 11,37 | 9,39 |
| Cu | MD | 6,91 | 12,59 | 9,24 | 5,72 | 11,34 | 8,39 |

| Parâmetro | Sistema | Águas altas | | | Águas baixas | | |
|-----------|---------|-------------|----------|----------|--------------|-----------|----------|
| | | | | | | | |
| Cu | ME | 3,13 | 13,00 | 7,97 | 7,18 | 16,00 | 10,19 |
| Cr | RM | 14,23 | 23,40 | 19,17 | 8,82 | 22,71 | 17,83 |
| Cr | MD | 6,45 | 27,73 | 18,96 | 14,97 | 22,14 | 18,74 |
| Cr | ME | 8,10 | 25,96 | 20,64 | 9,71 | 29,59 | 20,48 |
| Fe | RM | 9863,69 | 14516,99 | 12433,17 | 12605,25 | 18654,91 | 14979,48 |
| Fe | MD | 8704,34 | 14777,72 | 11271,30 | 7659,69 | 13847,65 | 10722,58 |
| Fe | ME | 6955,67 | 16513,86 | 12295,29 | 9759,13 | 108565,94 | 36246,27 |
| Mn | RM | 276,29 | 646,85 | 405,50 | 180,75 | 1323,57 | 768,11 |
| Mn | MD | 97,62 | 318,90 | 220,22 | 134,30 | 1132,94 | 499,33 |
| Mn | ME | 128,63 | 1024,32 | 595,58 | 108,18 | 1049,01 | 523,53 |
| Ni | RM | 4,28 | 6,09 | 5,47 | 3,34 | 34,15 | 14,55 |
| Ni | MD | 2,59 | 7,01 | 4,64 | 3,64 | 7,10 | 5,70 |
| Ni | ME | 2,70 | 6,98 | 4,27 | 3,64 | 5,52 | 4,64 |
| Pb | RM | 6,77 | 8,96 | 8,08 | 8,98 | 9,22 | 9,14 |
| Pb | MD | 8,69 | 12,06 | 10,67 | 9,16 | 16,01 | 11,48 |
| Pb | ME | 8,35 | 13,17 | 9,94 | 8,35 | 13,17 | 9,94 |
| Sr | RM | 3,85 | 10,88 | 7,91 | 4,42 | 10,01 | 7,08 |
| Sr | MD | 2,38 | 9,68 | 4,99 | 3,65 | 9,03 | 6,89 |
| Sr | ME | 1,77 | 8,41 | 4,51 | 2,86 | 10,40 | 5,74 |
| V | RM | 18,64 | 35,56 | 27,90 | 18,90 | 53,26 | 34,53 |
| V | MD | 16,60 | 40,34 | 28,84 | 17,18 | 28,71 | 23,18 |
| V | ME | 15,19 | 37,87 | 25,60 | 21,98 | 44,41 | 32,61 |
| Zn | RM | 23,57 | 36,77 | 31,42 | 33,70 | 42,04 | 39,05 |
| Zn | MD | 26,58 | 41,33 | 31,27 | 18,79 | 35,39 | 27,10 |
| Zn | ME | 12,32 | 42,43 | 31,36 | 20,63 | 32,15 | 27,80 |

Observações: RM: Rio Machado; MD: Margem direita (Afluentes da Rebio Jaru); ME: Margem esquerda (Afluentes do Rio Machado no entorno da Rebio Jaru); <LDT: Abaixo do limite de detecção da técnica. Próprio autor

Tabela 20 - Resultado estatístico das concentrações de elementos-traço no sedimento ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) por sazonalidade (vazante/enchente) entre afluentes e rio principal.

| Parâmetro | Sistema | Vazante | | | Enchente | | |
|-----------|---------|---------|----------|---------|----------|----------|----------|
| | | Mín | Max | Média | Min | Máx | Média |
| Al | RM | 5643,37 | 13517,55 | 7238,93 | 11982,43 | 15518,91 | 15055,58 |
| Al | MD | 2855,20 | 10613,67 | 6320,69 | 9103,43 | 16196,92 | 13081,02 |
| Al | ME | 5308,22 | 9770,98 | 7573,32 | 12902,75 | 16746,93 | 14232,69 |
| As | RM | <LDT | 0,19 | <LDT | 21,56 | 24,82 | 24,05 |
| As | MD | <LDT | 0,74 | 0,21 | 6,59 | 34,75 | 16,53 |
| As | ME | <LDT | 0,40 | <LDT | 10,57 | 25,54 | 16,47 |
| Ba | RM | 63,74 | 112,35 | 103,57 | 201,50 | 409,57 | 226,15 |
| Ba | MD | 31,50 | 75,12 | 50,54 | 88,18 | 204,98 | 160,83 |
| Ba | ME | 61,60 | 85,87 | 80,98 | 96,73 | 203,29 | 181,42 |
| Cd | RM | 2,07 | 3,49 | 2,10 | 29,97 | 31,37 | 31,26 |
| Cd | MD | 2,81 | 3,90 | 3,06 | 30,30 | 32,49 | 30,96 |
| Cd | ME | 2,57 | 3,77 | 3,53 | 31,11 | 32,44 | 31,41 |
| Co | RM | 4,28 | 8,14 | 4,60 | 8,50 | 9,95 | 9,95 |
| Co | MD | 2,07 | 6,61 | 2,99 | 2,24 | 10,54 | 4,62 |
| Co | ME | 3,13 | 5,17 | 3,92 | 4,58 | 9,89 | 7,17 |
| Cu | RM | 6,16 | 11,57 | 6,51 | 9,09 | 9,80 | 9,45 |
| Cu | MD | 2,82 | 12,02 | 5,41 | 6,15 | 10,18 | 8,69 |

| Parâmetro | Sistema | Vazante | | | Enchente | | |
|------------------|----------------|----------------|----------|----------|-----------------|----------|----------|
| Cu | ME | 3,85 | 8,25 | 6,75 | 5,77 | 9,66 | 7,42 |
| Cr | RM | 13,36 | 23,09 | 13,99 | 22,12 | 23,57 | 22,99 |
| Cr | MD | 5,30 | 42,16 | 14,00 | 7,98 | 27,80 | 22,01 |
| Cr | ME | 5,69 | 18,74 | 15,19 | 9,38 | 44,74 | 25,93 |
| Fe | RM | 6417,45 | 15004,33 | 10548,64 | 28568,62 | 31877,55 | 31394,98 |
| Fe | MD | 6128,44 | 11619,61 | 6669,68 | 5676,17 | 34529,31 | 18499,56 |
| Fe | ME | 7013,39 | 11879,78 | 9348,77 | 22262,58 | 32965,31 | 27069,27 |
| Mn | RM | 121,25 | 996,88 | 266,40 | 905,72 | 1017,10 | 1001,77 |
| Mn | MD | 73,90 | 1088,00 | 101,42 | 17,82 | 1627,17 | 214,95 |
| Mn | ME | 119,78 | 275,20 | 255,87 | 335,28 | 1105,21 | 745,64 |
| Ni | RM | 4,14 | 6,68 | 5,71 | 33,29 | 41,29 | 34,95 |
| Ni | MD | 1,89 | 4,89 | 2,59 | 29,62 | 43,18 | 37,55 |
| Ni | ME | 2,18 | 5,52 | 3,98 | 35,53 | 42,04 | 38,16 |
| Pb | RM | 8,19 | 9,15 | 8,51 | 9,13 | 10,94 | 7,76 |
| Pb | MD | 4,39 | 15,69 | 9,34 | 6,42 | 10,88 | 8,14 |
| Pb | ME | 5,58 | 9,54 | 7,44 | 6,71 | 8,60 | 7,52 |
| Sr | RM | 4,15 | 10,51 | 5,08 | 8,92 | 10,48 | 9,37 |
| Sr | MD | 1,56 | 3,63 | 2,56 | 1,95 | 7,02 | 4,77 |
| Sr | ME | 2,14 | 5,04 | 3,50 | 4,76 | 8,46 | 6,82 |
| V | RM | 13,67 | 31,06 | 19,87 | 60,79 | 69,17 | 62,60 |
| V | MD | 12,43 | 57,40 | 17,50 | 41,86 | 66,58 | 51,14 |
| V | ME | 11,90 | 25,41 | 18,51 | 50,13 | 88,74 | 58,56 |
| Zn | RM | 23,41 | 36,27 | 32,21 | 43,61 | 57,18 | 49,69 |
| Zn | MD | 11,86 | 25,59 | 23,12 | 24,19 | 52,80 | 41,26 |
| Zn | ME | 24,82 | 33,09 | 31,15 | 12,93 | 61,42 | 45,87 |

Observações: RM: Rio Machado; MD: Margem direita (Afluentes da Rebio Jaru); ME: Margem esquerda (Afluentes do Rio Machado no entorno da Rebio Jaru); <LDT: Abaixo do limite de detecção da técnica. Próprio autor

4.4 Análise comparativa dos resultados com a legislação brasileira

Todos os valores obtidos das variáveis limnológicas na matriz água, foram comparados com a Resolução do CONAMA 357/2005 que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, trazendo à luz que as águas de classe especial são águas destinadas ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção; preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e, a preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral, como por exemplo, a REBIO do Jaru.

Essa Resolução, em seu Art. 13, comina que nas águas de classe especial deverão ser mantidas as condições naturais do corpo de água. Dessa forma, visto que os rios e igarapés estudados ainda não possuem enquadramento com reconhecimento oficial, os valores encontrados foram comparados com os valores para Classe 1, no intuito de análise dos corpos hídricos que estão inseridos nos limites da unidade de conservação e os valores de classe 2, foram comparados

com os demais corpos d'água, sendo eles, o Rio Machado e seus respectivos afluentes pela margem esquerda do trecho estudado.

Os valores obtidos dos pontos amostrais na matriz água para as variáveis fósforo total, amônia, nitrito e turbidez apresentaram valores médios em todo o ciclo hidrológico em conformidade com as referências descritas nas classes 1 e 2 da Resolução CONAMA 357/05.

Todos os valores obtidos das concentrações dos elementos-traços na matriz água, foram comparados com a Resolução do CONAMA 357/2005 que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Conforme o Art 15. da Resolução CONAMA 375/2005 aplicam-se as águas doces de classe 2 as condições e padrões da classe 1 previstos para os elementos-traços estudados.

Com a finalidade de avaliar os níveis de elementos-traço encontrados nas amostras de sedimentos e considerando a falta de legislação específica, utilizou-se como parâmetro o preconizado pela resolução do CONAMA n° 420 de 28 de dezembro de 2009, alterada pela Resolução CONAMA n.º 460, de 30 de dezembro de 2013. Essa Legislação federal dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.

Seus valores de prevenção (VP), correspondem às concentrações de determinada substância acima das quais podem ocorrer alterações prejudiciais à qualidade do solo (concentração limite). Solos que apresentem concentrações de determinada substância menor ou igual ao VP são capazes de sustentar as suas funções principais, tais como: manter o ciclo da água e dos nutrientes, servir como meio para a produção de alimentos, proteger as águas superficiais e subterrâneas.

Já os seus Valores de Investigação (VI), correspondem às concentrações de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais à saúde humana de acordo com o cenário de exposição. Para os sedimentos, utilizou-se os valores de referência para cenários de exposição Agrícola - Área de Proteção Máxima (APMax). Os elementos Al, Fe, Mn, Sr e V não possuem valores orientadores de prevenção (VP) ou investigação (VI) na resolução 420/2009 do CONAMA, tendo em vista que são elementos cujas

suas concentrações naturais são altamente variáveis nos diferentes tipos de solo. Neste estudo, nenhuma das amostras de sedimentos quando comparadas, ultrapassaram os valores de prevenção (VP) e os Valores de Investigação (VI).

Ainda com a finalidade de melhor avaliar os resultados encontrados para os elementos-traço no sedimento, os valores encontrados também foram comparados com os valores orientadores da Resolução CONAMA 454/2012, que por sua vez, prevê a caracterização química do material a ser dragado determinando as concentrações das substâncias poluentes contidas na fração total da amostra.

Esta resolução estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional e, no que se refere à caracterização química do material a ser dragado, deverá ser realizada a respectiva classificação química, que permanece em dois níveis, onde o Nível 1 consiste no limiar abaixo do qual há menor probabilidade de efeitos adversos à biota e, o Nível 2 consiste no limiar acima do qual há maior probabilidade de efeitos adversos à biota. Dessa forma, comparou-se os resultados com os valores orientadores previstos na Tabela III do Anexo da Resolução CONAMA nº 454/12.

4.5 Análise estatística multivariada dos elementos-traço

A matriz de correlação de Pearson foi gerada com os elementos-traço das matrizes água e sedimentos que apresentaram todas as observações com o intuito de não gerar inconstâncias para os achados no sistema por sazonalidade e seus resultados estão apresentados na tabela 21.

Tabela 21 - Matriz de correlação de Pearson.

| | Al_w | Ba_w | Fe_w | Mn_w | Sr_w | V_w | Zn_w | Al | Ba | Cd | Co | Cu | Cr | Fe | Mn | Ni | Pb | Sr | V | Zn | |
|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--|
| Al_w | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ba_w | 0,56 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fe_w | 0,45 | 0,66 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mn_w | 0,42 | 0,43 | 0,50 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sr_w | 0,40 | 0,75 | 0,43 | 0,36 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| V_w | 0,12 | 0,00 | 0,29 | 0,05 | -0,39 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Zn_w | 0,40 | -0,06 | 0,01 | 0,62 | -0,01 | 0,15 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | |
| Al | -0,09 | -0,15 | -0,17 | -0,03 | -0,05 | -0,03 | -0,01 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | |
| Ba | 0,07 | 0,19 | -0,14 | 0,06 | 0,42 | -0,65 | -0,14 | 0,14 | 1,00 | | | | | | | | | | | | |
| Cd | -0,10 | 0,02 | -0,26 | 0,05 | 0,45 | -0,91 | -0,09 | 0,06 | 0,72 | 1,00 | | | | | | | | | | | |
| Co | 0,07 | 0,21 | 0,01 | 0,03 | 0,34 | -0,27 | -0,16 | 0,26 | 0,57 | 0,28 | 1,00 | | | | | | | | | | |
| Cr | 0,02 | 0,01 | -0,10 | -0,13 | 0,03 | 0,01 | -0,11 | 0,26 | 0,22 | 0,04 | 0,49 | 1,00 | | | | | | | | | |
| Cu | 0,02 | -0,08 | 0,04 | -0,03 | 0,12 | -0,19 | -0,08 | 0,12 | 0,08 | 0,26 | 0,29 | 0,40 | 1,00 | | | | | | | | |
| Fe | -0,04 | 0,09 | -0,08 | 0,05 | 0,30 | -0,27 | -0,02 | 0,02 | 0,37 | 0,31 | 0,43 | 0,50 | 0,03 | 1,00 | | | | | | | |
| Mn | -0,04 | 0,00 | -0,07 | 0,02 | 0,16 | -0,22 | -0,10 | 0,41 | 0,51 | 0,22 | 0,86 | 0,27 | 0,18 | 0,22 | 1,00 | | | | | | |
| Ni | -0,07 | 0,07 | -0,23 | 0,05 | 0,49 | -0,91 | -0,12 | 0,06 | 0,74 | 0,99 | 0,34 | 0,09 | 0,31 | 0,31 | 0,24 | 1,00 | | | | | |
| Pb | -0,04 | -0,20 | -0,05 | 0,00 | -0,47 | 0,23 | 0,04 | -0,01 | -0,04 | -0,25 | 0,01 | 0,03 | 0,13 | -0,19 | 0,03 | -0,24 | 1,00 | | | | |
| Sr | 0,20 | 0,18 | 0,05 | 0,11 | 0,24 | -0,15 | -0,08 | 0,35 | 0,50 | 0,22 | 0,70 | 0,55 | 0,26 | 0,23 | 0,64 | 0,28 | 0,05 | 1,00 | | | |
| V | 0,00 | 0,01 | -0,18 | 0,00 | 0,41 | -0,74 | -0,12 | 0,13 | 0,63 | 0,82 | 0,45 | 0,44 | 0,62 | 0,48 | 0,30 | 0,82 | -0,12 | 0,37 | 1,00 | | |
| Zn | 0,07 | 0,31 | -0,03 | 0,06 | 0,47 | -0,50 | -0,18 | 0,17 | 0,75 | 0,54 | 0,66 | 0,29 | -0,04 | 0,33 | 0,55 | 0,55 | -0,08 | 0,52 | 0,48 | 1,00 | |

O Bário (Ba w) na matriz água apresentou correlação positiva e significativa com o estrôncio na mesma matriz no valor de (0,75). O Al, Fe, Mn, Sr e Zn na água não apresentaram correlação significativa com os demais elementos - traço analisados nas duas matrizes. O V na água apresentou correlação negativa e significativa com o Cd (-0,91), Ni (-0,91) e V (-0,74) na matriz sedimento.

Os compostos de bário ocorrem naturalmente na água, na forma de carbonatos em algumas fontes minerais, geralmente em concentrações entre 0,7 e 900 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Não é um elemento essencial ao homem e em elevadas concentrações causam efeitos no coração, no sistema nervoso, constrição dos vasos sanguíneos, elevando a pressão arterial (CETESB, 2018). O valor máximo permitido de bário na água potável é de 700 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde). Os compostos de bário mostram relações muito próximas com os compostos de cálcio e estrôncio que são também elementos alcalinos terrosos.

O Ba na matriz sedimento apresentou correlação positiva e significativa em ordem decrescente com o Zinco (0,75), Níquel (0,74) e cádmio (0,72) na mesma matriz. O Al, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Sr e V no sedimento não apresentaram correlação positiva e significativa com os demais elementos - traço analisados nas duas matrizes. O Cd no sedimento apresentou correlação positiva e significativa em ordem decrescente com o Níquel (0,99) e Vanádio (0,82) na mesma matriz de observação.

O Co no sedimento apenas apresentou correlação positiva e significativa com o Mn no valor de (0,86) e também apresentou correlação positiva, porém fraca com o Sr (0,70) e o Zn (0,66). O Fe no sedimento, por sua vez, apresentou correlação negativa e fraca como o Pb na mesma matriz no valor de (-0,19). Tal achado pode estar associado ao fato do Fe geralmente ser de origem natural e o Pb geralmente ser de origem antrópica, associando-se ao sedimento orgânico principalmente em áreas antropizadas. O Ni no sedimento apenas apresentou correlação positiva e significativa com o V também no sedimento no valor de (0,82) e correlação negativa e fraca como o Pb na mesma matriz no valor de (-0,24).

O resultado da comparação de médias (*Wilcoxon*) entre os elementos-traço que apresentaram diferenças significativas por sazonalidade e sistema de contribuição, estão representados na tabela 22.

No período das águas altas o elemento-traço alumínio apresentou diferença estatística entre os sistemas da margem direita e Rio Machado. O Al, por sua vez, apresentou diferença no sistema margem direita e Rio Machado no período das águas altas e vazante. Não foram observadas diferenças significativas entre o sistema do Rio Machado e margem esquerda. De um modo geral, o período que demonstrou maior diferença entre as médias foi a vazante.

A matriz água foi quem apresentou a maior heterogeneidade entre os sistemas margem direita em relação aos demais sistemas (Rio Machado e margem esquerda). Por outro lado, na matriz água não foram registradas diferenças significativas durante o período das águas baixas entre os sistemas estudados. Já na matriz sedimento, foi observado diferença significativa entre os elementos Al e Zn durante as águas baixas entre a margem direita e os sistemas Rio Machado e margem esquerda. O período sazonal das águas altas apresentou a menor diferença estatística do elemento-traço na matriz sedimento, ocorrendo somente para o elemento Pb quando comparado os sistemas margem direita e Rio Machado.

Tabela 22 – Resultado de comparação de médias (*Wilcoxon*) entre os elementos-traço por sazonalidade e entre afluentes e rio principal.

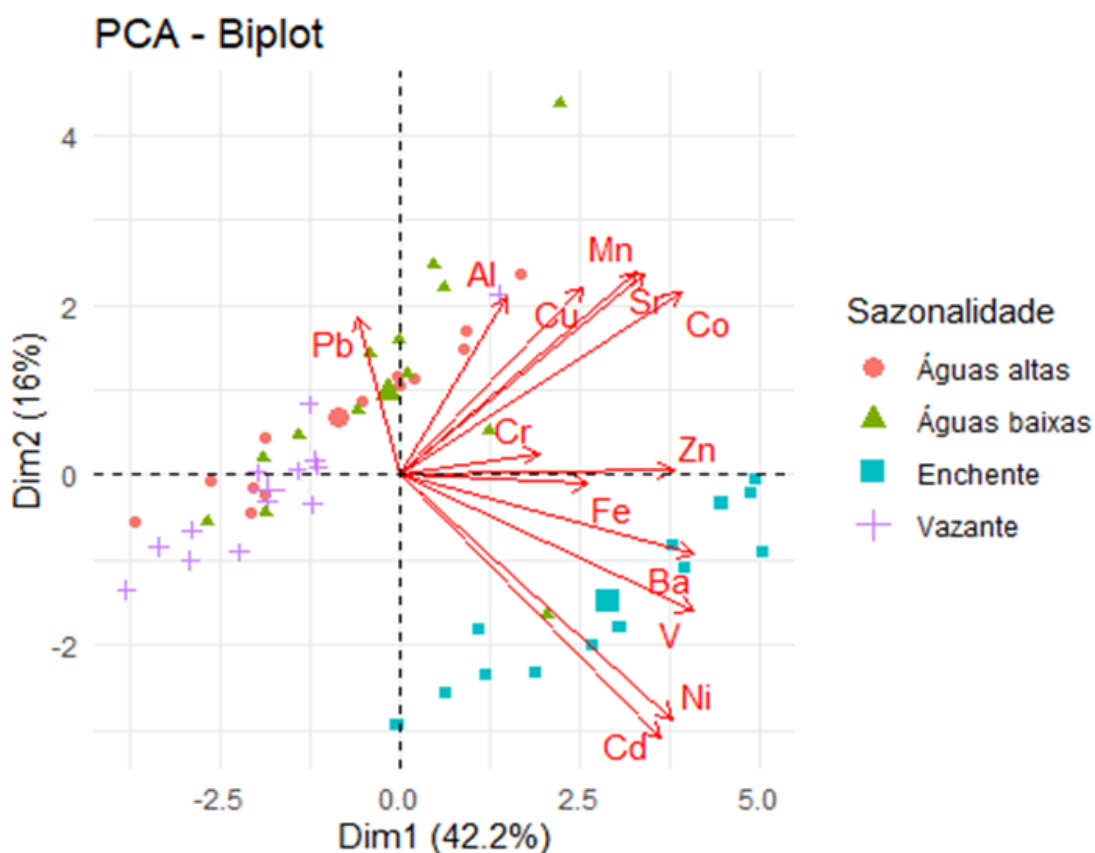
| Sazonalidade | ETs | Sistema 1 | Sistema 2 | p | Média 1 | Média 2 |
|--------------|---------------------|-----------|-----------|------|---------|----------|
| Águas altas | Al _(H2O) | MD | RM | 0,05 | 107,98 | 175,43 |
| Vazante | Al _(H2O) | MD | RM | 0,02 | 65,58 | 170,67 |
| Vazante | Ba _(H2O) | MD | RM | 0,02 | 13,08 | 37,17 |
| Águas altas | Fe _(H2O) | MD | RM | 0,05 | 940,38 | 1501,00 |
| Águas altas | Fe _(H2O) | MD | ME | 0,02 | 940,38 | 1797,75 |
| Vazante | Fe _(H2O) | MD | RM | 0,02 | 517,40 | 1517,00 |
| Vazante | Fe _(H2O) | MD | ME | 0,01 | 517,40 | 1748,25 |
| Enchente | Mn _(H2O) | MD | ME | 0,02 | 26,61 | 97,96 |
| Vazante | Sr _(H2O) | MD | RM | 0,02 | 5,54 | 15,81 |
| Vazante | Sr _(H2O) | MD | ME | 0,01 | 5,54 | 14,14 |
| Enchente | Sr _(H2O) | MD | ME | 0,01 | 12,84 | 21,30 |
| Vazante | V _(H2O) | MD | RM | 0,02 | 8,72 | 9,55 |
| Águas baixas | Al _(Sed) | MD | RM | 0,05 | 9436,46 | 50207,54 |
| Vazante | Ba _(Sed) | MD | ME | 0,04 | 53,63 | 77,36 |
| Enchente | Ba _(Sed) | MD | RM | 0,05 | 151,99 | 279,08 |
| Águas altas | Pb _(Sed) | MD | RM | 0,05 | 10,67 | 8,08 |
| Vazante | Sr _(Sed) | MD | RM | 0,02 | 2,64 | 6,58 |
| Enchente | Sr _(Sed) | MD | RM | 0,02 | 4,99 | 9,59 |
| Vazante | Zn _(Sed) | MD | ME | 0,04 | 21,87 | 30,05 |
| Águas baixas | Zn _(Sed) | MD | RM | 0,05 | 27,10 | 39,05 |

Observações: ETs: Elementos-traço; RM: Rio Machado; MD: Margem direita (Afluentes da Rebio Jarú); ME: Margem esquerda (Afluentes do Rio Machado no entorno da Rebio Jarú). Próprio autor

Com base nas análises estatísticas, houve variação sazonal dos dados obtidos para os elementos-traço no sedimento. Nos resultados encontrados, observa-se que as duas componentes no

gráfico explicam 58,20%. A sazonalidade ficou bastante evidenciada nas análises das componentes, onde os elementos - traço no sedimento estão mais relacionados com o período da enchente. O Mn, Sr, Co e Cu estão bastante relacionados entre si, com maior contribuição com a componente 2. O Cd e Ni estão bastante relacionados com a componente 1, tendo pouca contribuição com a componente 2. O *biplot* da Análise dos Componentes Principais dos elementos-traço no sedimento estão representados na figura 11.

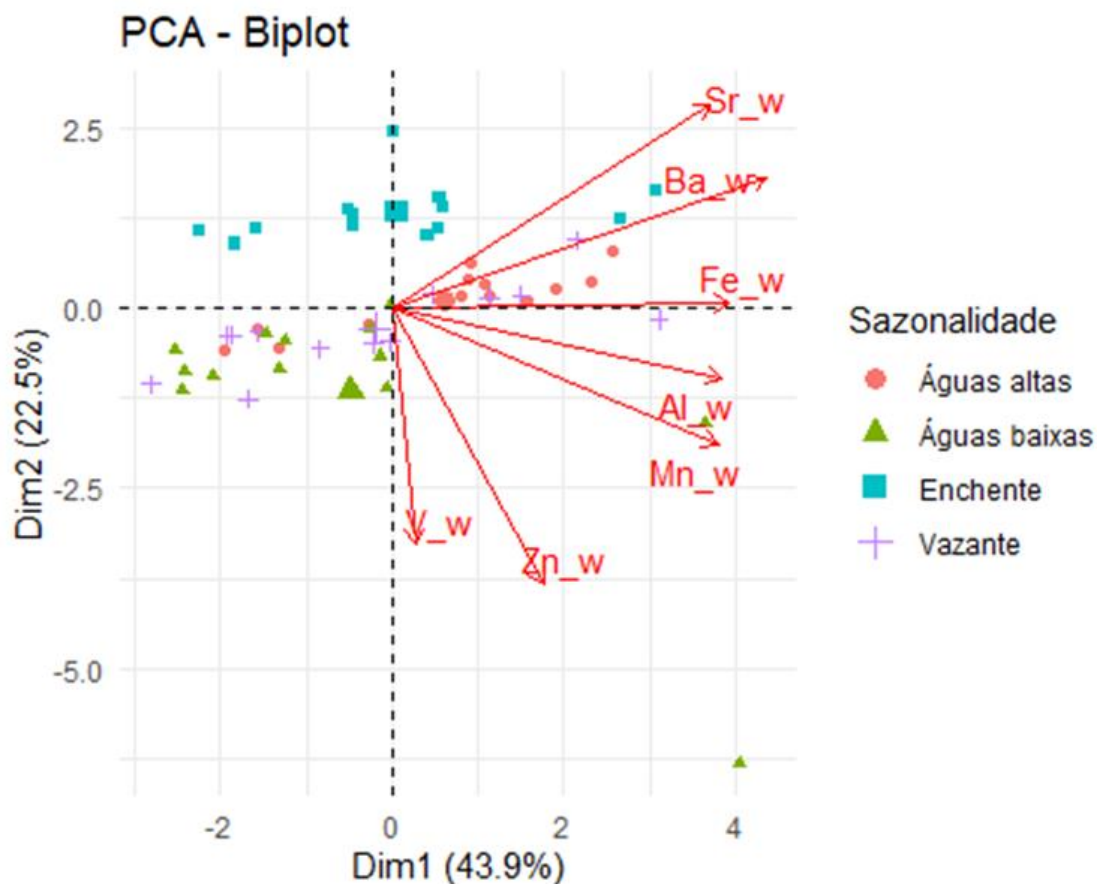
Figura 11 - Gráfico da PCA dos elementos traço nos sedimentos.



Fonte: Próprio autor.

Nos resultados encontrados dos elementos-traço na água, observa-se que as duas componentes do gráfico explicam 66,40% dos dados. Não foi evidenciada a distinção sazonal entre os pontos analisados dos elementos-traço na matriz água. O Al e o Mn estão bastante relacionados com a componente 1, tendo pouca contribuição com a componente 2. O Fe e o Ba foram os elementos que mais se correlacionaram com a componente 1. Os valores do Ba e Sr na água tiveram muita relação (boa contribuição) com a segunda componente (Figura 12).

Figura 12 - Resultado da PCA dos elementos traço na água.



Fonte: Próprio autor.

5 DISCUSSÃO

5.1 Variáveis limnológicas

A Resolução do CONAMA nº 357/2005 não estabelece valores de referência para o parâmetro condutividade elétrica – CE, no entanto, é esperado que em águas naturais o valor encontrado não ultrapasse a $100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, pois altos valores, indicam ambientes impactados e características corrosivas da água (CETESB, 2018). Na presente pesquisa, todos os pontos verificados também apresentaram resultados inferiores ao valor citado.

A CE é um parâmetro que aumenta com a elevação da temperatura e mede a facilidade da água em conduzir corrente elétrica de acordo com a quantidade de sais nela dissolvidos. Desta maneira, a água possui a capacidade de dissolver e incorporar substâncias no contato com minerais dos solos e das rochas, apresentando características físicas de ordem estética como por exemplos, a condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos (SANTOS, 2008; ESTEVES, 2011; CETESB, 2018).

Pesquisas anteriores na mesma área de estudo, encontraram maiores valores na enchente para a condutividade elétrica ($60,6 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) no rio Jaru, e os menores valores de $5,3 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ no o rio Tarumã que apresentou tanto na vazante como também na enchente (ASSIS, 2019). Nesta pesquisa, o rio Jaru apresentou valores diferentes, onde a maior média geral de condutância foi de $54,10 \pm 10,98 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ em todo o ciclo hidrológico enquanto o rio Tarumã, apresentou menor valor médio de $10,03 \pm 2,47 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

No ponto correspondente ao médio Rio Machado a média geral verificada foi de $35,28 \pm 1,33 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Pesquisa realizada no trecho do Rio Machado, dentro do perímetro urbano de Ji-Paraná/RO, obteve a menor média de CE no período das águas baixas $18,25 \pm 1,05 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, concluindo que a variação da CE no trecho de seu estudo tem correlação diretamente proporcional com a carga iônica carregada para o canal do rio através do escoamento superficial em épocas de precipitações (PINTO, 2015).

Lopes (2020) em seu diagnóstico da qualidade da água para um trecho do Rio Machado – Rondônia à montante do trecho desse estudo, verificou que a CE apresentou variação estatística significativa entre os períodos de coleta, sendo a maior média registrada para o período de vazante $28,12 \pm 5,87 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e a menor no período das águas baixas $20,60 \pm 5,58 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, onde de forma geral todos pontos amostrais nas quatro campanhas de coleta apresentaram valores abaixo de $100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, indicando relação com as características naturais do corpo d' água estudado. Nesta pesquisa, a condutância no Rio Machado variou entre $32,40 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (águas baixas) e $37,40 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (enchente), sendo estes valores diferentes dos encontrados no trecho a montante.

A drenagem das águas pluviais das áreas agrícolas e urbanas carregam materiais fecais, esgotos domésticos com a presença de detergentes superfosfatados, fertilizantes, pesticidas e demais efluentes industriais que estão entre as fontes significativas de fósforo nos ambientes aquáticos

e, conseqüentemente, suas concentrações elevadas são responsáveis por acelerar o processo de eutrofização dos corpos d'água devido à proliferação das algas (BARRA ROCHA e PEREIRA, 2016; CETESB, 2018; ANA, 2017). Apesar de não possuir valores de referência estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 357/2005, o fósforo dissolvido (ortofosfato) é uma variável de interesse para estudos limnológicos, pois é a forma de fosfato disponível para o fitoplâncton (NASCIMENTO, 2006).

Quanto ao fósforo total e dissolvido, as maiores concentrações dos valores médios obtidos em todo o ciclo hidrológico foram registradas respectivamente no igarapé Azul $35,72 \pm 22,23 \mu\text{g.L}^{-1}$ e no rio Jaru $10,65 \pm 6,62 \mu\text{g.L}^{-1}$ e, dessa forma, os valores encontrados para o fósforo total foram satisfatórios quanto ao valor máximo permitido pela legislação. No Rio Machado, as maiores médias de fósforo total e dissolvido foram de $84,61 \pm 26,58 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $10,65 \pm 6,62 \mu\text{g.L}^{-1}$ respectivamente.

Assis (2019) encontrou no período de águas altas no igarapé Azul valores próximos de $60,0 \mu\text{g.L}^{-1}$ para o fósforo total, enquanto para o mesmo período o rio Jaru apresentou os valores próximos de $120,0 \mu\text{g.L}^{-1}$ e, portanto, acima do permitido, associando o achado ao fato da entrada de água “nova” nos rios de forma que acaba acontecendo o reabastecimento do sistema em relação aos nutrientes que serão utilizados pelos produtores primários principalmente nos meses correspondentes ao período das águas baixas.

Em outro estudo no Rio Machado, a concentração deste parâmetro variou entre $50,2 \pm 8,4 \mu\text{g.L}^{-1}$ durante a campanha do período das águas baixas à $132,1 \pm 20,3 \mu\text{g.L}^{-1}$ no período de enchente, sendo o escoamento superficial de água da chuva um fator de forte influência para a alteração dos valores de fósforo total neste trecho do rio, visto que os valores apresentaram correlação significativa positiva com a turbidez e sólidos totais (LOPES, 2020).

Os processos de decomposição biológica a partir da ação de microrganismos sobre o nitrogênio amoniacal envolvem a oxidação da amônia dentro do seu ciclo no meio aquático a nitrito e a redução do nitrito, resulta em nitrato, que por sua vez, pode ser indicador da poluição relacionada ao final do processo de nitrificação (CARDOSO et al., 2017; PARRON et al., 2011; SAMPAIO et al., 2019).

O nitrogênio nos processos bioquímicos de conversão da amônia a nitrito e deste a nitrato, implica no consumo de oxigênio dissolvido do meio e esse processo pode afetar a vida aquática.

Pode ter origem natural quando proveniente de proteínas e de outros compostos biológicos presentes em microrganismos, enquanto a sua origem antropogênica, está associada às fezes de animais, fertilizantes, dejetos domésticos e industriais (VON SPERLING, 2005; VON SPERLING, 2014).

As maiores concentrações dos valores médios obtidos em todo o ciclo hidrológico nas análises da amônia, nitrito e nitrato foram registradas respectivamente no igarapé Monte Cristo $333,46 \pm 545,16 \mu\text{g.L}^{-1}$ ($\text{NH}_3\text{-NH}_4^+$) e no médio Rio Machado $10,65 \pm 6,62 \mu\text{g.L}^{-1}$ (NO_2^-); $18,61 \pm 17,86 \text{mg.L}^{-1}$ (NO_3^-) e, dessa forma, os valores encontrados para o nitrogênio amoniacal permaneceram de acordo com o estabelecido pela resolução CONAMA 357/2005 que é de $3700 \mu\text{g.L}^{-1}$, para $\text{pH} \leq 7,5$.

Cabe ressaltar que nesse estudo, o maior valor encontrado para a amônia ($1277,60 \mu\text{g.L}^{-1}$) foi no igarapé Monte Cristo no período hidrológico das águas baixas. Esse Igarapé apresentou-se intermitente e a coleta da amostra foi realizada num poço d'água encontrado aproximadamente 500 metros de seu exutório com vestígios *in loco* de sua utilização para a dessedentação de animais silvestres, o que pode explicar as elevadas concentrações de amônia encontradas neste local.

Betiolo (2020) em seu estudo sobre Igarapé da linha 11 ou Córrego das Areias – RO, verificou a qualidade da água em dois pontos, sendo um a montante da Estação de Tratamento de Esgoto do município (P1) e outro a jusante (P2), encontrando as maiores concentrações de nitrato, nitrito e nitrogênio amoniacal no período da enchente com valores de $1,72 \text{mg.L}^{-1}$ (P2), $0,13 \text{mg.L}^{-1}$ (P1 e P2) e $3,0 \text{mg.L}^{-1}$ (P2) respectivamente e, considerou que o início das chuvas causou o carreamento desses nutrientes para o corpo hídrico, aumentando suas concentrações pelo fato da sua área de estudo apresentar atividades de agricultura que podem contar com a adubação nitrogenada do solo, bem como os excrementos da criação de gado, gerados na atividade de pecuária, dos quais também são fontes de nitrogênio.

Krusche et al. (2005) ao analisarem parâmetros geoquímicos da água na bacia do Rio Ji-Paraná encontrou correlação positiva entre os parâmetros nitrogênio, fósforo e carbono orgânico com a distribuição das áreas de pastagens ao longo da bacia. Desta forma, o resultado da pesquisa indicou que a substituição da floresta pela pastagem pode influenciar na dinâmica da distribuição e ciclagem dos nutrientes na água do corpo hídrico.

Considerando todos os períodos sazonais e todas as estações de coleta, a média da variável nitrato apresentou resultados em desconformidade com os valores de referência (10,00 mg.L⁻¹ NO₃). No ponto correspondente ao médio Rio Machado o valor médio chegou a (18,61±17,86 mg.L⁻¹) enquanto no Igarapé Azul foi encontrado o menor valor médio de (14,08 ±13,77 mg.L⁻¹). Por outro lado, ao considerar os dois períodos sazonais referentes as águas baixas e a enchente, todos os pontos apresentaram conformidade com a legislação pertinente.

Valores encontrados para a REBIO do Jaru na enchente para o Igarapé Azul (0,10 mg.L⁻¹) foram próximos aos encontrados em outro estudo, quando comparados ao mesmo período correspondente neste estudo (0,17 mg.L⁻¹), demonstrando resultados de equidade com ambientes preservados (ASSIS, 2019).

Santos (2012) encontrou em seu estudo no Igarapé Dois de Abril, afluyente do Rio Machado da margem esquerda, concentrações de 2,33 mg.L⁻¹ para o período correspondente a enchente, valor este maior que os obtidos na presente pesquisa para o mesmo período, atribuindo ao aumento no índice de chuvas como fator responsável pela lixiviação de materiais para o corpo hídrico, carreando matéria orgânica para o rio e aumentando a concentração de nitrato.

Segundo a Agência Nacional das Águas – ANA (2017b), as concentrações de oxigênio dissolvido em águas limpas tendem a ser mais elevadas, superiores a 5mg.L⁻¹. No entanto, pode haver condições naturais que causem baixos valores deste parâmetro. No processo de decomposição da matéria orgânica, há o consumo de oxigênio dissolvido e por isso, águas poluídas por esgotos domésticos ou industriais apresentam menores concentrações. Essas baixas concentrações de oxigênio dissolvido podem comprometer a sobrevivência de algumas espécies aquáticas, alterar o equilíbrio e biodiversidade do ambiente (AMÉRICO *et al.*, 2015).

De acordo com a Resolução do CONAMA 357/2005, os valores de Oxigênio Dissolvido (OD) para os rios de Classe 1 e Classe 2 devem ser maiores que 6 mg.L⁻¹ e 5 mg.L⁻¹, respectivamente. Apenas o rio Tarumã não apresentou conformidade com o estabelecido pela legislação quando comparado com a Classe 1, com média geral de (5,41±0,95 mg.L⁻¹) em todo o ciclo hidrológico.

Porém, cabe considerar que toda a extensão do Rio tarumã está inserida em áreas protegidas por lei, onde a legislação traz o entendimento que ao realizar o enquadramento de um rio em Classe especial impõe que devem ser mantidas as condições naturais do corpo de água e o seu

uso são destinados à conservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas e preservação de ambientes aquáticos em unidades de conservação. Tabela 28 do apêndice.

O ponto correspondente à jusante do Rio Machado apresentou média geral de $(7,41 \pm 0,61 \text{ mg.L}^{-1})$ em todo o ciclo hidrológico enquanto o rio Anari, o valor encontrado foi de $(7,70 \pm 0,63 \text{ mg.L}^{-1})$. Em estudos desenvolvidos por Costa Júnior (2017) no rio Madeira, foram encontrados valores inferiores $(6,90 \pm 0,70 \text{ mg.L}^{-1})$ quando comparados com este estudo. Já Assis (2019) identificou valores mínimos deste parâmetro no Rio Machado próximos de $4,8 \text{ mg.L}^{-1}$ e valores máximos próximos de $8,5 \text{ mg.L}^{-1}$ enquanto o rio Anari apresentou variações entre $4,9 \text{ mg.L}^{-1}$ e $7,2 \text{ mg.L}^{-1}$ na mesma pesquisa.

Santos (2015) verificou que o parâmetro oxigênio dissolvido apresentou variações entre os pontos amostrados, variando de $0,43 \text{ mg.L}^{-1}$ a $8,71 \text{ mg.L}^{-1}$, com o menor valor encontrado no ponto próximo ao local identificado como Ponte da Bolívia e o maior no ponto 05 referente ao Igarapé localizado cerca de 30 km do núcleo urbano da cidade de Manaus/AM, relacionando os valores encontrados com a ocupação do solo nas áreas do entorno dos igarapés e a entrada de efluentes domésticos na bacia do Tarumã-Açu. Guerra et al. (2015), associaram a baixa concentração de oxigênio dissolvido em corpos d'água com períodos chuvosos na bacia hidrográfica de Bita, Ipojuca/PE.

O Potencial hidrogeniônico - pH possui as suas faixas estabelecidas para as diferentes classes de águas naturais e os seus critérios de proteção à vida aquática fixam as restrições de faixa entre 6,0 e 9,0 (CONAMA, 2005). Nas águas onde o pH situa-se em faixas extremas, abaixo de 5 ou acima de 9, as concentrações de íons podem representar correlação em grande parte com os valores da condutividade. É um parâmetro muito significativo nos estudos no campo do saneamento ambiental capaz de influenciar os ecossistemas aquáticos naturais devido aos seus efeitos na fisiologia de várias espécies. Ademais, podem exercer efeitos sobre as solubilidades de nutrientes e em outras condições também contribuem para a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados (ESTEVES, 2011; CETESB, 2018).

Em relação ao parâmetro pH, este variou de 4,07 (igarapé Buenos Aires) no período da vazante a 7,63 (rio Jaru) no período das águas baixas. Na bacia do Tarumã-Açu/AM, os valores do pH nas águas apresentaram variações de 3,6 a 6,9 com o menor valor encontrado no igarapé Acará e o maior no ponto conhecido como Ponte da Bolívia (SANTOS, 2015).

Considerando a média geral de todo o ciclo hidrológico, a menor média foi de $5,57 \pm 1,19$ (igarapé Buenos Aires) apresentando desta forma, o pH mais ácido e a maior média foi de $7,00 \pm 0,25$ (Rio Machado à montante) apresentando pH neutro. Comportamento semelhante encontrado nos estudos de qualidade de água no Estado do Pará, onde os valores máximos encontrados foram de 7,2 e os menores valores de 5,6 no decorrer dos períodos sazonais no Rio Murucupi (MEDEIROS *et al.*, 2017).

O material particulado em suspensão (MPS) ou sólidos totais dissolvidos (STD) nos pontos amostrais estiveram abaixo do valor máximo permitido para rios de classe 1 e 2 conforme a resolução CONAMA. A Turbidez em valores elevados, podem reduzir o processo de fotossíntese da vegetação submersa e das algas, diminuindo a produção de oxigênio dissolvido (VON SPERLING, 2005).

O MPS e a turbidez apresentam comportamentos similares, onde os sólidos em grandes quantidades na água podem prejudicar os organismos aquáticos em virtude das alterações na luminosidade da água, que por sua vez, afeta o metabolismo dos organismos autotróficos submersos, que encontram dificuldades para a realização da fotossíntese e, conseqüentemente também afeta o metabolismo dos organismos heterotróficos que dependem do oxigênio dissolvido produzido na fotossíntese para o processo da respiração (BUZELLI & CUNHA-SANTINO, 2013).

Na extensão do Rio Machado na área de estudo, a média geral obtida dos seus pontos à montante, médio e jusante em relação à turbidez foi de $39,18 \pm 25,96$ UNT. Já em seus afluentes da margem direita foi igual de $18,40 \pm 15,88$ UNT e na margem esquerda foi de $25,38 \pm 13,96$ UNT. Todos os pontos amostrais apresentaram valores inferiores à 100 UNT, conforme estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005.

Segundo Lopes (2020) no trecho do Rio Machado entre os municípios de Presidente Médici/RO e Ji-Paraná/RO, a variável turbidez, apresentou a menor média de $12,08 \pm 1,45$ UNT para o período das águas baixas e maior média foi de $107,44 \pm 26,52$ UNT durante o período de enchente. Entre os pontos amostrais referentes ao ponto localizado aproximadamente 200 metros a jusante de uma draga de areia e cascalho, na margem esquerda do Rio Machado, a maior média apresentou $67,05 \pm 48,93$, e o ponto localizado a aproximadamente 5 metros à jusante da captação de água para abastecimento público do município de Presidente Médici, na margem direita do Rio Machado, o

maior valor foi de $137,67 \pm 6,11$ na coleta do período de enchente, evidenciando a interferência das chuvas neste parâmetro em especial em áreas de predominância de pastagens devido o maior aporte de sedimentos para os cursos de água.

Em outro estudo com a mesma varável, também foram encontrados valores acima do estabelecido para o rio Madeira e seus afluentes respectivamente $155,1 \pm 121,0$ UNT e $58,51 \pm 148,6$ UNT, concluindo que para o sistema rio Madeira, os maiores resultados foram obtidos no período de enchente, coincidentemente com as variações climáticas da região andina, ocasionando assim, uma elevação da taxa de remobilização do sedimento (COSTA JÚNIOR, 2017).

5.2 Índice de Estado Trófico

A eutrofização natural é resultado da descarga normal de nitrogênio e fósforo nos sistemas aquáticos. A eutrofização “cultural” é proveniente dos despejos de esgotos domésticos e industriais e da descarga de fertilizantes aplicados na agricultura. Nos ambientes lóticos as suas principais causas estão relacionadas com as atividades humanas, onde a entrada de nutrientes excede a capacidade de autodepuração de determinados cursos hídricos (SILVA, 2016; TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2020).

Além do aporte de nutrientes, o lançamento em ambientes límnicos de excrementos humanos e de animais resultam em potencial risco sanitário pelo carreamento de microrganismos diversos, como bactérias e vírus relevantes que podem ocasionar alterações clínicas diversas em humanos e animais (ESTEVEZ, 2011; VON SPERLING, 2014).

Segundo Leite (2004) as mudanças no uso da terra que ocorreram no Estado de Rondônia nas últimas décadas transformaram a paisagem da região. Especialmente ao longo da BR 364, o que antes era constituído quase que exclusivamente por florestas, hoje apresenta extensas áreas cobertas por pastagens, com impactos ainda desconhecidos no ambiente aquático.

O cálculo do Índice de Estado trófico - IET para as concentrações de fósforo total indicaram neste estudo que o Rio Machado em seus trechos correspondentes aos pontos médio e a jusante, Igarapé Tarifa, Igarapé Buenos Aires, Igarapé Pascana e Rio Jaru tiveram classificação quanto aos seus estados tróficos como mesotrófico ($52 < IET \leq 59$) em todas as campanhas do ciclo

hidrológico. Evidenciando corpos de água com produtividade intermediária, com possíveis implicações futuras sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis.

Quanto a sazonalidade, o ponto correspondente ao Rio Machado à montante, no período da vazante, foi classificado como ultraoligotrófico ($IET \leq 47$) e mesotrófico para os demais períodos. A média do IET para todos os corpos hídricos analisados apresentou-se como “mesotrófico” em quase todos os períodos sazonais. A exceção foi o Igarapé Azul que apresentou estado trófico como “oligotrófico” (51,14).

Lopes (2020), encontrou valores diferentes para o Rio Machado quanto ao grau de trofia e sazonalidade onde seus valores obtidos para IET variaram entre $40,4 \pm 0,23$ para o ponto localizado no limite territorial do distrito Bandeira durante o período das águas baixas à $53,38 \pm 0,76$ para o ponto localizado a aproximadamente 850 metros a jusante do lançamento de efluentes de um frigorífico de bovinos, na margem esquerda do Rio Machado, durante o período de vazante, demonstrando que entre os pontos o grau de trofia variou entre ultraoligotrófico ($IET \leq 47$) a mesotrófico ($52 < IET \leq 59$), sendo que a maioria pode ser classificado como oligotrófico ($47 < IET \leq 52$). Quanto a sazonalidade, obteve para os períodos de vazante, águas baixas e enchente uma classificação oligotrófica, enquanto o período das águas altas apresentou uma trofia ultraoligotrófica.

Por outro lado, o Rio Anari apresentou a classificação de seu estado em eutrófico (61,39) no período de vazante, onde tal achado revela implicações sobre a qualidade da água entendida como eutrofização indicando alta produtividade em relação às condições naturais, com redução da transparência, em geral afetado por atividades antrópicas, nos quais ocorrem alterações indesejáveis na qualidade da água decorrente do aumento da concentração de nutrientes e interferência nos seus múltiplos usos. É provável que a entrada de nutrientes no período da vazante excedeu a capacidade de autodepuração do Rio Anari, indicando a eutrofização.

Assis (2019) utilizando metodologia diferente desta pesquisa, baseado na classificação da *Organization for Economic Cooperation and Development* - OCDE (1982) e na média anual do fósforo total, obteve para o rio Anari e o Rio Machado estados eutróficos. Sales (2020) ao estudar a cobertura da terra da bacia hidrográfica do Rio Anari, concluiu que 75,33% do uso da bacia são por pastagens.

Nesta área do Rio Anari predominam atividades agropecuárias e as florestas nativas foram substituídas em grande parte por pastagens, onde as condições ambientais referentes ao uso e conservação do solo e preservação das águas são precárias. Tal situação, está relacionada com o fato de sua área ser uma das primeiras destinadas aos Projetos de colonização do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA (IBAMA, 2007).

O Igarapé Azul, apresentou-se como “ultraoligotrófico” (45,58) no período de vazante e como “oligotrófico” (48,99) nas águas altas. Já o Rio tarumã apresentou-se como “oligotrófico” nas águas altas e enchente respectivamente (47,59; 51,49), sendo ambos caracterizados como corpos d'água limpos, com pouca produção primária, dos quais não ocorrem uso indesejado da água em decorrência de seus limites estarem inseridos no interior de uma unidade de conservação (REBIO do Jaru). Assis (2019), por sua vez, encontrou para o igarapé Azul, rio Tarumã e rio Jaru de acordo com as médias anuais dos valores de fósforo total, grau de trofia correspondente a classificação de mesotróficos.

Trindade et al (2019) em seus estudos sobre a caracterização limnológica preliminar em corpos d'água da cidade de Ji-Paraná/RO, obtiveram o IET para fósforo total indicando o igarapé Pintado, igarapé Dois de Abril, rio Urupá e o Rio Machado como mesotrófico (52,41; 58,91; 53,35 e 56,36) e concluíram que essas classificações revelam uma produtividade primária intermediária e possíveis implicações sobre a qualidade da água no que diz respeito aos resultados correspondentes ao fósforo total e devem ser entendidos como medida do potencial de eutrofização. O Igarapé Mangueira, apresentou-se como oligotrófico (47,01), sendo caracterizado como corpos d'água limpos, com pouca produção primária, dos quais não ocorre uso indesejado da água, onde tais classificações foram realizadas para o período de transição chuvoso-seco correspondente a vazante nesta pesquisa.

5.3 Elementos-traço

5.3.1 Elementos-traço na água

Há uma relação geoquímica entre os metais e os argilo-minerais dos sólidos em suspensão que acabam se associando por afinidade química. Por tanto, a quantidade de sólidos em suspensão, bem como a disponibilidade de elementos-traço está associada as características hidrológicas

da região que vigoram em um determinado período e das características químicas das formações pedológicas e geológicas da bacia (GALVÃO et al 2009).

Na estatística descritiva as concentrações médias totais dos elementos-traço na água apresentaram a seguinte ordem decrescente: Zn>Fe>Mn>Al>Ni>Ba>Sr>V>As>Pb>Cd>Cu>Co. Nesta Matriz, o cromo (Cr) não foi detectado em todo o ciclo hidrológico analisado. Já na estatística descritiva das concentrações dos metais dissolvidos observam-se que seus valores foram verificados em apenas dois períodos sazonais (Águas altas e baixas), onde as concentrações médias dos metais dissolvidos na água apresentaram-se na seguinte ordem decrescente Fe>Mn>Zn>Ba>Al>Sr>Pb>V>Ni. Para o ferro total, o limite máximo permitido é de (1400,00 $\mu\text{g.L}^{-1}$).

O zinco registrou desconformidade em relação ao limite máximo permitido (180 $\mu\text{g.L}^{-1}$), onde o maior valor encontrado foi de (3192,00 $\mu\text{g.L}^{-1}$) nas águas baixas no Igarapé Buenos Aires. Na resolução CONMA nº 357/2005, somente há valores máximos para o alumínio dissolvido (100 $\mu\text{g.L}^{-1}$). O alumínio (Al) total registrou o maior valor de média total de (250,80 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no período das águas baixas no Igarapé Buenos Aires e o alumínio dissolvido teve maior valor encontrado nas águas altas (158,30 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no Igarapé Tarifa, apresentando desconformidade com a legislação.

No meio ambiente, o zinco possui origem antrópica através da combustão de madeira, incineração de resíduos, produção de ferro e aço, efluentes domésticos. Dessa forma, suas concentrações encontradas no solo e na água podem ser oriundas da disposição inadequada de resíduos sólidos no solo (PHILIPPI JR, *et al.*, 2004). O que não justifica para os valores encontrados no Igarapé Buenos Aires, onde sua rede de drenagem está inserida na REBIO do Jaru e sem contribuição antrópica, sendo o valor encontrado sugestivo de condição natural.

O aumento da concentração de alumínio está associado com o período de chuvas e, portanto, com a alta turbidez, onde este elemento pode atingir a atmosfera como material particulado por meio da suspensão de poeiras dos solos e também da combustão do carvão. Outro aspecto da química do alumínio é sua dissolução no solo para neutralizar a entrada de ácidos com as chuvas ácidas e, dessa forma é extremamente tóxico à vegetação e podendo ser escoado para os corpos d'água (CETESB, 2018). Os valores encontrados no Igarapé Tarifa estão associados ao uso da bacia, onde 80,07% de sua área total é coberta de pastagens (SALES, 2020).

Assis (2019) encontrou em seu estudo, valores de alumínio na água na REBIO Jaru que ultrapassaram os limites estabelecidos na CONAMA 357/05 para águas de Classe I no período correspondente as águas altas e justificou os maiores valores de Al aos períodos chuvosos. Ainda em seu estudo, encontrou as médias gerais de Zn nas águas altas e Cu na enchente e águas altas, valores superiores ao estabelecido pela legislação.

O manganês total registrou o valor de média total de ($54,76 \mu\text{g.L}^{-1}$) durante todo o ciclo hidrológico e apresentou valores maiores que os permitidos ($100,00 \mu\text{g.L}^{-1}$) nas águas baixas ($260,70 \mu\text{g.L}^{-1}$) no Igarapé Buenos Aires. As concentrações do bário apresentaram-se em conformidade com a legislação ($700,00 \mu\text{g.L}^{-1}$) e registraram a média total de ($23,21 \mu\text{g.L}^{-1}$) durante todo o ciclo hidrológico. O menor valor encontrado foi na vazante ($1,33 \mu\text{g.L}^{-1}$) no Igarapé Buenos Aires o maior valor encontrado foi na enchente ($45,46 \mu\text{g.L}^{-1}$) no Rio Jaru. Não há valores de referência para o estrôncio, que por sua vez, apresentou a maior média total no valor de ($12,08 \mu\text{g.L}^{-1}$) durante todo o ciclo hidrológico. O menor valor encontrado foi na vazante ($2,64 \mu\text{g.L}^{-1}$) no Igarapé Buenos Aires (REBIO do Jaru) e o maior valor encontrado foi na enchente ($25,86 \mu\text{g.L}^{-1}$) no Igarapé Tarifa.

As concentrações de níquel foram detectadas apenas nas águas altas e na enchente, onde o valor médio encontrado nessas duas fases do ciclo hidrológico foi de ($10,79 \mu\text{g.L}^{-1}$). O menor valor encontrado foi de ($0,13 \mu\text{g.L}^{-1}$) nas águas altas no Igarapé Buenos Aires e o maior valor encontrado foi ($97,42 \mu\text{g.L}^{-1}$) na enchente, no Rio Anari. As concentrações de vanádio apresentaram em conformidade ($25,00 \mu\text{g.L}^{-1}$), onde a média total o valor de ($7,20 \mu\text{g.L}^{-1}$) durante todo o ciclo hidrológico. O menor valor encontrado foi na enchente ($1,44 \mu\text{g.L}^{-1}$) no Igarapé tarifa e o maior valor encontrado foi na vazante ($9,76 \mu\text{g.L}^{-1}$) no Rio Jaru.

O arsênio, o cádmio e o cobalto apresentaram valores de detecção apenas para o período de enchente, sendo o menor valor encontrado ($0,29 \mu\text{g.L}^{-1}$; $3,56 \mu\text{g.L}^{-1}$; $0,19 \mu\text{g.L}^{-1}$) no Igarapé Buenos Aires / Rio Machado no ponto médio / Rio Tarumã. Já o maiores valores encontrados para esses elementos foram ($5,52 \mu\text{g.L}^{-1}$; $3,81 \mu\text{g.L}^{-1}$; $0,56 \mu\text{g.L}^{-1}$) no Rio Anari; Rio Anari; Rio Machado no ponto à jusante respectivamente. Os elementos Co, Cu, Cr, Zn e Pb apresentaram baixas concentrações nos compartimentos estudados, apesar dos afluentes da margem esquerda e a área a montante do Rio Machado apresentar contribuições de áreas antrópicas.

Os valores máximos permitidos (VMP) destes elementos pela resolução nº 357 do CONAMA de 17 de março de 2005, usados para enquadramento dos corpos hídricos como rio de água doce, em classe 1 são respectivamente ($10,00 \mu\text{g.L}^{-1}$; $1,0 \mu\text{g.L}^{-1}$; $50,0 \mu\text{g.L}^{-1}$) e, portanto, apresentaram-se em conformidade.

O elemento chumbo apresentou valores inferiores ao permitido ($10,00 \mu\text{g.L}^{-1}$) com a média total de ($1,30 \mu\text{g.L}^{-1}$) e não foi detectado no Rio Tarumã em todo o ciclo hidrológico. O menor valor detectado foi de ($0,04 \mu\text{g.L}^{-1}$) nas águas altas no ponto correspondente ao Rio Machado à jusante, o maior valor encontrado ($5,34 \mu\text{g.L}^{-1}$), por sua vez, foi no Igarapé Cajueiro no período das águas baixas.

O cobre não foi detectado na vazante e nem na enchente, sendo detectado nas águas altas apenas no Igarapé Tarifa e Igarapé Azul. Nas águas baixas foi detectado apenas no Igarapé Buenos Aires. A média total foi de ($1,46 \mu\text{g.L}^{-1}$), onde o menor valor detectado foi de ($0,05 \mu\text{g.L}^{-1}$) no Igarapé Azul e maior valor ($3,07 \mu\text{g.L}^{-1}$) no Igarapé Tarifa. Na resolução, somente há valores máximos para o cobre dissolvido ($9,00 \mu\text{g.L}^{-1}$). No entanto, nem o cobre, o cromo e o cádmio foram detectados nas duas fases analisadas do ciclo hidrológico para os elementos-traço dissolvidos.

Numa investigação no alto Rio Madeira/RO das variações sazonais do material em suspensão e elementos-traço comparando a estação seca e uma estação chuvosa, as concentrações de Cr, Mn, Co e Fe nos sólidos em suspensão não variaram entre o período das águas baixas e águas altas apesar da concentração de sólidos em suspensão ser maior no período das águas altas (GALVÃO *et al.*, 2009). Neste estudo, o Mn apresentou diferença estatística na matriz água durante o período das enchente entre os afluentes da margem esquerda ($97,96 \mu\text{g.L}^{-1}$) e direita ($26,61 \mu\text{g.L}^{-1}$). Tabela 22.

Comparando as concentrações dos elementos-traço na fração total na água entre os afluentes, as maiores concentrações detectadas em todo o ciclo hidrológico para os elementos Al, Fe, Mn, V e Zn foram nos afluentes da margem direita, onde essa margem representou 71,72% dos valores encontrados.

5.3.2 Elementos-traço no sedimento

Na evolução do sistema aquático, as camadas de sedimento são formadas nas áreas de remansos de rios e em lagos, estas por sua vez, podem conter compostos químicos e estruturas biológicas como resultado desse processo, podendo também receber ou absorver poluentes como resultado de processos atmosféricos naturais, erosão e atividades antrópicas (BAI *et al.*, 2011; ESTEVES, 2011).

As concentrações de Mn e Fe encontradas nos sedimentos da área de estudo, certamente estão correlacionadas pela predominância do solo que ocorre em todo país (KER, 1998). Na região do estado de Rondônia, há a predominância de latossolos vermelho e amarelo, que por sua vez, possuem naturalmente em suas constituições químicas concentrações elevadas de Fe e Mn.

De acordo com Miguel *et al.* (2010), o alumínio é um elemento abundante no solo, uma vez que a maior parte dos minerais primários e secundários das rochas formados pela ação do intemperismo são alumino silicatos, que ao serem decompostos pela água carregada de gás carbônico, liberam o alumínio na forma trocável (Al^{3+}).

Na estatística descritiva das concentrações das médias gerais dos metais no sedimento apresentaram-se na seguinte ordem decrescente: $Al > Fe > Mn > Ba > V > Z > Cr > Ni > As > Cd > Pb > Cu > Sr > Co$. O elemento ferro apresentou a média geral de ($16169,52 \mu g.kg^{-1}$) durante todo o ciclo hidrológico. As concentrações de alumínio registraram a média geral de ($12484,62 \mu g.kg^{-1}$). O manganês registrou a média geral de ($472,33 \mu g.kg^{-1}$).

As concentrações do bário registraram o maior valor encontrado na enchente ($409,57 \mu g.kg^{-1}$) no ponto correspondente ao médio Rio Machado. Já o elemento estrôncio apresentou o maior valor encontrado nas águas altas ($10,88 \mu g.kg^{-1}$) no ponto correspondente ao médio Rio Machado. As concentrações de vanádio apresentaram a média geral de ($34,46 \mu g.kg^{-1}$) durante todo o ciclo hidrológico. O zinco registrou o menor valor encontrado na vazante ($11,86 \mu g.kg^{-1}$) no Igarapé Buenos Aires e o maior valor encontrado na enchente ($61,42 \mu g.kg^{-1}$) no Igarapé dos Milagres.

Costa Júnior (2017) verificou em seu estudo que o sedimento de fundo do rio Madeira apresentou concentrações mais elevadas de elementos-traço que o sistema dos seus tributários, exceto para os elementos Al, Ba, Pb, e V, atribuindo que as características intrínsecas das águas brancas do Rio Madeira apresenta maiores concentrações de elementos-traço em seus sedimentos. Nesse estudo, o Rio Machado apresentou as maiores concentrações de elementos-traço em seus sedimentos para o Fe, Al, Mn e Ba que o sistema de seus afluentes, onde tais achados também podem estar associados as características intrínsecas de águas brancas que este rio apresenta na época chuvosa do ano.

O cromo registrou a média geral de (19,63 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) durante todo o ciclo hidrológico. O menor valor encontrado foi na vazante (5,30 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) no Igarapé Monte Cristo e o maior valor encontrado foi na enchente (44,74 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) no Rio Anari. O cádmio registrou a média geral de (10,48 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) durante todo o ciclo hidrológico. O menor valor encontrado foi nas águas altas (0,001 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) no ponto à montante do Rio Machado e o maior valor encontrado foi na enchente (32,49 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) no Igarapé Pascana.

A comparação de médias dos elementos-traço no sedimento entre os afluentes do Rio Machado demonstraram diferenças significativas no período da vazante para o Al e o Zn, onde as médias variaram entre 53,63 e 77,36 para o Al e entre 21,87 e 30,05 para o Zn. Por outro lado, o período correspondente as águas altas apresentou a menor diferença estatística do elementos-traço na matriz sedimento, ocorrendo somente para o elemento Pb quando comparado os sistemas margem direita e Rio Machado.

Queiroz *et. al.* (2011) avaliaram a composição mineralógica e química dos sedimentos de fundo na bacia do baixo e médio rio Madeira e seus tributários. Os autores avaliaram as concentrações de diversos elementos, dentre eles Co, Cu, Pb e Zn com concentrações que variaram entre 9100,00 à 4700,00 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ para o Co, de 22400,00 à 7900,0 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ para o Cu, de 7900,00 a 4500,00 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ para o Pb e de 40000,00 à 19300,00 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ para o Zn, sendo a variação destes valores bem mais altos que os obtidos no presente estudo, onde o Co variou de 10,54 à 2,07 $\mu\text{g.kg}^{-1}$; Cu de 16,0 à 2,82 $\mu\text{g.kg}^{-1}$; Pb de 16,01 à 4,39 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ e o Zn entre 61,42 e 11,86 $\mu\text{g.kg}^{-1}$.

Assis (2019) observou em seu estudo que a Reserva Biológica do Jaru apresentou estar bem preservada, indicando de forma geral, que tanto a água, sedimento e solo da REBIO Jaru

apresentam concentrações de metais pesados dentro dos padrões considerados naturais, sugerindo pouca ou nenhuma contribuição antrópica.

Comparando as concentrações dos elementos-traço no sedimento dos afluentes da margem direita com a margem esquerda, as maiores concentrações detectadas em todo o ciclo hidrológico para os elementos Al, Cu, Cr, Fe, Sr, V e Zn foram nos afluentes da margem esquerda, onde essa margem representou 53,85% dos valores encontrados. Dessa forma, as bacias hidrográficas antropizadas existentes na margem esquerda exerceram influência nos resultados encontrados.

O período hidrológico que mais influenciou as variações dos elementos-traço no sedimento foi a enchente, correspondendo a 64,28% dos maiores valores encontrados. Já as menores concentrações foram melhor observadas no período da vazante, correspondendo à 50,0% dos menores valores encontrados.

Com base nos resultados encontrados, pôde-se ter a compreensão de que os sedimentos do trecho do rio Machado e seus afluentes não apresentaram contaminações pontuais no período deste estudo, uma vez que seus valores estiveram abaixo dos limites permitidos pela CONAMA 420/2009 e CONAMA 454/2012. Porém, isto não descarta a necessidade de um contínuo monitoramento na região

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo evidenciou a importância da determinação de valores para os parâmetros de qualidade da água em águas de classe 1 e especial, quando considera-se que parte dessas bacias hidrográficas possuem significativa cobertura da terra de vegetação nativa. Isso garante que a gestão da bacia hidrográfica ocorra de forma mais precisa no que tange a proposta de enquadramento.

Observou-se que as BH's da REBIO do Jaru quanto as do seu entorno imediato apresentaram concentrações dos ET's na matriz sedimento dentro dos padrões considerados naturais, sugerindo pouca ou inexistente influência antrópica, onde as concentrações destes elementos podem estar condicionadas aos regimes pluviométricos dos rios e a formação geológica da região estudada.

O estado de eutrofização encontrado no afluente da margem esquerda (Rio Anari) indicou que o uso da terra nas proximidades de suas margens implicou em aporte excessivo de nutrientes bem maior que a sua capacidade de autodepuração para o período da vazante.

Conclui-se que a REBIO do Jaru tem desempenhado um papel de fundamental na preservação dos recursos hídricos da bacia do Rio Machado uma vez que seus afluentes podem de certa forma contribuir como diluidores da carga poluidora carregada para o Rio Machado ao longo de seu curso e, conseqüentemente, contribuindo para o seu processo de autodepuração.

7 RECOMENDAÇÕES

Os dados achados contribuem para mudanças nas revisões do Plano Estadual de Recursos Hídricos de Rondônia, quanto a necessidade de aporte de informações. Recomenda-se que ao ser realizado o enquadramento do Rio Machado este trecho de estudo seja enquadrado em uma classe mais restritiva como por exemplo, a classe 1 para os afluentes da margem esquerda e especial para os afluentes da margem direita, dado a relevância do trecho.

O levantamento de informações sobre os poluentes presentes na água do Rio Machado e seus afluentes, estabelece o conhecimento para mensuração do potencial risco de alteração do habitat natural da fauna e flora local. É razoável supor que para planejar ações de mitigação e orientar o uso destas bacias, deve-se conhecer suas características físico-químicas e a dinâmica da região.

Recomenda-se o constante monitoramento da região do estudo a fim de melhor entendimento da heterogeneidade e do comportamento de cada elemento-traço nas condições naturais, como também sobre influências antrópicas.

REFERÊNCIAS

ADRIANO, D.C. 2001. **Trace elements in the terrestrial environment: biogeochemistry, bioavailability, and risks of metals**. New York: Springer, 867p. 2001.

ALENCAR, V. E. S. A. et al. Análise de parâmetros de qualidade da água em decorrência de efeitos da precipitação na baía de Guajará – Belém– PA. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 12, n. 2. p. 661-680, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/238413>. Acesso em: 15 set. 2020.

AMÉRICO, J. H. P.; MANOEL, L. O.; TORRES, N. H. Avaliação de parâmetros físicoquímicos da água do Córrego da Onça, Três Lagoas–MS. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, [S. l.], v. 11, n. 6, p. 250-257, 2015.

ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). **Atlas Esgotos: despoluição de bacias hidrográficas**. Brasília: ANA, 2017. 88 p. ISBN: 978-85-8210-050-9.

ANA. Agência Nacional das Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno**. Brasília: ANA, 2017b. 169 p.

ANA. Agência Nacional das Águas. Portal da qualidade das águas. **Indicadores de qualidade**. Índice do Estado Trófico (IET). 2018. Disponível em: <<http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-estado-trofico.aspx>>. Acesso em: 02 de dezembro de 2018.

ANA, Agência Nacional de Águas. **HidroWeb - Sistema de Informações Hidrológicas**. [s. l.], 2020. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/>. Acesso em: 15 jul. 2020.

ANDRADE, N.L.R. **Fluxo de calor latente em uma floresta tropical da Amazônia: análise de séries temporais com wavelets e do produto MOD16**. Cuiabá, 2013. 168f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso.

APHA- American Public Health Association; AWWA - American Water Works Association e WEF- Water Environment Federation. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. ed.19. Washington: APHA, 1995. E-book. Disponível em: <https://doi.org/ISBN 9780875532356>

APHA- American Public Health Association; AWWA - American Water Works Association e WEF- Water Environment Federation.. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. ed. 20. Washington: APHA, 1998.

APHA- American Public Health Association; AWWA - American Water Works Association e WEF- Water Environment Federation.. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. ed. 21. Washington: APHA, 2005.

APHA- American Public Health Association; AWWA - American Water Works Association e WEF- Water Environment Federation. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. ed. 22. Washington: APHA, 2012.

ARCHELA, E. et al. Considerações sobre a geração de efluentes líquidos em centros urbanos. **Geografia**, v. 12, n. 1, p.517-525, jun. 2003.

ASSIS, J. P. M. **Caracterização limnológica e elementos-traço na Reserva Biológica do Jarú (RO)**. 2019. UNIR, Ji-Paraná, 2019. Disponível em: <http://www.engenhariaambiental.unir.br/uploads/65413365/JOAQUIM%20PEDRO%20MAC%20HADO%20DE%20ASSIS.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2020.

BAI, J. et al. Spatial distribution and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments from a typical plateau lake wetland, China. **Ecological Modelling**, 222(2), 301–306, 2011.

BARRA ROCHA, C. H.; PEREIRA, A. M. Análise multivariada para seleção de parâmetros de monitoramento em manancial de Juiz de Fora, Minas Gerais. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 11, n.1, p. 186-187, 2016.

BARRETO, L. V. et al. Eutrofização em Rios Brasileiros. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, N.16; p.2165, 2013. Disponível em: <<https://www.conhecer.org.br/enciclop/2013a/biologicas/EUTROFIZACAO.pdf>>. Acesso em: 10 de julho de 2020.

BASTOS, W. R. **Ocorrência ambiental do mercúrio e sua presença em populações ribeirinhas do baixo rio Madeira – Amazônia**. 2004. 113. f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

BASTOS, W.R.; MALM, O.; PFEIFFER, W.C.; CEARY, D. (1998) Establishment and analytical quality control of laboratories for Hg determination in biological and geological samples in the Amazon-Brazil. **Ciência & Cultura**, **50**: 255-260.

BELLUTA, I. et al. Impactos provocados por metais potencialmente tóxicos dissolvidos em água e em sedimentos no Córrego do Cintra – Botucatu-SP. **Salusvita**, Bauru. 2008.

BETIOLO, A. S. Revitalização de Nascentes na Microbacia do Córrego das Areias – RO. **Relatório Técnico**. 27p. Nova Brasilândia D'Oeste, 2020.

BRASIL. **Lei 9985, de 18 de Julho de 2000**. *Institui o SNUC- Sistema Nacional de Unidade de Conservação da Natureza*. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 05 de maio de 2018.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. *Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Diário Oficial da União, Brasília, Presidência da República, 08 de jan. de 1997. Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm> Acesso em 05 de maio2018.

BURAK, D.L.; FONTES, M.P.F.; SANTOS, N.T.; MONTEIRO, L.V.S.; MARTINS, E.S.; BECQUER, T. Geochemistry and spatial distribution of heavy metals in Oxisols in a mineralized region of the Brazilian Central Plateau. **Geoderma**, v.160, p.131–142, 2010.

BUZELLI, G. M.; CUNHA-SANTINO, M. B. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita, SP. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 8, n.1, p. 186-205, 2013.

CARDOSO, J. M.; AMÉRICO-PINHEIRO, J. H.; RIBEIRO, L.G. Análise de nitrito em água subterrânea de consumo humano em Campo Grande – MS. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**, 2017, Florianópolis. Anais [...] Florianópolis: [s. n.], 2017. p. 1-8. Disponível em: http://evoluedoc.com.br/xxiisbrh/detalhes-633_analise-de-nitrito-em-aguasubterranea-de-consumo-humano-em-campo-grande-ms. Acesso em: 17 set. 2020

CARVALHO, D. P. et al. Dynamics of metals in lacustrine sediments: case study of the Madeira River, Amazon region. **RBRH**, [S. l.], v. 23, 2018. DOI: 10.1590/2318-0331.231820170026. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2318-03312018000100218&lng=en&tlng=en. Acesso em 04 de ago. 2020.

CASTRO, L. M. **Estudo do comportamento de indicadores ambientais nos sistema fluviais Madeira/Amazonas e Solimões/Amazonas**. 2015. UFAM - Universidade Federal de Manaus, [S. l.], 2015.

CETESB.COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. São Paulo: ANA, 2011. 325 p. Disponível em:<<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/GuiaNacionalDeColeta.pdf>>. Acesso em: 17 de janeiro 2019.

CETESB. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (São Paulo).**Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo 2017**. São Paulo: CETESB, 2018. 301 p. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2018/06/Relat%C3%B3rio-de-Qualidade-das-%C3%81guas-Interiores-no-Estado-de-S%C3%A3o-Paulo-2017.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2020.

CETESB. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Determinação de Clorofila a e Feofitina a: método espectrofotométrico**. SP. 2014. Disponível em:<<https://cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 03 de dezembro de 2018.

CNRH, CONSELHO NACIONAL DOS RECURSOS HÍDRICOS. **Resolução N° 91, de 05 de novembro de 2008**. Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos. 2008. Disponível em: <[http://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLUÇÃO CNRH no 91.pdf](http://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLUÇÃO%20CNRH%20no%2091.pdf)>. Acesso em: 22 nov. 2018

CONAMA, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 2 fev. 2018.

CONAMA, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009**. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>. Acesso em: 10 jul. 2020.

CONAMA, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 454, de 01 de novembro de 2012**. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=693>>. Acesso em: 06 nov. 2020.

CONNOR, R.; KONCAGÜL, E. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos: ÁGUA PARA UM MUNDO SUSTENTÁVEL**. Perugia: Unesco, 2015. 8 p. Disponível em: <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015ExecutiveSummary_POR_web.pdf>. Acesso em: 13 dez. 2018.

COSTA JUNIOR, W. A. **Dinâmica dos elementos-traço no Rio Madeira e tributários, Rondônia**. 2017. - Dissertação de mestrado. Fundação Universidade Federal de Rondônia - UNIR, 2017. Porto Velho, 2017. Disponível em: http://www.biogeoquimica.unir.br/uploads/42029128/arquivos/Disserta__o_Mestrado__Walimar_Aleixo__2015_2_Vers_o_final_827278293.pdf. Acesso em: 10 jul. 2020.

COTA, T. S.; SILVA, E. O.; ZUFFO, C. E. Enquadramento dos corpos d'água como instrumento de gestão participativa: Fundamentação na legislação ambiental. **VII Workshop Internacional Sobre Planejamento e Desenvolvimento Sustentável em Bacias Hidrográficas**. 1ed.Boa Vista / RR: EDUFRR, 2020, v. 1, p. 1363-1371.

CPRM, 2003. **Programa Geologia do Brasil**, Carta Porto Velho (SC.20). Diretoria de Serviços Geográficos. Porto Velho. Rondônia. CPRM, 2000. Geologia e Recursos Minerais do Estado de Rondônia. Diretoria de Serviços Geográficos. Porto Velho. Rondônia.

DA CUNHA, H. B.; PASCOALOTO, D. **Hidroquímica dos Rios da Amazônia**. 165 p. 2009. Disponível em:<https://issuu.com/bibliovirtualsec/docs/hidroqu__mica_dos_rios>. Acesso em: 19 de ago. de 2020

DINATO, B. I. **Aplicação do SWAT para a simulação de vazão de sedimento e vazão na bacia do Rio Ji-Paraná - RO**. 2013. Fundação Universidade Federal de Rondônia, [S. l.], 2013. Disponível em: http://www.engenhariaambiental.unir.br/uploads/65413365/arquivos/TCC_BID_1485756069.pdf. Acesso em: 18 de jan. 2019.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Elementos-traço e sua relação com qualidade e inocuidade de fertilizantes, corretivos agrícolas e resíduos orgânicos no Brasil, Planaltina-DF: **Embrapa Cerrados**, 2009, 45 p.

ESTEVEES, F.A. **Fundamentos de Limnologia**. 3º ed., Rio de Janeiro: Interciência, 2011, 826p.

FILIZOLA JR., N. P. **O Fluxo de Sedimentos em Suspensão nos Rios da Bacia Amazônica Brasileira**. Dissertação de Mestrado. Brasília, DF: ANEEL. 1999. Disponível em: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/7853>. Acesso em: 19 ago. 2020.

FERNANDES, L. C.; S. C. P. GUIMARÃES. 2002. **Atlas geoambiental de Rondônia**, p. 65-76p, SEDAM, Porto Velho.

FRANCO, R. A. M. Qualidade da água para irrigação na microbacia do Coqueiro, Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p. 772-780, 2009.

GALVAO, R.C.F. et al. Variação sazonal de elementos-traço associados aos sólidos em suspensão no alto Rio Madeira, Amazônia Ocidental. **Geochimica Brasiliensis**. 23(1); p. 67-78, 2009. Disponível em: <https://docplayer.com.br/49349946-Variacao-sazonal-de-elementos-traço-associados-aos-solidos-em-suspensao-no-alto-rio-madeira-amazonia-ocidental.html>. Acesso em: 12 ago. 2020.

GUEDES, H. A. S. et al. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p. 558-563, 2012.

GUERRA, S. M. S. et al. Caracterização morfométrica e avaliação da qualidade da água da Bacia Hidrográfica de Bitá, Ipojuca–PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 8, n. 3, p. 759-775, 2015. Disponível em: <file:///C:/Users/marci/Downloads/233496-93881-1-PB.pdf>. Acesso em 14 out. 2020.

GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, J. J.; PIERANGELI, M. A. P.; ZULIANI, D. Q.; CAMPOS, M. L.; MARCHI, G. **Elementos-traço em solos e sistemas aquáticos**. Tópicos Ci.Solo, 4: 345-390. 2005.

GOLTERMAN, H. L. Chemistry, p. 39-80. In: **River ecology**. B. A. Whitton (ed.), Blackwell Scient. Publ. 1975.

GOLTERMAN, H. L.; CLYMO, R. S.; OHNSTAD, M. A. M. **Methods for physical and chemical analysis of freshwaters**. 2 ed. ed. [s.l.] Oxford, Blackwell Scientific Publications, 1978.

HELBEL, A. F. *et al.* Qualidade da água e fontes significativas de poluição hídrica: Uma análise crítica do Plano Estadual de Recursos Hídricos de Rondônia. **VII Workshop Internacional Sobre Planejamento e Desenvolvimento Sustentável em Bacias Hidrográficas**. 1ed.Boa Vista / RR: EDUFRR, 2020, v. 1, p. 1317-1323.

IBAMA, 2007. **Avaliação Ecológica Rápida para Revisão do plano de Manejo da Reserva Biológica do Jaru**. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Relatório intertemático final consolidado, Brasília.

IBDF, 1984. Plano de Manejo da Reserva Biológica do Jaru. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, Brasília.

ICMBIO, 2019. **Nota Técnica nº202/2019 /DCOL/CGTER/DISAT/ICMBio**. Verificação de Limite da Reserva Biológica do Jaru. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, Brasília.

ICMBIO, 2010. **Plano de Manejo da Reserva Biológica do Jaru**. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, Brasília. Disponível em: <<https://www.icmbio.gov.br/portal/rebio-do-jaru>>. Acesso em: 20 ago. 2019.

JESPERSEN, A. M.; CHRISTOFFERSEN, K. Measurements of chlorophyll-a from phytoplankton using ethanol as extraction solvent. **Archive of Hydrobiology**, v.109, n. 3, p. 445-454, 1987.

KER, J. C. Latossolos do Brasil: uma revisão. **Geonomos**, v5, p. 17-40, 1998.

KOUMROUYAN, A. & SANTANA, G. P. Química de elementos-traço nos sedimentos do Lago do Parú (Manacapuru - Amazonas), sob influência do pulso de inundação do baixo Rio Solimões. **Acta Amazonica**, [S. l.], v. 38, n. 3, p. 491–501, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672008000300014> Acesso em: 04 ago. 2020.

KRUSCHE, A. V. et al. Efeitos das mudanças do uso da terra na biogeoquímica dos corpos d'água da bacia do rio Ji-Paraná, Rondônia. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 35, n. 2, p. 197–205, jun. 2005.

LACERDA, L. D. **Aplicação da metodologia de abordagem pelos parâmetros críticos no estudo de poluição por metais pesados na Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro**. 1983. Tese de Doutorado - Instituto de Biofísica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 1983.

LAMPARELLI, M. C. **Graus de trofia em copor d'água do Estado de São Paulo: Avaliação dos métodos de monitoramento**. 2004. - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/41/41134/tde-20032006-075813/publico/TeseLamparelli2004.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2020.

LEITE, N. K. **Biogeoquímica do Rio Ji-Paraná, Rondônia**. Piracicaba: USP. Dissertação de Mestrado (Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”), Universidade de São Paulo, 2004.

LINNIK, P.M.; ZUBENKO, I.B. **Role of bottom sediments in the secondary pollution of aquatic environments by heavy-metal compounds.** Lakes Reser.: Res. Manag., Japão, v. 5, n. 1, p. 11-21, 2000.

LOPES, A. P. **Estudo de hidrocarbonetos e metais em sedimentos de fundo do rio Negro na orla urbana de Manaus.** Manaus. Dissertação de mestrado Universidade Federal do Amazonas - UFAM, 2010.

LOPES, V. M. Usos múltiplos e diagnóstico da qualidade da água por meio do IQA e IET para um trecho do Rio Machado - Rondônia - Brasil. **Relatório Técnico.** 48p. Ji-Paraná, 2020.

MAGALHÃES, D.P.; FERRÃO FILHO, A.S.. **A ecotoxicologia como ferramenta no biomonitoramento de ecossistemas aquáticos.** Oecol. Bras., 12(3): 355-381, 2008. 27p.

MAPBIOMAS. **Mapbiomas Brasil.** [s. l.], 2020. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 10 ago. 2020.

MARTINS, A. S. **Avaliação das águas superficiais sob uso e ocupação na sub-bacia do rio candeias/RO – Amazônia Ocidental.** Porto Velho. Dissertação de mestrado. Fundação Universidade Federal de Rondônia - UNIR, 2009.

MEDEIROS, A. C. et al. Quality index of the surface water of Amazonian rivers in industrial areas in Pará, Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 123, n. 12, p. 156-164, 2017.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: U desafio atual para a sobrevivência futura. **Revista Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável.** Porto Alegre, v3, n4, p. 33-38, 2002.

MIGUEL, P. S. B. et al. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. **CES Revista.** 2010, v. 24, 13 Disponível em: https://www.cesjf.br/revistas/cesrevista/edicoes/2010/01_BIOLOGIA_efeitodoaluminio.pdf Acesso em: 13 out. 2020.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Cadastro Nacional de Unidades de Conservação – CNUC.** Disponível em: < <https://www.mma.gov.br/areas-protegidas/cadastro-nacional-de-ucs>>. Acesso em: 24 jan. 2020.

MS - MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.** [s. l.], 2011. Disponível em: https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html. Acesso em: 8 nov. 2020.

MS - MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria de Consolidação N° 5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de**

SaúdeBrasil: [s. n.], 2017.p. 926. Disponível em:
<https://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2018/marco/29/PRC-5-Portaria-de-Consolida----o-n---5--de-28-de-setembro-de-2017.pdf>. Acesso em: 08 nov. 2020.

NASCIMENTO, E. L. DO. **Concentração de Mercúrio no plânctons e fatores ecológicos no reservatório da U.H.E. - Samuel - Amazônia Ocidental (Rondônia/Brasil)**. 2006. - Fundação Universidade Federal de Rondônia - UNIR, Porto Velho, 2006. Disponível em: http://www.ri.unir.br/jspui/bitstream/123456789/2226/1/DISSERTAÇÃO_ELISABETE_NASCIMENTO.pdf. Acesso em: 12 set. 2020.

NÖGES, T. SOLOVJOVA, I. The Influence of Different Solvents and Extraction Regimes on the Recovery of Chlorophyll a from Freshwater Phytoplankton. **Geophysica**, v. 36, n.1, p. 161-168, 2000.

OECD. Organization for Economic Cooperation and Development. Eutrophication of water: monitoring, assessment and control. Paris: **OECD**, 1982, 154p.

ONU, 2015. **Agenda 2030 | ONU Brasil**. Organização da Nações Unidas. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>>. Acesso em: 3 set 2020.

PARRON, L. M.; MUNIZ, D. H. F.; PEREIRA, C. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química da água**. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2011. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/921050/1/Doc232ultimaversao.pdf> Acesso em: 18 set. 2020.

PEREIRA, L. A. da C.; CAJAZEIRAS, C. C. de A.. Caracterização dos principais aquíferos da região sudoeste da Amazônia ocidental, em **XVII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, Bonito, out. 2012.

PEREIRA, A. C. A. **Graus de trofia em águas do rio Corrente dos Matões de Bom Jesus/PI**. Piauí: UFPI, 2011. Monografia (Licenciatura em Ciências Biológicas), Universidade Federal do Piauí, 2011.

PHILIPPI JR, A.; ROMERIO, M. A; BRUNA, G. C. Controle ambiental da água. In: **Curso de Gestão Ambiental – USP**. Ed. Manole Ltda. Barueri, SP, 2004.

PINTO, T. J. DA S. **Fluxo evasivo de CO2 na interface água-atmosfera no Rio Ji-Paraná**. Ji-Paraná – RO. Fundação Universidade Federal de Rondônia - UNIR, 2015.

PIVELI, P. D. R. P. Aula 10 - **Oxigênio Dissolvido e Matéria Orgânico em Águas**. [S.l.], p. 12. 2010.

PROFÁGUA. **Linhas de Pesquisa 2018**. Disponível em: <<http://www.feis.unesp.br/#!/pos-graduacao/profagua/programa/linhas-de-pesquisa/>>. Acesso em: 03 nov. 2018.

PRIMACK, R.; R. CORLETT 2005. **Tropical Rain Forests: An Ecological and Biogeographical Comparison**. Blackwell Publishing. Oxford, UK. 319 p.

QUEIROZ, M. M. A.; HORBE, A. M. C.; MOURA, C. A. V. Mineralogia e química dos sedimentos de fundo do médio e baixo Madeira e de seus principais tributários – Amazonas – Brasil. **Acta Amazonica**. Vol. 41(4), 453-464, 2011.

REBÊLO, A.G.M. et al. Valores de Referência da Concentração de Metais Pesados em solos na Amazônia Central. **Química Nova**, Vol. XY. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170516>. Acesso em: 13 abr. 2020.

RIBAS, P. P.; MATSUMURA, A. T. S. A química dos agrotóxicos: impactos sobre a saúde e meio ambiente. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 0, n. 14, p149-158, 2009.

RONDÔNIA. **Lei Complementar n. 233, de 06 de junho de 2000**. Dispõe sobre o Zoneamento Socioeconômico - Ecológico do Estado de Rondônia - ZSEE e dá outras providências. In: Secretaria de Desenvolvimento Ambiental. Disponível em: <http://www.sepog.ro.gov.br/Conteudo/Exibir/44>. Acesso em: 27 set. 2019.

RONDÔNIA. **Lei Complementar nº 255 de 25 de janeiro de 2002**. Institui a Política, cria o Sistema de Gerenciamento e o Fundo de Recursos Hídricos do Estado de Rondônia e dá outras providências. Porto Velho, RO, 2002. Disponível em: http://progestao.ana.gov.br/panorama-dos-estados/ro/lei-no-255-02_ro.pdf. Acesso em: 05 ago. 2019.

SALES, M. S. et al. Variação intrasazonal dos parâmetros físico-químicos da água do Rio Machado e seus afluentes no trecho da Rebio Jaru. **VII Workshop Internacional Sobre Planejamento e Desenvolvimento Sustentável em Bacias Hidrográficas**. 1ed. Boa Vista / RR: EDUFRR, 2020, v. 1, p. 766-773.

SALES, M.S. Qualidade da água no médio Rio Machado e seus principais afluentes com ênfase no Mercúrio e Metilmercúrio (Rondônia). **Relatório Técnico**. 29p. Ji-Paraná – RO, 2020.

SAMPAIO, C. A. D. P. et al. Análise técnica de água de fontes rurais. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, vol. 24, n.2, 213-217.2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/esa/v24n2/1809-4457-esa-24-02-213.pdf>. Acesso em: 13 out. 2020.

SANTANA, G. P.; BARRONCAS, P. D. S. R. Estudo de metais pesados (Co, Cu, Fe, Cr, Ni, Mn, Pb e Zn) na Bacia do Tatumã-Açu Manaus – (AM). **Acta Amazonica**, v. 37, p. 111-118, 2007.

SANTOS, A. C. Noções de hidroquímica. In: FEITOSA, F. A. C. (coord.) et al. Hidrogeologia: conceitos e aplicações. 3. ed. **rev. e ampl.** Rio de Janeiro: CPRM; Recife: LABHID, 2008. 812 p

SANTOS, A. **Avaliação da capacidade de autodepuração do rio Ji-Paraná (Rondônia), através da curva de depleção do oxigênio dissolvido.** UNIR, 2012. Monografia (Bacharel em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Rondônia, 2012.

SANTOS, K. S. Índice de qualidade da água de Igarapés da bacia do Tarumã-Açu, Manaus – AM. **XXI Simpósio brasileiro de recursos hídricos** – Segurança hídrica e desenvolvimento sustentável: desafios do conhecimento e da gestão, 2015. Disponível em: <file:///C:/Users/marci/Downloads/PAP019897.pdf>. Acesso em 02 out. 2020

SANTOS, U. M.; RIBEIRO, M. N. G. A hidroquímica do rio Solimões-Amazonas. **Acta Amazônica**, v.18, p. 145-72, 1988

SCHWARZBOLD, A. 2000. O que é um rio? **Rev. Ciência & Ambiente.** UFSM. Vol.1, n.1. Santa Maria. pp.57-68.

SEDAM, Secretaria do Estado de Desenvolvimento de Ambiental. **Relatório Final (RF) para a elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH) do Estado de Rondônia.** 1. ed. Curitiba - PR: 1, 2018. *E-book*.

SILVA, L. C. **Avaliação da qualidade da água do rio Alegria (Medianeira/PR) através da determinação do IET e simulação do processo de autodepuração.** Orientador: Juliana Bortoli R. Mees. 2016, 82p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2016.

SILVA, M. do S. R.; MIRANDA, S. A. F.; SANTANA, G. P. Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas: Condições de suas águas versus Resolução N° 357/CONAMA/2005. **Revista Scientia Amazonia**, v. 6, n.2, 83-90, 2016. ISSN:2238.1910. Disponível em: <http://scientia-amazonia.org/wp-content/uploads/2017/01/v6-n2-83-90-2017.pdf>. Acesso em: 05 ago. 2019.

SILVA, E. O.; ALMEIDA, R.; NASCIMENTO, E. L. Hidrogeoquímica do Rio Machado e seus Principais Afluentes - Reserva Biológica do Jaru-RO. In: III Seminário Nacional ProfÁgua, 2019, Brasília -DF. III Seminário Nacional ProfÁgua. São Carlos-SP: **RiMa**, 2019. v. 1. p. 179-179.

SIOLI, H. **Alguns Resultados e Problemas da Limnologia Amazônia.** Boletim Técnico Instituto Agrônomo do Norte, v. 24, 1951. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/116584/1/Limnologia.pdf>. Acesso em: 05 ago. 2019.

SIOLI, H. **Amazônia: fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais.** Tradução de Johann Becker. 3ª ed. Petrópolis: Vozes, 72 p. 1991.

SIOLI, H. e KLINGE, H. **Solos, Tipos de Vegetação e Águas na Amazônia**. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, 1: 1-18. Belém, PA, 1962.

SOARES, M. C. R & ALBERTO, A. D. Estudo da razão de Bowen em uma área de floresta no sudoeste da Amazônia. **Ciência e Natura** v.38 Ed. Especial- IX Workshop Brasileiro de Micrometeorologia 2016, p. 504– 509. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4675/467547689082.pdf>. Acesso em 06 de ago. 2020

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 452 p.

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. 2 ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2014. 592 p. v. 7.

TAMBOSI, L. R.; VIDAL, M.M.; FERRAZ, S.F.B.; METZGER, J.P. **Funções eco-hidrológicas das florestas nativas e o Código Florestal**. Estudos Avançados. São Paulo, v. 29, p. 151-162, 2015.

TRINDADE, R. A. et al. Caracterização limnológica preliminar em corpos d'água da cidade de Ji-Paraná/RO. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 159–171, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufac.br/index.php/SAJEBTT/issue/view/152>. Acesso em: 6 ago. 2020.

TUNDISI, J. G. Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos. **Revista USP**, São Paulo, n 70, p.24-35, 2006.

TUNDISI, J. G. Recursos Hídricos no futuro: Problemas e soluções. **Revista Estudos Avançados**, v.22, n63, p7-16, 2008.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. A Água. **Editora Scienza**. São Carlos, 2020. 130 p. ISBN 978-65-5668-005-7 DOI <http://dx.doi.org/10.26626/978-65-5668-005-7/B0001>

WETZEL, R. G.; LIKENS, G. E. **Limnological Analyses**. New York: [s.n.].1991.

ZIEMNICZAK, C. M. **Concentração de mercúrio total e metilmercúrio em solo, sedimentos e peixes da Reserva Biológica do Jaru - RO**. 2019. UNIR, Ji-Paraná, 2019. Disponível em: <http://www.engenhariaambiental.unir.br/uploads/65413365/CLAVIO MOMO ZIEMNICZAK.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2020.

APÊNDICES

Apêndice A – Tabelas dos resultados físicos, químicos e biológicos.

Tabela 23 - Resultados de concentração de amônia ($\mu\text{g/L}$) na água

| Ponto | Descrição do ponto | AA | VZ | AB | EN | Média | Des. Padrão |
|-------|---------------------------|--------|--------|---------|-------|--------|-------------|
| P1 | Igarapé Azul | 32,10 | 44,60 | 43,10 | 8,04 | 31,96 | 14,63 |
| P2 | Rio Machado ^m | 78,60 | 48,10 | 23,60 | 18,21 | 42,13 | 23,88 |
| P3 | Igarapé dos Milagres | 37,10 | 2,10 | 22,10 | 12,39 | 18,42 | 12,90 |
| P4 | Igarapé Monte Cristo | 16,10 | 31,60 | 1277,60 | 8,53 | 333,46 | 545,16 |
| P5 | Igarapé Cajueiro | 77,60 | 42,10 | 23,60 | 7,77 | 37,77 | 26,01 |
| P6 | Rio Anari | 255,60 | 45,10 | 23,10 | 8,26 | 83,02 | 100,50 |
| P7 | Rio Machado ^{me} | 24,60 | 71,60 | 15,60 | 8,10 | 29,97 | 24,73 |
| P8 | Igarapé Tarifa | 15,60 | 46,60 | 34,10 | 10,27 | 26,64 | 14,52 |
| P9 | Rio Machado ^j | 92,10 | 26,60 | 7,10 | 9,62 | 33,85 | 34,45 |
| P10 | Igarapé Buenos Aires | 27,10 | 168,10 | 30,60 | 11,47 | 59,32 | 63,22 |
| P11 | Igarapé Pascana | 773,10 | 26,10 | 90,60 | 9,62 | 224,85 | 317,97 |
| P12 | Rio Tarumã | 12,10 | 46,10 | 27,60 | 7,55 | 23,34 | 15,10 |
| P13 | Rio Jaru | 51,60 | 72,60 | 9,10 | 20,82 | 38,53 | 25,06 |

Observações: AA: Águas Altas; VZ: Vazante, AB: Águas Baixas; EN: Enchente. ^m montante; ^{me} médio; ^j jusante. Valor de referência CONAMA N° 357/05 águas doces Classe 1 e 2: 3,7 mg/L N, para $\text{pH} \leq 7,5$; 2,0 mg/L N, para $7,5 < \text{pH} \leq 8,0$; 1,0 mg/L N, para $8,0 < \text{pH} \leq 8,5$; 0,5 mg/L N, para $\text{pH} > 8,5$. ND: Não Detectado. Fonte: (CONAMA, 2005). Próprio autor.

Tabela 24 - Resultados de concentração de clorofila a ($\mu\text{g/L}$) na água.

| Ponto | Descrição do ponto | AA | VZ | AB | EN | Média | Des. Padrão |
|-------|---------------------------|------|-------|----|------|-------|-------------|
| P1 | Igarapé Azul | ND | 0,47 | ND | 3,85 | 2,16 | 1,69 |
| P2 | Rio Machado ^m | ND | 0,25 | ND | 2,05 | 1,15 | 0,90 |
| P3 | Igarapé dos Milagres | 2,29 | 2,35 | ND | 4,62 | 3,08 | 1,08 |
| P4 | Igarapé Monte Cristo | 2,80 | 16,09 | ND | ND | 9,45 | 6,65 |
| P5 | Igarapé Cajueiro | 0,24 | 9,85 | ND | ND | 5,04 | 4,80 |
| P6 | Rio Anari | 0,50 | ND | ND | 1,03 | 0,76 | 0,26 |
| P7 | Rio Machado ^{me} | 0,47 | 5,18 | ND | 2,31 | 2,65 | 1,94 |
| P8 | Igarapé Tarifa | 0,46 | ND | ND | ND | 0,46 | 0,00 |
| P9 | Rio Machado ^j | 0,93 | 9,99 | ND | 1,47 | 4,13 | 4,15 |
| P10 | Igarapé Buenos Aires | 1,63 | 0,26 | ND | 1,03 | 0,97 | 0,56 |
| P11 | Igarapé Pascana | 1,19 | 5,13 | ND | 1,80 | 2,71 | 1,73 |
| P12 | Rio Tarumã | 0,71 | ND | ND | ND | 0,71 | 0,00 |
| P13 | Rio Jaru | ND | ND | ND | 2,31 | 2,31 | 0,00 |

Observações: AA: Águas Altas; VZ: Vazante, AB: Águas Baixas; EN: Enchente. ^m montante; ^{me} médio; ^j jusante. ND: Não Detectado. Valor de referência CONAMA N° 357/05 águas doces Classe 1 e 2: máximo de 30 $\mu\text{g/L}$. Fonte: (CONAMA, 2005). Próprio autor.

Tabela 25 - Resultados de condutividade elétrica da água ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

| Ponto | Descrição do ponto | AA | VZ | AB | EN | Média | Des. Padrão |
|-------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| P1 | Igarapé Azul | 17,50 | 29,90 | 72,60 | 36,60 | 39,15 | 18,33 |
| P2 | Rio Machado ^m | 34,80 | 34,70 | 36,00 | 35,00 | 35,13 | 0,46 |
| P3 | Igarapé dos Milagres | 34,80 | 34,60 | 53,00 | 45,50 | 41,98 | 6,93 |
| P4 | Igarapé Monte Cristo | 14,50 | 17,70 | 71,40 | 20,20 | 30,95 | 20,97 |
| P5 | Igarapé Cajueiro | 33,30 | 5,50 | 5,60 | 8,00 | 13,10 | 10,47 |
| P6 | Rio Anari | 14,20 | 14,40 | 18,50 | 19,00 | 16,53 | 2,00 |
| P7 | Rio Machado ^{me} | 33,60 | 34,20 | 35,90 | 37,40 | 35,28 | 1,33 |
| P8 | Igarapé Tarifa | 30,50 | 13,10 | 19,00 | 19,90 | 20,63 | 5,61 |
| P9 | Rio Machado ^j | 32,40 | 32,60 | 35,50 | 34,90 | 33,85 | 1,22 |
| P10 | Igarapé Buenos Aires | 31,30 | 6,80 | 6,50 | 33,10 | 19,43 | 11,44 |
| P11 | Igarapé Pascana | 31,70 | 22,10 | 21,60 | 35,10 | 27,63 | 5,28 |
| P12 | Rio Tarumã | 8,10 | 8,60 | 8,60 | 14,80 | 10,03 | 2,47 |
| P13 | Rio Jaru | 44,40 | 49,90 | 75,10 | 47,00 | 54,10 | 10,98 |

Observações: AA: Águas Altas; VZ: Vazante, AB: Águas Baixas; EN: Enchente. ^m montante; ^{me} médio; ^j jusante. Não possui valor de referência CONAMA N° 357/05 águas doces Classe 1 e 2. Próprio autor.

Tabela 26 - Resultados de fósforo dissolvido ($\mu\text{g}/\text{L}$).

| Ponto | Descrição do ponto | AA | VZ | AB | EN | Média | Des. Padrão |
|-------|---------------------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------------|
| P1 | Igarapé Azul | 12,29 | 16,50 | 32,67 | 8,28 | 17,43 | 9,26 |
| P2 | Rio Machado ^m | 24,43 | 19,83 | 32,67 | 48,28 | 31,30 | 10,83 |
| P3 | Igarapé dos Milagres | 13,71 | 35,67 | 33,50 | 34,94 | 29,46 | 9,12 |
| P4 | Igarapé Monte Cristo | 10,14 | 14,83 | 68,50 | 7,44 | 25,23 | 25,12 |
| P5 | Igarapé Cajueiro | 18,00 | 24,83 | 31,83 | 4,94 | 19,90 | 9,92 |
| P6 | Rio Anari | 9,43 | 13,17 | 31,00 | 8,28 | 15,47 | 9,15 |
| P7 | Rio Machado ^{me} | 16,57 | 37,33 | 26,00 | 44,94 | 31,21 | 10,81 |
| P8 | Igarapé Tarifa | 19,43 | 11,50 | 17,67 | 8,28 | 14,22 | 4,52 |
| P9 | Rio Machado ^j | 34,43 | 22,33 | 17,67 | 45,78 | 30,05 | 10,95 |
| P10 | Igarapé Buenos Aires | 13,71 | 19,83 | 35,17 | 40,78 | 27,37 | 11,00 |
| P11 | Igarapé Pascana | 33,71 | 40,67 | 17,67 | 44,94 | 34,25 | 10,38 |
| P12 | Rio Tarumã | 9,43 | 104,58 | 27,67 | 9,11 | 37,70 | 39,34 |
| P13 | Rio Jaru | 11,57 | 113,17 | 33,50 | 55,78 | 53,50 | 37,83 |

Observações: AA: Águas Altas; VZ: Vazante, AB: Águas Baixas; EN: Enchente; ^m montante; ^{me} médio; ^j jusante. Não possui valor de referência CONAMA N° 357/05 águas doce Classe 2. Próprio autor.

Tabela 27 - Resultado de fósforo total na água ($\mu\text{g/L}$).

| Ponto | Descrição do ponto | AA | VZ | AB | EN | Média | Des. Padrão |
|-------|---------------------------|-------|--------|--------|--------|-------|-------------|
| P1 | Igarapé Azul | 18,14 | 9,40 | 60,17 | 55,17 | 35,72 | 22,23 |
| P2 | Rio Machado ^m | 40,29 | 10,40 | 98,50 | 119,33 | 67,13 | 43,73 |
| P3 | Igarapé dos Milagres | 41,00 | 7,40 | 102,00 | 71,83 | 55,56 | 35,19 |
| P4 | Igarapé Monte Cristo | 47,43 | 15,40 | 107,67 | 22,67 | 48,29 | 36,28 |
| P5 | Igarapé Cajueiro | 68,86 | 61,40 | 71,83 | 30,17 | 58,06 | 16,55 |
| P6 | Rio Anari | 28,86 | 197,40 | 63,50 | 36,83 | 81,65 | 68,05 |
| P7 | Rio Machado ^{me} | 38,86 | 103,40 | 95,17 | 101,00 | 84,61 | 26,58 |
| P8 | Igarapé Tarifa | 44,57 | 88,40 | 98,50 | 36,00 | 66,87 | 26,99 |
| P9 | Rio Machado ^j | 63,14 | 82,40 | 61,83 | 111,00 | 79,59 | 19,88 |
| P10 | Igarapé Buenos Aires | 51,00 | 43,40 | 55,17 | 98,50 | 62,02 | 21,48 |
| P11 | Igarapé Pascana | 38,14 | 58,40 | 51,00 | 109,33 | 64,22 | 27,04 |
| P12 | Rio Tarumã | 13,86 | 51,40 | 57,67 | 29,33 | 38,06 | 17,50 |
| P13 | Rio Jaru | 56,00 | 95,40 | 86,83 | 100,17 | 84,60 | 17,19 |

Observações: AA: Águas Altas; VZ: Vazante, AB: Águas Baixas; EN: Enchente; ^m montante; ^{me} médio; ^j jusante. Valor de referência CONAMA N° 357/05 águas doces Classe 1 e 2: Valor máximo de Fósforo total (ambiente lótico e tributários de ambientes intermediários) de 0,1 mg/L P. Próprio autor.

Tabela 28 - Resultados de nitrato na água (mg/L).

| Ponto | Descrição do ponto | AA | VZ | AB | EN | Média | Des. Padrão |
|-------|---------------------------|-------|-------|------|------|-------|-------------|
| P1 | Igarapé Azul | 28,50 | 27,20 | 0,17 | 0,47 | 14,08 | 13,77 |
| P2 | Rio Machado ^m | 25,20 | 29,02 | 1,22 | 1,01 | 14,11 | 13,07 |
| P3 | Igarapé dos Milagres | 28,04 | 31,16 | 0,66 | 2,03 | 15,47 | 14,18 |
| P4 | Igarapé Monte Cristo | 29,15 | 29,39 | 0,33 | 0,86 | 14,93 | 14,34 |
| P5 | Igarapé Cajueiro | 31,83 | 36,36 | 0,34 | 0,97 | 17,38 | 16,80 |
| P6 | Rio Anari | 21,15 | 35,48 | 0,29 | 1,19 | 14,53 | 14,69 |
| P7 | Rio Machado ^{me} | 35,52 | 37,41 | 0,65 | 0,87 | 18,61 | 17,86 |
| P8 | Igarapé Tarifa | 30,25 | 34,13 | 0,43 | 0,36 | 16,29 | 15,96 |
| P9 | Rio Machado ^j | 35,99 | 31,00 | 1,20 | 0,58 | 17,19 | 16,40 |
| P10 | Igarapé Buenos Aires | 33,57 | 33,03 | 1,11 | 0,71 | 17,10 | 16,20 |
| P11 | Igarapé Pascana | 31,31 | 33,34 | 1,07 | 1,85 | 16,89 | 15,45 |
| P12 | Rio Tarumã | 30,20 | 31,42 | 0,97 | 0,94 | 15,88 | 14,93 |
| P13 | Rio Jaru | 30,15 | 30,74 | 1,02 | 0,78 | 15,67 | 14,77 |

Observações: AA: Águas Altas; VZ: Vazante, AB: Águas Baixas; EN: Enchente; ^m montante; ^{me} médio; ^j jusante. Valor de referência CONAMA N° 357/05 águas doces Classe 1 e 2: Valor máximo de Nitrato de 10,0 mg/L N. Próprio autor.

Tabela 29 - Resultados de nitrito na água ($\mu\text{g/L}$).

| Ponto | Descrição do ponto | AA | VZ | AB | EN | Média | Des. Padrão |
|-------|--------------------------|------|------|------|-------|-------|-------------|
| P1 | Igarapé Azul | 3,27 | 2,93 | 2,21 | 8,64 | 4,26 | 2,29 |
| P2 | Rio Machado ^m | 5,10 | 4,93 | 1,86 | 24,54 | 9,11 | 8,05 |
| P3 | Igarapé dos Milagres | 6,60 | 3,77 | ND | 9,54 | 6,63 | 2,36 |

| Ponto | Descrição do ponto | AA | VZ | AB | EN | Média | Des. Padrão |
|-------|---------------------------|------|------|------|-------|-------|-------------|
| P4 | Igarapé Monte Cristo | 2,27 | 2,43 | 0,96 | 6,32 | 3,00 | 1,79 |
| P5 | Igarapé Cajueiro | 6,93 | 1,43 | 3,11 | 5,61 | 4,27 | 1,91 |
| P6 | Rio Anari | 8,93 | 0,93 | 5,79 | 12,39 | 7,01 | 3,77 |
| P7 | Rio Machado ^{me} | 9,27 | 4,43 | 5,79 | 23,11 | 10,65 | 6,62 |
| P8 | Igarapé Tarifa | 5,93 | 1,27 | 6,32 | 14,36 | 6,97 | 4,21 |
| P9 | Rio Machado ^j | 4,10 | 4,77 | 7,21 | 25,07 | 10,29 | 7,70 |
| P10 | Igarapé Buenos Aires | 4,77 | 0,77 | 6,32 | 24,36 | 9,05 | 8,11 |
| P11 | Igarapé Pascana | 3,10 | 2,60 | 7,21 | 24,89 | 9,45 | 8,13 |
| P12 | Rio Tarumã | 2,10 | 4,77 | 8,64 | 9,36 | 6,22 | 2,64 |
| P13 | Rio Jaru | 4,43 | 5,60 | 7,57 | 21,14 | 9,69 | 6,00 |

Observações: AA: Águas Altas; VZ: Vazante, AB: Águas Baixas; EN: Enchente; ^m montante; ^{me} médio; ^j jusante. ND: Não Detectado. Valor de referência CONAMA N° 357/05 águas doces Classe 1 e 2: Valor máximo de Nitrito de 1,0 mg/L N. Próprio autor.

Tabela 30 - Resultados de oxigênio dissolvido (OD) na água (mg/L).

| Ponto | Descrição do ponto | AA | VZ | AB | EN | Média | Des. Padrão |
|-------|---------------------------|------|-------|-------|------|-------|-------------|
| P1 | Igarapé Azul | 6,94 | 8,33 | 5,00 | 7,00 | 6,82 | 1,19 |
| P2 | Rio Machado ^m | 6,12 | 7,00 | 11,67 | 8,00 | 8,20 | 2,11 |
| P3 | Igarapé dos Milagres | 7,14 | 9,00 | 9,00 | 7,00 | 8,04 | 0,97 |
| P4 | Igarapé Monte Cristo | 7,96 | 7,00 | 7,00 | 8,00 | 7,49 | 0,49 |
| P5 | Igarapé Cajueiro | 5,51 | 10,67 | 10,67 | 7,00 | 8,46 | 2,27 |
| P6 | Rio Anari | 7,14 | 8,33 | 8,33 | 7,00 | 7,70 | 0,63 |
| P7 | Rio Machado ^{me} | 6,53 | 10,33 | 10,33 | 7,67 | 8,72 | 1,67 |
| P8 | Igarapé Tarifa | 6,94 | 10,33 | 10,33 | 6,33 | 8,48 | 1,86 |
| P9 | Rio Machado ^j | 6,94 | 8,00 | 8,00 | 6,67 | 7,40 | 0,61 |
| P10 | Igarapé Buenos Aires | 6,53 | 8,00 | 8,00 | 7,67 | 7,55 | 0,60 |
| P11 | Igarapé Pascana | 8,89 | 7,67 | 7,67 | 7,00 | 7,81 | 0,68 |
| P12 | Rio Tarumã | 5,31 | 4,67 | 4,67 | 7,00 | 5,41 | 0,95 |
| P13 | Rio Jaru | 5,71 | 7,33 | 7,33 | 7,00 | 6,85 | 0,67 |

Observações: AA: Águas Altas; VZ: Vazante, AB: Águas Baixas; EN: Enchente; ^m montante; ^{me} médio; ^j jusante. Valor de referência CONAMA N° 357/05 águas doces Classe 1: OD, em qualquer amostra, não inferior a 6 mg/L O₂ e Classe 2: OD, em qualquer amostra, não inferior a 5 mg/L O₂. Próprio autor.

Tabela 31 - Resultados de pH da água.

| Ponto | Descrição do ponto | AA | VZ | AB | EN | Média | Des. Padrão |
|-------|---------------------------|------|------|------|------|-------|-------------|
| P1 | Igarapé Azul | 6,65 | 5,89 | 7,30 | 6,75 | 6,65 | 0,50 |
| P2 | Rio Machado ^m | 6,91 | 7,00 | 7,40 | 6,70 | 7,00 | 0,25 |
| P3 | Igarapé dos Milagres | 6,90 | 7,00 | 6,98 | 6,78 | 6,92 | 0,09 |
| P4 | Igarapé Monte Cristo | 6,83 | 6,65 | 7,27 | 6,48 | 6,81 | 0,29 |
| P5 | Igarapé Cajueiro | 6,78 | 5,69 | 6,25 | 5,50 | 6,06 | 0,50 |
| P6 | Rio Anari | 6,57 | 6,60 | 6,18 | 6,55 | 6,48 | 0,17 |
| P7 | Rio Machado ^{me} | 6,78 | 7,20 | 6,60 | 6,72 | 6,83 | 0,23 |
| P8 | Igarapé Tarifa | 6,69 | 6,45 | 5,85 | 6,24 | 6,31 | 0,31 |
| P9 | Rio Machado ^j | 6,81 | 7,08 | 6,91 | 6,70 | 6,88 | 0,14 |
| P10 | Igarapé Buenos Aires | 6,94 | 4,07 | 4,74 | 6,51 | 5,57 | 1,19 |
| P11 | Igarapé Pascana | 6,87 | 6,05 | 6,80 | 6,69 | 6,60 | 0,33 |
| P12 | Rio Tarumã | 6,55 | 6,12 | 4,82 | 5,35 | 5,71 | 0,67 |
| P13 | Rio Jaru | 7,13 | 5,94 | 7,63 | 6,87 | 6,89 | 0,61 |

Observações: AA: Águas Altas; VZ: Vazante, AB: Águas Baixas; EN: Enchente; ^m montante; ^{me} médio; ^j jusante. Valor de referência CONAMA N° 357/05 águas doces Classe 1 e 2: pH: 6,0 a 9,0. Próprio autor.

Tabela 32 - Profundidade de coleta de amostras de sedimento (m).

| Ponto | Descrição do ponto | AA | VZ | AB | EN | Média | Des. Padrão |
|-------|---------------------------|------|------|------|------|-------|-------------|
| P1 | Igarapé Azul | 4,00 | 1,65 | 0,63 | 1,86 | 2,04 | 1,10 |
| P2 | Rio Machado ^m | <LDT | 2,73 | 1,75 | 1,12 | 1,40 | 0,89 |
| P3 | Igarapé dos Milagres | 4,07 | 2,35 | 1,00 | 1,96 | 2,35 | 0,99 |
| P4 | Igarapé Monte Cristo | 2,86 | 0,82 | 0,40 | 1,82 | 1,48 | 0,85 |
| P5 | Igarapé Cajueiro | 5,95 | 1,60 | 0,60 | 1,79 | 2,49 | 1,83 |
| P6 | Rio Anari | 7,93 | 3,30 | 1,29 | 1,64 | 3,54 | 2,37 |
| P7 | Rio Machado ^{me} | 8,46 | 1,49 | 1,78 | 2,72 | 3,61 | 2,54 |
| P8 | Igarapé Tarifa | 6,30 | 2,06 | 0,72 | 2,55 | 2,91 | 1,85 |
| P9 | Rio Machado ^j | 9,52 | 3,05 | 1,45 | 2,66 | 4,17 | 2,81 |
| P10 | Igarapé Buenos Aires | 6,85 | 1,65 | 0,45 | 2,10 | 2,76 | 2,18 |
| P11 | Igarapé Pascana | 5,70 | 2,56 | 0,24 | 3,28 | 2,95 | 1,74 |
| P12 | Rio Tarumã | 4,30 | 1,54 | 1,43 | 1,61 | 2,22 | 1,08 |
| P13 | Rio Jaru | 3,75 | 2,49 | 0,85 | 2,98 | 2,52 | 0,95 |

Observações: AA: Águas Altas; VZ: Vazante, AB: Águas Baixas; EN: Enchente; ^m montante; ^{me} médio; ^j jusante. Próprio autor.

Tabela 33 - Resultados de sólidos em suspensão na água (mg.L⁻¹).

| Ponto | Descrição do ponto | AA | VZ | AB | EN | Média | Des. Padrão |
|-------|---------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| P1 | Igarapé Azul | 53,20 | 38,00 | 15,00 | 16,00 | 30,55 | 15,98 |
| P2 | Rio Machado ^m | 112,00 | 80,00 | 5,00 | 55,00 | 63,00 | 39,11 |
| P3 | Igarapé dos Milagres | 37,80 | 27,00 | 31,00 | 26,00 | 30,45 | 4,64 |
| P4 | Igarapé Monte Cristo | 14,00 | 10,00 | 34,00 | 30,00 | 22,00 | 10,20 |
| P5 | Igarapé Cajueiro | 50,40 | 36,00 | 20,00 | 21,00 | 31,85 | 12,44 |
| P6 | Rio Anari | 84,00 | 60,00 | 67,00 | 55,00 | 66,50 | 10,97 |
| P7 | Rio Machado ^{me} | 91,00 | 65,00 | 65,00 | 66,00 | 71,75 | 11,12 |
| P8 | Igarapé Tarifa | 88,20 | 63,00 | 79,00 | 8,00 | 59,55 | 31,10 |
| P9 | Rio Machado ^j | 92,40 | 66,00 | 17,00 | 51,00 | 56,60 | 27,25 |
| P10 | Igarapé Buenos Aires | 65,80 | 47,00 | 29,00 | 33,00 | 43,70 | 14,40 |
| P11 | Igarapé Pascana | 65,80 | 47,00 | 17,00 | 43,00 | 43,20 | 17,40 |
| P12 | Rio Tarumã | 79,80 | 57,00 | 4,00 | 43,00 | 45,95 | 27,55 |
| P13 | Rio Jaru | 96,60 | 69,00 | 32,00 | 51,00 | 62,15 | 23,81 |

Observações: AA: Águas Altas; VZ: Vazante, AB: Águas Baixas; EN: Enchente; ^m montante; ^{me} médio; ^j jusante. Próprio autor.

Tabela 34 - Resultados da temperatura da água (°C).

| Ponto | Descrição do ponto | AA | VZ | AB | EN | Média | Des. Padrão |
|-------|---------------------------|------|------|------|------|-------|-------------|
| P1 | Igarapé Azul | 25,3 | 24,9 | 27,8 | 26,2 | 26,05 | 1,00 |
| P2 | Rio Machado ^m | 30,0 | 27,8 | 30,4 | 29,1 | 29,33 | 0,89 |
| P3 | Igarapé dos Milagres | 26,8 | 26,4 | 29,0 | 28,4 | 27,65 | 0,97 |
| P4 | Igarapé Monte Cristo | 25,1 | 25,1 | 31,2 | 26,2 | 26,90 | 2,26 |
| P5 | Igarapé Cajueiro | 27,0 | 25,1 | 25,4 | 26,0 | 25,88 | 0,65 |
| P6 | Rio Anari | 25,8 | 25,8 | 27,1 | 28,6 | 26,83 | 1,03 |
| P7 | Rio Machado ^{me} | 27,3 | 28,3 | 29,6 | 29,2 | 28,60 | 0,79 |
| P8 | Igarapé Tarifa | 27,5 | 25,5 | 25,8 | 26,9 | 26,43 | 0,72 |
| P9 | Rio Machado ^j | 27,7 | 27,2 | 29,9 | 28,5 | 28,33 | 0,91 |
| P10 | Igarapé Buenos Aires | 27,9 | 25,9 | 25,6 | 28,8 | 27,05 | 1,20 |
| P11 | Igarapé Pascana | 28,0 | 26,2 | 28,1 | 29,0 | 27,83 | 0,91 |
| P12 | Rio Tarumã | 25,3 | 25,4 | 28,4 | 27,8 | 26,73 | 1,24 |
| P13 | Rio Jaru | 28,0 | 27,8 | 29,6 | 29,4 | 28,70 | 0,72 |

Observações: AA: Águas Altas; VZ: Vazante, AB: Águas Baixas; EN: Enchente; ^m montante; ^{me} médio; ^j jusante. Próprio autor.

Tabela 35 - Resultados de transparência da água (m).

| Ponto | Descrição do ponto | AA | VZ | AB | EN | Média | Des. Padrão |
|-------|---------------------------|------|------|------|------|-------|-------------|
| P1 | Igarapé Azul | 1,00 | 1,00 | 0,63 | 0,82 | 0,86 | 0,15 |
| P2 | Rio Machado ^m | 0,53 | 0,28 | 0,70 | 0,22 | 0,43 | 0,19 |
| P3 | Igarapé dos Milagres | 1,19 | 0,95 | 0,49 | 0,51 | 0,79 | 0,30 |
| P4 | Igarapé Monte Cristo | 0,82 | 1,00 | 0,20 | 1,17 | 0,80 | 0,37 |
| P5 | Igarapé Cajueiro | 0,86 | 0,49 | 0,60 | 1,15 | 0,78 | 0,25 |
| P6 | Rio Anari | 0,63 | 0,33 | 0,64 | 0,41 | 0,50 | 0,14 |
| P7 | Rio Machado ^{me} | 0,69 | 0,38 | 0,65 | 0,31 | 0,51 | 0,16 |
| P8 | Igarapé Tarifa | 0,72 | 0,46 | 0,49 | 0,63 | 0,58 | 0,11 |
| P9 | Rio Machado ^j | 0,54 | 0,38 | 0,68 | 0,23 | 0,46 | 0,17 |
| P10 | Igarapé Buenos Aires | 1,20 | 0,36 | 0,45 | 0,42 | 0,61 | 0,34 |
| P11 | Igarapé Pascana | 0,80 | 0,32 | 0,24 | 0,36 | 0,43 | 0,22 |
| P12 | Rio Tarumã | 1,09 | 1,09 | 1,15 | 0,81 | 1,04 | 0,13 |
| P13 | Rio Jaru | 0,66 | 0,59 | 0,73 | 0,42 | 0,60 | 0,12 |

Observações: AA: Águas Altas; VZ: Vazante, AB: Águas Baixas; EN: Enchente; ^m montante; ^{me} médio; ^j jusante. Próprio autor.

Tabela 36 - Resultados de turbidez da água (UNT).

| Ponto | Descrição do ponto | AA | VZ | AB | EN | Média | Des. Padrão |
|-------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| P1 | Igarapé Azul | 8,15 | 6,50 | 8,25 | 14,70 | 9,40 | 3,14 |
| P2 | Rio Machado ^m | 36,60 | 52,00 | 8,88 | 86,10 | 45,90 | 27,88 |
| P3 | Igarapé dos Milagres | 9,34 | 8,00 | 5,20 | 38,40 | 15,24 | 13,46 |
| P4 | Igarapé Monte Cristo | 7,15 | 4,00 | 40,50 | 8,60 | 15,06 | 14,78 |
| P5 | Igarapé Cajueiro | 25,40 | 16,50 | 13,35 | 10,30 | 16,39 | 5,65 |
| P6 | Rio Anari | 46,40 | 28,50 | 27,10 | 42,80 | 36,20 | 8,51 |
| P7 | Rio Machado ^{me} | 34,80 | 23,50 | 13,30 | 57,40 | 32,25 | 16,39 |
| P8 | Igarapé Tarifa | 30,40 | 25,50 | 34,80 | 24,70 | 28,85 | 4,07 |
| P9 | Rio Machado ^j | 32,40 | 26,50 | 14,40 | 84,30 | 39,40 | 26,72 |
| P10 | Igarapé Buenos Aires | 25,50 | 8,00 | 7,54 | 54,70 | 23,94 | 19,18 |
| P11 | Igarapé Pascana | 33,90 | 14,00 | 18,30 | 66,40 | 33,15 | 20,58 |
| P12 | Rio Tarumã | 10,30 | 10,50 | 9,20 | 19,90 | 12,48 | 4,32 |
| P13 | Rio Jaru | 23,50 | 5,00 | 12,80 | 43,70 | 21,25 | 14,53 |

Observações: AA: Águas Altas; VZ: Vazante, AB: Águas Baixas; EN: Enchente; ^m montante; ^{me} médio; ^j jusante. Valor de referência CONAMA N° 357/05 águas doces Classe 1: turbidez até 40 unidades nefelométrica de turbidez (UNT) e Classe 2: turbidez até 100 unidades nefelométrica de turbidez (UNT). Próprio autor.

Apêndice B - Relatório Técnico.

RELATÓRIO TÉCNICO

Aspectos hidrogeoquímicos do Rio Machado e dos seus principais afluentes no trecho que delimita a Reserva Biológica do Jaru – Rondônia.

Elaborado por Etienne Oliveira Silva



Relatório Técnico – Aspectos hidrogeoquímicos do Rio Machado e dos seus principais afluentes no trecho que delimita a Reserva Biológica do Jaru – Rondônia.

Realização:

Etienne Oliveira Silva

Revisão:

Ronaldo de Almeida

Elisabete Lourdes do Nascimento

Apoio técnico:

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES

Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua

Fundação Universidade Federal de Rondônia – UNIR

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio

Laboratório de Biogeoquímica Ambiental Wolfgang C. Pfeiffer – Biogeoquímica Ambiental

Laboratório de Limnologia e Microbiologia – LABLIM

Como citar este relatório técnico:

SILVA, E.O. Aspectos hidrogeoquímicos do Rio Machado e dos seus principais afluentes no trecho que delimita a Reserva Biológica do Jaru – Rondônia. Relatório Técnico. 42 p. Ji-Paraná – RO, 2020.

Ji-Paraná – RO

2020

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| SUMÁRIO..... | 1 |
| LISTA DE FIGURAS | 2 |
| LISTA DE TABELAS E QUADROS | 3 |
| LISTA DE APÊNDICES | 3 |
| 1 APRESENTAÇÃO | 4 |
| 2 ÁREA DE ESTUDO | 5 |
| 2.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E AMBIENTAL DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS | 9 |
| 2.2 ANÁLISE DE ÁGUA: VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS, ELEMENTOS-TRAÇO NA ÁGUA E NO SEDIMENTO | 12 |
| 3 QUALIDADE DA ÁGUA..... | 14 |
| 3.1 PARÂMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DA ÁGUA | 14 |
| 3.2 ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO – IET | 18 |
| 4 ELEMENTOS-TRAÇO NA ÁGUA E NO SEDIMENTO | 20 |
| 4.1 ELEMENTOS-TRAÇO NA ÁGUA..... | 20 |
| 4.2 ELEMENTOS-TRAÇO NO SEDIMENTO | 25 |
| 4.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA DOS ELEMENTOS TRAÇO | 29 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 31 |
| 6 RECOMENDAÇÕES | 32 |
| 7 REFERÊNCIAS..... | 33 |
| APÊNDICES..... | 36 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo..... | 6 |
| Figura 2 - Regime de precipitação pluviométrica do Rio Machado no período de janeiro a dezembro de 2019. Dados da estação pluviométrica (1061003)..... | 7 |
| Figura 3 - Regime hidrológico do Rio Machado entre janeiro de 2019 a dezembro de 2019. Fonte:(ANA, 2020). Cores em azul escuro indica o período de coleta. | 8 |
| Figura 4 – Imagens do Ciclo hidrológico de 2019 e sua respectiva variação de sazonalidade registrada no exutório do rio Tarumã. | 8 |
| Figura 5 - Delimitação das bacias hidrográficas da margem direita e margem esquerda do Rio Machado na área de estudo..... | 11 |
| Figura 6 - a) Draga de Van Veen para coleta de sedimento de fundo. b) Garrafa de Van Dorn para coleta de água superficial..... | 12 |
| Figura 7 - Fluxograma das análises e métodos realizados durante a pesquisa. | 13 |
| Figura 8 - Resultado da PCA dos elementos traço na água..... | 30 |
| Figura 9 - Resultado da PCA dos elementos traço nos sedimentos. | 31 |

LISTA DE TABELAS E QUADROS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Pontos de coleta de água e sedimentos, codificação e coordenadas..... | 5 |
| Tabela 2 - Características físicas e ambientais da Bacia hidrográfica (BH) do Rio Machado.. | 9 |
| Tabela 3 - Características morfométricas das bacias hidrográficas (BHs) da área de estudo. | 10 |
| Tabela 4 - Análises e métodos realizados durante a pesquisa. | 13 |
| Tabela 5 - Resultado estatístico dos parâmetros físicos e químicos na água..... | 18 |
| Tabela 6 - Valores dos limites das concentrações de fósforo total para os diferentes estados tróficos. | 18 |
| Tabela 7 - Índice de Estado Trófico – IET. | 20 |
| Tabela 8 - Estatística descritiva da concentração de elementos-traços na água (fração total). | 21 |
| Tabela 9 - Resultado estatístico dos elementos-traço na água ($\mu\text{g.L}^{-1}$) por sazonalidade (Águas altas/águas baixas) entre afluentes e rio principal | 21 |
| Tabela 10 - Resultado estatístico dos elementos-traço totais na água ($\mu\text{g.L}^{-1}$) por sazonalidade (vazante/enchente) entre afluentes e rio principal | 22 |
| Tabela 11 - Estatística descritiva da concentração de elementos-traço na fração dissolvida. | 23 |
| Tabela 12 - Resultado estatístico dos elementos traços dissolvidos na água ($\mu\text{g.L}^{-1}$) por sazonalidade entre afluentes e rio principal..... | 24 |
| Tabela 13 - Estatística descritiva da concentração de elementos-traço no sedimento. | 26 |
| Tabela 14 - Resultado estatístico das concentrações de elementos-traço no sedimento ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) por sazonalidade (águas altas e baixas) entre afluentes e rio principal. | 27 |
| Tabela 15 - Resultado estatístico das concentrações de elementos-traço no sedimento ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) por sazonalidade (vazante/enchente) entre afluentes e rio principal. | 28 |
| Tabela 16 – Resultado de comparação de médias (<i>Wilcoxon</i>) entre os elementos-traço por sazonalidade e sistema de contribuição..... | 29 |

LISTA DE APÊNDICES

| | |
|-------------------------|----|
| Apêndice I | 36 |
|-------------------------|----|

1 APRESENTAÇÃO

A Reserva Biológica do Jaru - REBIO do Jaru está situada entre o limite estadual Rondônia - Mato Grosso, o igarapé Azul e o Rio Machado e mantém sob sua proteção uma área de 3.468,61 km² (ICMBIO, 2019). Pertence em sua totalidade à bacia hidrográfica do Rio Machado, afluente do Rio Madeira que é afluente do Rio Amazonas, pela margem direita (ICMBIO, 2010).

O Rio Machado possui a extensão de aproximadamente 1.243 km desde a nascente (rio Pimenta Bueno) até a foz no Rio Madeira, ao norte do Estado (FERNANDES & GUIMARÃES, 2002). A bacia do Rio Machado é uma das principais bacias hidrográficas (BHs) do Estado de Rondônia com uma área total de drenagem de aproximadamente 75.400 km² de extensão (KRUSHER *et al.* 2005). A área do Estado é de cerca de 237.576 km², logo a bacia representa 31,73 % de sua totalidade.

Existe uma lacuna de informação acerca da dinâmica hidrogeoquímica dos corpos d'água de áreas protegidas por lei no Brasil, à exemplo da Reserva Biológica do Jaru, Rondônia. O monitoramento da qualidade da água é um dos principais instrumentos de sustentação de uma política de planejamento e de gestão dos recursos hídricos. Esse procedimento possibilita analisar por exemplo, os impactos que atividades antrópicas podem causar aos rios e igarapés. As informações geradas subsidiam a tomada de ações adequadas de controle ambiental (SILVA *et al.*, 2019).

Estudos sobre a biogeoquímica dos elementos-traço são fundamentais para o delineamento de um panorama referente às contribuições naturais e antrópicas para os ecossistemas amazônicos, além de contribuir para a identificação de possíveis áreas das fontes de contaminação. O sedimento de fundo é local de deposição acumuladora dos poluentes e uma fonte de contaminação em potencial, onde qualquer interferência nesse sistema pode causar sérios impactos no que se refere à ecotoxicologia desse ambiente (COSTA JUNIOR, 2017).

Este relatório técnico tem como objetivo apresentar as informações sobre as bacias hidrográficas estudadas quanto as suas características limnológicas e sobre as concentrações dos elementos-traços do Rio Machado e dos seus principais afluentes no trecho que delimita a Reserva Biológica do Jaru – Rondônia.

Com o intuito de subsidiar estudos ambientais, gestores ambientais e gestores de recursos hídricos, este relatório técnico foi elaborado tendo como referencial os resultados encontrados na pesquisa “ Hidrogeoquímica do Rio Machado e seus principais afluentes – Reserva Biológica do Jaru – Rondônia ” desenvolvida pelo mestrando Etienne Oliveira Silva, orientado pelo Prof. Dr. Ronaldo de Almeida e Prof.^a Dra. Elisabete Lourdes do Nascimento para o programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação dos Recursos Hídricos – Prof. Água.

O estudo foi dirigido para a investigação dos parâmetros limnológicos da água, quantificação dos elementos-traço na água e sedimento, comparando os valores encontrados, com os valores estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 357/2005, 420/2009 e 454/2012). Além disso, foi verificado através do cálculo do Índice de Estado Trófico (IET) a ocorrência de alterações na qualidade da água devido ao enriquecimento por nutrientes possibilitando a compreensão deste ecossistema sob condições naturais e antrópicas

2 ÁREA DE ESTUDO

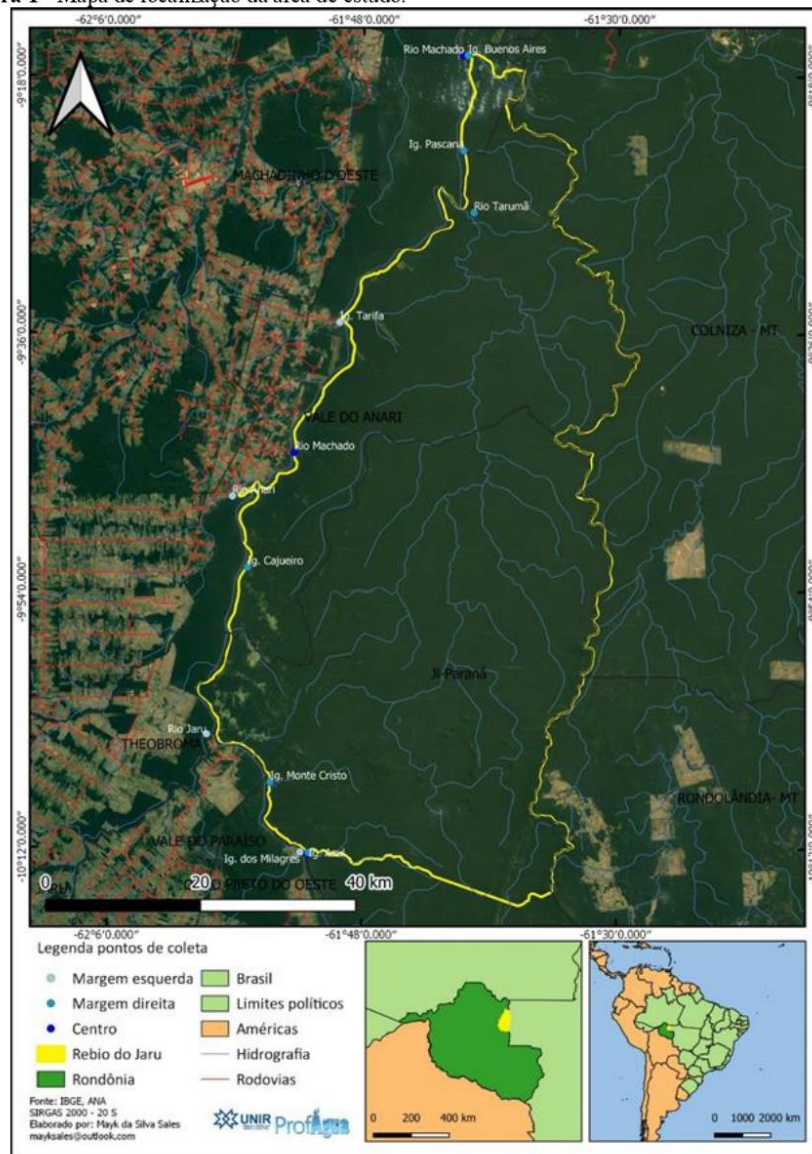
A área de estudo é o trecho do Rio Machado (Figura 1) que margeia e delimita a porção da Reserva Biológica do Jaru (9°50' 17,573"S e 61°42'28,333"O) com uma extensão de 144,6 km. Foram amostrados os principais afluentes do Rio Machado, sendo quatro corpos hídricos da margem esquerda e seis corpos hídricos da margem direita. Além disso, ao longo da extensão do rio Machado que delimita a unidade de conservação, mais três pontos de amostragem também foram estabelecidos. Totalizando 13 pontos (Tabela 1).

Tabela 1 - Pontos de coleta de água e sedimentos, codificação e coordenadas.

| Nome | Código | Latitude | Longitude | Descrição |
|---------------------------|--------|-----------|-----------|--------------------------|
| Igarapé Azul | P1 | -10,20592 | -61,86213 | Foz com Rio Machado |
| Rio Machado ^m | P2 | -10,20808 | -61,86360 | Entre leitos Rio Machado |
| Igarapé dos Milagres | P3 | -10,20518 | -61,87240 | Foz com Rio Machado |
| Igarapé Monte Cristo | P4 | -10,12351 | -61,90670 | Foz com Rio Machado |
| Igarapé Cajueiro | P5 | -9,87305 | -61,93507 | Foz com Rio Machado |
| Rio Anari | P6 | -9,79020 | -61,95318 | Foz com Rio Machado |
| Rio Machado ^{me} | P7 | -9,73899 | -61,88068 | Entre leitos Rio Machado |
| Igarapé Tarifa | P8 | -9,58721 | -61,82470 | Foz com Rio Machado |
| Rio Machado ^j | P9 | -9,27610 | -61,68258 | Entre leitos Rio Machado |
| Igarapé Buenos Aires | P10 | -9,27563 | -61,67765 | Foz com Rio Machado |
| Igarapé Pascana | P11 | -9,38651 | -61,68263 | Foz com Rio Machado |
| Rio Tarumã | P12 | -9,45895 | -61,67028 | Foz com Rio Machado |
| Rio Jaru | P13 | -10,06767 | -61,98288 | Foz com Rio Machado |

Observações: Montante = ^m; Médio = ^{me}; Jusante = ^j. Fonte: Próprio autor. Datum SIRGAS 2000 - 20 S.

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.

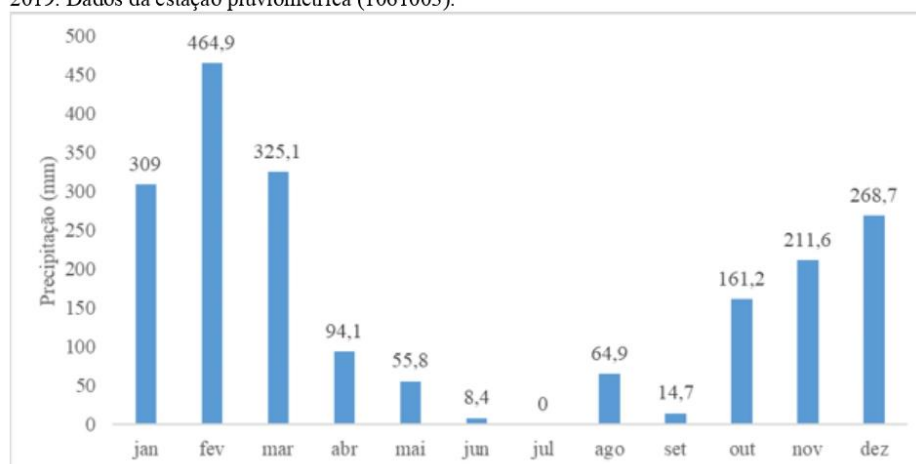


Fonte: Sales *et al* (2020).

Através da estação pluviométrica (1061003) da Agência Nacional de Águas (ANA) foi constatado que os meses mais chuvosos em 2019 foram janeiro, fevereiro e março sendo que o mês de fevereiro apresentou a máxima de 464,9 mm de precipitação e, o trimestre menos chuvoso foi referente aos meses de junho, julho e agosto, com mínima em agosto com 0 mm registrado, onde a precipitação anual não foi superior a 2000 mm, apresentando relação direta com o regime de escoamento superficial.

Volumes elevados de chuvas fazem com que o escoamento ocasione a lixiviação e carreamento de materiais dispostos para a área de drenagem da bacia e também contribuem para o revolvimento de sedimentos de fundo em decorrência do aumento da vazão (ALENCAR *et al.*, 2019). A Figura 2 corresponde ao regime de precipitação pluviométrica do Rio Machado na área estudada no período de janeiro a dezembro de 2019.

Figura 2 - Regime de precipitação pluviométrica do Rio Machado no período de janeiro a dezembro de 2019. Dados da estação pluviométrica (1061003).

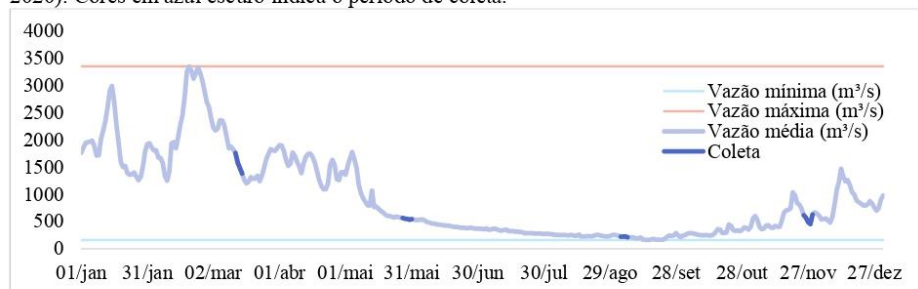


Fonte: ANA (2020).

Em consulta aos dados obtidos da estação pluviométrica (15560000) da Agência Nacional de Águas (ANA) no período correspondente ao regime de vazão do ano de 2019, foi possível verificar que a vazão média mínima foi de 160,58 m³/s na data de 15/09/2019 e a máxima registrada foi de 3.346,81 m³/s na data de 19/02/2019 (ANA, 2020). A figura 3 corresponde ao regime hidrológico do Rio Machado na área estudada no período de janeiro a dezembro de 2019. Entre o menor registro da vazão mínima e o maior registro da máxima, é possível

averiguar uma diferença de valor de mais de vinte vezes no decorrer do ciclo hidrológico. Essa variação sazonal foi registrada *in loco* no exutório do rio Tarumã, principal afluente da margem direita do Rio Machado da área estudada, ficando demonstrada na figura 4.

Figura 3 - Regime hidrológico do Rio Machado entre janeiro de 2019 a dezembro de 2019. Fonte: (ANA, 2020). Cores em azul escuro indica o período de coleta.



Fonte: ANA (2020).

Figura 4 – Imagens do Ciclo hidrológico de 2019 e sua respectiva variação de sazonalidade registrada no exutório do rio Tarumã.



Fonte: Próprio autor.

2.1 Caracterização física e ambiental das Bacias Hidrográficas

A Lei Federal nº 9.433, de 08.01.97, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos com seus fundamentos básicos, considerando a bacia hidrográfica como unidade territorial de gestão dos recursos hídricos (BRASIL, 1997).

As características físicas da bacia do rio Machado como vazão, altitude, declividade, comprimento do canal principal, precipitação média anual, e temperaturas médias mínimas e máximas na bacia são apresentados na Tabela 2 abaixo.

Tabela 2 - Características físicas e ambientais da Bacia hidrográfica (BH) do Rio Machado.

| Parâmetro | Valor |
|--------------------------------|--|
| Altitude máxima | 600,00 m |
| Altitude mínima | 75,00 m |
| Área | 75.400 km ² |
| Comprimento do canal principal | 972,00 km |
| Declividade média | 0,62 graus |
| Largura máxima | 500,00 m |
| Largura mínima | 150,00 m |
| Precipitação média anual | 2500,00 mm |
| Rede hidrográfica | 27.497,00 km |
| Temperatura média máxima | 33,00° C |
| Temperatura média mínima | 19,00° C |
| Vazão média anual | 700,00 m ³ .s ⁻¹ |

Fonte: (DINATO, 2013; Krusche *et al.*, 2005)

Toda a rede hidrográfica da REBIO do Jaru está inserida na bacia do Rio Machado correspondendo a 4,60% da área total dessa bacia hidrográfica. A área da unidade de conservação (UC) é de 3.468,61 km² e está distribuída em três municípios de Rondônia. Seus limites pertencem com maior abrangência ao município de Ji-Paraná correspondendo à 2.102,74 km² (60,62%) do território da unidade, seguido do município de Vale do Anari com 1.310,65 km² (37,79%) e do município de Machadinho D'Oeste com área correspondente de 55,22 km² (1,59%). No trecho estudado, os afluentes da margem direita do Rio Machado drenam a área da REBIO do Jaru e, na margem oposta, os afluentes referentes a margem esquerda, drenam uma área total de 8.834,45 km² correspondente a 11,71% da área total da BH do Rio Machado. As áreas de drenagem dessas BHs pertencentes à margem esquerda são constituídas de áreas com finalidades agrosilvopastoris, de núcleos urbanos e de parte de

remanescentes florestais na forma de fragmentos florestais. As características morfométricas das BHs da área de estudo são apresentadas na Tabela 3 abaixo.

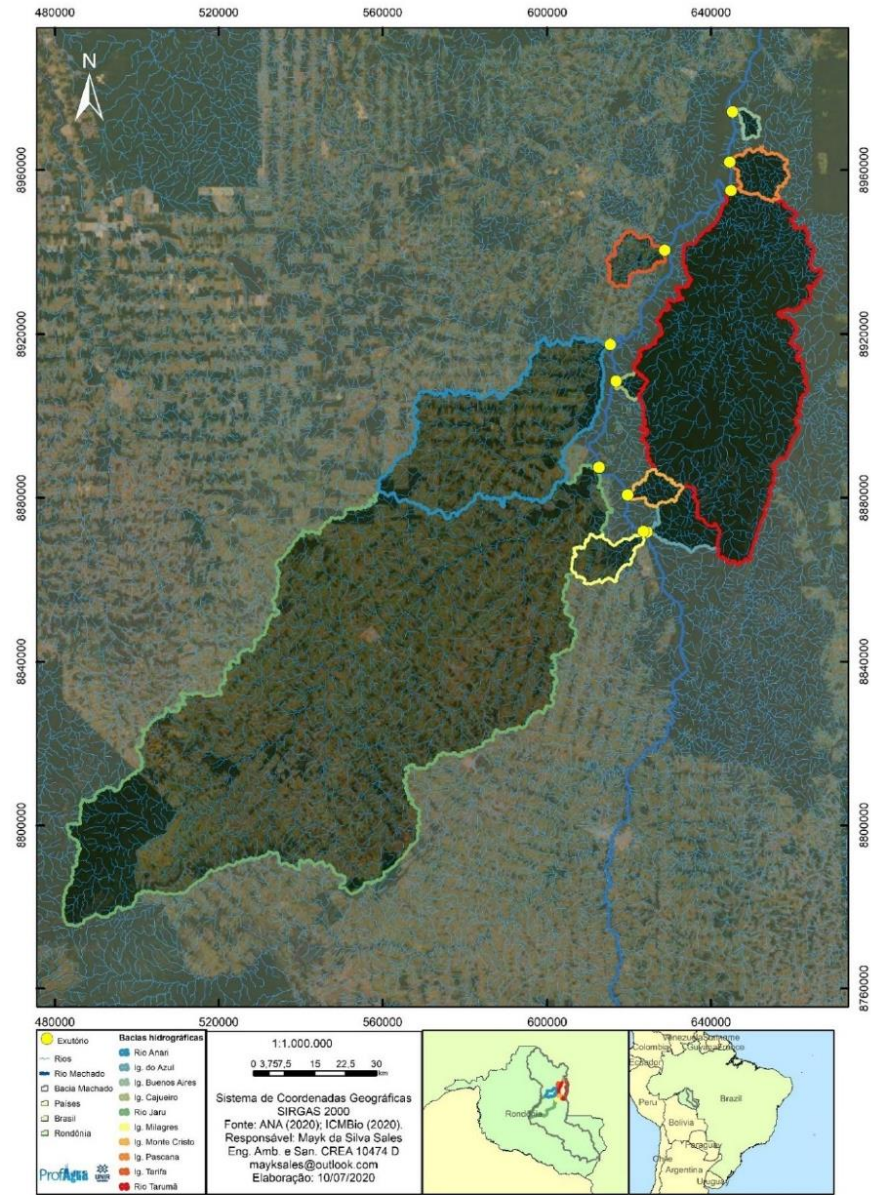
Tabela 3 - Características morfométricas das bacias hidrográficas (BHs) da área de estudo.

| Bacia | A | P | CA | Cc | FF | IC | D | DD | H mín. | H máx |
|-------------------------|---------|--------|--------|------|------|------|---------|------|--------|--------|
| Azul ^{MD} | 149,67 | 69,25 | 17,81 | 1,58 | 0,47 | 0,39 | 130,66 | 0,87 | 120,00 | 413,00 |
| Jaru ^{ME} | 7244,75 | 605,95 | 171,33 | 1,99 | 0,25 | 0,25 | 5201,95 | 0,72 | 105,00 | 586,00 |
| Cajueiro ^{MD} | 30,09 | 29,93 | 7,80 | 1,53 | 0,49 | 0,42 | 26,37 | 0,88 | 110,00 | 192,00 |
| Anari ^{ME} | 1345,21 | 244,62 | 66,86 | 1,87 | 0,30 | 0,28 | 1014,83 | 0,75 | 102,00 | 342,00 |
| Tarifa ^{ME} | 110,77 | 56,27 | 15,46 | 1,50 | 0,46 | 0,44 | 139,35 | 1,26 | 100,00 | 258,00 |
| Tarumã ^{MD} | 2537,00 | 449,00 | 90,80 | 1,86 | 0,24 | 0,30 | 1983,98 | 0,77 | 113,00 | 472,00 |
| Pascana ^{MD} | 120,67 | 59,90 | 14,91 | 1,53 | 0,54 | 0,42 | 123,40 | 1,02 | 97,00 | 232,00 |
| B. Aires ^{MD} | 25,84 | 30,81 | 8,72 | 1,70 | 0,34 | 0,34 | 20,98 | 0,81 | 91,00 | 169,00 |
| Milagres ^{ME} | 133,72 | 66,16 | 19,93 | 1,60 | 0,34 | 0,38 | 113,45 | 0,85 | 117,00 | 368,00 |
| M. Cristo ^{MD} | 66,26 | 43,83 | 13,65 | 1,51 | 0,36 | 0,43 | 59,04 | 0,89 | 120,00 | 402,00 |

A: Área (km²); P: Perímetro (km); CA: Comprimento Axial (km); Cc: Coeficiente de compacidade (adimensional); FF: Fator Forma (adimensional); IC: Índice de conformação; D: Drenagens (km); DD: Densidade de drenagem (km/km²); H mín: Cota mínima (m); H máx: Cota máxima (m). ^{MD}: Afluentes da margem direita. ^{ME}: Afluentes margem esquerda. Fonte: Próprio autor.

O rio Tarumã é a BH mais importante da REBIO do Jaru cobrindo aproximadamente 75 % da sua área, sendo que tem praticamente 100% de todos seus afluentes, apenas três afluentes nascem na Terra Indígena - T.I. Igarapé Lourdes. A BH do Rio Jaru é uma das mais impactadas em Rondônia, nascendo na Terra Indígena Uru Eu Wau Wau, banhando vários municípios e apresentando-se com poucas matas ciliares ao longo do seu percurso. Uma das principais fontes de poluição deste rio é o esgoto urbano. O Rio Anari deságua praticamente no centro do curso do Rio Machado, próximo da localidade denominada de Piratini, banhando o município do Vale do Anari. Nesta área predominam atividades agropecuárias e as florestas nativas foram substituídas em grande parte por pastagens (IBAMA, 2007). Nesse estudo, é importante o registro da constatação *in loco* do regime de drenagem intermitente na BH do Igarapé Monte Cristo no período hidrológico das águas baixas. A figura 5 demonstra o mapa de delimitação das bacias hidrográficas da margem direita e margem esquerda do Rio Machado na área de estudo.

Figura 5 – Delimitação das bacias hidrográficas da margem direita e margem esquerda do Rio Machado na área de estudo.

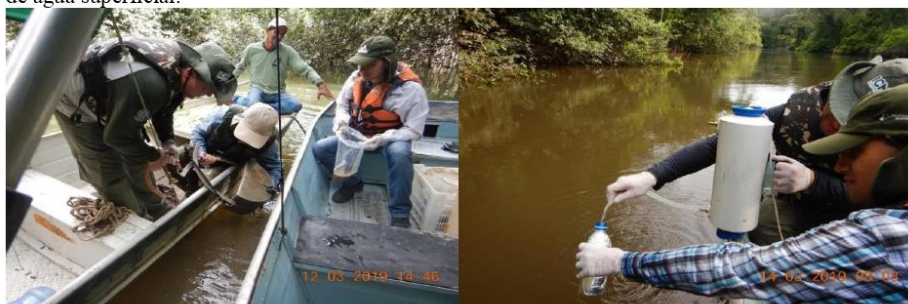


Fonte: Sales (2020).

2.2 Análise de água: variáveis limnológicas, elementos-traço na água e no sedimento

As coletas das amostras foram realizadas conforme preconizado no guia nacional de coleta e preservação de amostras (CETESB, 2011). A água destinada às análises físico-químicas, biológicas e determinação de elementos-traço foram coletadas com o uso da garrafa de *Van Dorn* e as amostras de sedimento de fundo foram coletadas com draga de *Van Veen* nos períodos distintos que compõem o ciclo hidrológico (Figura 6).

Figura 6 - a) Draga de Van Veen para coleta de sedimento de fundo. b) Garrafa de Van Dorn para coleta de água superficial.



Fonte: Próprio autor.

Nos laboratórios, todas as vidrarias que foram utilizadas para as análises sofreram processo de limpeza e descontaminação, tais como lavagens com detergente neutro, seguido de enxágue em água corrente e água destilada. Os recipientes, após a descontaminação foram mantidos lacrados até o momento da coleta.

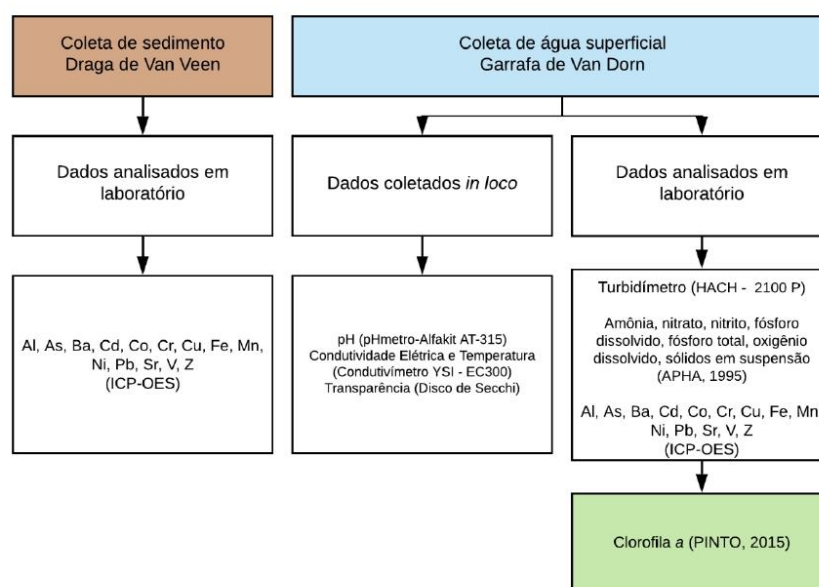
As metodologias de extrações químicas aplicadas no presente trabalho seguiram as descrições de APHA (1995) e de publicações que abordaram os mesmos tipos de análises e de amostragens (BASTOS et al, 1998; CETESB, 2011; CESTESB, 2014; COSTA JUNIOR, 2017; ESTEVES, 2011; PINTO, 2015; TAILLEFERT & GAILLARD, 2002). A tabela 4 e figura 7 apresentam os parâmetros, métodos utilizados e fluxograma das metodologias utilizadas.

Tabela 4 - Análises e métodos realizados durante a pesquisa.

| Parâmetro | Métodos | Referências |
|---|--------------------------|----------------|
| Transparência da Água | Disco de <i>Secchi</i> | ESTEVES (2011) |
| Temperatura | <i>in loco</i> por sonda | CETESB (2011) |
| Amônia | Espectrofotômetro | (APHA, 1995) |
| Condutividade Elétrica (CE) | <i>In loco</i> por Sonda | CETESB (2011) |
| Potencial Hidrogeniônico (pH) | <i>In loco</i> por Sonda | CETESB (2011) |
| Turbidez | Turbidímetro de bancada | CETESB (2011) |
| Amônia | Espectrofotômetro | APHA, (1995) |
| Nitrato | Espectrofotômetro | APHA, (1995) |
| Nitrito | Espectrofotômetro | APHA, (1995) |
| Fósforo Dissolvido | Espectrofotômetro | APHA, (1995) |
| Fósforo Total | Espectrofotômetro | APHA, (1995) |
| Oxigênio Dissolvido (OD) | Titulométrico | APHA, (1995) |
| Sólidos totais | Gravimétrico | APHA, (1995) |
| Clorofila <i>a</i> | Etanol Quente | APHA, (1995) |
| Metais (elementos-traço) (Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sr, V e Zn) | ICP-OES | APHA, (1995) |

Fonte: Próprio autor.

Figura 7 - Fluxograma das análises e métodos realizados durante a pesquisa.



Fonte: Próprio autor.

As amostras de água foram mantidas refrigeradas até a realização das análises limnológicas realizadas no Laboratório de Limnologia e Microbiologia-LABLIM da UNIR, *campus* de Ji-Paraná. Através da técnica de Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES), foram realizadas as análises das amostras dos elementos-traço: alumínio (Al), arsênio (As), bário (Ba), cádmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr) cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), níquel (Ni), chumbo (Pb), estrôncio (Sr), vanádio (V) e zinco (Zn) na água e sedimento no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental Wolfgang Christian Pfeiffer da UNIR, *campus* de Porto Velho.

Para o controle de qualidade analítico na determinação das concentrações dos elementos-traço nas matrizes água e sedimento adotou-se a preparação das amostras em duplicatas e branco controle, com intuito de verificar possíveis contaminantes presentes nos reagentes utilizados durante todo o processo. Também foram utilizadas amostras da referência certificada para determinar a exatidão dos resultados obtidos. O EnviroMAT SS-2 (SCP Science 140-025-002, QC, Canadá) foi utilizado como material de referência do solo para análise (SCP-SCIENCE, 2005).

3 QUALIDADE DA ÁGUA

3.1 Parâmetros físicos, químicos e biológicos da água

Todos os valores obtidos das variáveis limnológicas na matriz água, foram comparados com a Resolução do CONAMA 357/2005 que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, trazendo à luz que as águas de classe especial são águas destinadas ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção; preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e, a preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral, como por exemplo, a REBIO do Jaru.

A Resolução do CONAMA nº 357/2005 não estabelece valores de referência para o parâmetro condutividade elétrica – CE, no entanto, é esperado que em águas naturais o valor encontrado não ultrapasse a $100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, pois altos valores, indicam ambientes impactados e características corrosivas da água (CETESB, 2018). Na presente pesquisa, todos os pontos verificados também apresentaram resultados inferiores ao valor citado.

Os pontos amostrais na matriz água para as variáveis fósforo total, amônia, nitrato e turbidez apresentaram valores médios em todo o ciclo hidrológico em conformidade com as referências descritas nas classes 1 e 2 da Resolução CONAMA 357/05. Apesar de não possuir valores de referência estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, o fósforo dissolvido (ortofosfato) é uma variável de interesse para estudos limnológicos, pois é a forma de fosfato disponível para o fitoplâncton (NASCIMENTO, 2006).

Cabe ressaltar que nesse estudo, o maior valor encontrado para a amônia ($1277,60 \mu\text{g.L}^{-1}$) foi no Igarapé Monte Cristo no período hidrológico das águas baixas. Esse Igarapé apresentou-se intermitente e a coleta da amostra foi realizada num poço d'água encontrado aproximadamente 500 metros de seu exutório com vestígios *in loco* de sua utilização para a dessedentação de animais silvestres, o que pode explicar as elevadas concentrações de amônia encontradas neste local.

Considerando todos os períodos sazonais e todas as estações de coleta, a média da variável nitrato apresentou resultados em desconformidade com os valores de referência ($10,00 \text{ mg.L}^{-1} \text{ NO}_3$). No ponto correspondente ao médio Rio Machado o valor médio chegou a ($18,61 \pm 17,86 \text{ mg.L}^{-1}$) enquanto no Igarapé Azul foi encontrado o menor valor médio de ($14,08 \pm 13,77 \text{ mg.L}^{-1}$). Por outro lado, ao considerar os dois períodos sazonais referentes as águas baixas e a enchente, todos os pontos apresentaram conformidade com a legislação pertinente.

De acordo com a Resolução do CONAMA 357/2005, os valores de Oxigênio Dissolvido (OD) para os rios de Classe 1 e Classe 2 devem ser maiores que 6 mg.L^{-1} e 5 mg.L^{-1} , respectivamente. Apenas o rio Tarumã não apresentou conformidade com o estabelecido pela legislação quando comparado com a Classe 1, com média geral de ($5,41 \pm 0,95 \text{ mg.L}^{-1}$) em todo o ciclo hidrológico.

Porém, cabe considerar que toda a extensão do Rio tarumã está inserida em áreas protegidas por lei, onde a legislação traz o entendimento que ao realizar o enquadramento de um rio em Classe especial impõe que devem ser mantidas as condições naturais do corpo de água e o seu uso são destinados à conservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas e preservação de ambientes aquáticos em unidades de conservação.

O material particulado em suspensão (MPS) ou sólidos totais dissolvidos (STD) nos pontos amostrais estiveram abaixo do valor máximo permitido para rios de classe 1 e 2 conforme a resolução CONAMA. A Turbidez em valores elevados, podem reduzir o processo de fotossíntese da vegetação submersa e das algas, diminuindo a produção de oxigênio dissolvido (VON SPERLING, 2005). Quanto a turbidez, todos os pontos amostrais apresentaram valores inferiores à 100 UNT, conforme estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005

O resultado estatístico quanto aos valores mínimos, médios e máximos dos parâmetros físico-químicos na matriz água e dos valores encontrados para o índice de estado trófico estão apresentados na tabela 5.

O menor valor de Condutividade elétrica-CE aferido foi de (5,50 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), encontrado no período da vazante no Igarapé Cajueiro e a maior condutância obtida foi de (75,10 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) no período das águas baixas no Rio Jaru. O fósforo total (P tot) registrou a média geral de (63,57 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$). O valor mínimo encontrado foi nas águas altas (13,86 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) no Rio Tarumã e o máximo valor encontrado foi na enchente (119,33 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) no ponto do Rio Machado à montante. O fósforo dissolvido (Pd) apresentou a média geral de (28,24 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$). O menor valor encontrado foi na enchente (4,94 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) no Igarapé cajueiro e o maior valor encontrado foi na vazante (113,17 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) no Rio Jaru.

A média geral do nitrato (NO_3^-) foi registrada no valor de (16,01 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$). O mínimo valor encontrado foi nas águas baixas (0,17 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) no Igarapé Azul e o máximo valor encontrado foi na vazante (37,41 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) no ponto correspondente ao médio Rio Machado.

O nitrito (NO_2^-) apresentou o valor de média geral de (7,34 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), sendo o menor valor encontrado na vazante (0,77 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) no Igarapé Buenos Aires e o maior valor encontrado na enchente (25,07 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) no ponto correspondente a jusante do Rio Machado. As concentrações de amônia ($\text{NH}_3\text{-NH}_4^+$) apresentaram valores de média geral de (75,64 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$). O menor valor encontrado foi na vazante (2,10 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) no Igarapé dos Milagres e o maior valor encontrado foi nas águas baixas (1277,60 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) no Igarapé Monte Cristo.

Neste estudo, o Oxigênio dissolvido registrou a média geral de (7,61 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$). O menores valores encontrados foram na vazante e nas águas baixas (4,67 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) no Rio Tarumã e o maior

valor encontrado foi nas águas baixas (11,67 mg.L⁻¹) no ponto correspondente à montante do Rio Machado.

O potencial hidrogeniônico, não demonstrou grandes variações sazonais, variando entre 4,07 a 7,63, mas apresentou diferença significativa. O valor do potencial hidrogeniônico (pH) registrou a média geral de (6,51). O menor valor encontrado foi na vazante (4,07) no Igarapé Buenos Aires e o maior valor encontrado foi nas águas baixas (7,63) no Rio Jaru.

Os valores para o material particulado em suspensão (MPS) ou sólidos em suspensão apresentaram a média geral de (48,25 mg.L⁻¹). O menor valor encontrado foi nas águas baixas (4,00 mg.L⁻¹) no Rio Tarumã e o maior valor encontrado também nas águas baixas foi de (112,0 mg.L⁻¹) no ponto correspondente à montante do Rio Machado. Com relação a temperatura da água, a média geral foi de (27,41°C). O menor valor encontrado foi na enchente (24,90 °C) no Igarapé Azul e o maior valor encontrado foi na vazante (31,20 °C) no Igarapé Monte Cristo.

A transparência da água apresentou a média geral de (0,64 m). O menor valor encontrado foi nas águas baixas (0,20 m) no Igarapé Monte Cristo e o maior valor encontrado foi nas águas altas (1,2 m) no Igarapé Buenos Aires. Os resultados da turbidez registraram a média geral de (25,35 UNT). O menor valor encontrado foi na vazante (4,00 UNT) no Igarapé Monte Cristo e o maior valor encontrado foi na enchente (86,10 UNT) no ponto correspondente ao Rio Machado à montante.

A Clorofila *a* não teve os seus valores detectados no período das águas baixas, mas foi possível detectar nos demais períodos do ciclo hidrológico, a menor variação de média foi apresentada nos afluentes da margem direita (1,09 µg.L⁻¹) no período das águas altas e a maior variação média (5,30 µg.L⁻¹) também nos afluentes da margem direita no período da vazante. O maior valor encontrado foi na vazante (16,09 µg.L⁻¹) no afluente da margem direita (Igarapé Monte Cristo) e o menor valor encontrado foi de (0,24 µg.L⁻¹) no período das águas altas no afluente também da margem direita (Igarapé Cajueiro).

Tabela 5 - Resultado estatístico dos parâmetros físicos e químicos na água.

| Parâmetro | Mínimo | Máximo | Mediana | Média | Variância | Desvio Padrão |
|---|--------|---------|---------|-------|-----------|---------------|
| CE | 5,50 | 75,10 | 32,05 | 29,06 | 269,98 | 16,43 |
| IET | 44,34 | 61,39 | 55,03 | 54,49 | 13,00 | 3,61 |
| P d | 4,94 | 113,17 | 23,38 | 28,24 | 454,34 | 21,32 |
| P tot | 7,40 | 197,40 | 58,03 | 63,57 | 1287,58 | 35,88 |
| NO ₃ ⁻ | 0,17 | 37,41 | 11,59 | 16,01 | 236,41 | 15,38 |
| NO ₂ ⁻ | 0,77 | 25,07 | 5,60 | 7,34 | 43,93 | 6,63 |
| NH ₃ -NH ₄ ⁺ | 2,10 | 1277,60 | 26,35 | 75,64 | 40310,75 | 200,78 |
| OD | 4,67 | 11,67 | 7,24 | 7,61 | 2,37 | 1,54 |
| pH | 4,07 | 7,63 | 6,70 | 6,51 | 0,45 | 0,67 |
| MPS | 4,00 | 112,00 | 48,70 | 48,25 | 0,55 | 26,55 |
| T H2O | 24,90 | 31,20 | 27,60 | 27,41 | 2,59 | 1,61 |
| T Ar | 25,00 | 33,70 | 28,65 | 28,78 | 3,41 | 1,85 |
| Transp | 0,20 | 1,20 | 0,63 | 0,64 | 0,08 | 0,29 |
| Turbidez | 4,00 | 86,10 | 21,70 | 25,35 | 376,69 | 19,41 |

Valor de referência CONAMA N° 357/05 águas doce Classe 1 e 2: 100,00 µg.L⁻¹ Pt; 10,00 mg.L⁻¹ NO₃⁻; 1000,00 µg.L⁻¹ NO₂⁻; 3,7 mg.L⁻¹ NH₃, para pH ≤ 7,5; 2,0 mg.L⁻¹ NH₃, para 7,5 < pH ≤ 8,0; 1,0 mg.L⁻¹ NH₃, para 8,0 < pH ≤ 8,5; 0,5 mg.L⁻¹ NH₃, para pH > 8,5. OD > 6,00 mg.L⁻¹ Classe 1; OD > 5,00 mg.L⁻¹. Classe 2: 6,00 ≤ pH ≤ 9,00; UNT ≤ 40 Classe 1; UNT ≤ 100 Classe 2. Fonte: Próprio autor.

3.2 Índice de Estado Trófico – IET

A classificações foram realizadas em todos os períodos correspondentes ao ciclo hidrológico de 2019 de acordo com os limites das concentrações de fósforo total para os diferentes níveis tróficos. Os limites estabelecidos para as diferentes classes de trofia para rios são: ultraoligotrófico (IET ≤ 47), oligotrófico (47 < IET ≤ 52), mesotrófico (52 < IET ≤ 59), eutrófico (59 < IET ≤ 63), supereutrófico (63 < IET ≤ 67) e hipereutrófico (IET > 67) e estão apresentados na tabela 11. IET para Rios segundo Lamparelli (2004).

Tabela 6 - Valores dos limites das concentrações de fósforo total para os diferentes estados tróficos.

| Estado trófico | Fósf. total (µg.L ⁻¹) | Ponderação | Clorofila <i>a</i> (µg.L ⁻¹) | Secchi (m) |
|-------------------|-----------------------------------|---------------|--|---------------|
| Ultraoligotrófico | ≤ 13 | IET ≤ 47 | ≤ 0,74 | ≥ 2,4 |
| Oligotrófico | 13 < PT ≤ 35 | 47 < IET ≤ 52 | 0,74 < Cla ≤ 1,31 | 2,4 > S ≥ 1,7 |
| Mesotrófico | 35 < PT ≤ 137 | 52 < IET ≤ 59 | 1,31 < Cla ≤ 2,96 | 1,7 > S ≥ 1,1 |
| Eutrófico | 137 < PT ≤ 296 | 59 < IET ≤ 63 | 2,96 < Cla ≤ 4,70 | 1,1 > S ≥ 0,8 |
| Supereutrófico | 296 < PT ≤ 640 | 63 < IET ≤ 67 | 4,70 < Cla ≤ 7,46 | 0,8 > S ≥ 0,6 |

| Estado trófico | Fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) | Ponderação | Clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g.L}^{-1}$) | Secchi (m) |
|----------------|--|-------------------|---|------------|
| Hipereutrófico | $640 < \text{PT}$ | $\text{IET} > 67$ | $> 7,46$ | $< 0,6$ |

Fonte: Lamparelli, 2004.

O índice de estado trófico (IET) determinado pela aplicação da equação de Lamparelli (2004), de acordo com os valores limites das concentrações de fósforo total encontrados para os diferentes níveis tróficos apresentou a média geral de 54,49 em todo o ciclo hidrológico. Tanto o menor quanto o maior valor encontrado, foram registrados na vazante, sendo o menor valor de 44,34 no Igarapé Azul e o maior valor encontrado de 61,39 foi no Rio Anari.

O cálculo do Índice de Estado trófico - IET para as concentrações de fósforo total indicaram neste estudo que o Rio Machado em seus trechos correspondentes aos pontos médio e a jusante, Igarapé Tarifa, Igarapé Buenos Aires, Igarapé Pascana e Rio Jaru tiveram classificação quanto aos seus estados tróficos como mesotrófico ($52 < \text{IET} \leq 59$) em todas as campanhas do ciclo hidrológico. Evidenciando corpos de água com produtividade intermediária, com possíveis implicações futuras sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis.

Quanto a sazonalidade, o ponto correspondente ao Rio Machado à montante, no período da vazante, foi classificado como ultraoligotrófico ($\text{IET} \leq 47$) e mesotrófico para os demais períodos. A média do IET para todos os corpos hídricos analisados apresentou-se como “mesotrófico” em quase todos os períodos sazonais. A exceção foi o Igarapé Azul que apresentou estado trófico como “oligotrófico” (51,14).

O Rio Anari apresentou a classificação de seu estado em eutrófico (61,39) no período de vazante, onde tal achado revela implicações sobre a qualidade da água entendida como eutrofização indicando alta produtividade em relação às condições naturais, com redução da transparência, em geral afetado por atividades antrópicas, nos quais ocorrem alterações indesejáveis na qualidade da água decorrente do aumento da concentração de nutrientes e interferência nos seus múltiplos usos. É provável que a entrada de nutrientes no período da vazante excedeu a capacidade de autodepuração do Rio Anari, indicando a eutrofização.

Sales (2020) ao estudar a cobertura da terra da bacia hidrográfica do Rio Anari, concluiu que 75,33% do uso da bacia são por pastagens. Nesta área, predominam atividades agropecuárias e as florestas nativas foram substituídas em grande parte por pastagens, onde as condições

ambientais referentes ao uso e conservação do solo e preservação das águas são precárias. Tal situação, está relacionada com o fato de sua área ser uma das primeiras destinadas aos Projetos de colonização do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA (IBAMA, 2007).

O Igarapé Azul, apresentou-se como “ultraoligotrófico” (45,58) no período de vazante e como “oligotrófico” (48,99) nas águas altas. Já o Rio tarumã apresentou-se como “oligotrófico” nas águas altas e enchente respectivamente (47,59; 51,49), sendo ambos caracterizados como corpos d’água limpos, com pouca produção primária, dos quais não ocorrem uso indesejado da água em decorrência de seus limites estarem inseridos no interior de uma unidade de conservação (REBIO do Jaru).

Tabela 7 - Índice de Estado Trófico – IET.

| Ponto | Águas altas | Vazante | Águas baixas | Enchente | Média | Desv. Padrão |
|-----------------------|-------------|---------|--------------|----------|-------|--------------|
| Azul | 48,99 | 45,58 | 55,22 | 54,77 | 51,14 | 4,67 |
| Machado ^m | 53,14 | 46,10 | 57,78 | 58,78 | 53,95 | 5,78 |
| Milagres | 53,23 | 44,34 | 57,96 | 56,14 | 52,92 | 6,04 |
| Monte Cristo | 53,98 | 48,14 | 58,24 | 50,15 | 52,63 | 4,46 |
| Cajueiro | 55,92 | 55,33 | 56,14 | 51,63 | 54,76 | 2,11 |
| Anari | 51,40 | 61,39 | 55,50 | 52,67 | 55,24 | 4,44 |
| Machado ^{me} | 52,95 | 58,03 | 57,60 | 57,91 | 56,62 | 2,46 |
| Tarifa | 53,66 | 57,22 | 57,78 | 52,55 | 55,30 | 2,59 |
| Machado ^j | 55,47 | 56,85 | 55,36 | 58,40 | 56,52 | 1,42 |
| Buenos Aires | 54,36 | 53,52 | 54,77 | 57,78 | 55,11 | 1,86 |
| Pascana | 52,85 | 55,07 | 54,36 | 58,32 | 55,15 | 2,31 |
| Tarumã | 47,59 | 54,40 | 55,00 | 51,49 | 52,12 | 3,39 |
| Jaru | 54,85 | 57,61 | 57,13 | 57,87 | 56,86 | 1,38 |

Observações: ^m montante; ^{me} médio; ^j jusante.

Fonte: Próprio autor.

4 ELEMENTOS-TRAÇO NA ÁGUA E NO SEDIMENTO

4.1 Elementos-traço na água

Todos os valores obtidos das concentrações dos elementos-traços na matriz água, foram comparados com a Resolução do CONAMA 357/2005 que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Conforme o Art 15. da

Resolução CONAMA 375/2005 aplicam-se as águas doces de classe 2 as condições e padrões da classe 1 previstos para os elementos-traços estudados.

Na estatística descritiva as concentrações médias totais dos elementos-traço na água apresentaram a seguinte ordem decrescente Zn > Fe > Mn > Al > Ni > Ba > Sr > V > As > Pb > Cd > Cu > Co. Na fração total, o cromo (Cr) não foi detectado em todo o ciclo hidrológico analisado.

Tabela 8 - Estatística descritiva da concentração de elementos-traços na água (fração total).

| Estadística | Mínimo | Máximo | Mediana | Média | Variância | Desvio Padrão |
|-------------|--------|--------|---------|---------|-----------|---------------|
| Al | 25,93 | 250,8 | 86,64 | 99,23 | 2351,07 | 48,49 |
| As | 0,29 | 5,52 | 2,82 | 2,78 | 2,27 | 1,51 |
| Ba | 1,33 | 45,46 | 22,4 | 23,21 | 145,97 | 12,08 |
| Cd | 3,56 | 3,81 | 3,65 | 3,67 | 0,01 | 0,07 |
| Co | 0,19 | 0,56 | 0,35 | 0,35 | 0,01 | 0,1 |
| Cu | 0,05 | 3,07 | 1,26 | 1,46 | 1,54 | 1,24 |
| Fe | 12,24 | 2931 | 967,75 | 1018,09 | 393177 | 627,04 |
| Mn | 3,91 | 260,7 | 36,7 | 54,76 | 2762,13 | 52,56 |
| Ni | 0,13 | 97,42 | 5,13 | 10,79 | 510,43 | 22,59 |
| Pb | 0,04 | 5,34 | 0,78 | 1,3 | 1,94 | 1,39 |
| Sr | 2,64 | 25,86 | 12,97 | 12,08 | 28,29 | 5,32 |
| V | 1,44 | 9,76 | 8,56 | 7,2 | 8,26 | 2,87 |
| Zn | 0,01 | 3192 | 24,42 | 105 | 192193 | 438,4 |

Fonte: Próprio autor.

As concentrações médias dos elementos-traços totais na água por sazonalidade entre os afluentes e o Rio Machado apresentaram-se na seguinte ordem decrescente Fe > Al > Mn > Ba > Sr > V > Zn.

Tabela 9 - Resultado estatístico dos elementos-traço na água ($\mu\text{g.L}^{-1}$) por sazonalidade (Águas altas/águas baixas) entre afluentes e rio principal

| Parâmetro | Sistema | Águas altas | | | Águas baixas | | |
|-----------|---------|-------------|--------|--------|--------------|--------|-------|
| | | Min | Máx | Média | Min | Máx | Média |
| Al | RM | 148,80 | 201,80 | 175,70 | 57,39 | 126,30 | 84,13 |
| Al | MD | 53,93 | 163,20 | 114,80 | 25,93 | 250,80 | 96,95 |
| Al | ME | 87,44 | 131,10 | 105,70 | 38,87 | 72,90 | 57,15 |
| As | RM | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| As | MD | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| As | ME | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| Ba | RM | 34,86 | 43,65 | 38,51 | 7,17 | 27,61 | 18,89 |
| Ba | MD | 10,23 | 36,98 | 27,53 | 3,15 | 41,36 | 15,75 |
| Ba | ME | 14,61 | 42,84 | 32,39 | 9,08 | 23,17 | 14,49 |
| Cd | RM | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| Cd | MD | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| Cd | ME | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |

| Parâmetro | Sistema | Águas altas | | | Águas baixas | | |
|-----------|---------|-------------|---------|---------|--------------|---------|--------|
| | | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| Co | RM | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| Co | MD | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| Co | ME | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| Cu | RM | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| Cu | MD | <LDT | 0,05 | <LDT | <LDT | 1,26 | 0,21 |
| Cu | ME | <LDT | 3,07 | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| Fe | RM | 1367,00 | 1589,00 | 1547,00 | 224,90 | 673,60 | 514,90 |
| Fe | MD | 478,90 | 1503,00 | 921,80 | 75,83 | 2931,00 | 914,12 |
| Fe | ME | 1445,00 | 2217,00 | 1764,50 | 525,20 | 1258,00 | 943,85 |
| Mn | RM | 34,30 | 58,46 | 57,50 | 33,64 | 61,04 | 51,60 |
| Mn | MD | 12,20 | 51,78 | 27,93 | 6,07 | 260,70 | 117,20 |
| Mn | ME | 28,14 | 97,77 | 51,99 | 23,46 | 54,29 | 34,61 |
| Ni | RM | <LDT | 0,30 | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| Ni | MD | <LDT | 0,14 | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| Ni | ME | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| Pb | RM | <LDT | 0,41 | 0,04 | <LDT | 2,64 | 0,88 |
| Pb | MD | <LDT | 1,17 | <LDT | <LDT | 5,34 | 1,72 |
| Pb | ME | <LDT | 2,18 | 0,36 | <LDT | 1,90 | 0,86 |
| Sr | RM | 13,95 | 15,36 | 15,03 | 6,83 | 15,34 | 10,90 |
| Sr | MD | 4,81 | 15,33 | 9,75 | 3,16 | 12,56 | 7,76 |
| Sr | ME | 9,17 | 19,94 | 14,28 | 6,48 | 13,37 | 9,90 |
| V | RM | 8,26 | 8,36 | 8,28 | 8,92 | 9,73 | 9,44 |
| V | MD | 7,46 | 9,11 | 8,45 | 8,53 | 9,61 | 9,05 |
| V | ME | 7,73 | 8,82 | 8,02 | 8,67 | 9,48 | 9,12 |
| Zn | RM | 5,35 | 21,81 | 12,28 | 64,08 | 155,70 | 94,97 |
| Zn | MD | 5,05 | 52,70 | 17,39 | 21,56 | 3192,00 | 655,43 |
| Zn | ME | 6,40 | 28,15 | 18,45 | 27,48 | 216,70 | 113,75 |

Observações: RM: Rio Machado; MD: Margem direita (Afluentes da Rebio Jarú); ME: Margem esquerda (Afluentes do Rio Machado no entorno da Rebio Jarú); <LDT: Abaixo do limite de detecção da técnica. Próprio autor

Tabela 10 - Resultado estatístico dos elementos-traço totais na água ($\mu\text{g.L}^{-1}$) por sazonalidade (vazante/enchente) entre afluentes e rio principal

| Parâmetro | Sistema | Vazante | | | Enchente | | |
|-----------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|--------|
| | | Mín | Max | Média | Mín | Máx | Média |
| Al | RM | 134,30 | 228,90 | 148,80 | 100,40 | 183,00 | 130,80 |
| Al | MD | 36,02 | 130,00 | 58,73 | 45,14 | 139,30 | 67,96 |
| Al | ME | 85,36 | 95,59 | 90,79 | 63,64 | 106,30 | 88,01 |
| As | RM | <LDT | <LDT | <LDT | 1,96 | 3,56 | 2,74 |
| As | MD | <LDT | <LDT | <LDT | 0,29 | 4,23 | 2,86 |
| As | ME | <LDT | <LDT | <LDT | 0,75 | 5,52 | 2,85 |
| Ba | RM | 32,95 | 43,39 | 35,17 | 23,46 | 42,10 | 24,79 |
| Ba | MD | 1,33 | 26,55 | 14,00 | 8,29 | 29,08 | 18,23 |
| Ba | ME | 15,43 | 39,93 | 22,48 | 19,13 | 45,46 | 24,22 |
| Cd | RM | <LDT | <LDT | <LDT | 3,56 | 3,69 | 3,59 |
| Cd | MD | <LDT | <LDT | <LDT | 3,64 | 3,73 | 3,65 |
| Cd | ME | <LDT | <LDT | <LDT | 3,58 | 3,81 | 3,72 |
| Co | RM | <LDT | <LDT | <LDT | 0,24 | 0,56 | 0,33 |
| Co | MD | <LDT | <LDT | <LDT | 0,19 | 0,42 | 0,33 |
| Co | ME | <LDT | <LDT | <LDT | 0,21 | 0,46 | 0,41 |
| Cu | RM | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| Cu | MD | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| Cu | ME | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| Fe | RM | 1390,00 | 1727,00 | 1434,00 | 555,70 | 1404,00 | 870,70 |

| Parâmetro | Sistema | Vazante | | | Enchente | | |
|-----------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| | | | | | | | |
| Fe | MD | 260,30 | 971,80 | 535,75 | 161,70 | 963,70 | 425,80 |
| Fe | ME | 1317,00 | 1913,00 | 1881,50 | 12,24 | 1696,00 | 1188,00 |
| Mn | RM | 51,08 | 104,90 | 54,58 | 24,74 | 105,60 | 62,57 |
| Mn | MD | 3,91 | 58,37 | 22,48 | 7,87 | 52,96 | 21,99 |
| Mn | ME | 25,33 | 60,54 | 52,51 | 51,04 | 185,30 | 77,74 |
| Ni | RM | <LDT | <LDT | <LDT | 5,53 | 5,92 | 5,75 |
| Ni | MD | <LDT | <LDT | <LDT | 4,64 | 7,68 | 5,04 |
| Ni | ME | <LDT | <LDT | <LDT | 5,02 | 97,42 | 10,00 |
| Pb | RM | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | 0,30 | <LDT |
| Pb | MD | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | 0,75 | <LDT |
| Pb | ME | <LDT | 0,35 | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| Sr | RM | 15,18 | 16,31 | 15,94 | 14,36 | 19,48 | 14,71 |
| Sr | MD | 2,64 | 8,55 | 5,45 | 10,49 | 16,76 | 12,31 |
| Sr | ME | 9,38 | 23,13 | 12,02 | 17,26 | 25,86 | 21,05 |
| V | RM | 9,45 | 9,72 | 9,47 | 2,39 | 3,62 | 2,76 |
| V | MD | 8,21 | 9,24 | 8,74 | 1,61 | 2,64 | 1,91 |
| V | ME | 8,32 | 9,76 | 9,31 | 1,44 | 2,79 | 2,52 |
| Zn | RM | 0,01 | 15,68 | 4,51 | 13,88 | 28,97 | 27,95 |
| Zn | MD | 0,47 | 39,20 | 26,99 | 8,73 | 71,97 | 8,98 |
| Zn | ME | 12,55 | 50,41 | 26,33 | 6,63 | 40,77 | 17,42 |

Observações: RM: Rio Machado; MD: Margem direita (Afluentes da Rebio Jaru); ME: Margem esquerda (Afluentes do Rio Machado no entorno da Rebio Jaru); <LDT: Abaixo do limite de detecção da técnica. Próprio autor

O alumínio (Al) total registrou o maior valor de média total de (250,80 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no período das águas baixas no Igarapé Buenos Aires e o alumínio dissolvido teve maior valor encontrado nas águas altas (158,30 $\mu\text{g.L}^{-1}$) no Igarapé Tarifa, apresentando desconformidade com a legislação.

O zinco registrou desconformidade em relação ao limite máximo permitido (180 $\mu\text{g.L}^{-1}$), onde o maior valor encontrado foi de (3192,00 $\mu\text{g.L}^{-1}$) nas águas baixas no Igarapé Buenos Aires.

Na estatística descritiva das concentrações dos elementos-traço dissolvidos observam-se que seus valores foram verificados em apenas dois períodos sazonais (águas altas e baixas), onde as concentrações médias dos metais dissolvidos na água apresentaram-se na seguinte ordem decrescente Fe> Mn> Zn> Ba>Al> Sr>Pb>V>Ni.

Tabela 11 - Estatística descritiva da concentração de elementos-traço na fração dissolvida.

| Estatística | Al | Ba | Fe | Mn | Ni | Pb | Sr | V | Zn |
|-------------|---------|--------|-----------|----------|------|-------|-------|------|---------|
| Mínimo | 7,70 | 27,66 | 98,61 | 0,65 | 1,01 | 0,24 | 3,87 | 7,26 | 3,32 |
| Máximo | 158,30 | 167,40 | 1369,00 | 677,90 | 6,21 | 13,29 | 28,45 | 9,12 | 454,10 |
| Mediana | 39,79 | 49,10 | 385,90 | 12,81 | 1,23 | 2,17 | 15,09 | 8,30 | 31,47 |
| Média | 60,59 | 51,61 | 580,24 | 47,79 | 2,82 | 3,95 | 14,49 | 8,32 | 58,99 |
| Variância | 1938,52 | 634,37 | 178754,04 | 17703,16 | 5,78 | 16,42 | 37,48 | 0,18 | 8009,46 |

| Estatística | Al | Ba | Fe | Mn | Ni | Pb | Sr | V | Zn |
|---------------|-------|-------|--------|--------|------|------|------|------|-------|
| Desvio Padrão | 44,03 | 25,19 | 422,79 | 133,05 | 2,40 | 4,05 | 6,12 | 0,42 | 89,50 |

Fonte: Próprio autor.

As concentrações dos elementos-traço na fração dissolvida foram verificadas em dois períodos sazonais (águas altas e baixas), onde as concentrações médias dos metais dissolvidos na água apresentaram-se na seguinte ordem decrescente Fe>Al>Ba>Sr>V>Zn>Mn.

Tabela 12 - Resultado estatístico dos elementos traços dissolvidos na água ($\mu\text{g.L}^{-1}$) por sazonalidade entre afluentes e rio principal.

| Parâmetro | Sistema | Águas altas | | | Águas baixas | | |
|-----------|---------|-------------|---------|---------|--------------|--------|--------|
| | | Mín | Máx | Média | Mín | Máx | Média |
| Al | RM | 103,00 | 158,10 | 128,17 | 19,94 | 24,76 | 21,61 |
| Al | MD | 23,99 | 123,20 | 82,64 | 29,94 | 53,24 | 37,50 |
| Al | ME | 7,70 | 158,30 | 77,36 | 21,03 | 26,61 | 23,94 |
| As | RM | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| As | MD | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | 0,65 | 0,11 |
| As | ME | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| Ba | RM | 52,66 | 63,45 | 57,90 | 38,30 | 49,29 | 44,91 |
| Ba | MD | 27,66 | 53,64 | 43,13 | 29,97 | 167,40 | 61,40 |
| Ba | ME | 38,27 | 53,69 | 46,09 | 40,88 | 61,05 | 55,47 |
| Co | RM | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| Co | MD | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | 3,33 | 0,55 |
| Co | ME | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT |
| Fe | RM | 1004,00 | 1194,00 | 1096,67 | 140,10 | 165,90 | 152,80 |
| Fe | MD | 325,60 | 1133,00 | 727,18 | 98,61 | 389,40 | 245,20 |
| Fe | ME | 450,10 | 1369,00 | 1062,53 | 147,30 | 536,40 | 313,33 |
| Mn | RM | 0,85 | 3,34 | 2,20 | <LDT | 68,80 | 23,63 |
| Mn | MD | 0,65 | 27,82 | 10,20 | 12,38 | 677,90 | 137,06 |
| Mn | ME | <LDT | 76,03 | 26,24 | 3,57 | 50,43 | 20,23 |
| Ni | RM | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | 6,21 | 2,07 |
| Ni | MD | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | 1,23 | 0,20 |
| Ni | ME | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | 1,01 | 0,25 |
| Pb | RM | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | 11,12 | 4,59 |
| Pb | MD | <LDT | 0,92 | 0,28 | <LDT | 13,29 | 5,08 |
| Pb | ME | <LDT | 0,24 | 0,06 | 0,90 | 3,98 | 2,28 |
| Sr | RM | 15,97 | 17,07 | 16,39 | 13,75 | 20,48 | 16,50 |
| Sr | MD | 5,02 | 16,25 | 10,66 | 3,87 | 28,45 | 13,04 |
| Sr | ME | 9,97 | 21,01 | 15,51 | 10,84 | 27,60 | 18,44 |
| V | RM | 8,24 | 8,36 | 8,28 | 8,60 | 9,12 | 8,81 |
| V | MD | 7,26 | 8,58 | 8,18 | 7,80 | 8,97 | 8,16 |
| V | ME | 7,65 | 9,08 | 8,29 | 8,10 | 8,78 | 8,47 |
| Zn | RM | 8,19 | 93,80 | 39,55 | 13,47 | 54,10 | 28,02 |
| Zn | MD | 8,59 | 454,10 | 96,88 | 33,04 | 136,00 | 67,92 |
| Zn | ME | 3,32 | 192,20 | 62,37 | 21,31 | 28,27 | 23,15 |

Observações: RM: Rio Machado; MD: Margem direita (Afluentes do entorno da Rebio Jaru); ME: Margem esquerda (Afluentes da Rebio Jaru); <LDT: Abaixo do limite de detecção da técnica. Próprio autor

O elemento chumbo apresentou valores inferiores ao permitido ($10,00 \mu\text{g.L}^{-1}$) com a média total de ($1,30 \mu\text{g.L}^{-1}$) e não foi detectado no Rio Tarumã em todo o ciclo hidrológico. O menor valor detectado foi de ($0,04 \mu\text{g.L}^{-1}$) nas águas altas no ponto correspondente ao Rio Machado à jusante, o maior valor encontrado ($5,34 \mu\text{g.L}^{-1}$), por sua vez, foi no Igarapé Cajueiro no período das águas baixas.

O cobre não foi detectado na vazante e nem na enchente, sendo detectado nas águas altas apenas no Igarapé Tarifa e Igarapé Azul. Nas águas baixas foi detectado apenas no Igarapé Buenos Aires. A média total foi de ($1,46 \mu\text{g.L}^{-1}$), onde o menor valor detectado foi de ($0,05 \mu\text{g.L}^{-1}$) no Igarapé Azul e maior valor ($3,07 \mu\text{g.L}^{-1}$) no Igarapé Tarifa. Na resolução, somente há valores máximos para o cobre dissolvido ($9,00 \mu\text{g.L}^{-1}$). No entanto, nem o cobre, o cromo e o cádmio foram detectados nas duas fases analisadas do ciclo hidrológico para os elementos-traço dissolvidos.

4.2 Elementos-traço no sedimento

Na evolução do sistema aquático, as camadas de sedimento são formadas nas áreas de remansos de rios e em lagos, estas por sua vez, podem conter compostos químicos e estruturas biológicas como resultado desse processo, podendo também receber ou absorver poluentes como resultado de processos atmosféricos naturais, erosão e atividades antrópicas (BAI *et al.*, 2011; ESTEVES, 2011).

Com a finalidade de avaliar os níveis de elementos-traço encontrados nas amostras de sedimentos e considerando a falta de legislação específica, utilizou-se como parâmetro o preconizado pela resolução do CONAMA n° 420 de 28 de dezembro de 2009, alterada pela Resolução CONAMA n.º 460, de 30 de dezembro de 2013. Essa Legislação federal dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.

Ainda com a finalidade de melhor avaliar os resultados encontrados para os elementos-traço no sedimento, os valores encontrados também foram comparados com os valores orientadores da Resolução CONAMA 454/2012, que por sua vez, prevê a caracterização química do material a

ser dragado determinando as concentrações das substâncias poluentes contidas na fração total da amostra.

Esta Resolução estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional e, no que se refere à caracterização química do material a ser dragado, deverá ser realizada a respectiva classificação química, que permanece em dois níveis (Nível 1, que consiste no limiar abaixo do qual há menor probabilidade de efeitos adversos à biota, e Nível 2, que consiste no limiar acima do qual há maior probabilidade de efeitos adversos à biota), Dessa forma, comparou-se os resultados com os valores orientadores previstos na Tabela III do Anexo da Resolução CONAMA nº 454/12.

Na estatística descritiva das concentrações das médias gerais dos elementos-traço no sedimento apresentaram-se na seguinte ordem decrescente: Al>Fe>Mn>Ba>V>Z>Cr>Ni>As>Cd>Pb>Cu>Sr>Co.

Tabela 13 - Estatística descritiva da concentração de elementos-traço no sedimento.

| Estatística | Mínimo | Máximo | Mediana | Média | Variância | Desvio Padrão |
|-------------|---------|---------|---------|---------|-------------|---------------|
| Al | 2855,2 | 122882 | 10776,6 | 12484,6 | 251533826,3 | 15859,8 |
| As | 0,13 | 34,75 | 10,57 | 12,15 | 130,63 | 11,43 |
| Ba | 21,79 | 409,57 | 92,9 | 106,68 | 4170,61 | 64,58 |
| Cd | 0,001 | 32,49 | 3,41 | 10,48 | 159,4 | 12,63 |
| Co | 2,07 | 10,54 | 5,42 | 5,6 | 5,62 | 2,37 |
| Cu | 2,82 | 16,0 | 8,47 | 8,35 | 6,74 | 2,6 |
| Cr | 5,3 | 44,74 | 20,15 | 19,63 | 65,59 | 8,1 |
| Fe | 5676,17 | 108566 | 12281,9 | 16169,5 | 227847583,2 | 15094,6 |
| Mn | 17,82 | 1627,17 | 275,75 | 472,33 | 164009,55 | 404,98 |
| Ni | 1,89 | 43,18 | 5,54 | 13,33 | 213,22 | 14,6 |
| Pb | 4,39 | 16,01 | 8,97 | 9,15 | 0,25 | 2,28 |
| Sr | 1,56 | 10,88 | 4,88 | 5,63 | 7,39 | 2,72 |
| V | 11,9 | 88,74 | 30,38 | 34,46 | 322,72 | 17,96 |
| Zn | 11,86 | 61,42 | 31,72 | 32,62 | 119,08 | 10,91 |

Fonte: Próprio autor.

As concentrações médias dos elementos-traço no sedimento por sazonalidade entre afluentes e rio principal apresentaram-se na seguinte ordem decrescente Fe>Al>Mn>Ba>Z>V>Cr.

Tabela 14 - Resultado estatístico das concentrações de elementos-traço no sedimento ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) por sazonalidade (águas altas e baixas) entre afluentes e rio principal.

| Parâmetro | Sistema | Águas altas | | | Águas baixas | | |
|-----------|---------|-------------|----------|----------|--------------|-----------|----------|
| | | Mín | Máx | Média | Mín | Máx | Média |
| Al | RM | 4951,11 | 12374,03 | 9569,42 | 12611,42 | 122882,05 | 50207,54 |
| Al | MD | 5803,33 | 12958,09 | 9546,93 | 6200,78 | 12701,64 | 9436,46 |
| Al | ME | 2959,52 | 14799,73 | 11021,50 | 5430,03 | 11362,02 | 9586,33 |
| As | RM | <LDT | <LDT | <LDT | <LDT | 16,86 | 5,62 |
| As | MD | <LDT | 0,70 | 0,24 | <LDT | <LDT | <LDT |
| As | ME | <LDT | 0,36 | 0,09 | <LDT | <LDT | <LDT |
| Ba | RM | 66,76 | 105,27 | 91,69 | 110,58 | 172,48 | 132,18 |
| Ba | MD | 55,56 | 93,71 | 74,30 | 44,37 | 122,86 | 80,06 |
| Ba | ME | 21,79 | 114,47 | 77,97 | 33,40 | 95,97 | 78,70 |
| Cd | RM | 0,001 | 2,79 | 1,75 | 2,54 | 31,31 | 12,85 |
| Cd | MD | 0,05 | 2,69 | 1,90 | 2,43 | 4,79 | 3,38 |
| Cd | ME | 1,96 | 2,45 | 2,15 | 2,83 | 4,70 | 3,77 |
| Co | RM | 4,68 | 6,74 | 5,73 | 4,95 | 7,79 | 6,29 |
| Co | MD | 2,59 | 6,61 | 5,03 | 2,64 | 8,70 | 5,57 |
| Co | ME | 2,17 | 10,08 | 6,37 | 3,26 | 7,87 | 5,87 |
| Cu | RM | 5,65 | 11,38 | 9,32 | 7,13 | 11,37 | 9,39 |
| Cu | MD | 6,91 | 12,59 | 9,24 | 5,72 | 11,34 | 8,39 |
| Cu | ME | 3,13 | 13,00 | 7,97 | 7,18 | 16,00 | 10,19 |
| Cr | RM | 14,23 | 23,40 | 19,17 | 8,82 | 22,71 | 17,83 |
| Cr | MD | 6,45 | 27,73 | 18,96 | 14,97 | 22,14 | 18,74 |
| Cr | ME | 8,10 | 25,96 | 20,64 | 9,71 | 29,59 | 20,48 |
| Fe | RM | 9863,69 | 14516,99 | 12433,17 | 12605,25 | 18654,91 | 14979,48 |
| Fe | MD | 8704,34 | 14777,72 | 11271,30 | 7659,69 | 13847,65 | 10722,58 |
| Fe | ME | 6955,67 | 16513,86 | 12295,29 | 9759,13 | 108565,94 | 36246,27 |
| Mn | RM | 276,29 | 646,85 | 405,50 | 180,75 | 1323,57 | 768,11 |
| Mn | MD | 97,62 | 318,90 | 220,22 | 134,30 | 1132,94 | 499,33 |
| Mn | ME | 128,63 | 1024,32 | 595,58 | 108,18 | 1049,01 | 523,53 |
| Ni | RM | 4,28 | 6,09 | 5,47 | 3,34 | 34,15 | 14,55 |
| Ni | MD | 2,59 | 7,01 | 4,64 | 3,64 | 7,10 | 5,70 |
| Ni | ME | 2,70 | 6,98 | 4,27 | 3,64 | 5,52 | 4,64 |
| Pb | RM | 6,77 | 8,96 | 8,08 | 8,98 | 9,22 | 9,14 |
| Pb | MD | 8,69 | 12,06 | 10,67 | 9,16 | 16,01 | 11,48 |
| Pb | ME | 8,35 | 13,17 | 9,94 | 8,35 | 13,17 | 9,94 |
| Sr | RM | 3,85 | 10,88 | 7,91 | 4,42 | 10,01 | 7,08 |
| Sr | MD | 2,38 | 9,68 | 4,99 | 3,65 | 9,03 | 6,89 |
| Sr | ME | 1,77 | 8,41 | 4,51 | 2,86 | 10,40 | 5,74 |
| V | RM | 18,64 | 35,56 | 27,90 | 18,90 | 53,26 | 34,53 |
| V | MD | 16,60 | 40,34 | 28,84 | 17,18 | 28,71 | 23,18 |
| V | ME | 15,19 | 37,87 | 25,60 | 21,98 | 44,41 | 32,61 |
| Zn | RM | 23,57 | 36,77 | 31,42 | 33,70 | 42,04 | 39,05 |
| Zn | MD | 26,58 | 41,33 | 31,27 | 18,79 | 35,39 | 27,10 |
| Zn | ME | 12,32 | 42,43 | 31,36 | 20,63 | 32,15 | 27,80 |

Observações: RM: Rio Machado; MD: Margem direita (Afluentes da Rebio Jaru); ME: Margem esquerda (Afluentes do Rio Machado no entorno da Rebio Jaru); <LDT: Abaixo do limite de detecção da técnica. Próprio autor

Tabela 15 - Resultado estatístico das concentrações de elementos-traço no sedimento ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) por sazonalidade (vazante/enchente) entre afluentes e rio principal.

| Parâmetro | Sistema | Vazante | | | Enchente | | |
|-----------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | Min | Max | Média | Min | Máx | Média |
| Al | RM | 5643,37 | 13517,55 | 7238,93 | 11982,43 | 15518,91 | 15055,58 |
| Al | MD | 2855,20 | 10613,67 | 6320,69 | 9103,43 | 16196,92 | 13081,02 |
| Al | ME | 5308,22 | 9770,98 | 7573,32 | 12902,75 | 16746,93 | 14232,69 |
| As | RM | <LDT | 0,19 | <LDT | 21,56 | 24,82 | 24,05 |
| As | MD | <LDT | 0,74 | 0,21 | 6,59 | 34,75 | 16,53 |
| As | ME | <LDT | 0,40 | <LDT | 10,57 | 25,54 | 16,47 |
| Ba | RM | 63,74 | 112,35 | 103,57 | 201,50 | 409,57 | 226,15 |
| Ba | MD | 31,50 | 75,12 | 50,54 | 88,18 | 204,98 | 160,83 |
| Ba | ME | 61,60 | 85,87 | 80,98 | 96,73 | 203,29 | 181,42 |
| Cd | RM | 2,07 | 3,49 | 2,10 | 29,97 | 31,37 | 31,26 |
| Cd | MD | 2,81 | 3,90 | 3,06 | 30,30 | 32,49 | 30,96 |
| Cd | ME | 2,57 | 3,77 | 3,53 | 31,11 | 32,44 | 31,41 |
| Co | RM | 4,28 | 8,14 | 4,60 | 8,50 | 9,95 | 9,95 |
| Co | MD | 2,07 | 6,61 | 2,99 | 2,24 | 10,54 | 4,62 |
| Co | ME | 3,13 | 5,17 | 3,92 | 4,58 | 9,89 | 7,17 |
| Cu | RM | 6,16 | 11,57 | 6,51 | 9,09 | 9,80 | 9,45 |
| Cu | MD | 2,82 | 12,02 | 5,41 | 6,15 | 10,18 | 8,69 |
| Cu | ME | 3,85 | 8,25 | 6,75 | 5,77 | 9,66 | 7,42 |
| Cr | RM | 13,36 | 23,09 | 13,99 | 22,12 | 23,57 | 22,99 |
| Cr | MD | 5,30 | 42,16 | 14,00 | 7,98 | 27,80 | 22,01 |
| Cr | ME | 5,69 | 18,74 | 15,19 | 9,38 | 44,74 | 25,93 |
| Fe | RM | 6417,45 | 15004,33 | 10548,64 | 28568,62 | 31877,55 | 31394,98 |
| Fe | MD | 6128,44 | 11619,61 | 6669,68 | 5676,17 | 34529,31 | 18499,56 |
| Fe | ME | 7013,39 | 11879,78 | 9348,77 | 22262,58 | 32965,31 | 27069,27 |
| Mn | RM | 121,25 | 996,88 | 266,40 | 905,72 | 1017,10 | 1001,77 |
| Mn | MD | 73,90 | 1088,00 | 101,42 | 17,82 | 1627,17 | 214,95 |
| Mn | ME | 119,78 | 275,20 | 255,87 | 335,28 | 1105,21 | 745,64 |
| Ni | RM | 4,14 | 6,68 | 5,71 | 33,29 | 41,29 | 34,95 |
| Ni | MD | 1,89 | 4,89 | 2,59 | 29,62 | 43,18 | 37,55 |
| Ni | ME | 2,18 | 5,52 | 3,98 | 35,53 | 42,04 | 38,16 |
| Pb | RM | 8,19 | 9,15 | 8,51 | 9,13 | 10,94 | 7,76 |
| Pb | MD | 4,39 | 15,69 | 9,34 | 6,42 | 10,88 | 8,14 |
| Pb | ME | 5,58 | 9,54 | 7,44 | 6,71 | 8,60 | 7,52 |
| Sr | RM | 4,15 | 10,51 | 5,08 | 8,92 | 10,48 | 9,37 |
| Sr | MD | 1,56 | 3,63 | 2,56 | 1,95 | 7,02 | 4,77 |
| Sr | ME | 2,14 | 5,04 | 3,50 | 4,76 | 8,46 | 6,82 |
| V | RM | 13,67 | 31,06 | 19,87 | 60,79 | 69,17 | 62,60 |
| V | MD | 12,43 | 57,40 | 17,50 | 41,86 | 66,58 | 51,14 |
| V | ME | 11,90 | 25,41 | 18,51 | 50,13 | 88,74 | 58,56 |
| Zn | RM | 23,41 | 36,27 | 32,21 | 43,61 | 57,18 | 49,69 |
| Zn | MD | 11,86 | 25,59 | 23,12 | 24,19 | 52,80 | 41,26 |
| Zn | ME | 24,82 | 33,09 | 31,15 | 12,93 | 61,42 | 45,87 |

Observações: RM: Rio Machado; MD: Margem direita (Afluentes da Rebio Jarú); ME: Margem esquerda (Afluentes do Rio Machado no entorno da Rebio Jarú); <LDT: Abaixo do limite de detecção da técnica. Próprio autor

Com base nos resultados encontrados, neste estudo pôde-se ter a compreensão de que os sedimentos do trecho do Rio Machado e seus afluentes não apresentaram contaminações

pontuais, uma vez que seus valores estiveram abaixo dos limites permitidos pela CONAMA 420/2009 e CONAMA 454/2012. Porém, isto não descarta a necessidade de um contínuo monitoramento na região.

4.1 Análise estatística multivariada dos elementos traço

O resultado da comparação de médias (*Wilcoxon*) entre os elementos-traço que apresentaram diferenças significativas por sazonalidade e sistema de contribuição, estão representados na tabela 16.

No período das águas altas o elemento-traço alumínio apresentou diferença estatística entre os sistema da margem direita e Rio Machado. O Al, por sua vez, apresentou diferença no sistema margem direita e Rio Machado no período das águas altas e vazante. Não foram observadas diferenças significativas entre o sistema do Rio Machado e margem esquerda. De um modo geral, o período que demonstrou maior diferença entre as médias foi a vazante.

A matriz água foi quem apresentou a maior heterogeneidade entre o sistemas margem direita em relação aos demais sistemas (Rio Machado e margem esquerda). Por outro lado, na matriz água não foram registradas diferenças significativas durante o período das águas baixas entre os sistemas estudados. Já na matriz sedimento, foi observado diferença significativa entre os elementos Al e Zn durante as águas baixas entre a margem direita e os sistemas Rio Machado e margem esquerda. O período sazonal das águas altas apresentou a menor diferença estatística do elementos-traço na matriz sedimento, ocorrendo somente para o elemento Pb quando comparado os sistemas margem direita e Rio Machado.

Tabela 16 – Resultado de comparação de médias (*Wilcoxon*) entre os elementos-traço por sazonalidade e sistema de contribuição

| Sazonalidade | ET's | Sistema 1 | Sistema 2 | p | Média 1 | Média 2 |
|--------------|---------------------|-----------|-----------|------|---------|---------|
| Águas altas | Al _(H2O) | MD | RM | 0,05 | 107,98 | 175,43 |
| Vazante | Al _(H2O) | MD | RM | 0,02 | 65,58 | 170,67 |
| Vazante | Ba _(H2O) | MD | RM | 0,02 | 13,08 | 37,17 |
| Águas altas | Fe _(H2O) | MD | RM | 0,05 | 940,38 | 1501,00 |
| Águas altas | Fe _(H2O) | MD | ME | 0,02 | 940,38 | 1797,75 |
| Vazante | Fe _(H2O) | MD | RM | 0,02 | 517,40 | 1517,00 |
| Vazante | Fe _(H2O) | MD | ME | 0,01 | 517,40 | 1748,25 |
| Enchente | Mn _(H2O) | MD | ME | 0,02 | 26,61 | 97,96 |
| Vazante | Sr _(H2O) | MD | RM | 0,02 | 5,54 | 15,81 |
| Vazante | Sr _(H2O) | MD | ME | 0,01 | 5,54 | 14,14 |
| Enchente | Sr _(H2O) | MD | ME | 0,01 | 12,84 | 21,30 |
| Vazante | V _(H2O) | MD | RM | 0,02 | 8,72 | 9,55 |

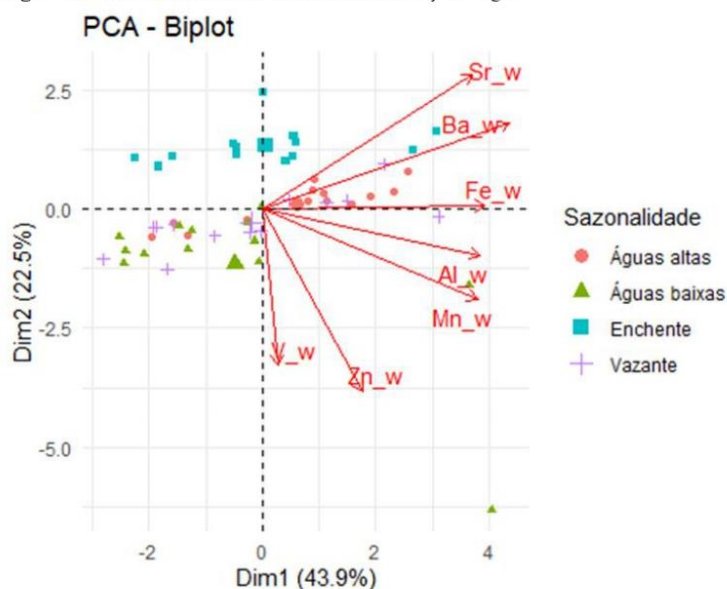
29

| | | | | | | |
|--------------|----------|----|----|------|---------|----------|
| Águas baixas | Al (Sed) | MD | RM | 0,05 | 9436,46 | 50207,54 |
| Vazante | Ba (Sed) | MD | ME | 0,04 | 53,63 | 77,36 |
| Enchente | Ba (Sed) | MD | RM | 0,05 | 151,99 | 279,08 |
| Águas altas | Pb (Sed) | MD | RM | 0,05 | 10,67 | 8,08 |
| Vazante | Sr (Sed) | MD | RM | 0,02 | 2,64 | 6,58 |
| Enchente | Sr (Sed) | MD | RM | 0,02 | 4,99 | 9,59 |
| Vazante | Zn (Sed) | MD | ME | 0,04 | 21,87 | 30,05 |
| Águas baixas | Zn (Sed) | MD | RM | 0,05 | 27,10 | 39,05 |

Observações: RM: Rio Machado; MD: Margem direita (Afluentes da Rebio Jaru); ME: Margem esquerda (Afluentes do Rio Machado no entorno da Rebio Jaru). Próprio autor

Nos resultados encontrados dos elementos-traço na água, observa-se que as duas componentes do gráfico explicam 66,40% dos dados. Não foi evidenciada a distinção sazonal entre os pontos analisados dos elementos-traço na matriz água. O Al e o Mn estão bastante relacionados com a componente 1, tendo pouca contribuição com a componente 2. O Fe e o Ba foram os elementos que mais se correlacionaram com a componente 1. Os valores do Ba e Sr na água tiveram muita relação (boa contribuição) com a segunda componente. (Figura 8).

Figura 8 - Resultado da PCA dos elementos traço na água.

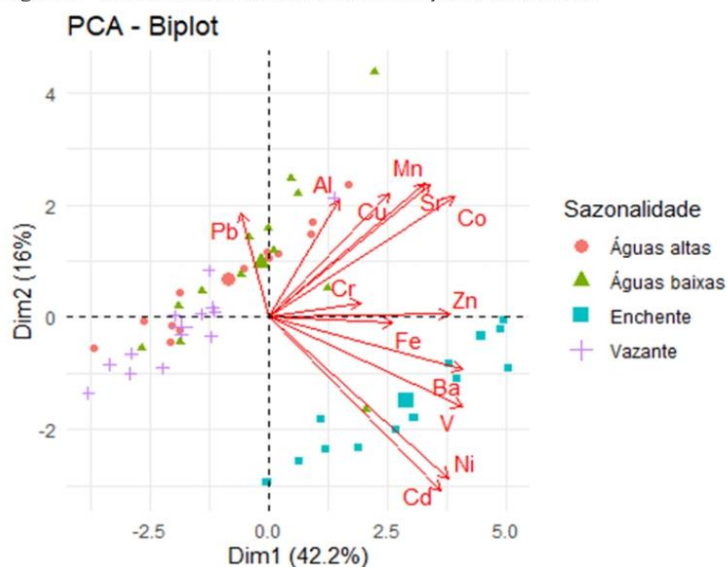


Fonte: Próprio autor.

Com base nas análises estatísticas, houve variação sazonal dos dados obtidos para os elementos-traço no sedimento. Nos resultados encontrados, observa-se que as duas componentes no gráfico explicam 58,20%. A sazonalidade ficou bastante evidenciada nas análises das

componentes, onde os elementos - traço no sedimento estão mais relacionados com o período da enchente. O Mn, Sr, Co e Cu estão bastante relacionados entre si, com maior contribuição com a componente 2. O Cd e Ni estão bastante relacionados com a componente 1, tendo pouca contribuição com a componente 2. O *biplot* da Análise dos Componentes Principais dos elementos-traço no sedimento estão representados na figura 9.

Figura 9 - Resultado da PCA dos elementos traço nos sedimentos.



Fonte: Próprio autor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo evidenciou a importância da determinação de valores para os parâmetros de qualidade da água em águas de classe 1 e especial, quando considera-se que parte dessas bacias hidrográficas possuem significativa cobertura da terra de vegetação nativa. Isso garante que a gestão da bacia hidrográfica ocorra de forma mais precisa no que tange a proposta de enquadramento.

Observou-se que as BH's da REBIO do Jaru quanto as do seu entorno imediato apresentaram concentrações dos ET's na matriz sedimento dentro dos padrões considerados naturais, sugerindo pouca ou inexistente influência antrópica, onde as concentrações destes elementos podem estar condicionadas aos regimes pluviométricos dos rios e a formação geológica da região estudada.

O estado de eutrofização encontrado no afluente da margem esquerda (Rio Anari) indicou que o uso da terra nas proximidades de suas margens implicou em aporte excessivo de nutrientes bem maior que a sua capacidade de autodepuração para o período da vazante.

Conclui-se que a REBIO do Jaru tem desempenhado um papel de fundamental na preservação dos recursos hídricos da bacia do Rio Machado uma vez que seus afluentes podem de certa forma contribuir como diluidores da carga poluidora carregada para o Rio Machado ao longo de seu curso e, conseqüentemente, contribuindo para o seu processo de autodepuração.

6 RECOMENDAÇÕES

Os dados achados contribuem para mudanças nas revisões do Plano Estadual de Recursos Hídricos de Rondônia, quanto a necessidade de aporte de informações. Recomenda-se que ao ser realizado o enquadramento do Rio Machado, neste trecho de estudo seja enquadrado em uma classe mais restritiva como por exemplo, a classe 1 para os afluentes da margem esquerda e especial para os afluentes da margem direita, dado a relevância do trecho.

O levantamento de informações sobre os poluentes presentes na água do Rio Machado e seus afluentes, estabelece o conhecimento para mensuração do potencial risco de alteração do habitat natural da fauna e flora local. É razoável supor que para planejar ações de mitigação e orientar o uso destas bacias, deve-se conhecer suas características físico-químicas e a dinâmica da região.

Recomenda-se o constante monitoramento da região do estudo a fim de melhor entendimento da heterogeneidade e do comportamento de cada elemento-traço nas condições naturais, como também sobre influências antrópicas.

7 REFERÊNCIAS

ALENCAR, V. E. S. A. et al. Análise de parâmetros de qualidade da água em decorrência de efeitos da precipitação na baía de Guajará – Belém– PA. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 12, n. 2. p. 661-680, 2019. Disponível em: file:///C:/Users/marci/Downloads/Analise_de_Parametros_de_Qualidade_da_Agua_em_Deco.pdf. Acesso em: 15 set. 2020.

ANA. Agência Nacional das Águas. Portal da qualidade das águas. **Indicadores de qualidade. Índice do Estado Trófico (IET)**. 2018. Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-estado-trofico.aspx>>. Acesso em: 02 de dezembro de 2018.

ANA, Agência Nacional de Águas. **HidroWeb - Sistema de Informações Hidrológicas**. [s. l.], 2020. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/>. Acesso em: 15 jul. 2020.

ANDRADE, N.L.R. **Fluxo de calor latente em uma floresta tropical da Amazônia: análise de séries temporais com wavelets e do produto MOD16**. Cuiabá, 2013. 168f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso.

APHA- American Public Health Association; AWWA - American Water Works Association e WEF- Water Environment Federation. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. ed.19. Washington: APHA, 1995. E-book. Disponível em: <https://doi.org/ISBN9780875532356>

BAI, J. et al. Spatial distribution and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments from a typical plateau lake wetland, China. **Ecological Modelling**, 222(2), 301–306, 2011.

BASTOS, W.R.; MALM, O.; PFEIFFER, W.C.; CEARY, D. (1998) Establishment and analytical quality control of laboratories for Hg determination in biological and geological samples in the Amazon-Brazil. **Ciência & Cultura**, 50: 255-260.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Diário Oficial da União, Brasília, Presidência da República, 08 de jan. de 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm> Acesso em 05 de maio 2018.

CETESB. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (São Paulo). **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo 2017**. São Paulo: CETESB, 2018. 301 p. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2018/06/Relat%C3%B3rio-de-Qualidade-das-%C3%81guas-Interiores-no-Estado-de-S%C3%A3o-Paulo-2017.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2020.

CETESB. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Determinação de Clorofila a e Feofitina a: método espectrofotométrico**. SP. 2014. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 03 de dezembro de 2018.

CONAMA, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 2 fev. 2018.

CONAMA, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009**. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>. Acesso em: 10 jul. 2020.

CONAMA, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 454, de 01 de novembro de 2012**. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=693>>. Acesso em: 06 nov. 2020.

COSTA JUNIOR, W. A. **Dinâmica dos elementos-traço no Rio Madeira e tributários, Rondônia**. 2017. - Dissertação de mestrado. Fundação Universidade Federal de Rondônia - UNIR, 2017. Porto Velho, 2017. Disponível em: http://www.biogeoquimica.unir.br/uploads/42029128/arquivos/Disserta_o_Mestrado__Wal_kimar_Aleixo__2015_2_Vers_o_final_827278293.pdf. Acesso em: 10 jul. 2020.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia**. 3º ed., Rio de Janeiro: Interciência, 2011, 826p.

FERNANDES, L. C.; S. C. P. GUIMARÃES. 2002. **Atlas geoambiental de Rondônia**, p. 65-76p, SEDAM, Porto Velho.

IBAMA, 2007. **Avaliação Ecológica Rápida para Revisão do plano de Manejo da Reserva Biológica do Jaru**. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Relatório intertemático final consolidado, Brasília.

ICMBIO, 2019. **Nota Técnica nº202/2019 /DCOL/CGTER/DISAT/ICMBio**. Verificação de Limite da Reserva Biológica do Jaru. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, Brasília.

ICMBIO, 2010. **Plano de Manejo da Reserva Biológica do Jaru**. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, Brasília. Disponível em: <<https://www.icmbio.gov.br/portal/rebio-do-jaru>>. Acesso em: 20 ago. 2019.

KRUSCHE, A. V. et al. Efeitos das mudanças do uso da terra na biogeoquímica dos corpos d'água da bacia do rio Ji-Paraná, Rondônia. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 35, n. 2, p. 197–205, jun. 2005.

LAMPARELLI, M. C. **Graus de trofia em copor d'água do Estado de São Paulo: Avaliação dos métodos de monitoramento**. 2004. - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/41/41134/tde-20032006-075813/publico/TeseLamparelli2004.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2020.

NASCIMENTO, E. L. DO. **Concentração de Mercúrio no plânctons e fatores ecológicos no reservatório da U.H.E. - Samuel - Amazônia Ocidental (Rondônia/Brasil)**. 2006. - Fundação Universidade Federal de Rondônia - UNIR, Porto Velho, 2006. Disponível em: http://www.ri.unir.br/jspui/bitstream/123456789/2226/1/DISSERTAÇÃO_ELISABETE_NASCIMENTO.pdf. Acesso em: 12 set. 2020.

PINTO, T. J. DA S. **Fluxo evasivo de CO2 na interface água-atmosfera no Rio Ji-Paraná**. Ji-Paraná – RO. Fundação Universidade Federal de Rondônia - UNIR, 2015.

SALES, M. S. *et al.* Variação intrasazonal dos parâmetros físico-químicos da água do Rio Machado e seus afluentes no trecho da Rebio Jaru. **VII Workshop Internacional Sobre Planejamento e Desenvolvimento Sustentável em Bacias Hidrográficas**. 1ed.Boa Vista / RR: EDUFRR, 2020, v. 1, p. 766-773.

SALES, M.S. Qualidade da água no médio Rio Machado e seus principais afluentes com ênfase no Mercúrio e Metilmercúrio (Rondônia). **Relatório Técnico**. 29p. Ji-Paraná – RO, 2020.

SILVA, E. O.; ALMEIDA, R.; NASCIMENTO, E. L. Hidrogeoquímica do Rio Machado e seus Principais Afluentes - Reserva Biológica do Jaru-RO. In: III Seminário Nacional ProfÁgua, 2019, Brasília -DF. III Seminário Nacional ProfÁgua. São Carlos-SP: **RiMa**, 2019. v. 1. p. 179-179.

TAILLEFERT, M. & GAILLARD, J.F. (2002) Reactive transport modeling of trace elements in the water column of a stratified lake: iron cycling and metal scavenging. **Journal of Hydrology**, **256**: 16-34.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 452 p.

APÊNDICES

Apêndice I



Ministério do Meio Ambiente - MMA
Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio
Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade - SISBIO

Autorização para atividades com finalidade científica

| | | |
|--|--------------------------------------|----------------------------------|
| Número: 68044-1 | Data da Emissão: 26/02/2019 17:32:15 | Data da Revalidação*: 26/02/2020 |
| De acordo com o art. 28 da IN 03/2014, esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias a contar da data do aniversário de sua emissão. | | |

Dados do titular

| | |
|--|--------------------------|
| Nome: Etienne Oliveira Silva | CPF: [REDACTED] |
| Nome da Instituição: Fundação Universidade Federal de Rondônia | CNPJ: 04.418.943/0001-90 |

Cronograma de atividades

| # | Descrição da atividade | Início (mês/ano) | Fim (mês/ano) |
|---|---|------------------|---------------|
| 1 | Realização de quatro campanhas de monitoramento, abrangendo os quatro períodos do ciclo hidrológico | 02/2019 | 09/2020 |

Equipe

| # | Nome | Função | CPF | Nacionalidade |
|---|--------------------------------|-----------------------------|------------|---------------|
| 1 | Ronaldo Almeida | Pesquisador orientador | [REDACTED] | Brasileira |
| 2 | Eisabete Lourdes do Nascimento | Pesquisadora Co-orientadora | [REDACTED] | Brasileira |
| 3 | Mayk da Silva Sales | Pesquisador auxiliar | [REDACTED] | Brasileira |
| 4 | João Paulo de Oliveira Gomes | Pesquisador auxiliar | [REDACTED] | Brasileira |

Observações e ressalvas

| | |
|---|---|
| 1 | O titular de autorização ou de licença permanente, assim como os membros de sua equipe, quando da violação da legislação vigente, ou quando da inadequação, omissão ou falsa descrição de informações relevantes que subsidiaram a expedição do ato, poderá, mediante decisão motivada, ter a autorização ou licença suspensa ou revogada pelo ICMBio, nos termos da legislação brasileira em vigor. |
| 2 | As atividades de campo exercidas por pessoa natural ou jurídica estrangeira, em todo o território nacional, que impliquem o deslocamento de recursos humanos e materiais, tendo por objeto coletar dados, materiais, espécimes biológicos e minerais, peças integrantes da cultura nativa e cultura popular, presente e passada, obtidos por meio de recursos e técnicas que se destinem ao estudo, à difusão ou à pesquisa, estão sujeitas a autorização do Ministério da Ciência e Tecnologia. |
| 3 | O titular de licença ou autorização e os membros de sua equipe deverão optar por métodos de coleta e instrumentos de captura direcionados, sempre que possível, ao grupo taxonômico de interesse, evitando a morte ou dano significativo a outros grupos, e empregar esforço de coleta ou captura que não comprometa a viabilidade de populações do grupo taxonômico de interesse em condições in situ. |
| 4 | Esta autorização NÃO exime o pesquisador titular e os membros de sua equipe da necessidade de obter as anuências previstas em outros instrumentos legais, bem como do consentimento do responsável pela área, pública ou privada, onde será realizada a atividade, inclusive do órgão gestor de terra indígena (FUNAI), da unidade de conservação estadual, distrital ou municipal, ou do proprietário, arrendatário, posseiro ou morador de área dentro dos limites de unidade de conservação federal cujo processo de regularização fundiária encontra-se em curso. |
| 5 | Este documento somente poderá ser utilizado para os fins previstos na Instrução Normativa ICMBio nº 03/2014 ou na Instrução Normativa ICMBio nº 10/2010, no que especifica esta Autorização, não podendo ser utilizado para fins comerciais, industriais ou esportivos. O material biológico coletado deverá ser utilizado para atividades científicas ou didáticas no âmbito do ensino superior. |
| 6 | Em caso de pesquisa em UNIDADE DE CONSERVAÇÃO, o pesquisador titular desta autorização deverá contactar a administração da unidade a fim de CONFIRMAR AS DATAS das expedições, as condições para realização das coletas e de uso da infra-estrutura da unidade. |
| 7 | Este documento não dispensa o cumprimento da legislação que dispõe sobre acesso a componente do patrimônio genético existente no território nacional, na plataforma continental e na zona econômica exclusiva, ou ao conhecimento tradicional associado ao patrimônio genético, para fins de pesquisa científica, bioprospecção e desenvolvimento tecnológico. Veja maiores informações em www.mma.gov.br/legis . |

Este documento foi expedido com base na Instrução Normativa nº 03/2014. Através do código de autenticação abaixo, qualquer cidadão poderá verificar a autenticidade ou regularidade deste documento, por meio da página do Sisbio/ICMBio na internet (www.icmbio.gov.br/sisbio).

Código de autenticação: 0680440120190226

Página 1/3



Ministério do Meio Ambiente - MMA
Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio
Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade - SISBIO

Autorização para atividades com finalidade científica

| | | |
|--|--------------------------------------|----------------------------------|
| Número: 68044-1 | Data da Emissão: 26/02/2019 17:32:15 | Data da Revalidação*: 26/02/2020 |
| De acordo com o art. 28 da IN 03/2014, esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias a contar da data do aniversário de sua emissão. | | |
| Dados do titular | | |
| Nome: Etienne Oliveira Silva | CPF: [REDACTED] | |
| Nome da Instituição: Fundação Universidade Federal de Rondônia | CNPJ: 04.418.943/0001-90 | |

Locais onde as atividades de campo serão executadas

| # | Descrição do local | Município-UF | Bioma | Caverna? | Tipo |
|---|---------------------------|--------------|----------|----------|----------------------|
| 1 | Reserva Biológica do Jaru | RO | Amazônia | Não | Dentro da UC Federal |

Este documento foi expedido com base na Instrução Normativa n.º 03/2014. Através do código de autenticação abaixo, qualquer cidadão poderá verificar a autenticidade ou regularidade deste documento, por meio da página do Sisbio/ICMBio na Internet (www.icmbio.gov.br/sisbio).

Código de autenticação: 0680440120190226

Página 2/3





ProfÁgua



ProfÁgua - Mestrado Profissional em Rede Nacional em
Gestão e Regulação de Recursos Hídricos
www.profagua.unir.br