

# RELATÓRIO TÉCNICO

Qualidade da água no médio Rio Machado e seus principais afluentes com ênfase no Mercúrio e Metilmercúrio (Rondônia)

Elaborado por Mayk da Silva Sales

**Relatório Técnico - Qualidade da água no médio Rio Machado e seus principais afluentes com ênfase no Mercúrio e Metilmercúrio (Rondônia)**

**Realização:**

Mayk da Silva Sales

**Revisão:**

Ronaldo de Almeida

Elisabete Lourdes do Nascimento

**Apoio técnico:**

Agência Nacional de Águas - 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:

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

Ji-Paraná – RO

2020

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>2</b>
<b>LISTA DE TABELAS E QUADROS .....</b>	<b>3</b>
<b>1 APRESENTAÇÃO.....</b>	<b>4</b>
<b>2 ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>5</b>
2.1 ANÁLISES MORFOMÉTRICAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS .....	8
2.2 ANÁLISE DA COBERTURA DA TERRA NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS .....	8
2.3 ANÁLISE DE ÁGUA: VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS, MERCÚRIO TOTAL E METILMERCÚRIO .....	9
<b>3 QUALIDADE DA ÁGUA, MERCÚRIO TOTAL E METILMERCÚRIO.....</b>	<b>10</b>
3.1 MERCÚRIO TOTAL E METILMERCÚRIO NA ÁGUA .....	13
3.2 ANÁLISE MORFOMÉTRICA E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO MERCÚRIO .....	15
3.3 COBERTURA DA TERRA .....	20
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>21</b>
<b>5 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>22</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>24</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Mapa de localização da área de estudo. ....	6
<b>Figura 2</b> - Pluviosidade da estação 1061003 da Agência Nacional de Águas. ....	7
<b>Figura 3</b> - 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. ....	7
<b>Figura 4</b> - Fluxograma da metodologia para quantificação da cobertura da terra a partir das coleções MapBiomias. ....	9
<b>Figura 5</b> - Fluxograma da metodologia da pesquisa. ....	10
<b>Figura 6</b> - Concentrações de mercúrio total (Hg T) (ng.L <sup>-1</sup> ) por ponto de coleta.....	14
<b>Figura 7</b> - Concentrações de metilmercúrio (MeHg) (ng.L <sup>-1</sup> ) por ponto de coleta.....	15
<b>Figura 8</b> - Delimitação das bacias hidrográficas da margem direita e margem esquerda do Rio Machado na área de estudo. ....	17
<b>Figura 9</b> - Distribuição espacial das concentrações de mercúrio total (Hg T) em relação aos pontos de coleta e sazonalidade. ....	18
<b>Figura 10</b> - Distribuição espacial das concentrações de metilmercúrio (MeHg) em relação aos pontos de coleta e sazonalidade. ....	19

## LISTA DE TABELAS E QUADROS

<b>Tabela 1</b> - Pontos de coleta de água e parâmetros físico-químicos, codificação e coordenadas. .....	5
<b>Tabela 2</b> - Parâmetros e métodos de análises empregados para a qualidade de água.....	9
<b>Tabela 3</b> Resumo estatístico mínimo, máximo e média da condutividade elétrica (CE), fósforo dissolvido (Pd), fósforo total (Pt), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), nitrogênio amoniacal ( $\text{NH}_3$ ), oxigênio dissolvido (OD), Potencial Hidrogeniônico (pH), Material Particulado em Suspensão (MPS), transparência (Trans) e turbidez por sazonalidade. ....	11
<b>Tabela 4</b> - Estatística descritiva do Hg total e MeHg ( $\text{ng.L}^{-1}$ ) e percentual de MeHg em relação ao Hg total na águas dos tributários e rio principal.....	13
<b>Tabela 5</b> - Análise morfométrica das bacias hidrográficas da área de estudo dos parâmetros área (A) ( $\text{km}^2$ ), contribuição (C) (%), perímetro (P) (km), comprimento axial (C.Axial) (km), coeficiente de compacidade (Cc) (adimensional), fator forma (FF) (adimensional), drenagens (D) (km), densidade de drenagem (DD) ( $\text{km}/\text{km}^2$ ), cota mínima (H mín) (m), cota máxima (H máx) (m).....	16
<b>Tabela 6</b> – Cobertura da terra nas bacias hidrográficas proporcional a área sua total. ....	20

# 1 APRESENTAÇÃO

O mercúrio (Hg) é um elemento encontrado nas bacias amazônicas, tanto em compartimentos bióticos quanto abióticos. Estudos buscam compreender se a fonte do mercúrio é natural ou antropogênica, mas a extração ilegal de ouro está intimamente ligada com a presença do Hg (FADINI; JARDIM, 2001). Independentemente disto, o mercúrio é um elemento que pode ser transportados por diferentes veículos como sedimentos e corpos hídricos (SIQUEIRA *et al.*, 2018; SIQUEIRA; APRILE, 2012).

No estado de Rondônia, uma das principais bacias hidrográficas é a do Rio Machado com extensão territorial com 75421,67 km<sup>2</sup>. Neste é encontrado atividades agrícolas, pecuária, indústrias, comércios e núcleos urbanos, assim como unidades de conservação e terras indígenas.

Neste contexto, na margem direita do trecho do médio Rio Machado está localizada a Unidade de Conservação Reserva Biológica do Jaru (Rebio Jaru) enquanto que nas bacias hidrográficas da margem esquerda são encontradas atividades de pecuária, agricultura, assim como núcleos urbanos.

Para efeito de avaliação ambiental foi selecionado este trecho a fim de identificar se há diferenças sazonais e espaciais das contribuições do mercúrio e se estas estão relacionadas com o uso e ocupação das bacias hidrográficas estudadas.

Estudos indicam a presença do mercúrio no solo e peixes neste trecho do Rio Machado, mas ainda não foram avaliadas as concentrações na coluna d'água. A determinação das concentrações de mercúrio e metilmercúrio são informações importantes para subsidiar a proposta de enquadramento dos corpos hídricos desta área assim como o rio principal.

Deste modo, para facilitar a consulta de dados referente as bacias hidrográficas foi elaborado este relatório técnico que tem como referência os resultado encontrados na pesquisa “Dinâmica do mercúrio total e metilmercúrio na água do médio Rio Machado e principais afluentes (Rondônia)” desenvolvida pelo mestrando Mayk da Silva Sales, orientado pelo Prof. Dr. Ronaldo de Almeida e Prof<sup>a</sup> Dra. Elisabete Lourdes do Nascimento para o programa de

O estudo foi dirigido para a investigação dos parâmetros limnológicos da água, uso e ocupação, análises morfométrica e principalmente para a quantificação do mercúrio total e metilmercúrio na matriz água. Os dados tem efeito de análises para estudos ambientais, gestores ambientais, gestores de recursos hídricos, assim como gestores de unidades de conservação.

Este relatório técnico tem como objetivo apresentar as informações das bacias hidrográficas estudadas que são as concentrações de mercúrio total, metilmercúrio, parâmetros limnológicos, uso e ocupação

## 2 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo foi um trecho do médio Rio Machado que tem extensão de 144,60 km ( $9^{\circ}50'17,573''S$  e  $61^{\circ}42'28,333''O$ ) (Figura 1). Neste foram selecionados os 10 principais tributários dos quais 6 são afluentes da margem direita do Rio Machado onde está localizada a Rebio Jaru e 4 são tributários da margem esquerda do Rio Machado.

Para contemplar o ciclo hidrológico foram realizadas coletas nos meses de março, junho, setembro e novembro de 2012 em 13 pontos de amostragem (Tabela 1).

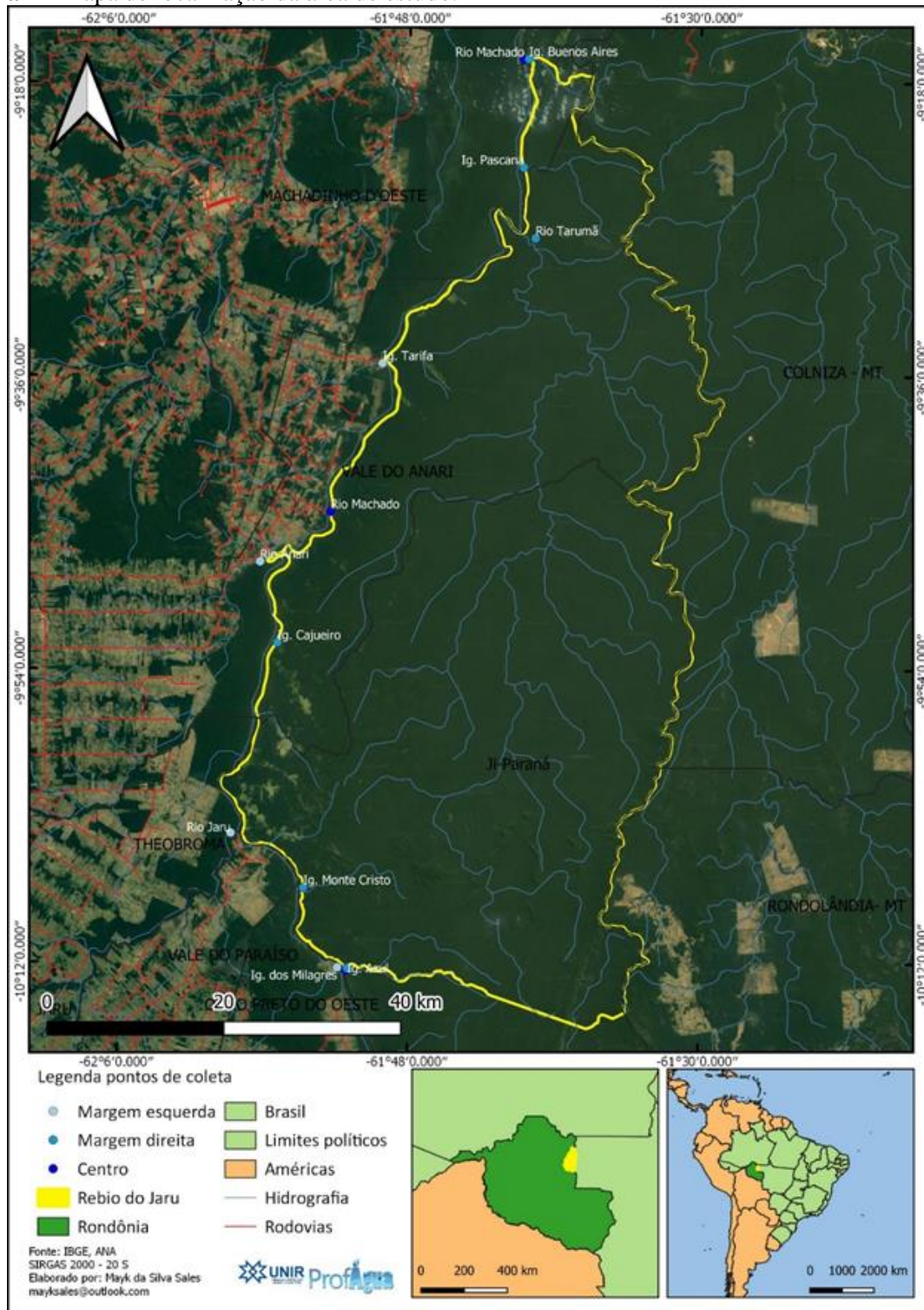
**Tabela 1** - Pontos de coleta de água e parâmetros físico-químicos, codificação e coordenadas.

Nome	Código	Latitude	Longitude	Descrição
Igarapé Azul	P1	-10,20592	-61,86213	Foz com Rio Machado
Rio Machado <sup>m</sup>	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 <sup>me</sup>	P7	-9,73899	-61,88068	Entre leitos Rio Machado
Igarapé Tarifa	P8	-9,58721	-61,82470	Foz com Rio Machado
Rio Machado <sup>j</sup>	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

Nome	Código	Latitude	Longitude	Descrição
Rio Jaru	P13	-10,06767	-61,98288	Foz com Rio Machado

Observações: Montante = <sup>m</sup>; Médio = <sup>me</sup>; Jusante = <sup>j</sup>. Fonte: Próprio autor. Datum SIRGAS 2000 - 20 S.

**Figura 1** - Mapa de localização da área de estudo.

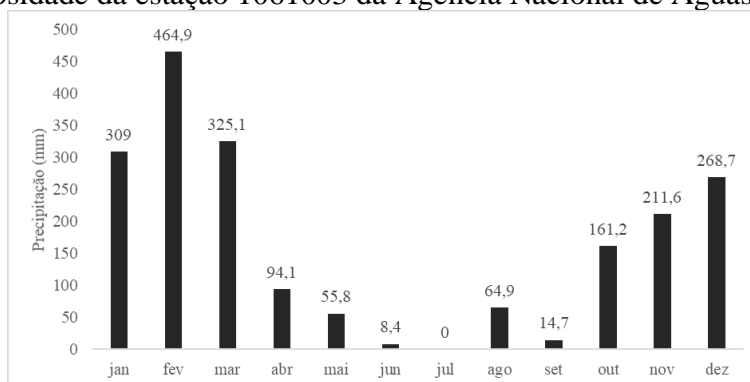


Fonte: Próprio Autor.



A distribuição da pluviosidade na estação 1061003 da Agência Nacional de Águas (ANA) apresenta que nos meses de coleta as pluviosidades foram 325,10 mm em março, 8,40 mm em junho, 14,70 em setembro e 211,60 em novembro (Figura 3).

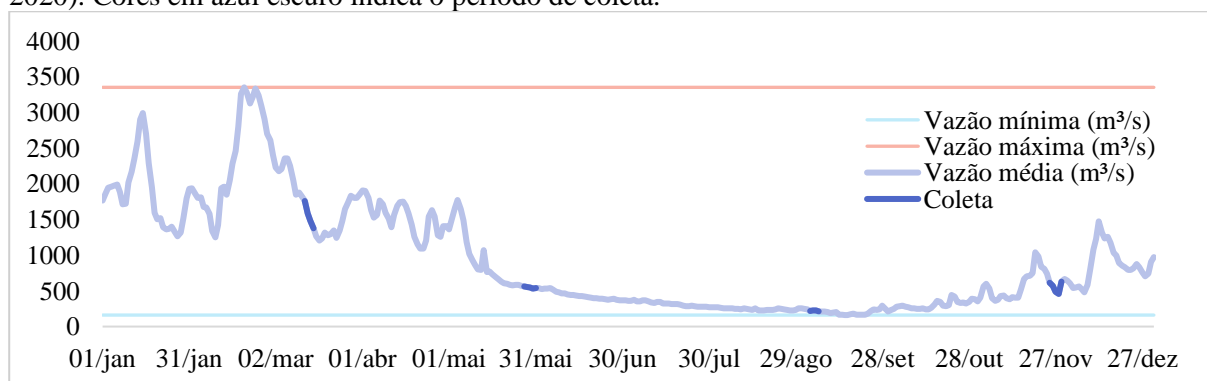
**Figura 2 - Pluviosidade da estação 1061003 da Agência Nacional de Águas.**



Fonte: ANA (2020).

A vazão registrada na estação da Agência Nacional de Águas (ANA) mais próxima (15560000) indica vazão máxima de 3346,81  $m^3.s^{-1}$  no dia 19/02/2019 e mínima de 160,58  $m^3.s^{-1}$  (ANA, 2020). A Figura 3 apresenta o regime hidrológico no ano de 2019 com destaque para as datas de coleta.

**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: Próprio autor.

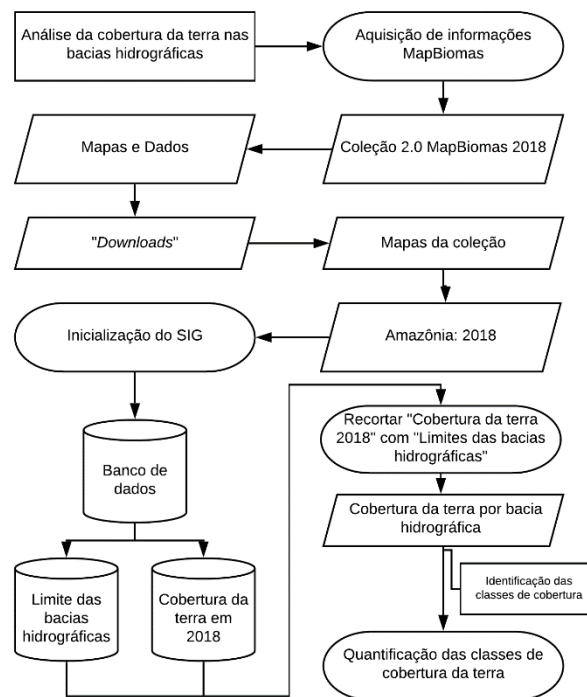
## **2.1 Análises morfométricas das bacias hidrográficas**

Para análises morfométricas foram utilizadas os produtos do TopoData, que são imagens processadas do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) que possuem resolução espacial de 30,00 m. As imagens foram utilizadas para a delimitação de bacias hidrográficas, recuperação dos valores de cotas máximas e mínimas. Para o manipulação dos dados matriciais e vetoriais foi utilizado o Sistema de Informações Geográficas - “QGIS” da abordagem “GIS” (*Geographic Information System*).

## **2.2 Análise da cobertura da terra nas bacias hidrográficas**

A obtenção das informações de cobertura da terra seguiu a metodologia apresentada na Figura 4, iniciando pela aquisição das imagens disponíveis no banco de dados da MapBiomias passaram pelos processos de recorte com o vetor das bacias hidrográficas e concluindo com quantificação das coberturas presentes em cada bacia hidrográfica.

**Figura 4** - Fluxograma da metodologia para quantificação da cobertura da terra a partir das coleções MapBiomas.



.Fonte: Próprio autor.

## 2.3 Análise de água: variáveis limnológicas, mercúrio total e metilmercúrio

As variáveis limnológicas foram conforme o guia de metodologias da *American Public Health Association* (APHA) (1995), já para a quantificação da concentração do mercúrio total e metilmercúrio foram adotadas as resoluções da *Environmental Protection Agency* (EPA) 1630, 1631 e 1669 seguindo-se as recomendações para coleta e análise (EPA, 2003; USA, 1996, 1998, 2002). O métodos segundo cada parâmetro de qualidade de água é apresentado na Tabela 2 e o fluxograma das metodologias é apresentado na Figura 5.

**Tabela 2** - Parâmetros e métodos de análises empregados para a qualidade de água.

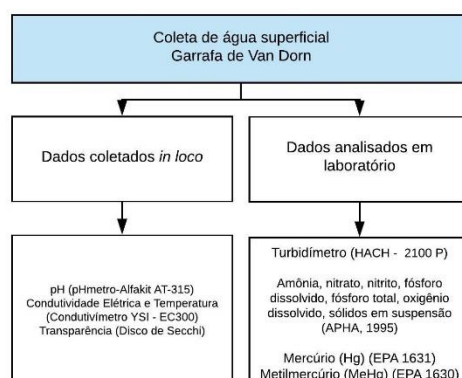
Parâmetro	Métodos	Referências
Amônia	Espectrofotômetro	APHA (1995)
Condutividade Elétrica	<i>In loco</i> por Sonda	(CETESB, 2011)
Fósforo Dissolvido	Espectrofotômetro	APHA (1995)
Fósforo Total	Espectrofotômetro	APHA (1995)
Hg	AFS	EPA (2003)

Parâmetro	Métodos	Referências
MeHg	CG-AFS	EPA (2003)
Nitrato	Espectrofotômetro	APHA (1995)
Nitrito	Espectrofotômetro	APHA (1995)
Oxigênio Dissolvido (OD)	Titulométrico	APHA (1995)
Potencial Hidrogeniônico (pH)	<i>In loco</i> por Sonda	CETESB (2011)
Material Particulado em Suspensão	Gravimétrico	APHA (1995)
Temperatura	<i>in loco</i> por sonda	CETESB (2011)
Transparência da Água	Disco de <i>Secchi</i>	Esteves (1998)
Turbidez	Turbidímetro de bancada	CETESB (2011)

Fonte: Próprio autor.

Os parâmetros limnológicos foram analisados no Laboratório de Limnologia e Microbiologia – LABLIM da Fundação Universidade Federal de Rondônia – UNIR, campus de Ji-Paraná, enquanto o mercúrio total e metilmercúrio foi analisado no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental Wolfgang C. Pfeiffer da Fundação Universidade Federal de Rondônia – UNIR, campus de Porto Velho.

**Figura 5** - Fluxograma da metodologia da pesquisa.



Fonte: Próprio autor.

### 3 QUALIDADE DA ÁGUA, MERCÚRIO TOTAL E METILMERCÚRIO

A Tabela 3 apresenta os resultados dos parâmetros limnológicos da água assim como os valores de mercúrio e metilmercúrio na água entre as contribuições das margens esquerda e direita no trecho do médio Rio Machado.

**Tabela 3** Resumo estatístico mínimo, máximo e média da condutividade elétrica (CE), fósforo dissolvido (Pd), fósforo total (Pt), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), nitrogênio amoniacal ( $\text{NH}_3$ ), oxigênio dissolvido (OD), Potencial Hidrogeniônico (pH), Material Particulado em Suspensão (MPS), transparência (Trans) e turbidez por sazonalidade.

Parâmetro	Sistema	Águas altas			Vazante			Águas baixas			Enchente		
		Mín	Máx	Média	Mín	Máx	Média	Mín	Máx	Média	Mín	Máx	Média
CE ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ )	RM	32,40	34,80	33,60	32,60	34,70	33,83	35,50	36,00	35,80	34,90	37,40	35,77
CE ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ )	MD	8,10	33,30	22,73	5,50	29,90	15,10	5,60	72,60	31,05	8,00	36,60	24,63
CE ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ )	ME	14,20	44,40	30,98	13,10	49,90	28,00	18,50	75,10	41,40	19,00	47,00	32,85
Pd ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	RM	16,57	34,43	25,14	10,40	37,33	23,36	17,67	32,67	25,44	44,94	48,28	46,33
Pd ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	MD	9,43	33,71	16,21	9,40	51,40	26,83	17,67	68,50	35,58	4,94	44,94	19,25
Pd ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	ME	9,43	19,43	13,54	7,40	95,40	31,87	17,67	33,50	28,92	8,28	55,78	26,82
Pt ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	RM	38,86	63,14	47,43	19,83	103,40	68,54	61,83	98,50	85,17	101,00	119,33	110,44
Pt ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	MD	13,86	68,86	39,57	15,40	104,58	49,95	51,00	107,67	67,25	22,67	109,33	57,53
Pt ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	ME	28,86	56,00	42,61	35,67	197,40	108,66	63,50	102,00	87,71	36,00	100,17	61,21
$\text{NO}_3^-$ ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	RM	25,20	35,99	32,24	29,02	37,41	32,48	0,65	1,22	1,02	0,58	1,01	0,82
$\text{NO}_3^-$ ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	MD	28,50	33,57	30,76	27,20	36,36	31,79	0,17	1,11	0,66	0,47	1,85	0,97
$\text{NO}_3^-$ ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	ME	21,15	30,25	27,40	30,74	35,48	32,88	0,29	1,02	0,60	0,36	2,03	1,09
$\text{NO}_2^-$ ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	RM	4,10	9,27	6,16	4,43	4,93	4,71	1,86	7,21	4,95	23,11	25,07	24,24
$\text{NO}_2^-$ ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	MD	2,10	6,93	3,74	0,77	4,77	2,49	0,96	8,64	4,74	5,61	24,89	13,20
$\text{NO}_2^-$ ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	ME	4,43	8,93	6,48	0,93	5,60	2,89	0,00	7,57	4,92	9,54	21,14	14,36
$\text{NH}_3$ ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	RM	24,60	92,10	65,10	26,60	71,60	48,77	7,10	23,60	15,43	8,10	18,21	11,97
$\text{NH}_3$ ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	MD	12,10	773,10	156,35	26,10	168,10	59,77	23,60	1277,60	248,85	7,55	11,47	8,83
$\text{NH}_3$ ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	ME	15,60	255,60	89,98	2,10	72,60	41,60	9,10	34,10	22,10	8,26	20,82	12,93
OD ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	RM	6,12	6,94	6,53	7,00	10,33	8,44	8,00	11,67	10,00	6,67	8,00	7,44
OD ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	MD	5,31	8,89	6,86	4,67	10,67	7,72	4,67	10,67	7,17	7,00	8,00	7,28
OD ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	ME	5,71	7,14	6,73	7,33	10,33	8,75	7,33	10,33	8,75	6,33	7,00	6,83
pH	RM	6,78	6,91	6,83	7,00	7,20	7,09	6,60	7,40	6,97	6,70	6,72	6,71
pH	MD	6,55	6,94	6,77	4,07	6,65	5,75	4,74	7,30	6,20	5,35	6,75	6,21
pH	ME	6,57	7,13	6,82	5,94	7,00	6,50	5,85	7,63	6,66	6,24	6,87	6,61
MPS ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	RM	91,00	112,00	92,40	65,00	80,00	66,00	5,00	65,00	17,00	51,00	66,00	55,00
MPS ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	MD	14,00	79,80	59,50	10,00	57,00	42,50	4,00	34,00	18,50	16,00	43,00	31,50
MPS ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	ME	37,80	96,60	86,10	27,00	69,00	61,50	31,00	79,00	49,50	8,00	55,00	38,50
Transp (m)	RM	0,53	0,69	0,59	0,28	0,38	0,35	0,65	0,70	0,68	0,22	0,31	0,25

<b>Parâmetro</b>	<b>Sistema</b>	<b>Águas altas</b>				<b>Vazante</b>			<b>Águas baixas</b>			<b>Enchente</b>		
Transp (m)	MD	0,80	1,20	0,96	0,32	1,09	0,71	0,20	1,15	0,55	0,36	1,17	0,79	
Transp (m)	ME	0,63	1,19	0,80	0,33	0,95	0,58	0,49	0,73	0,59	0,41	0,63	0,49	
UNT (UNT)	RM	32,40	36,60	34,60	23,50	52,00	34,00	8,88	14,40	12,19	57,40	86,10	75,93	
UNT (UNT)	MD	7,15	33,90	18,40	4,00	16,50	9,92	7,54	40,50	16,19	8,60	66,40	29,10	
UNT (UNT)	ME	9,34	46,40	27,41	5,00	28,50	16,75	5,20	34,80	19,98	24,70	43,70	37,40	

Observações: RM = Rio Machado; MD = Margem direita; ME = Margem esquerda.

Fonte: Próprio autor.

### 3.1 MERCÚRIO TOTAL E METILMERCÚRIO NA ÁGUA

Os resultados das concentrações do mercúrio total e metilmercúrio na água são encontrados na Tabela 4. Foi observado que no Rio Tarumã a concentração de mercúrio total variou entre 0,90 ng.L<sup>-1</sup> a 34,38 ng.L<sup>-1</sup>. Enquanto que o menor valor de metilmercúrio encontrado foi de 0,01 ng.L<sup>-1</sup> no Igarapé Azul, já o maior valor encontrado foi de 0,66 ng.L<sup>-1</sup>.

**Tabela 4** - Estatística descritiva do Hg total e MeHg (ng.L<sup>-1</sup>) e percentual de MeHg em relação ao Hg total na águas dos tributários e rio principal.

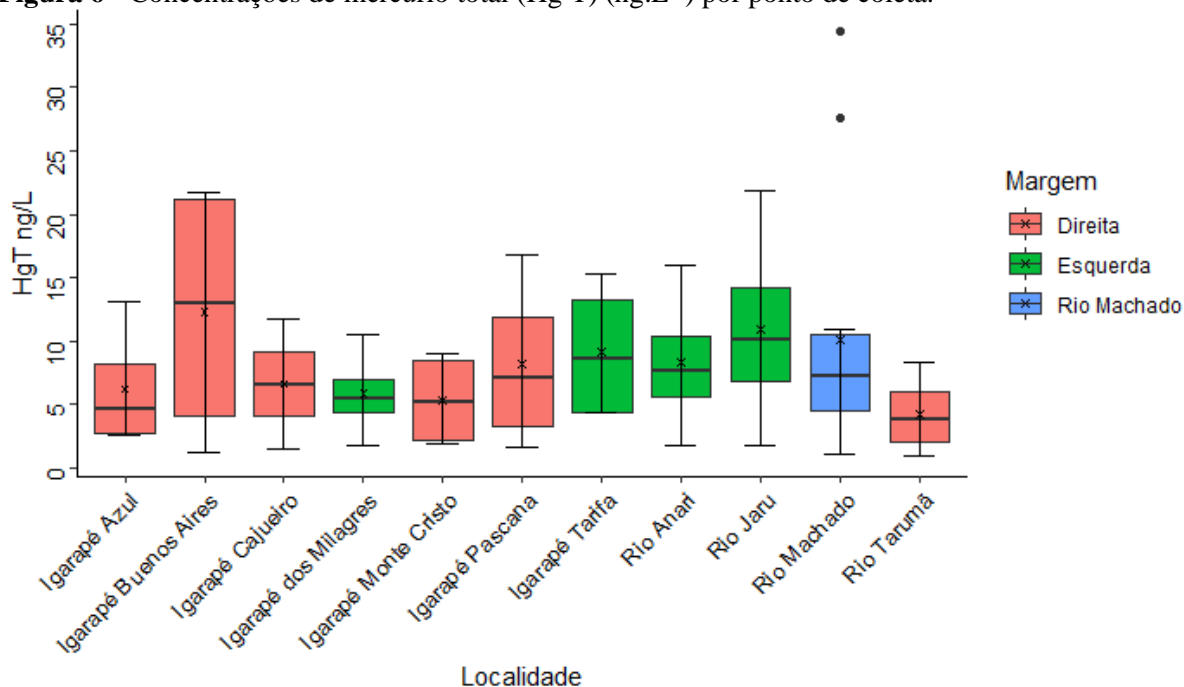
Ponto	HgT			MeHg			MeHg.HgT*100%
	Mín	Média	Max	Mín	Média	Max	
Ig. Azul	2,52	6,18	13,03	0,01	0,12	0,23	2,78 (8,58-0,47)
Ig. Buenos Aires	1,20	12,23	21,68	0,03	0,12	0,21	4,87 (17,84-0,17)
Ig. Cajueiro	1,41	6,59	11,75	0,05	0,13	0,20	4,74 (14,57-0,43)
Ig. dos Milagres	1,74	5,81	10,55	0,08	0,28	0,66	11,34 (37,90-0,80)
Ig. Monte Cristo	1,84	5,33	9,03	0,03	0,14	0,23	4,37 (12,43-0,76)
Ig. Pascana	1,66	8,16	16,85	0,07	0,15	0,22	4,10 (11,86-0,58)
Ig. Tarifa	4,32	9,15	15,23	0,08	0,21	0,46	2,75 (5,12-0,60)
Rio Anari	1,70	8,26	16,03	0,04	0,14	0,20	3,65 (11,05-0,64)
Rio Jaru	1,74	10,89	21,78	0,05	0,13	0,20	3,56 (11,80-0,44)
Rio Machado	1,06	10,10	34,38	0,02	0,12	0,21	4,77 (17,43-0,05)
Rio Tarumã	0,90	4,21	8,32	0,04	0,12	0,19	6,47 (19,63-0,79)

Fonte: Próprio autor.

As análises indicam que há diferenças significativas entre os valores de metilmercúrio que afluem da Rebio Jaru em relação ao Rio Machado como também em relação aos afluentes da margem esquerda do Rio Machado.

A Figura 6 apresenta o gráfico *boxplot* da distribuição estatística do mercúrio total na área de estudo. O Igarapé Buenos Aires e o Rio Jaru apresentaram os maiores valores. O Rio Tarumã apresentou as mínimas observadas na área de estudo. Deve-se considerar que a bacia hidrográfica do Rio Tarumã representa 71,48% da Rebio Jaru.

**Figura 6** - Concentrações de mercúrio total (Hg T) (ng.L<sup>-1</sup>) por ponto de coleta.



Fonte: Próprio autor.

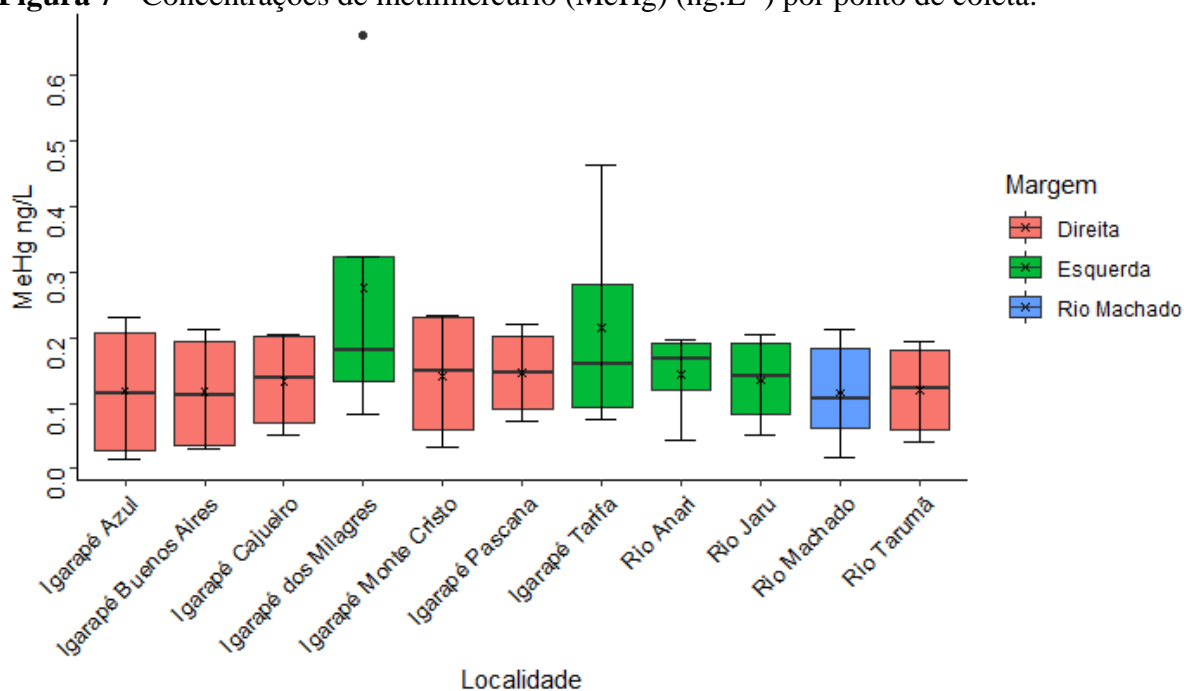
A máxima do Hg T foi observada no Rio Machado (34,48 ng.L<sup>-1</sup>) durante o período de enchente, este ponto é o ponto mais a montante do trecho estudado. A mínima observada foi no Rio Tarumã (0,90 ng.L<sup>-1</sup>) no período das águas baixas. Os valores dos tributários da margem direita variaram entre 0,90 e 21,68 ng.L<sup>-1</sup> Hg T enquanto que nos tributários da margem esquerda variam entre 1,70 e 21,78 ng.L<sup>-1</sup> Hg T. O Rio Machado apresentou valores de Hg T entre 1,06 e 34,38 ng.L<sup>-1</sup>.

Os gráfico *boxplot* do metilmercúrio é apresentado na Figura 7. Os valores de metilmercúrio não apresentaram relações com as concentrações do mercúrio total. A máxima foi observada no Igarapé dos Milagres (0,66 ng.L<sup>-1</sup>) no período das águas baixas. Já a mínima foi registrada no Igarapé Azul (0,01 ng.L<sup>-1</sup>) durante o período da vazante.

Nos tributário da margem direita os valores de metilmercúrio variam entre 0,01 e 0,23 ng.L<sup>-1</sup> MeHg, nos tributários da margem esquerda a variou de 0,04 a 0,66 ng.L<sup>-1</sup> MeHg e no Rio Machado foi observado valores entre 0,02 e 0,21 ng.L<sup>-1</sup> MeHg.



**Figura 7** - Concentrações de metilmercúrio (MeHg) (ng.L<sup>-1</sup>) por ponto de coleta.



Fonte: Próprio autor.

### 3.2 ANÁLISE MORFOMÉTRICA E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO MERCÚRIO

Os valores obtidos a partir das análises morfométricas são apresentados na Tabela 5. As maiores bacias hidrográficas estudadas foram a do Rio Jaru e a do Rio Tarumã. Somadas, todas as bacias estudadas totalizam 11727,57 km<sup>2</sup>. As áreas das bacias hidrográficas estudadas variaram entre 25,84 e 7244,75 km<sup>2</sup>.

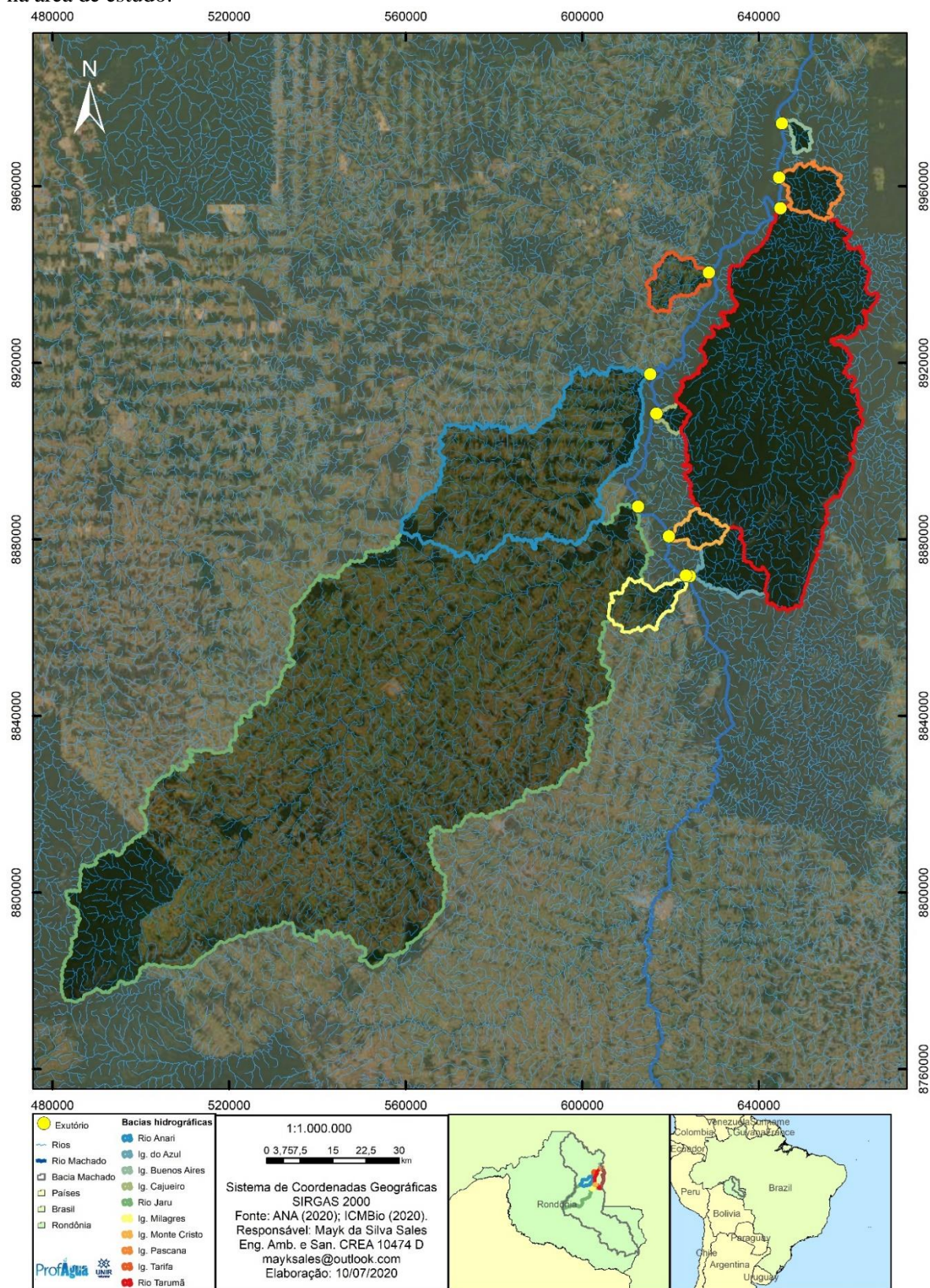
**Tabela 5** - Análise morfométrica das bacias hidrográficas da área de estudo dos parâmetros área (A) (km<sup>2</sup>), contribuição (C) (%), perímetro (P) (km), comprimento axial (C.Axial) (km), coeficiente de compacidade (Cc) (adimensional), fator forma (FF) (adimensional), drenagens (D) (km), densidade de drenagem (DD) (km/km<sup>2</sup>), cota mínima (H mín) (m), cota máxima (H máx) (m).

Bacia	Margem	A	C	P	C. Axial	Cc	FF	IC	D	DD	H mín.	H máx.
Igarapé Azul	MD	149,67	1,28	69,25	17,81	1,58	0,47	0,39	130,66	0,87	120,00	413,00
Igarapé Buenos Aires	MD	25,84	0,22	30,81	8,72	1,70	0,34	0,34	20,98	0,81	91,00	169,00
Igarapé Cajueiro	MD	30,09	0,26	29,93	7,80	1,53	0,49	0,42	26,37	0,88	110,00	192,00
Igarapé dos Milagres	ME	133,72	1,14	66,16	19,93	1,60	0,34	0,38	113,45	0,85	117,00	368,00
Igarapé Monte Cristo	MD	66,26	0,56	43,83	13,65	1,51	0,36	0,43	59,04	0,89	120,00	402,00
Igarapé Pascana	MD	120,67	1,03	59,90	14,91	1,53	0,54	0,42	123,40	1,02	97,00	232,00
Igarapé Tarifa	ME	110,77	0,94	56,27	15,46	1,50	0,46	0,44	139,35	1,26	100,00	258,00
Rio Anari	ME	1345,21	11,47	244,62	66,86	1,87	0,30	0,28	1014,83	0,75	102,00	342,00
Rio Jaru	ME	7244,75	61,78	605,95	171,33	1,99	0,25	0,25	5201,95	0,72	105,00	586,00
Rio Tarumã	MD	2500,59	21,32	331,89	90,89	1,86	0,30	0,29	1983,98	0,79	100,00	503,00

Fonte: Próprio autor.

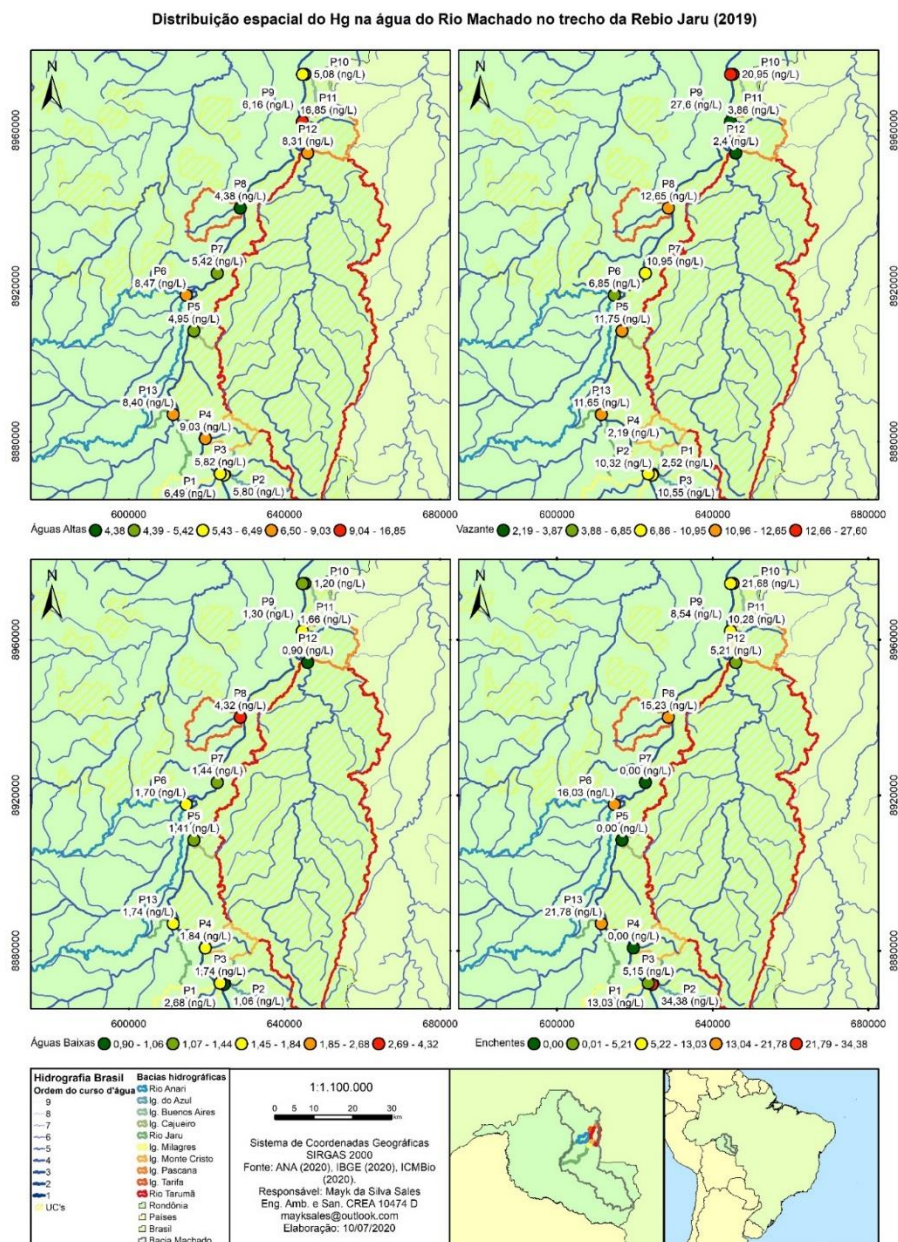
As bacias hidrográficas delimitadas são apresentadas na Figura 8. Nas Figuras 9 e 10 são espacializadas as concentrações de mercúrio total e metilmercúrio, respectivamente.

**Figura 8** - Delimitação das bacias hidrográficas da margem direita e margem esquerda do Rio Machado na área de estudo.



Fonte: Próprio autor.

**Figura 9** - Distribuição espacial das concentrações de mercúrio total (Hg T) em relação aos pontos de coleta e sazonalidade.

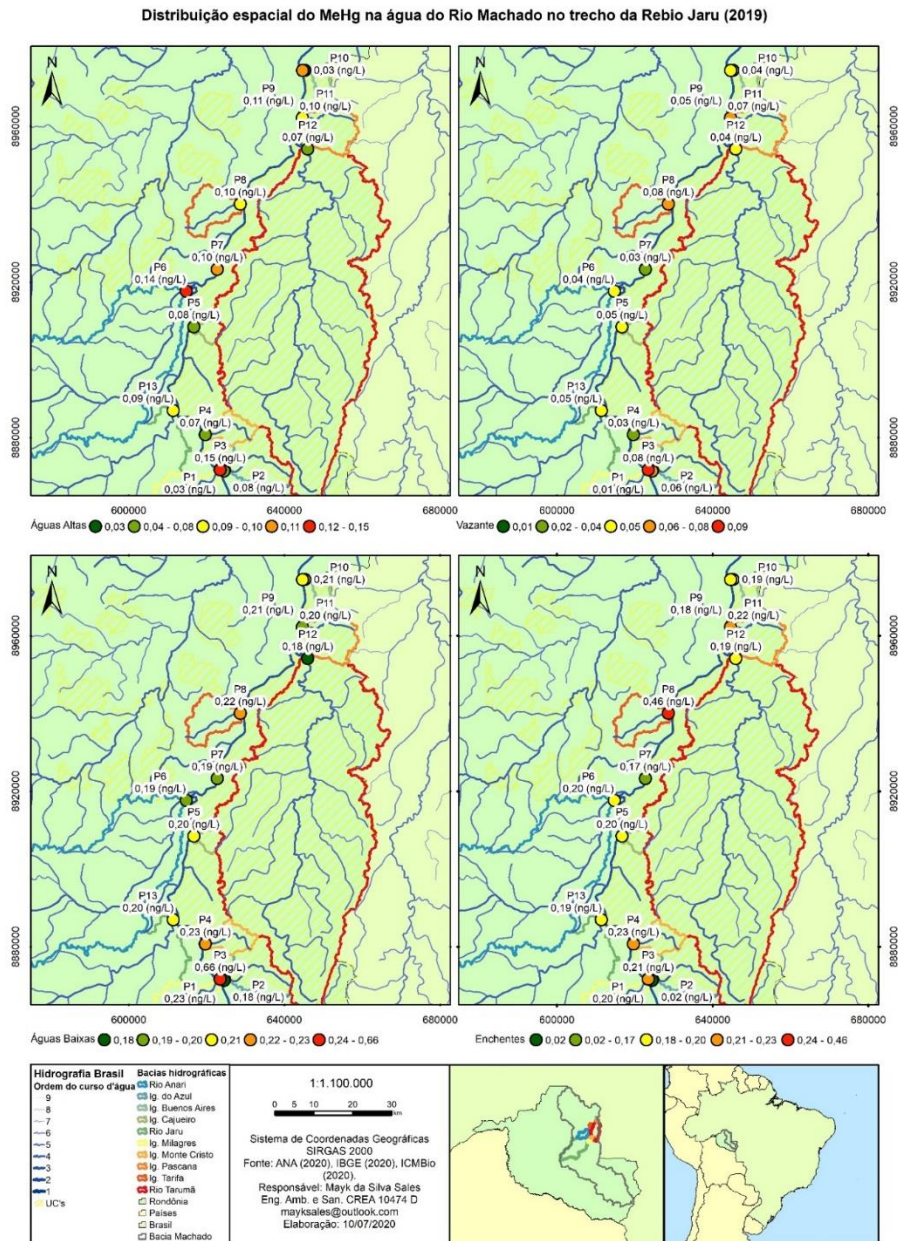


Fonte: Próprio autor.

Foi observado um redução da concentração do mercúrio total entre da montante para a justando do Rio Machado. Já no ponto médio do Rio Machado foi observado a menor média entre os pontos do Rio Machado. A média de mercúrio total a montante (P2) foi de  $12,89 (\pm 14,82) \text{ ng.L}^{-1}$ , no ponto médio (P7) do Rio Machado foi de  $5,94 (\pm 4,78) \text{ ng.L}^{-1}$  e a jusante (P9) foi de  $10,90 (\pm 11,53) \text{ ng.L}^{-1}$ .

Na Figura 10 é apresentada a distribuição espacial dos valores do metilmercúrio nos diferentes períodos hidrológicos na área de estudo.

**Figura 10 - Distribuição espacial das concentrações de metilmercúrio (MeHg) em relação aos pontos de coleta e sazonalidade.**



Fonte: Próprio autor.

As concentrações do metilmercúrio no trecho do médio Rio Machado apresentaram elevação de sua concentração entre a montante para a jusante do Rio Machado. Já no ponto médio do Rio Machado foi observado a menor média entre os pontos do Rio Machado. A média de metilmercúrio a montante (P2) foi de  $0,09 (\pm 0,07) \text{ ng.L}^{-1}$ , no ponto médio (P7) do Rio Machado foi de  $0,12 (\pm 0,07) \text{ ng.L}^{-1}$  e a jusante (P9) foi de  $0,14 (\pm 0,07) \text{ ng.L}^{-1}$ .

### 3.3 COBERTURA DA TERRA

As bacias hidrográficas que estão no interior da Rebio Jaru encontram-se preservadas, pois predominantemente a classe indentificada foi a Formação Florestal. A que apresentou maior proporção de Formação Florestal foi a do Igarapé Azul (99,97% Formação Florestal).

Todas as bacias hidrográficas da margem esquerda apresentaram a classe pastagem e dentre elas a bacia hidrográfica do Igarapé Tarifa foi que maior proporção de pastagem em relação a sua área total (80,07%). A bacia do Rio Jaru foi a que apresentou maior área de de infraestrutura urbana, indicando que esta é a que possui maiores contribuições do esgoto urbano. Os resultado da cobertura da terra são apresentados na Tabela 9.

**Tabela 6** – Cobertura da terra nas bacias hidrográficas proporcional a área sua total.

Bacia	Formação Florestal	Outra Formação Natural não Florestal	Pastagem	Cultura anual e Perene	Infr. Urbana	Água
Igarapé Azul	99,97	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
Igarapé Buenos Aires	99,69	0,04	0,20	0,00	0,00	0,07
Igarapé Cajueiro	99,29	0,00	0,71	0,00	0,00	0,00
Igarapé dos Milagres	24,65	0,00	74,96	0,10	0,00	0,29
Igarapé Monte Cristo	98,48	0,04	1,42	0,05	0,00	0,00
Igarapé Pascana	98,63	1,02	0,18	0,06	0,00	0,11
Igarapé Tarifa	19,46	0,00	80,07	0,01	0,00	0,46
Rio Anari	24,25	0,00	75,33	0,08	0,02	0,32
Rio Jaru	21,79	0,54	77,01	0,02	0,23	0,42
Rio Tarumã	99,66	0,02	0,22	0,01	0,00	0,09

Fonte: Map Biomas (2020).

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os tributários da margem direita do Rio Machado que afluem da Rebio Jaru são provenientes de bacias hidrográficas mais preservadas.

A cobertura da terra influenciou nas concentrações do metilmercúrio representada pela diferença estatística entre os tributários da margem direita em relação aos tributários da margem esquerda e o próprio Rio Machado.

A redução da concentração do mercúrio total no trecho do médio Rio Machado tem ligação com a presença da Rebio no trecho.

É necessário mais estudos para compreender a elevação da concentração do metilmercúrio, visto que este fenômeno ocorre principalmente pela atividade bacteriana, mas que neste estudo não foi conclusivo em relação com os tributários ou do próprio Rio Machado.

## 5 REFERÊNCIAS

ANA, Agência Nacional de Águas. **HidroWeb - Sistema de Informações Hidrológicas**. [s. l.], 2020. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/>. Acesso em: 20 ago. 2019.

APHA, American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 1995. ed. Washington: [s. n.], 1995. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/ISBN 9780875532356>

CETESB, COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras**. São Paulo: ANA, 2011. *E-book*. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/GuiaNacionalDeColeta.pdf>

EPA, Environmental Protection Agency. **Index to EPA test methods**. 1. ed. Boston, MA: [s. n.], 2003. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1359183510364074>. Acesso em: 3 dez. 2018.

ESTEVES, Francisco De Assis. **Fundamentos de Limnologia**. 2ª Ed. ed. [S. l.: s. n.]. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/znc-1987-0514>

FADINI, P. S.; JARDIM, W. F. Is the Negro River Basin (Amazon) impacted by naturally occurring mercury? **The Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 275, p. 71–82, 2001.

SIQUEIRA, Gilmar W. *et al.* Mercury in the Amazon basin: Human influence or natural geological pattern? **Journal of South American Earth Sciences**, [S. l.], v. 86, p. 193–199, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2018.06.017>

SIQUEIRA, Gilmar W.; APRILE, Fabio M. Distribuição de mercúrio total em sedimentos da plataforma Continental Amazônica - Brasil. **Acta Amazonica**, [S. l.], v. 42, n. 2, p. 259–267, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672012000200012>

USA. **Method 1669: Sampling Ambient Water for Trace Metals at EPA Water Quality Criteria Levels**. United States of America: [s. n.], 1996. Disponível em: [https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/method\\_1669\\_1996.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/method_1669_1996.pdf). Acesso em: 24 jul. 2020.

USA. **Method 1630: Methyl Mercury in Water by Distillation, Aqueous Ethylation, Purge and Trap, and Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry**. Washington, DC, USA: [s. n.], 1998. p. 55. Disponível em: [https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/method\\_1630\\_1998.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/method_1630_1998.pdf). Acesso em: 3 dez. 2018.



**USA. Method 1631, Revision E: Mercury in Water by Oxidation, Purge and Trap, and Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry Method 1631, Revision E: Mercury in Water by Oxidation, Purge and Trap, and Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry.** Washington, DC: [s. n.], 2002.p. 45. Disponível em: [https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/method\\_1631e\\_2002.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/method_1631e_2002.pdf). Acesso em: 3 dez. 2018.

# APÊNDICES



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: 68078-1	Data da Emissão: 19/02/2019 11:04:12	Data da Revalidação*: 19/02/2020
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: Mayk da Silva Sales	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	Coleta de dados realizadas neste período	02/2019	12/2019

### Equipe

#	Nome	Função	CPF	Nacionalidade
1	Ronaldo Almeida	Pesquisador Orientador	[REDACTED]	Brasileira
2	Elisabete Lourdes do Nascimento	Pesquisador Colaborador	[REDACTED]	Brasileira
3	João Paulo de Oliveira Gomes	Pesquisador Colaborador	[REDACTED]	Brasileira
4	Etienne Oliveira Silva	Pesquisador Colaborador	[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 de Ciência e Tecnologia.
3	O titular de licença ou autorização e os membros da 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 condição in situ.
4	Esta autorização NÃO exige 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 <a href="http://www.mma.gov.br/cgen">www.mma.gov.br/cgen</a> .

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](http://www.icmbio.gov.br/sisbio)).

Código de autenticação: 0680780120190219

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: 68078-1	Data da Emissão: 19/02/2019 11:04:12	Data da Revalidação*: 19/02/2020
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: Mayk da Silva Sales	CPF: [REDACTED]
Nome da Instituição: Fundação Universidade Federal de Rondônia	CNPJ: 04.418.943/0001-90

#### Outras ressalvas

1	O pesquisador deverá informar com a devida antecedência as visitas à REBIO Jaru, por meio dos seguintes canais: Email: patricia.ribeiro@icmbio.gov.br End: Rua São Cristóvão, 903 - Jardim Presidencial - Ji-Paraná/RO	CR 1 Porto Velho-RO
---	--	---------------------

#### 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 de UC Federal

#### Destino do material biológico coletado

#	Nome local destino	Tipo destino
1	Fundação Universidade Federal de Rondônia	Laboratório

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](http://www.icmbio.gov.br/sisbio)).

Código de autenticação: 0680780120190219

Página 2/3



### Autorização para atividades com finalidade científica

Número: 68078-1	Data da Emissão: 19/02/2019 11:04:12	Data da Revalidação*: 19/02/2020
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: Mayk da Silva Sales	CPF: [REDACTED]
Nome da Instituição: Fundação Universidade Federal de Rondônia	CNPJ: 04.418.943/0001-90

### Registro de coleta imprevista de material biológico

De acordo com a Instrução Normativa nº03/2014, a coleta imprevista de material biológico ou de substrato não contemplado na autorização ou na licença permanente deverá ser anotada na mesma, em campo específico, por ocasião da coleta, devendo esta coleta imprevista ser comunicada por meio do relatório de atividades. O transporte do material biológico ou do substrato deverá ser acompanhado da autorização ou da licença permanente com a devida anotação. O material biológico coletado de forma imprevista, deverá ser destinado à instituição científica e, depositado, preferencialmente, em coleção biológica científica registrada no Cadastro Nacional de Coleções Biológicas (CCBIO).

Táxon*	Qtde.	Tipo de Amostra	Qtde.	Data

\* Identificar o espécime do nível taxonômico possível.

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](http://www.icmbio.gov.br/sisbio)).

Código de autenticação: 0680780120190219

Página 3/3



**Mayk Sales**  
Eng. Ambiental e Sanitário  
CREA-RO 10474-D