



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
MESTRADO PROFISSIONAL EM REDE NACIONAL EM GESTÃO E  
REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS – PROFÁGUA**

**ARYCÉLIA DA SILVA VIEIRA**

**ANÁLISE DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E DOS PARÂMETROS FÍSICO-  
QUÍMICOS DA ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA IGARAPÉ CARRAPATO EM  
BOA VISTA, RORAIMA**

**BOA VISTA, RR  
2022**

**ARYCÉLIA DA SILVA VIEIRA**

**ANÁLISE DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA IGARAPÉ CARRAPATO EM BOA VISTA, RORAIMA**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, da Universidade Federal de Roraima, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos. Área de concentração: Regulação e Governança de Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Vladimir Souza  
Coorientador: Prof. Dr. Pedro Alves da Silva Filho

**BOA VISTA, RR  
2022**

Dados Internacionais de Catalogação na publicação (CIP)  
Biblioteca Central da Universidade Federal de Roraima

V658a Vieira, Arycélia da Silva.  
Análise do uso e ocupação do solo e dos parâmetros físico-químicos da água na bacia hidrográfica Igarapé Carrapato em Boa Vista, Roraima / Arycélia da Silva Vieira. – Boa Vista, 2022.  
115 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Vladimir Souza.

Coorientador: Prof. Dr. Pedro Alves da Silva Filho.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Roraima, Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

1 – Bacia hidrográfica. 2 – Sensoriamento remoto. 3 – Sistemas ambientais. 4 – Parâmetros físico-químicos. I – Título. II – Souza, Vladimir (orientador). III – Silva Filho, Pedro Alves da (coorientador).

CDU – 556.51(811.4)

Ficha Catalográfica elaborada pela Bibliotecária/Documentalista:  
Mariede Pimentel e Couto Diogo - CRB-11/354 - AM

ARYCÉLIA DA SILVA VIEIRA

**ANÁLISE DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA IGARAPÉ CARRAPATO EM BOA VISTA, RORAIMA**

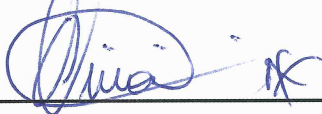
Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, da Universidade Federal de Roraima, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos. Área de concentração: Regulação e Governançade Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Vladimir Souza  
Coorientador: Prof. Dr. Pedro Alves da Silva Filho



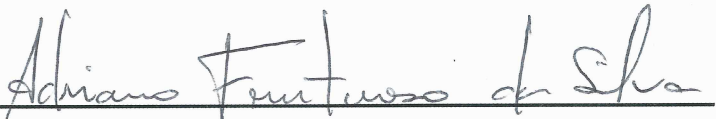
---

**Prof. Dr. Vladimir de Souza – Orientador (UFRR)**



---

**Prof. Dr. Carlos Eduardo Lucas Vieira (UFRR)**



---

**Prof. Dr. Adriano frutuoso da silva (UFRR)**

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho em primeiro lugar, a Deus, sem ele eu não teria capacidade para desenvolver este estudo.

Dedico este trabalho ao meu pai **Ariosvaldo** e a minha mãe **Simone Maria**, aos quais agradeço por todos os esforços e incentivos para eu continuar a jornada, minha base, meu espelho, para que eu pudesse me tornar a pessoa que sou hoje.

Dedico este trabalho aos meus queridos irmãos, em especial ao meu irmão **Nilson Vieira**, que me deu toda estrutura e suporte necessário para me dedicar aos estudos.

Dedico a minha filha amada, **Isabella Helena**, tão pequena e tão compreensiva, minha força diária.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu querido orientador e amigo, professor Dr. Vladimir de Souza, por todo conhecimento repassado nessa caminhada rumo ao saber, orientação que possibilitou a realização desta pesquisa, mesmo diante de tantos desafios, incertezas e dificuldades.

Também quero agradecer imensamente ao meu coorientador, professor Dr. Pedro Alves da Silva Filho, por todo apoio nessa jornada.

Agradeço a UFRR, pelo ensino gratuito e de qualidade, e aos professores pelas conversas e ensinamentos.

Agradeço a coordenadora do mestrado, professora Dra. Elizete Holanda, por toda a assistência prestada nessa caminhada.

Agradeço aos colegas de turma, por proporcionarem um ambiente muito amigável, colaborativo e agradável, em especial ao meu grande amigo **Josemar Moreira da Silva**, meu companheiro de vida e estudos desde a graduação até o presente mestrado.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, e ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº. 2717/2015 pelo apoio técnico científico.

Agradeço a Fundação Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (FEMARH), pelo apoio técnico prestado.

## RESUMO

Uma importante ferramenta para remediação dos danos causados na bacia hidrográfica Igarapé Carrapato é a caracterização do uso e ocupação do solo e as suas fontes poluidoras. É fundamental o monitoramento dessa bacia, pois ela é uma bacia hidrográfica importante para a capital em todos os aspectos, e utilizando-se de diversas ferramentas, foi possível fazer um levantamento integrado através do uso de geotecnologias como o Sensoriamento Remoto, uma ferramenta indispensável no desenvolvimento desta pesquisa, pois possibilitou a extração automática da bacia hidrográfica através de imagens de satélite e processamento digital das mesmas. Foram utilizadas imagens do satélite Landsat 8TM do ano de 2020 e imagens Google do ano de 2021, bem como a ferramenta de processamento ArcGis 10.5. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do uso e ocupação do solo na qualidade da água em diferentes pontos da bacia e também ocorreu o monitoramento dos parâmetros físicos da água, foram analisados os seguintes parâmetros: pH, turbidez, oxigênio dissolvido, temperatura, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvido e sólidos totais em suspensão. Os parâmetros químicos referentes às análises deste trabalho, são ricos em nitrito, nitrato, DBO e nitrogênio amoniacal. Também foram coletadas amostras de água em dois períodos (verão e inverno) e em 09 pontos ao longo do curso d'água principal. Foram observadas no período de inverno as maiores concentrações de nutriente nitrogênio amoniacal. E estas podem ser associadas a várias fontes, não somente aquelas que atuam diretamente na bacia, mas também aquelas que atuam nas bacias que fazem parte desse complexo emaranhado de nascentes compartilhadas. Essas informações contribuem de forma significativa para o diagnóstico ambiental preliminar desses canais e se tornam uma importante ferramenta para o poder público em suas obras de revitalização de canais em áreas urbanas e rurais, bem como para a comunidade científica.

**Palavras-chaves:** Bacia Hidrográfica. Sensoriamento Remoto. Sistemas Ambientais. Parâmetros Físico-Químicos.

## ABSTRACT

An important tool to remediate the damage caused in the Igarapé Carrapato hydrographic basin is the characterization of the use and occupation of only its polluting sources. It is fundamental or monitoring dessa bacia, because it is a very important bacia for the capital in all aspects, and using various tools, it was possible to do an integrated survey through the use of geotechnologies such as Remote Sensing, an indispensable tool not development of this research, which allows the automatic extraction of the hydrographic basin through satellite images and digital processing of the same. Foram used Landsat 8TM satellite images from the year 2020 and Google images from the year 2021, as well as the ArcGis 10.5 processing tool. The objective of this work is to assess the effect of the use and occupation of only the quality of the water in different points of the basin and also conduct or monitor two physical parameters of the water, analyzing the following parameters: pH, turbidity, dissolved oxygen, temperature, electrical conductivity, dissolved total solids and suspended total solids. The chemical parameters referring to the analyzes of this work, are rich in nitrite, nitrate, DBO and ammoniacal nitrogen. There are also collected water samples in two periods (summer and winter) and in 09 points along the course of the main water. Foram observed in the winter period the highest concentrations of ammoniacal nitrogen nutrient. And these can be associated with various sources, not only those that act directly in the basin, but also those that act in basins that are part of the complex of mixed springs. This information contributes significantly to the preliminary environmental diagnosis of the canals and becomes an important tool for the public power in its canal revitalization works in urban and rural areas, as well as for the scientific community.

**Keywords:** Watershed. Remote sensing. Environmental Systems. Physical-Chemical Parameters.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição de águas na Terra .....	17
Figura 2 - Classes de água e seus usos .....	18
Figura 3- Ciclo hidrológico e seus processos distintos. ....	20
Figura 4- Tipos de chuvas. ....	23
Figura 5- Distribuição da água no meio subterrâneo devido a infiltração .....	25
Figura 6- Tipos de água em relação à posição e pressão de ligação com as partículas. ....	26
Figura 7- Esquema de sequência das cargas difusas em ambientes urbanos e rurais .....	36
Figura 8- Classes de enquadramento dos corpos d'água doce quanto aos seus usos, de acordo com Resolução CONAMA 357/2005.....	40
Figura 09 Figura 9- Mapa de localização da bacia hidrográfica Igarapé Carrapato, Boa Vista, Roraima .....	49
Figura 10 - Mapa da Depressão Boa Vista e relevo associado .....	49
Figura 11- Mapa Hipsométrico da bacia hidrográfica Igarapé Carrapato, evidenciando essas áreas planas.....	50
Figura 12- Mapa 3D da bacia e modelagem dimensional da elevação altimétrica ...	51
Figura 13- Mapa Geológico e geoestrutural da área da bacia hidrográfica do Igarapé Carrapato, evidenciando a estruturação da área da bacia sedimentar do Tacutu.....	53
Figura 14- Mapa de solos da Bacia Hidrográfica Igarapé Carrapato .....	54
Figura 15- Mapa hidrográfico da região de estudo e delimitação da Bacia Hidrográfica Igarapé Carrapato .....	55
Figura 16 - Mapa de vegetação da bacia hidrográfica Igarapé Carrapato, mostrando toda sua área de influência inserida dentro de uma área de Savana.....	57
Figura 17- Classificação climática do Estado de Roraima .....	59
Figura 18- Distribuição da precipitação pluviométrica no estado de Roraima .....	61
Figura 19 - Mapa de pontos de coleta das amostras de água para análise físico- química, para identificação das cargas difusas presentes nos corpos hídricos da bacia Hidrográfica Igarapé Carrapato.....	65
Figura 20- Campanhas de coleta de água para análise físico química na bacia do Igarapé Carrapato .....	65

Figura 21- Fluxograma de desenvolvimento da metodologia de extração automática da bacia.....	69
Figura 22- Imagem de satélite mostrando a região norte da bacia, à montante, onde é possível se ver o rosário de lagos e lagoas formados pelas nascentes e os cursos d'água delas derivados. Reparar no compartilhamento destas nascentes com bacias mais a norte (BHI .....	73
Figura 23- Imagem das principais nascentes do Igarapé Carrapato vista em 360°. 74	
Figura 24- Nascente 1 com visada para Leste. Ela é cortada pela rodovia de acesso à vila Passarão (RR 319) e abaixo á direita, fora da foto, há um matadouro de cabras (2°59'9.94"N / 60°44'13.29"O). Ao fundo, vê-se um barramento .....	75
Figura 25 - Nascente 1 com visada para NE .....	76
Figura 26 - Vista aérea da região à montante da bacia com visada para Oeste. Notar a profusão de nascentes formando pequenas lagoas alimentadoras dos fluxos superficiais. ....	77
Figura 27 - Nascente 2 em visada para SSO. A leste dessa nascente (à esquerda, fora da foto) encontra-se a UTE Jaguatirica.....	78
Figura 28- Nascente 3 com visada para Leste. Esta nascente não pode ser amostrada devido à vedação do acesso por parte do proprietário .....	79
Figura 29 - Junção tríplice com visada para Leste. Em direção ao horizonte pode-se visualizar a UTE Jaguatirica e a BHISJ ao fundo .....	80
Figura 30 - Foz da bacia Igarapé Carrapato no período das chuvas desaguando no Rio Cauamé .....	81
Figura 31 - Vista aérea com visada para Oeste. Reparar a planura do terreno com limites difusos entre as duas bacias .....	82
Figura 32 - Mapa Hipsométrico e Pluviométrico da BHIC.....	84
Figura 33 - Mapa de declividade da BHIC. ....	84
Figura 34 - Mapa geológico da área da BHIC.....	86
Figura 35- Mapa Pedológico da área da BHIC. ....	87
Figura 36 - Mapa de Vegetação da BHIC.....	88
Figura 37 - Morfometria da bacia .....	89
Figura 38 - Mapa hidrográfico da BHIC. ....	89
Figura 39 - Mapa de uso e cobertura do solo da BHIC.....	92
Figura 40 - Valores de nitrogênio orgânico (Amoniacal) e oxidado (Nitrito e Nitrato) encontrados na BHIC. Onde: VMP = Valor Máximo Permitido. A soma das razões	

entre as concentrações das formas de nitrogênio e seus respectivos VMP não excederam 1 em nenhum ponto .....	93
Figura 41 - Mapa de distribuição do Nitrogênio Amoniacal na BHIC. ....	95
Figura 42- Mapa de distribuição do Nitrito .....	95
Figura 43 - Mapa de Distribuição do Nitrato .....	96
Figura 44 – Demais resultados químicos para os pontos analisados. Sendo, Ponto (Pt) 1 = Nascente 1; Pt 2 = Corte de estrada; Pt 3 = Grameira, granja e bovinocultura; Pt 4 = Ponte de acesso à termoelétrica; Pt 5 = Nascente 2; Pt 6 = Junção tríplice; Pt 7 .....	97
Figura 45 - Mapa da distribuição de DBO <sub>5,20</sub> na BHIC. ....	98
Figura 46 - Mapa de distribuição do pH na BHIC.....	99
Figura 47- Mapa de distribuição do Oxigênio Dissolvido na BHIC.....	100
Figura 48- Mapa de distribuição dos Sólidos Totais Dissolvidos na BHIC.....	101
Figura 49 - Mapa de distribuição da Turbidez na BHIC. ....	102
Figura 50 - Mapa de distribuição da Condutividade Elétrica na BHIC. ....	103

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	15
2.1. Objetivos Gerais .....	15
2.2. Objetivos Específicos .....	15
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	17
3.1 Ciclo hidrológico .....	20
3.1.1. Evaporação e Evapotranspiração .....	21
3.1.2. Precipitação .....	22
3.1.2.1. Orvalho.....	23
3.1.2.2. Chuva.....	23
3.1.2.3. Granizo.....	25
3.1.2.4. Neve .....	25
3.1.3. Infiltração .....	25
3.1.4. Escoamentos .....	27
3.1.4.1. Superficial .....	27
3.1.4.2. Subterrâneo.....	28
3.1.5. Interceptação das precipitações.....	28
3.1.6. Armazenamento da água.....	29
3.1.6.1. Água no solo.....	29
3.1.6.2. Água nas rochas.....	30
3.1.6.3. Água na superfície.....	30
3.1.6.4. Água na biota.....	31
3.2 Bacias Hidrográficas .....	31
3.3 Uso e ocupação do solo.....	32
3.4. Qualidade da água.....	34
3.4.1. Poluição Hídrica.....	34
3.4.2. Fontes de poluição hídrica.....	35
3.4.3. Modelos empíricos para quantificação de poluentes .....	38
3.4.4. Parâmetros de indicação da qualidade das águas .....	40
3.4.4.1. Oxigênio Dissolvido (OD).....	41
3.4.4.2. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) .....	42
3.4.4.3. Compostos Nitrogenados (NH <sub>4</sub> , NO <sub>2</sub> e NO <sub>3</sub> ).....	42

3.4.4.4. Temperatura (T).....	44
3.4.4.5. Potencial Hidrogeniônico (pH).....	44
3.4.4.6. Sólidos Totais Dissolvidos (TDS).....	45
3.4.4.7. Sólidos Totais em Suspensão (TSS) .....	46
3.4.4.8. Turbidez .....	46
3.4.4.9. Condutividade Elétrica (CE).....	46
3.4.5. Legislação Brasileira sobre a qualidade das águas.....	47
<b>4. METODOLOGIA .....</b>	<b>49</b>
4.1. Caracterização da área de estudo.....	49
4.1.1. Localização e acesso.....	49
4.1.2. Geomorfologia .....	49
4.1.3. Geologia e Pedologia.....	51
4.1.4. Hidrogeologia.....	54
4.1.5. Hidrografia .....	54
4.1.6. Vegetação.....	54
4.1.7. Aspectos Climatológicos.....	59
4.2. Trabalho de Campo .....	61
4.3. Geoprocessamento.....	66
4.3.1. Processamento Inicial do MDE.....	67
4.3.2. Delimitação automática de bacias hidrográficas.....	68
4.3.3. Mapas de uso e ocupação do solo.....	70
4.3.4. Mapas de qualidade das águas.....	70
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>72</b>
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>104</b>
<b>7. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>106</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O controle da poluição dos recursos hídricos consiste em um dos grandes desafios do século XXI. O crescimento populacional e a grande expansão das atividades econômicas são responsáveis pela diminuição da disponibilidade e deterioração da qualidade da água. De acordo com Bione et al. (2009) o crescimento da população em todo o mundo tem como consequência a ampliação da demanda de água, principalmente para uso doméstico, industrial e agrícola. Sendo assim, a tendência é de cada vez mais existir a exploração dos recursos hídricos, muitas vezes comprometendo a qualidade da água dos rios por conta do aumento de atividades cujos resíduos contaminam os corpos d'água.

Com a implementação de melhores práticas de gestão, pode-se garantir a qualidade da água no meio receptor. Uma combinação da prevenção da poluição e práticas de gestão é favorecida pelo planejamento e práticas educativas que são geralmente as mais efetivas, requerendo menos manutenção e têm uma relação custo-benefício de médio a longo prazo. O tratamento das águas pluviais deve ser encarado como a última solução no combate à poluição difusa (SANTOS; LIMA, 2003).

A identificação e o mapeamento das áreas potencialmente poluidoras são de grande importância no planejamento e na adoção de medidas de controle da poluição, sendo que o monitoramento e a quantificação do volume de dejetos são fundamentais para uma avaliação do estado trófico dos corpos de água em uma bacia hidrográfica (STEINKE; SAITO, 2008). A caracterização das fontes poluidoras é uma importante ferramenta para remediação dos danos causados nas bacias hidrográficas. A identificação de possíveis áreas onde há geração de poluentes também se faz importante para o controle da poluição bem como a definição de áreas preferenciais de monitoramentos, essencial para caracterização dos níveis de eutrofização dos cursos d'água na bacia (LIMA, 2016).

De modo geral, há dois tipos de fontes poluidoras, aquelas ditas pontuais, de origem fixa e facilmente identificadas e aquelas ditas difusas, de origem indeterminada e de difícil detecção (SODRÉ, 2012). Como exemplo de fontes pontuais pode-se citar os emissários, fossas ou tanques de dejetos industriais, comerciais ou domésticos, currais, etc. Como exemplo de fontes difusas pode-se citar resíduos dispostos de

forma inadequada nas vias públicas, gases e materiais particulados emitidos por indústrias e veículos (em tempos chuvosos), resíduos orgânicos de animais, entre outros (SODRÉ, 2012).

O escoamento superficial exerce um papel fundamental no alcance e concentração da poluição difusa, sendo que os fatores hidráulicos mais importantes que afetam o volume de escoamento são a quantidade de água precipitada por unidade de tempo e a extensão de superfícies impermeáveis diretamente conectadas aos córregos ou ao sistema de drenagem (GRILLI; BETTINE, 2010). Até não muito tempo atrás, o rastreamento do escoamento superficial em escalas pequenas era uma tarefa bastante difícil e limitada, pois dependia do mapeamento presencial das inclinações do terreno, porém, com o advento de novas geotecnologias, como o Geoprocessamento e o Sensoriamento Remoto, essa tarefa ficou mais fácil e exequível (FILHO; NETO, 1995; NUNES et al., 2021).

Atualmente, a aplicação de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto tanto na delimitação das bacias, como na identificação dos padrões de uso e ocupação do solo é imprescindível para os estudos da qualidade das águas e para a implementação de políticas públicas para a gestão de recursos hídricos (FILHO; NETO, 1995; NUNES et al., 2021). Através delas, é possível não só construir mapas de zoneamento temático de bacias, mas, também, determinar as possíveis cargas de poluentes provenientes de indústrias, do agronegócio e dos locais que não possuem rede de esgoto. Com a elaboração dos mapas com essas informações, os estudos de caracterização da poluição difusa se tornam mais eficazes (FILHO; NETO, 1995; NUNES et al., 2021).

A utilização de geoprocessamento e sensoriamento remoto no estudo e caracterização de bacias hidrográficas localizadas em áreas urbanas e rurais que podem ser adotadas como unidades de planejamento possibilitou estratégias de ações conjuntas entre instituições de ensino, pesquisa e governo, que beneficiam a população e o meio ambiente em que vivem e favorecem maiores avanços na área de modelagem da qualidade da água a partir da análise da bacia hidrográfica como um sistema distribuído no espaço (CARVALHO, 2020).

Na bacia do Igarapé Carrapato, a paz que outrora havia entre os distintos usuários quanto ao uso de seus recursos agora dá lugar a incipientes conflitos. No

Brasil e, em especial na região Norte, existe a falsa ideia de que a água é um recurso abundante e ilimitado, o que tem resultado na instalação descuidada de indústrias, agronegócio, piscicultura e demais usos potencialmente poluidores da água (BORSOI; TORRES, 1997; COSTA; PERIN, 2004). A bacia do Igarapé Carrapato tem ainda o complicante de apresentar nascentes compartilhadas com outras bacias, ou seja, os contaminantes que porventura sejam lançados nestas áreas podem dispersar-se para essas outras bacias também (FALCÃO; OLIVEIRA, 2021; FARIA et al., 2017).

Neste sentido, o mapeamento do uso e cobertura do solo na área da bacia, bem como a identificação e descrição dos padrões de declividade do terreno que condicionam o escoamento superficial são pré-requisitos fundamentais para a determinação dos padrões de dispersão dos contaminantes e para a otimização das soluções de recuperação e/ou remediação das zonas afetadas e para garantir uma gestão mais eficiente e sustentável desses recursos (ENDRENY; WOOD, 2001, CHENG et al., 2018). A qualidade das águas de uma bacia, assim, é o resultado da complexa interação entre os padrões espaço-temporais das características climáticas e geomorfológicas do terreno e os seus padrões espaço-temporais de uso e ocupação do solo (MAINALI; CHANG, 2018).

A determinação da qualidade das águas e a identificação das suas possíveis fontes de contaminação são fundamentais para embasar qualquer tomada de decisões a respeito da outorga de uso dos recursos hídricos e, dada sua importância primordial, é pré-requisito obrigatório para qualquer estudo que tenha por objetivo a gestão de bacias hidrográficas, quer de áreas urbanas, quer de áreas rurais (EVANS et al.; 2019, MÜLLER et al; 2020).

No Brasil, a classificação da qualidade das águas de corpos hídricos é regulada por legislação própria e dependerá de a quais usos elas destinam-se. Assim, por exemplo, águas destinadas à navegação tem exigências de qualidade menos restritivas do que usos destinados ao consumo humano e animal (ANA, 2023). Neste último caso, muitos são os parâmetros químicos, físicos e biológicos envolvidos (ver Portaria 888/21 do Ministério da Saúde), tornando sua determinação mais cara e complexa. Neste contexto, o presente trabalho visa a fornecer uma avaliação básica da qualidade das águas da Bacia Hidrográfica do Igarapé Carrapato (BHIC), relacionando tais resultados aos padrões de uso e cobertura do solo e à geomorfologia locais.



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

O objetivo geral desse trabalho é fornecer um modelo conceitual explicativo da qualidade básica das águas na Bacia do Igarapé Carrapato a partir da determinação dos padrões de uso e cobertura do solo.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Delimitar a bacia do Igarapé Carrapato e confeccionar o mapa de uso e ocupação do solo para identificar as possíveis fontes poluidoras em seu território;
- Analisar os principais parâmetros físico-químicos das águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Igarapé Carrapato;
- Encontrar correlações e possíveis relações de causa e efeito entre os dados de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Igarapé Carrapato/RR e os resultados das análises dos parâmetros físicos e químicos de suas águas.

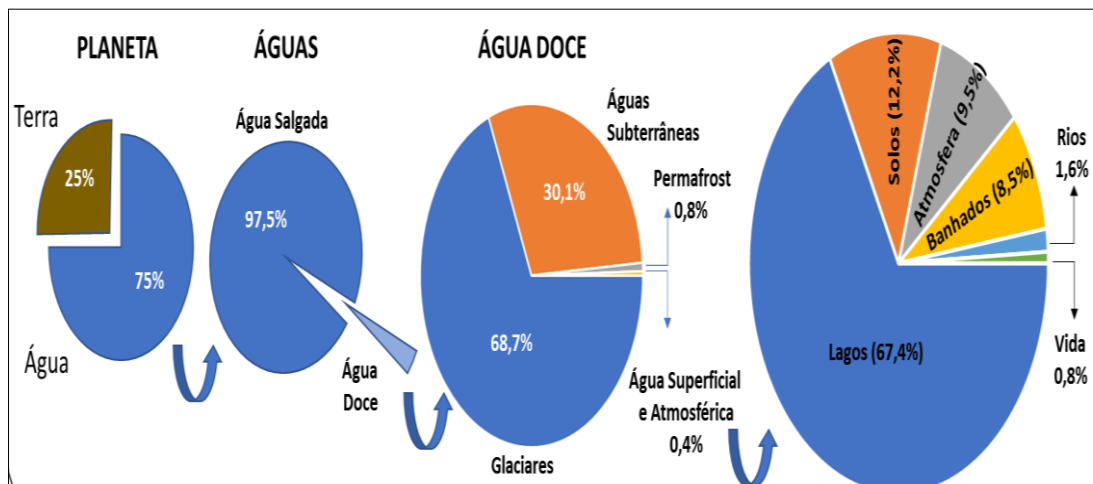
### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

A água é um dos elementos físicos mais importantes na composição da paisagem terrestre, interferindo na fauna e flora e interagindo com os demais elementos da natureza e seu meio, sendo, portanto, parte ativa e relevante dos ciclos biogeoquímicos e da diversidade biológica do planeta Terra (MIRANDA et. al. 2010). Além disso, destaca Tucci (1997), ela é o solvente universal cuja ausência tornaria a vida na Terra impossível. Além de usar a água para suas funções vitais como todas as outras espécies de organismos vivos, a humanidade utiliza os recursos hídricos para um grande conjunto de atividades, tais como, produção de energia, navegação, produção de alimentos, desenvolvimento industrial, agrícola e econômico (TUCCI, 1997).

A superfície do planeta Terra é composta basicamente por terras emersas em uma vastidão de água, o que dá a falsa impressão que temos água potável em abundância. De fato, 75% da superfície da Terra é água ( $\sim 1,16 \cdot 10^9 \text{ km}^3$ ) e só 25% é de terras emersas. Entretanto, aproximadamente 97% ( $1,13 \cdot 10^9 \text{ km}^3$ ) desta água estão nos oceanos e não pode ser utilizada diretamente para o consumo humano, animal ou mesmo vegetal. Os 3% restantes têm, aproximadamente, um volume de 35 milhões de quilômetros cúbicos (TUCCI, 1997).

Grande parte deste volume ( $\sim 69\%$ ) está na forma de gelo nas regiões Ártica e Antártica e outra grande parte ( $\sim 30\%$ ) está armazenada em aquíferos (Fig. 1). Somente 140 mil  $\text{km}^3$ , ou seja, 0,4 % do total de recursos de água doce está disponível e pode ser utilizado diretamente pelo homem. Este volume está armazenado em lagos, flui nos rios e continentes e é a principal fonte de suprimento hídrico para as atividades humanas, seguida das águas subterrâneas, que vem apresentando papel crescente nos últimos tempos. A característica essencial de qualquer volume de água superficial é a sua instabilidade e mobilidade (MIRANDA et. Al. 2010).

Figura 1 - Distribuição de águas na Terra.




Fonte: baseado em TELLES; GÓIS, 2013.

O estudo dos recursos hídricos requer o conhecimento do ciclo hidrológico, seus componentes e as relações entre eles. O ciclo hidrológico é o tema principal da hidrologia e envolve diversos processos e fatores que têm influência sobre as bacias hidrográficas, em especial o papel da vegetação, de que maneira ela interfere na dinâmica hidrológica das bacias e qual é a sua importância para a manutenção dos recursos hídricos (KOBAYAMA, 1999).

Em relação à gestão dos recursos hídricos, além do ciclo hidrológico é necessário o estudo também da qualidade e quantidade de água existente em uma determinada unidade de área, que, segundo a legislação brasileira (e.g. “Lei das Águas” - LF 9.433/1997) é a Bacia Hidrográfica. Segundo a Lei das Águas, a qualidade das águas é aferida através do balanço entre valores de parâmetros físicos, químicos e biológicos de um determinado corpo hídrico e valores legais de referência para esses mesmos parâmetros. Com base nesse balanço, as águas podem ser classificadas em cinco classes, que regularão os usos permitidos a cada uma delas (Fig. 2):

Figura 2 - Classes de água e seus usos

USOS DAS ÁGUAS DOÇES	CLASSES DE ENQUADRAMENTO				
	ESPECIAL	1	2	3	4
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas 	Classe mandatória em Unidades de Conservação de Proteção Integral				
Proteção das comunidades aquáticas 		Classe mandatória em Terras Indígenas			
Recreação de contato primário 					
Aquicultura 					
Abastecimento para consumo humano 	Após desinfecção	Após tratamento simplificado	Após tratamento convencional	Após tratamento convencional ou avançado	
Recreação de contato secundário 					
Pesca 					
Irrigação 		Hortalças consumidas cruas e frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película.	Hortalças, frutíferas, parques, jardins, campos de esporte e lazer,	Culturas arbóreas, cereíferas e forrageiras	
Dessedentação de animais 					
Navegação 					
Harmonia paisagística 					

Observação: As águas de melhor qualidade podem ser aproveitadas em uso menos exigente, desde que este não prejudique a qualidade da água.

Fonte: <http://portalpnqa.ana.gov.br/enquadramento-bases-conceituais.aspx>

A qualidade das águas em uma bacia hidrográfica será o resultado direto da interação delas com o clima, a biota e a geologia/geomorfologia locais e regionais, bem como com as atividades antrópicas desenvolvidas em seu território (MAINALI; CHANG, 2018). Neste último caso, a identificação, descrição e mapeamento dessas atividades e a definição de seu potencial poluidor são imprescindíveis para a compreensão da qualidade das águas da bacia em questão e para a elaboração de planos de ação de mitigação, remediação, recuperação e/ou restauração dos corpos hídricos afetados por essas mesmas atividades (SETTI et al., 2001).

Por estas razões, serão abordados neste capítulo os conceitos fundamentais e mais importantes para a compreensão do Ciclo Hidrológico, das Bacias Hidrográficas, da Hidroquímica das Águas e das relações entre os padrões de Uso e Ocupação do Solo com a qualidade das águas em uma bacia hidrográfica.

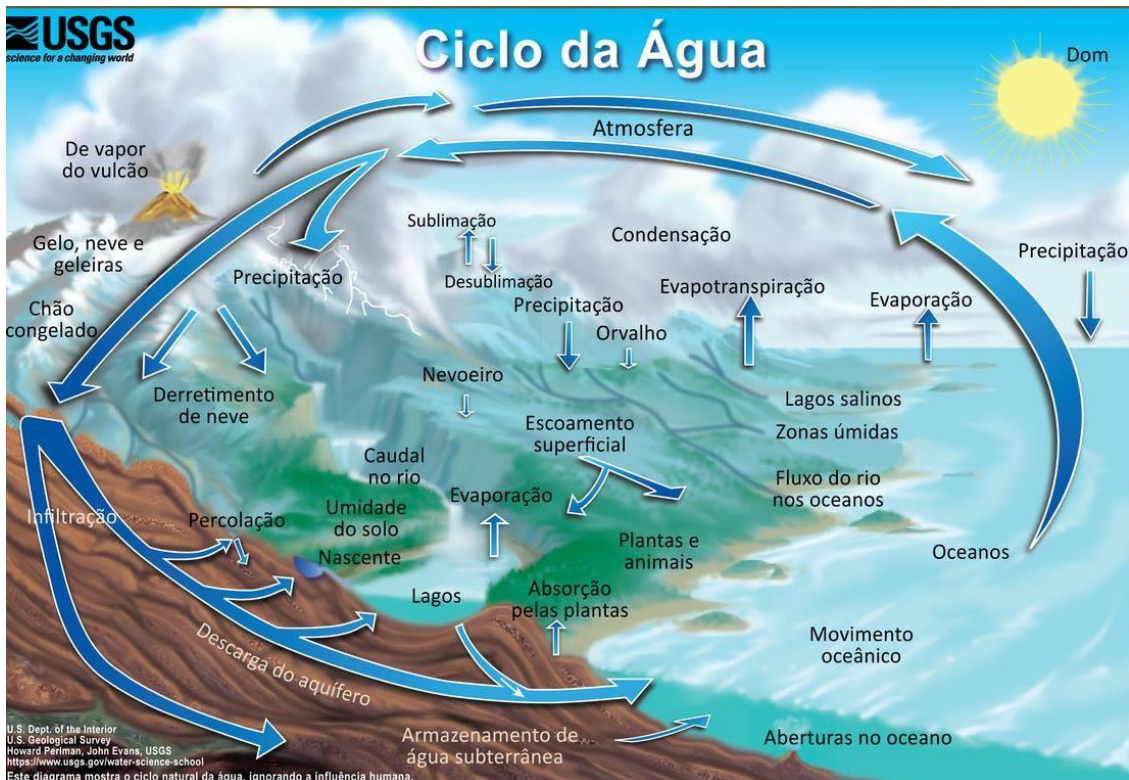
### 3.1 Ciclo Hidrológico

Conforme Silveira (1997), o ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre.

A água na Terra é encontrada em variados reservatórios da atmosfera, hidrosfera, biosfera e litosfera, transitando entre cada um deles através de mudanças de fase sólida, líquida e gasosa (SILVEIRA, 1997). Conhecido por Ciclo Hidrológico (ou ainda por Ciclo d'Água), a natureza fechada desse sistema resulta que a quantidade de água que circula continuamente por estes compartimentos tem mantido-se constante através dos tempos, embora nem sempre com a mesma intensidade e padrão dinâmico (PINTO et. al., 1979; WARD e ROBINSON, 2000; HUNTINGTON, 2006; LIMA, 2008). Estima-se que cerca de 10% do total de vapor seja reciclado diariamente (MIRANDA et. Al. 2010).

A fase mais importante deste ciclo para o homem é justamente a fase líquida, em que ela está disponível para utilização direta (TUCCI, 1997). Os fatores responsáveis pela passagem da água por suas distintas fases e que impulsionam o ciclo hidrológico são a energia térmica solar, a força dos ventos, que transportam vapor d'água para os continentes e a força da gravidade, responsável pelos fenômenos da precipitação, da infiltração e escoamentos das massas de água (TUCCI, 1997). O ciclo hidrológico na superfície terrestre pode ser descrito por sete processos distintos que são eles: Evaporação e Evapotranspiração, Precipitação, Interceptação das precipitações, Infiltração, Escoamentos e Armazenamento da água (conforme pode ser visto na figura 3).

Figura 3- Ciclo hidrológico e seus processos distintos.



Fonte: <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/o-ciclo-dagua-water-cycle-portuguese>

### 3.1.1 Evaporação e Evapotranspiração

Denomina-se evaporação ao conjunto de fenômenos que transformam em vapor a água precipitada sobre as superfícies continentais, marinhas e oceânicas. Como fenômenos responsáveis por essa transformação pode-se citar a radiação solar, a difusão molecular e turbulenta, a temperatura do ar, o vento e a pressão de vapor (MIRANDA et. Al. 2010). Embora o vapor de água possa ser formado diretamente, a partir da sublimação das geleiras, o interesse climatológico está mais concentrado nas mudanças de fase do líquido para o vapor (MIRANDA et. Al. 2010).

A evapotranspiração é definida pelo conjunto de processos biofísicos de transformação de água líquida do solo em vapor liberado para a atmosfera ocorrido ao longo das plantas (TUCCI e BELTRAME, 2000). Esse fenômeno dá-se como subproduto da fotossíntese e, nas plantas superiores,

o volume de água liberado para a atmosfera depende do tamanho e quantidade de poros microscópicos localizados na superfície das folhas, o qual é dinamicamente regulado por processos fisiológicos

das plantas (CUTLER; BOTHA; STEVENSON, 2011). A evapotranspiração é, assim, um processo combinado entre a evaporação da água e a transpiração das plantas dependente da energia solar e da disponibilidade de da água no solo (MIRANDA et al, 2010).

A transferência da água de ecossistemas naturais (floresta) e não naturais (área cultivada), onde o teor de umidade do solo não é limitante, ocorre devido à intensidade do potencial hídrico e as diferenças de padrões meteorológicos prevalentes no local e/ou região (REICHARDT, 1990; TUCCI, 2000).

### **3.1.2 Precipitação**

Uma vez evaporada, a água forma aglomerações de vapor conhecidas como nuvens, quando em maior altitude, ou névoas (cerração), quando próximo à superfície terrestre. Em ambos os casos, a proximidade das moléculas de água e as baixas temperaturas envolvidas (que diminuem a energia cinética das moléculas no vapor) resultam na formação de pequenas gotículas de água, as quais, por sua vez, podem se precipitar na superfície da Terra à medida que aumentam de tamanho, num sentido inverso ao da evaporação e evapotranspiração. Essa precipitação de água pode se dar tanto na forma líquida (orvalho e chuva), quanto sólida (granizo e neve). Assim sendo, a precipitação é definida na climatologia como sendo toda água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre (TUCCI, 1997).

Face o exposto, as precipitações são consideradas como elementos alimentadores da fase terrestre do ciclo hidrológico e constituem-se em importante fator para os processos de escoamento superficial direto, infiltração, evaporação, transpiração, recarga de aquíferos e vazão básica dos rios. Cerca de 70% da quantidade de água precipitada sobre a superfície terrestre retorna para a atmosfera via evaporação e transpiração. Por essa razão as precipitações representam, no ciclo hidrológico, importante papel de elo entre os fenômenos meteorológicos, propriamente ditos, e os demais componentes do ciclo hidrológico (TUCCI, 1997).

#### **3.1.2.1. Orvalho**

O orvalho é a formação de pequenas gotículas de água devido à condensação do vapor d'água presente na atmosfera próxima à superfície da Terra (MENDONÇA;



DANNI-OLIVEIRA, 2007, STEINKE, 2012). O volume de água que chega à superfície da Terra a partir deste fenômeno é comparativamente muito menor do que aquele que chega a partir das chuvas, mas ainda assim é uma importante fonte de água para a vida, principalmente em ambientes áridos ou onde o estresse hídrico é comum (TOMASZKIEWICZ, 2015; BEYSENS, 2018).

### **3.1.2.2. Chuva**

A formação das chuvas está associada à ascensão das massas de ar quente e úmidas e a formação de nuvens. As nuvens se formam quando o ar esfria e o vapor d'água que ele contém condensa, passa do estado gasoso para o estado líquido. O vapor d'água, misturado ao ar, pode atingir altitudes onde a temperatura é tão baixa, que ele se transforma em cristais de gelo. Isto ocorre normalmente quando massas de ar que estão com alta umidade relativa sofrem resfriamento (MIRANDA et. Al. 2010).

Na atmosfera, a ascensão do ar quente e úmido provoca um resfriamento do ar que pode fazê-lo atingir o seu ponto de saturação, ou seja, sua capacidade de conter umidade. Ao atingir 100% da sua capacidade, se seguirá a condensação do vapor de água em forma de minúsculas gotas que são mantidas em suspensão, como nuvens ou nevoeiros. Para ocorrer uma chuva é necessário que essas gotículas cresçam a partir de “núcleos de condensação” (poeira, aerossóis e etc.) até atingirem um peso suficiente capaz de sobrepôr as forças de sustentação e, portanto se precipitarem (MIRANDA et. Al. 2010). São três os tipos de chuvas na natureza, a saber: Chuvas Convectivas, Chuvas Orográficas e Chuvas Frontais (Fig. 4).

Chuvas Convectivas são chuvas formadas pela ascensão das massas de ar quente da superfície terrestre, carregadas de vapor d'água. Ao subir o ar sofre resfriamento provocando a condensação do vapor de água presente e, conseqüentemente, a precipitação. São características deste tipo de precipitação as chuvas de curta duração, alta intensidade, trovoadas, rajadas de ventos e pela sua abrangência em pequenas áreas (MIRANDA et. Al. 2010).

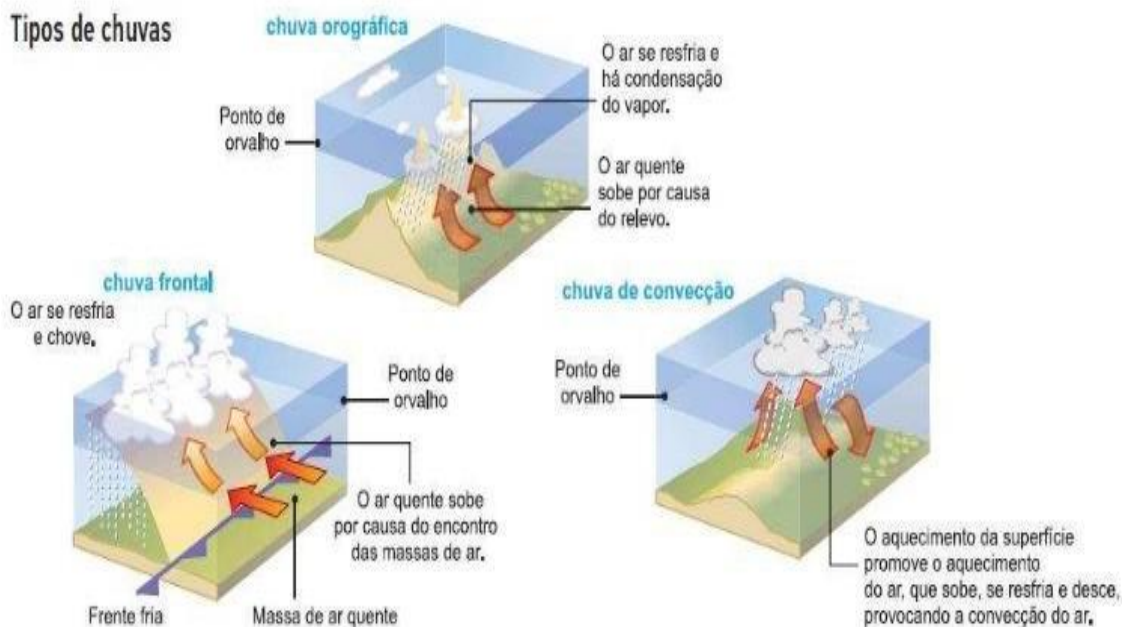
As Chuvas Orográficas são chuvas que são oriundas da passagem de uma massa de ar quente e úmido por uma cadeia de montanha, provocando a ascensão forçada do ar, que gradativamente se esfria provocando a Figura 4 – Tipos de chuvas. Condensação do vapor de água e conseqüentemente a formação de nuvens que se

precipitam. Caracterizam-se pela sua longa duração e baixa intensidade e por não apresentarem qualquer tipo de descarga elétrica (MIRANDA et. Al. 2010).

As chuvas Frontais são originárias do deslocamento de frentes frias ou quentes contra frentes contrárias termicamente. Ou seja, são chuvas que ocorrem ao longo da linha de descontinuidade, separando uma massa de ar de características diferentes. A frente fria, mais densa, entra por baixo, levando para cima a massa de ar quente. Quando esta massa de ar quente possui elevada umidade relativa, a chuva é iminente.

É uma chuva de menor intensidade, com pingos menores e de longa duração. Ocorre por vários dias, apresentando pausas e chuviscos entre fases mais intensas. Na metade sudeste do continente, ocorrer em qualquer época do ano, mas tem maior duração nos meses frios, quando os fenômenos atmosféricos são menos intensos. Pode produzir ventos fortes e grande quantidade de raios. Ocorre em uma imensa área simultaneamente (MIRANDA et. Al. 2010).

Figura 4- Tipos de chuvas.



Fonte: SENE; MOREIRA, 2012

### **3.1.2.3. Granizo**

As precipitações de granizo consistem em partículas de gelo que caem da atmosfera após tornarem-se densas o suficiente para poderem se manter em suspensão na atmosfera. Estas partículas formam-se após o vapor d'água de camadas atmosféricas inferiores serem levadas para estratos mais elevados, cujas temperaturas menores provocam a paulatina condensação e congelamento deste vapor, formando partículas de gelo (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007, STEINKE, 2012). A América do Sul registra as maiores frequências e intensidades deste fenômeno (BRUICK; RASMUSSEN, 2019), razão pela qual, as precipitações de granizo são importantes contribuintes do ciclo hidrológico regional e local.

### **3.1.2.4. Neve**

A precipitação de neve é um fenômeno que tem causas similares às do granizo, porém, o tamanho das partículas de gelo é menor (<5 mm), sendo comum, inclusive, a queda de cristais isolados de gelo, ou pequenos aglomerados de cristais. No Brasil este não é um fenômeno muito frequente, ocorrendo apenas esporadicamente nos estados da região sul (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007, STEINKE, 2012).

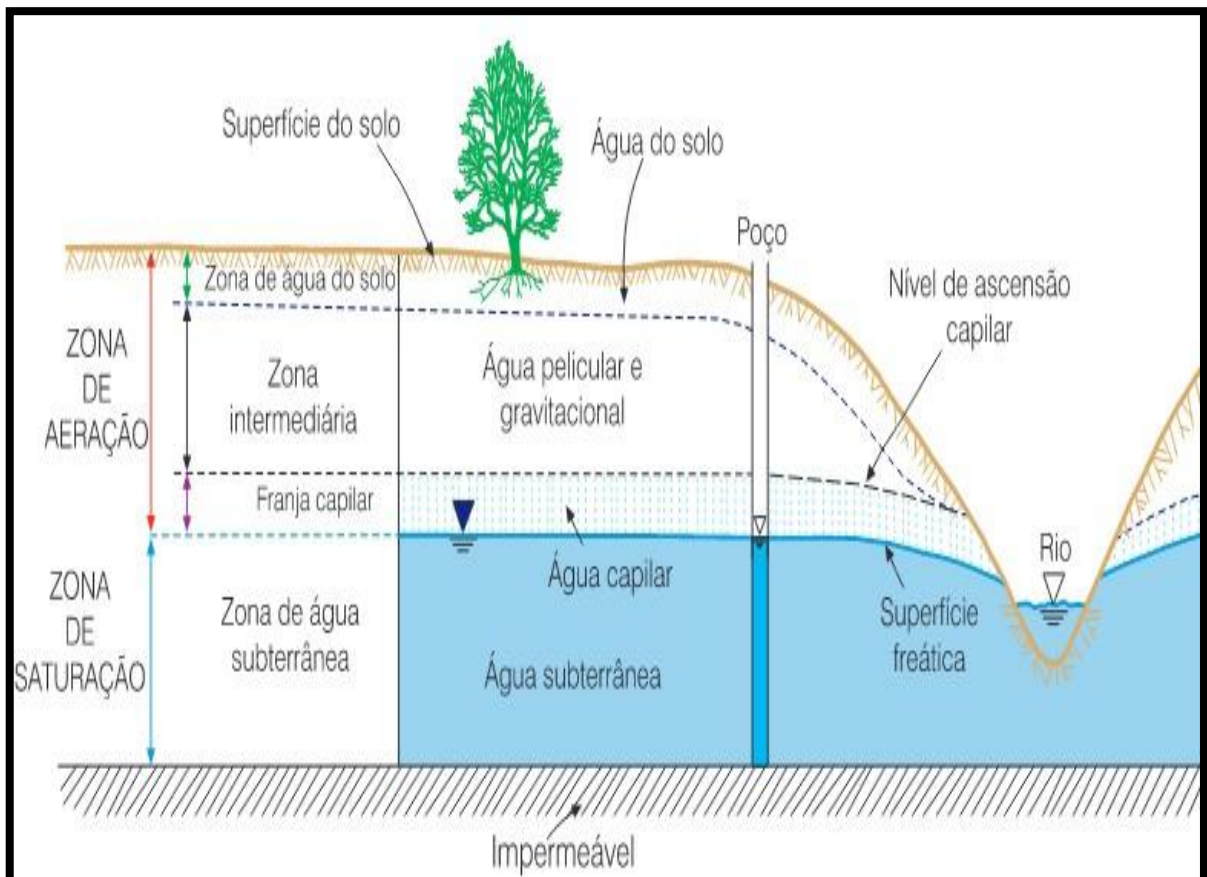
### **3.1.3. Infiltração**

A Infiltração é o processo de penetração da água nas camadas de solo próximas à superfície do terreno, movendo-se para baixo, através de vazios (poros) no material geológico/pedológico, sob a ação da gravidade, até atingir uma camada suporte que a retém. Esta retenção pode saturar parcial ou totalmente a camada reservatória (Fig. 5). Os casos de saturação parcial ocorrem ao nível do solo e caracterizam-se por espaços intergranulares ocupados tanto por água, como por ar e resultando na formação da zona aerada dos aquíferos livres, mais superficiais. A Zona Aerada pode ser subdividida em três estratos, de cima para baixo, a Zona de Água do Solo, a Zona Intermediária e a Franja Capilar. Abaixo da Zona Aerada tem-se a formação de estratos de solo ou rocha totalmente saturados com água (Zona Saturada), constituindo, assim, os aquíferos (FEITOSA et al., 2008).

Quanto à posição das águas em relação às partículas de solo ou rocha e as pressões atuantes, pode-se distinguir três tipos de água (Fig. 6): (1) Águas

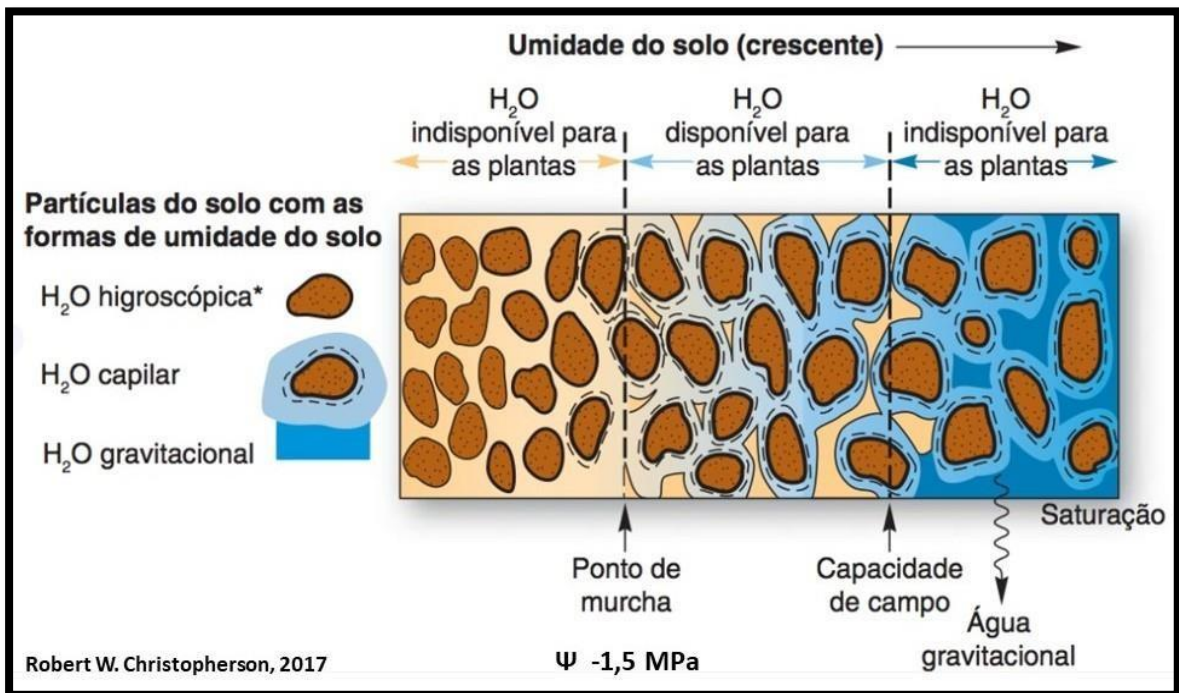
Gravitacionais, aquelas dispostas mais distantemente da partícula e que são facilmente mobilizadas para níveis mais profundos pela ação da gravidade, (2) Águas Higroscópicas, situadas como um filme no entorno imediato das partículas e cujas forças de adesão (entre materiais diferentes – água e partícula) são grandes o suficiente para impedirem sua retirada pela gravidade ou por sistemas naturais (raízes) ou artificiais (bombas hidráulicas) de bombeamento e, por fim, (3) Águas Capilares, situadas entre as duas últimas e cujas forças de coesão (entre materiais de mesma natureza – água e água) são de tal ordem que apenas 2/3 dela pode ser retirada pelas plantas ou sistemas artificiais de bombeamento e pode aprofundar-se por gravidade, restando o outro terço unido às águas higroscópicas (FREEZE; CHERRY, 2017).

Figura 5- Distribuição da água no meio subterrâneo devido a infiltração.



Fonte: FEITOSA et al., 2008.

Figura 6- Tipos de água em relação à posição e pressão de ligação com as partículas.



Fonte: FEITOZA et al, 2008

Usualmente, a infiltração decorrente de precipitações naturais não é capaz de saturar todo o solo, restringindo-se a saturar, quando consegue, apenas as camadas próximas à superfície, conformando um perfil típico onde o teor de água disponível decresce com a profundidade. A redistribuição de água no solo é o movimento da água no perfil do solo depois de cessada a infiltração (FEITOZA et al, 2008). Assim sendo a Capacidade de Campo é usualmente definida como sendo a água retida pelo solo a partir do instante que em que a infiltração se torna desprezível (águas higroscópicas + 1/3 águas capilares), ou seja, o limite superior de água que um determinado solo pode reter (FEITOZA et al, 2008).

Por estas razões, a infiltração torna-se uma das etapas mais importantes no ciclo hidrológico, uma vez que é responsável pelo teor de umidade do solo e a sua capacidade de campo, a recarga de aquíferos e influencia diretamente o escoamento superficial e, conseqüentemente a erosão hídrica (TUCCI e BELTRAME, 2000).

### **3.1.4 Escoamentos**

#### **3.1.4.1. Superficial**

O Escoamento Superficial é a fase do ciclo hidrológico que trata da água oriunda das precipitações que, por efeito da gravidade, se desloca sobre a superfície terrestre. O escoamento superficial pode ocorrer quando a água precipitada cai sobre superfície impermeável, ou quando cai sobre superfície permeável, mas cuja taxa de infiltração não dá conta do volume precipitado por unidade de tempo (Escoamento Hortoniano); ou quando cai sobre superfície permeável, mas já completamente saturada (Escoamento Dunneano) (HORTON, 1933; DUNNE, 1980). O escoamento superficial engloba, portanto, o volume de água precipitada sobre o solo permeável ou impermeável que escoam superficialmente, seguindo linhas de maior declive, na direção de um curso de água mais próximo indo, posteriormente se desembocar nos oceanos. Sua duração está associada praticamente à duração da precipitação (TUCCI, 2000).

#### **3.1.4.2. Subterrâneo**

O escoamento subterrâneo é o fluxo de água através dos meios pedológicos e geológicos (respectivamente, solos e rochas) da superfície da crosta terrestre. Ele ocorre devido à ação da gravidade que movimenta as águas das regiões de maior carga hidráulica para as de menor carga hidráulica, ou seja, das regiões maior cota altimétrica para as de menor cota altimétrica.

Em casos de aquíferos livres, a topografia de sua superfície d'água geralmente espelha a topografia do terreno, enquanto que em casos de aquíferos confinados, esta topografia está condicionada àquela das camadas confinantes. As zonas em que o Nível d'Água encontra-se na maiores cotas altimétricas são por excelência as zonas de recarga, enquanto as de menor cota são as zonas de descarga.

Muitas vezes, estas cotas de Nível d'Água podem ser interceptadas por depressões no terreno, formando, assim, nascentes (FEITOZA et al., 2008). Sendo assim, a água que infiltra nos solos e acabam em aquíferos não ficam imóveis neles, ao contrário, fluem em direção às zonas de descarga, como rios, lagos, lagoas e oceanos.

### 3.1.5. Intercepção das precipitações

Em macro escala, a superfície terrestre se constitui em continentes e oceanos. A menor parte do ciclo hidrológico é constituída pela circulação da água nas superfícies continentais, isto é: a circulação de água no interior e na superfície dos solos e rochas, nos lagos e rios e principalmente no interior dos ecossistemas naturais (LIMA e LEOPOLDO, 2000; MIRANDA, 2006; RUTTER, 1975 e ZINKE, 1967).

Nem toda a água precipitada atingirá o solo, isso porque uma importante parcela das chuvas que atingem os ecossistemas naturais retorna à atmosfera por evaporação ou é interceptada por obstáculos nesse caminho, o que acaba afetando a dinâmica do escoamento superficial e o processo de infiltração.

Dada a quase onipresença de vegetação ao longo das mais variadas superfícies continentais, ela acaba por exercer um importante papel no ciclo hidrológico tanto no nível de quantidade como de qualidade de água, não somente pela evapotranspiração, mas também pela interceptação da água de chuva.

Intercepção é climatologicamente definida como sendo a capacidade que a vegetação tem de reter a chuva nas suas copas, ramos e caules. É um processo fortemente dependente das características das precipitações, das condições climáticas, da densidade da vegetação, da estrutura e arquitetura do dossel e do comportamento fisiológico das plantas durante o ano (TUCCI, 2000). Cabe-nos ressaltar que, em geral, uma folha não é capaz de absorver quase nada da água interceptada em sua superfície.

A capacidade individual de retenção foliar é correlacionada com o tamanho da folha, com sua forma e com a viscosidade da água (RUTTER, 1975). Ressaltando-se as pressões externas causadas por ação dos ventos, do tipo e frequência das precipitações dentre outras também influenciam no teor de água retida na vegetação.

Em zonas urbanas densamente povoadas as precipitações são interceptadas pelas mais variadas construções humanas, variando em sua capacidade e tempo de retenção de acordo com a geometria da feição e é objeto de estudo e planejamento por parte de gestores públicos e privados interessados na eficiência da infraestrutura urbana (CALDEIRA; LIMA, 2020).

### **3.1.6 Armazenamento**

#### **3.1.6.1. *Água no solo***

Redistribuição de água no solo é o movimento vertical e horizontal da água no perfil do solo depois de cessada a infiltração e passa a caracterizar uma propriedade chamada de “Capacidade de Campo”. Neste sentido, a capacidade de campo é também o limite superior de água que um determinado solo pode reter. O armazenamento de água no solo depende da sua textura, da distribuição e tamanho médio dos poros, e da estrutura do solo, uma vez que, solos compactados possuem menor capacidade de armazenamento (FABIAN; FILHO, 2000).

Esta propriedade está relacionada aos processos de escoamento superficial e erosão, pois quanto maior for a capacidade de um solo em armazenar água, menor será o escoamento superficial deste. Além disso, a baixa disponibilidade de água no solo para as plantas afeta o seu desenvolvimento. Os diferentes usos e manejos proporcionam maior ou menor armazenamento de água no solo.

Os usos do solo que causa a sua compactação diminuem o armazenamento de água neste, pois, devido o arranjo das partículas sólidas do solo durante o processo de compactação faz com que o espaço poroso do solo sofra redução, assim, ocorre uma diminuição da quantidade de água armazenável neste solo (KOBAYAMA, 1999). É possível que solos sobrepostos a camadas impermeáveis venham a saturar-se completamente e, sob essa condição, passem à categoria de aquíferos (FEITOZA, 2008).

#### **3.1.6.2. *Água nas rochas***

Rochas com espaços (poros) em sua estrutura podem conter água caso haja comunicação entre os mesmos, ou seja, caso sejam permeáveis. Os poros de rochas podem ser espaços entre grãos, as fraturas, falhas e fissurais ou as cavidades existentes em rochas sedimentares cársticas. A natureza desses poros resultara na existência de aquíferos granulares, fissurais ou de condutos.

O fluxo de água nesses meios dependerá de uma combinação entre a quantidade, tamanho, arranjo e comunicação dos poros e a densidade e a viscosidade dinâmica do fluido. Este fluxo dá-se a taxas muitíssimo mais lentas do que os fluxos



superficiais, razão pela qual a água se acumula por mais tempo no meio subterrâneo, podendo chegar até milênios de tempo de residência até finalmente descarregarem em corpos d'água superficiais (FEITOZA et al, 2008).

#### **3.1.6.3. Água na Superfície**

Na superfície da Terra, as águas podem se acumular como lagos, lagoas e rios nos continentes, ou nas imensas bacias marinhas e oceânicas do planeta.

As águas destes reservatórios apresentam um tempo de residência muito mais rápidos e dinâmicos do que aqueles observados nos meios subsuperficial (solo) e subterrâneo, variando de poucos dias até poucos milênios – como o caso das geleiras e águas das profundezas dos oceanos.

#### **3.1.6.4. Água na Biota**

Outra forma de ocorrência de água na Terra é como componente da vida. De fato, muitos seres são compostos predominantemente por água, como, por exemplo, o ser humano, onde ela perfaz até 75% de sua constituição, as águas vivas e melancias, onde ela perfaz mais de 95%.

Por esta ótica, o desenvolvimento ontogenético dos seres em que eles nascem, crescem e morrem, é, de certa maneira, uma espécie de estágios de armazenamento ao longo dos quais a água se encontra durante seu ciclo (RIPL, 2003).

### **3.2. BACIAS HIDROGRÁFICAS**

A bacia hidrográfica é definida como uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório. É composta basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos d'água que confluem até resultar um leito único no exutório (SILVEIRA, 2001).

A bacia hidrográfica pode ser então considerada um ente sistêmico, onde se realizam os balanços de entrada proveniente da chuva e saída de água através do exutório, permitindo que sejam delineadas bacias e sub-bacias, cuja interconexão se

dá pelos sistemas hídricos. Sobre o território definido como bacia hidrográfica é que se desenvolvem as atividades humanas (TUCCI, 1997).

A delimitação de uma bacia hidrográfica é um dos primeiros e mais comuns procedimentos executados em análises hidrológicas ou ambientais. Todas as áreas urbanas, industriais, agrícolas ou de preservação fazem parte de alguma bacia hidrográfica. Pode-se dizer que, no seu exutório, estarão representados todos os processos que fazem parte do seu sistema. O que ali ocorre é consequência das formas de ocupação do território e da utilização das águas que para ali convergem (TUCCI, 1997).

A Lei n. 9.433 que fundamenta a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) tem entre seus fundamentos que a água é um bem de domínio público, dotado de valor econômico, cujos usos prioritários são o abastecimento humano e a dessedentação de animais e cuja gestão deve tomar como unidade territorial a bacia hidrográfica.

Prevê, como diretriz geral de ação, a gestão integrada, e como instrumentos para viabilizar sua implantação os planos de recursos hídricos, o enquadramento dos corpos de água em classes segundo os usos preponderantes, a outorga de direito de uso, a cobrança pelo uso da água e o sistema de informação sobre recursos hídricos.

O conceito geomorfológico da bacia hidrográfica foi acrescentado para uma abordagem sistêmica, assim, as bacias hidrográficas são sistemas abertos, que recebem energia através de agentes climáticos e perdem energia através do deflúvio, podendo ser descritas em termos de variáveis interdependentes, que oscilam em torno de um padrão e, desta forma, mesmo quando perturbadas por ações antrópicas, encontram-se em equilíbrio dinâmico (LIMA; ZAKIA, 2000).

Assim, qualquer modificação no recebimento ou na liberação de energia, ou modificação na forma do sistema, acarretará uma mudança compensatória que tende a minimizar o efeito da modificação e restaurar o estado de equilíbrio dinâmico. Os termos sub-bacia e microbacia hidrográfica também estão incorporados na literatura técnico-científica, todavia, não apresentam a mesma convergência conceitual apresentada para bacia hidrográfica conforme comentado.

Por tanto, o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é função de suas características geomorfológicas, como forma, relevo, área, geologia, rede de drenagem, solo, clima, vegetação, etc (LIMA, 2016).

### 3.3. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Uso e ocupação trata da identificação e descrição dos padrões de distribuição das atividades humanas e das feições geomorfológicas naturais em um determinado espaço e do reconhecimento dos impactos que tais padrões resultam (GUTMAN et al, 2012). O uso e ocupação desordenada do solo e a falta de gestão dos recursos hídricos põem em risco a disponibilidade e a qualidade da água nas bacias hidrográficas com adensamento populacional acentuado.

Técnicas de levantamento de uso e ocupação da terra são extremamente úteis não só para a organização do espaço, mas também para a identificação das consequências socioambientais dessa ocupação para as sociedade e ecossistemas (CAMPOS et al., 2019; BUENO, 2020). A complexidade das questões ambientais dificulta a visualização e a interpretação das interações dos atores sociais com a natureza. Cada localidade tem suas peculiaridades.

Destaca-se, então, a importância das representações cartográficas na visualização e interpretação dos aspectos necessários ao planejamento ambiental. As representações cartográficas mostram a realidade sintetizada de um modo visual de fácil compreensão (SEBUSIANI e BETTINE, 2011).

De acordo com Borges (2002), a ocupação humana desordenada nas bacias hidrográficas, por meio de atividades de desmatamentos, práticas agrícolas perniciosas, atividades extrativistas agressivas, ocupações urbanas generalizadas, lançamento de esgotos industriais e domésticos nos rios e lagos, têm promovido a deterioração da qualidade das águas naturais, com riscos de propagação de doenças de veiculação hídrica ao próprio ser humano causador de tais impactos. Além disso, há também a possibilidade de depleção do volume de água disponível tanto para a manutenção das atividades antrópicas, quanto das atividades ecológicas naturais (TONG; CHEN, 2002, PIELKE et al, 2007).

O mapeamento das informações é um recurso muito utilizado para tornar mais evidentes os padrões de uso e ocupação dos espaços e facilitar sua gestão. A visualização dos dados no espaço melhora a compreensão das interações existentes e aponta as ações necessárias para a solução de problemas. A interpretação torna-

se melhor quando focado em um local pré-definido, sendo que as atividades podem variar de acordo com o contexto e objetivo da identificação (FERNANDES et. al. 2015).

### **3.4. QUALIDADE DA ÁGUA**

#### **3.4.1. Poluição Hídrica**

A poluição hídrica é um tipo particular de área degradada, mais especificamente, de área contaminada. Enquanto áreas degradadas envolvem porções de áreas urbanas ou rurais onde houve alteração deletéria das suas condições naturais originais, sem que, necessariamente, isso implique em uma contaminação propriamente dita, áreas contaminadas referem-se às porções de uma área degradada em que houve contaminação por um ou mais agentes poluentes quaisquer.

Neste sentido, toda área contaminada é uma área degradada, mas o inverso não é verdadeiro (GÜNTHER, 2006). A poluição hídrica, por sua vez, é a área contaminada relativa aos corpos d'água presentes em uma área degradada.

Na gestão dos áreas contaminadas, o primeiro passo é identificar os fatores envolvidos com a poluição, tais como a quantidade e qualidade do(s) poluente(s) e das fontes poluidoras e seus padrões de dispersão no tempo e espaço.

A intensidade e alcance da contaminação dependerá, por um lado, destes fatores e, por outro lado, do poder de autodepuração dos sistemas atingidos (SINGH; SHARMA; KATNORIA, 2014, OUSTROMOV, 2019). A taxa de entrada desses poluentes no sistema aquático dependerá da dinâmica climática e geomorfológica regional e local.

Assim, por exemplo, locais com maior precipitação, declividade e exposição e compactação do solo serão mais propensos ao escoamento superficial e erosão do que os demais e, por extensão, à poluição a partir dos poluentes carregados por esses fenômenos (PRATT; CHANG, 2012; HOU et al, 2022; HUANG et al, 2022).

Muitas atividades humanas envolvem a liberação de substâncias tóxicas no ambiente, como a agricultura (agrotóxicos, nitratos, fosfatos, etc.), a indústria (metais

pesados, sais, sulfetos, etc.) e a administração pública (asfaltos, escapamentos veiculares, esgotos, etc.).

O potencial poluidor das substâncias está relacionado tanto à sua natureza, quanto à taxa (quantidade por tempo) com que são liberadas no ambiente aquático. De fato, o impacto da entrada de poluentes nos corpos hídricos depende de concentração dos nutrientes, sua disponibilidade nas imediações do rio e na área de infiltração, e dos mecanismos de retenção da bacia (HERREIRA ET. AL. 2013). Assim, substâncias que não são comumente consideradas como poluentes (como leite, suco de frutas e açúcar por exemplo) passam a ser se liberadas em quantidade e velocidade elevadas o suficiente para isso.

Analogamente, substâncias sabidamente tóxicas à vida aquática, como metais pesados, nitratos e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons – PAHs) podem ocorrer naturalmente nos solos e água (PERK, 2017). No Brasil, o potencial poluidor das atividades econômicas é classificado em pequeno, médio e alto, de acordo com estes padrões de quantidade e qualidade acima descritos (e.g. Res. CONAMA 237/97 e Res. CONAMA 378/06).

Em geral, há dois tipos básicos de poluentes hídricos, os primários, que afetam diretamente a qualidade das águas, e os secundários, cuja ação se dá através dos produtos das interações químicas complexas com outras substâncias porventura existentes no meio (PERK, 2017). Dada a imensa variedade de atividades antrópicas potencialmente poluidoras e das substâncias envolvidas, pode-se, para fins de simplificação, enquadrar estas últimas em quatro grandes grupos de poluentes (BJØRG et al, 2014):

- **Matéria Orgânica Dissolvida** (por exemplo, DQO, COT, Ácidos Graxos Voláteis, Compostos Fúlvicos e Húmicos);
- **Macrocomponentes Inorgânicos** (por exemplo,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ );
- **Metais Pesados** (por exemplo,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ );
- **Compostos Orgânicos Xenobióticos** (por exemplo, hidrocarbonos aromáticos, hidrocarbonos alifáticos clorados, fenóis e pesticidas).

### 3.4.2. Fontes de Poluição Hídrica

Quanto aos tipos de fontes de poluição, existem as pontuais, cujo lançamento é localizado num ponto com fácil identificação de vazão e concentração de poluentes, como no caso do lançamento de esgoto ou de resíduos industriais, e as *difusas*, que são dispersas e os poluentes atingem os mananciais de maneira estocástica, como no caso do escoamento superficial de áreas urbanas e agrícolas (SODRÉ, 2012).

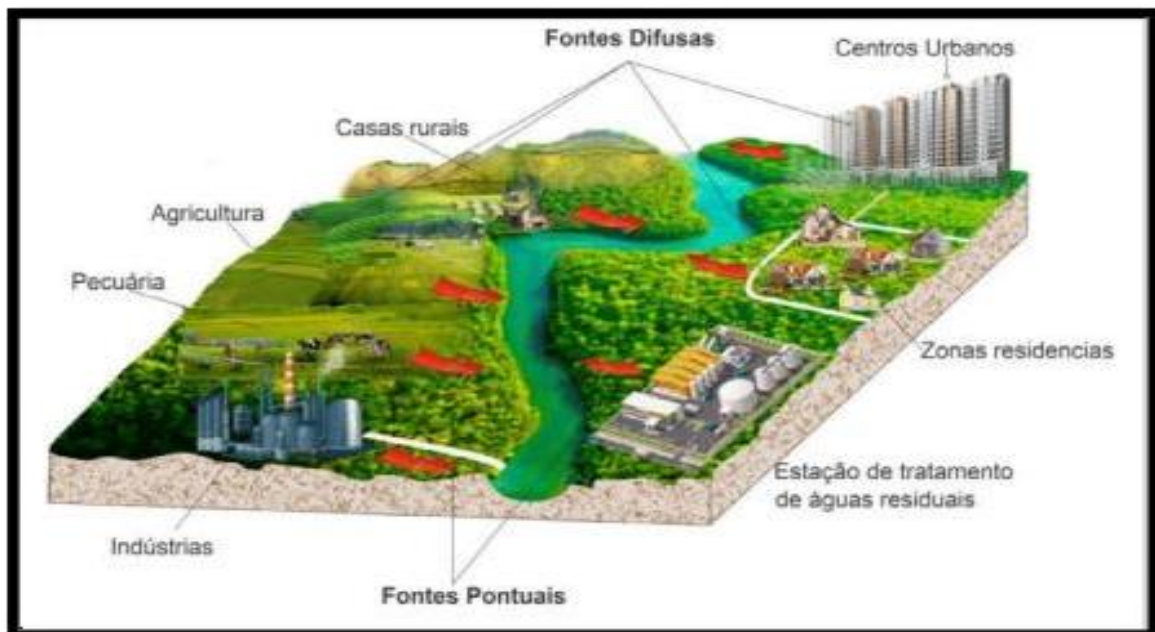
A poluição difusa é gerada em vastas áreas e a forma mais comum de chegar aos cursos d'água é através do escoamento superficial e da erosão associada a este fenômeno (Fig. 7). O volume com que essa poluição difusa chega à um determinado corpo d'água por unidade de tempo é chamado de **carga difusa**.

As cargas difusas podem ser oriundas da atmosfera, ou do escoamento superficial de áreas rurais e urbanas. Nas áreas urbanas a complexidade das cargas difusas é maior, tendo uma relação direta com a qualidade do saneamento e limpeza urbana dos municípios.

As cargas difusas neste caso têm composição complexa de metais pesados, óleos e sólidos, constituindo-se numa fonte de poluição referente à deficiência de tratamento de esgotos, ou mesmo a limpeza pública (MANSOR ET. AL. 2006). Quanto aos poluentes provenientes da deposição atmosférica, o principal deles é o nitrogênio, oriundo das emissões da agricultura (VIANINI, HIBRAHIM 2017).

Na área rural, a poluição difusa é devida, em grande parte, à drenagem pluviométrica de solos agrícolas e ao fluxo de retorno da irrigação, sendo associada aos sedimentos (carreados quando há erosão do solo), aos nutrientes (nitrogênio e fósforo) e aos agrotóxicos. A drenagem das precipitações em áreas de pecuária é associada, ainda, aos resíduos da criação animal, nutrientes, matéria orgânica e coliformes conforme mostra a figura 7 (MANSOR, TEIXEIRA FILHO e ROSTON 2006).

Figura 7- Esquema de seqüência das cargas difusas em ambientes urbanos e rurais



Fonte: Zabotto (2013).

Além do transporte de sedimentos, o escoamento superficial pode estar associado também a processos de sedimentação e, neste caso, a carga difusa acha-se associada a processos erosivos. A erosão em bacias hidrográficas é uma consequência da degradação dos solos.

O uso intensivo do solo deixa-o mais suscetível a processos erosivos e, conseqüentemente, ao escoamento superficial e à produção de sedimentos, por isso, as práticas de manejo adotadas são de grande importância para a conservação do solo e da água (EMBRAPA, 2012).

As perdas de solo em bacias hidrográficas têm como principal causa o seu manejo inadequado, sendo os principais contribuintes para esses processos as práticas agrícolas intensivas (COSTA ET. AL. 2016). Neste contexto, o uso do solo é um fator que pode influenciar no maior ou menor grau de poluição por cargas difusas, a depender do tipo vegetação ribeirinha e dos processos de restauração, que podem causar uma diminuição dos nutrientes que chegam aos corpos hídricos (ALLAN ET AL., 1997; BILLEN E GARNIER, 2000). Normalmente, observa-se uma relação entre urbanização e eutrofização (PAERL, 1999; PRESTON ET AL. 2003).

A deposição atmosférica de nutrientes – especialmente nitrogênio – provenientes de emissões industriais e queimadas de matas, e o arraste de partículas e gases da atmosfera por águas pluviais, também são considerados poluição difusa (MANSOR ET. AL. 2006). Mensurar a importância de fontes pontuais e difusas de nutrientes na escala de uma bacia hidrográfica envolve ainda muitas incertezas.

Este fato advém da poluição difusa ser de difícil quantificação, uma vez que depende da interação de diversos fatores, como a intensidade e duração das precipitações, a circulação dos ventos, o tipo de solo, a fisiografia do terreno e as formas de uso do solo (MACLEOD; HAYGARTH, 2003).

A autodepuração de um sistema aquático envolve fatores físicos, químicos e biológicos e seus variados mecanismos podem ser resumidos processos de filtração, transporte e decomposição. Uma grande gama de microrganismos, invertebrados, plantas e algumas espécies bentônicas é capaz de filtrar nitrogênio, fósforo e poluentes das águas, enquanto fenômenos de sorção ocorridos na interface água-sedimento, de evaporação, de bioacumulação em tecidos orgânicos de seres migratórios ou dos ambientes não aquáticos associados são capazes de retirar quantidade expressiva de poluentes das águas.

Por fim, processos enzimáticos, quelantes e fotoquímicos de alguns seres aquáticos são também capazes de despoluir a água (TERCINI; MELO JR, 2016, OUSTROMOV, 2017).

### **3.4.3. Modelos Empíricos para Quantificação de Poluentes**

O conhecimento do comportamento dos parâmetros de inferência da qualidade da água para diferentes condições de cargas poluidoras e vazões de referência auxiliam o processo decisório em relação aos usos pretendidos, além de embasar o planejamento das alternativas de tratamento.

Embora exista uma grande variedade de modelos, deve-se utilizar aquele que melhor represente as condições ambientais do caso em estudo, dos objetivos propostos, além de aquele que implique em melhor disponibilidade de tempo, dados e custo financeiro (KANDEL et al, 2011). É necessário avaliar o ambiente modelado,



o propósito, o número de dimensões consideradas, a forma como os processos são descritos, a disponibilidade de dados e a variabilidade temporal (TERCINI; MELO JR, 2016).

A percepção da importância de estudos relativos sobre as cargas difusas presentes nas águas superficiais têm aumentado na medida em que se tem a identificação e o controle das cargas pontuais, como documentam as publicações científicas sobre o assunto (CARPENTER et. al, 1998, MacLEOD; HAYGARTH, 2003, WITT; BEHRENDT, 1999, TANIK et al, 1999, SILVA; PORTO, 2003).

A compreensão dos processos hidrológicos é fundamental em estudos ambientais e na gestão dos recursos hídricos. O tempo em que a água permanece nos diversas compartimentos da hidrosfera influencia, entre outros, a disponibilidade hídrica, a ocorrência de inundações e a dinâmica de elementos, nutrientes e poluentes.

A importância dessas inter-relações é responsável pelo crescimento dos interesses em estudos hidrológicos, sendo assim, a modelagem hidrológica é utilizada como ferramenta para obtenção de conhecimento mais profunda a respeito dos fenômenos físicos envolvidos e na previsão de cenários (MARINHO ET. AL 2033).

Modelos empíricos ou estatísticos resultam da análise estatística de medidas e observações e suportam-se em campanhas longas e exaustivas de pesquisa em campo. Os dados são tratados e analisados com ferramentas clássicas da estatística. Uma regressão multivariada permite estimar os valores médios anuais ou pontuais de poluição, ou mesmo extrapolar polutogramas completos (ALMEIDA, SAFRA 2017).

Estes modelos dificilmente são exportáveis, porque são válidos para campanhas de medidas localizadas. Trudgill et al. (1999) fala que um modelo de poluição difusa deve corresponder a uma abordagem de Informação Mínima Requerida (IMR3), a qual corresponde à síntese da informação e processos básicos observados num conjunto de parâmetros e fenômenos fundamentais a incluir no modelo final.

Modelos hidrológicos que abarca um sistema de equações e procedimentos compostos por variáveis e parâmetros estão sendo cada vez mais utilizados em estudos ambientais, ajudando a entender os impactos e mudanças no uso da terra na tentativa de prever alterações futuras nos ecossistemas (MARINHO et al, 2012).

Os modelos são ferramentas de análise importantes, porque eles podem ser usados para entender processos hidrológicos, analisar o desempenho de práticas de manejo, bem como avaliar os riscos e benefícios advindos de diferentes tipos de uso do solo (SPRUILL et al., 2000).

#### **3.4.4. Parâmetros de Indicação da Qualidade das Águas**

A qualidade das águas é um conceito relativo que depende dos fins aos quais elas se destinam. Em função disso, a legislação brasileira (vide item 3.4.5) prevê a classificação dos corpos d'água quanto ao seu uso em Classe Especial, Classe 1, Classe 2, Classe 3 e Classe 4 – em ordem decrescente de qualidade e de exigência (Fig. 8).












Muitos são os métodos de avaliação da qualidade das águas doces brutas (não tratadas) e a explicação de cada um transcende os objetivos do presente trabalho, razão pela qual, escolheu-se discorrer apenas sobre o mais utilizado em território brasileiro, o Índice de Qualidade da Água (IQA).

O IQA é um parâmetro útil para alguns fins, mas inadequado para muitos outros, já que utiliza uma quantidade limitada de parâmetros que não é capaz de captar a imensa gama variáveis ambientais e a quantidade de contaminantes comumente encontrados nas águas (LERMONTOV et al, 2008).

A menos que se utilize todos os parâmetros possíveis na análise das águas, este é um problema comum a praticamente todos os índices que procuram qualificar o estado químico dos corpos hídricos.

Neste sentido, o IQA torna-se, assim, um indicador preliminar exploratório das contaminações mais comuns, cujas anomalias podem ter relação com desbalanços em outros parâmetros, mas a ausência de anomalias, por sua vez, não garante a potabilidade da água, ou mesmo a adequação para fins mais nobres (TOLEDO; NICOLELLA, 2002).

Figura 8- Classes de enquadramento dos corpos d'água doce quanto aos seus usos, de acordo com Resolução CONAMA 357/2005.

USOS DAS ÁGUAS DOÇES		CLASSES DE ENQUADRAMENTO DOS CORPOS D'ÁGUA				
		ESPECIAL	1	2	3	4
PRESERVAÇÃO DO EQUILÍBRIO NATURAL DAS COMUNIDADES AQUÁTICAS		Mandatório em UC de Proteção Integral				
PROTEÇÃO DAS COMUNIDADES AQUÁTICAS			Mandatório em Terras Indígenas			
RECREAÇÃO DE CONTATO PRIMÁRIO						
AQUICULTURA						
ABASTECIMENTO PARA CONSUMO HUMANO		Após desinfecção	Após tratamento simplificado	Após tratamento convencional	Após tratamento conv. ou avançado	
RECREAÇÃO DE CONTATO SECUNDÁRIO						
PESCA						
IRRIGAÇÃO			Hortalças consumidas cruas ou frutas ingeridas com película	Hortalças, frutíferas, parques, jardins e campos de esporte	Culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras	
DESSEDENTAÇÃO DE ANIMAIS						
NAVEGAÇÃO						
HARMONIA PAISAGÍSTICA						

Fonte: ANA (2021).

Dentro dessa ótica, os parâmetros tratados aqui justificam-se tanto por adequação aos meios disponíveis (uso de sonda multiparamétrica devido a insuficiência de verbas para fazer análises químicas completas em laboratórios especializados), quanto pela possibilidade de funcionarem como indicadores preliminares exploratórios da qualidade da água, ao indicarem além dos parâmetros diretamente tratados, indicarem também a possibilidade de anomalias em outros, como, por exemplo, em compostos fosforados devido a possíveis fontes comuns de perturbação (fertilizantes).

A seguir é dado um breve resumo dos parâmetros utilizados no presente estudo.

#### 3.4.4.1. Oxigênio Dissolvido (OD)

Os níveis de OD na água estão relacionados ao maior ou menor consumo de oxigênio pela biota. Este consumo, por sua vez, depende das condições tróficas do corpo hídrico. Em águas enriquecidas em nutrientes, os seres da base da cadeia trófica se reproduzem profusamente, o que pode resultar em dois tipos de cenários.

Num, os consumidores não conseguem acompanhar a taxa de crescimento dos produtores e no outro eles conseguem, resultando, respectivamente, em alta densidade populacional de produtores ou de consumidores.

Em ambos os casos, estes processos se fazem acompanhar por um incremento expressivo no consumo de oxigênio pela biota em um determinado corpo d'água, provocando, assim, a diminuição dos níveis de OD, o que, por sua vez, pode terminar por criar condições desfavoráveis para o desenvolvimento posterior dessa própria biota (BARRETO et al, 2013).

#### **3.4.4.2. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)**

A demanda bioquímica de oxigênio está relacionado ao OD no sentido em que ele é a quantidade de OD que foi consumida pela biota durante um determinado e condições CNTP tempo padronizados.

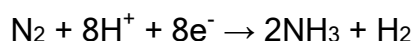
Costuma-se utilizar o consumo ao longo de 5 dias a uma temperatura controlada de 20° C e pressão atmosférica (1 ATM), o que é representado pela sigla DBO<sub>5,20</sub>. Assim, resumidamente, enquanto o OD registra a quantidade de oxigênio dissolvido na água a um dado momento, o DBO registra o quanto dessa quantidade é consumida após 5 dias nas CNTP.

O valor do DBO é diretamente proporcional à quantidade de seres degradadores da matéria orgânica, a qual, por sua vez, está relacionada

#### **3.4.4.3. Compostos Nitrogenados**

Na natureza, o nitrogênio ocorre principalmente em sua forma molecular (N<sub>2</sub>), chegando a compor 80% da atmosfera. Ele é um dos mais importantes constituintes da matéria orgânica também, perfazendo até 4% de seu peso.

Devido à força da sua ligação tripla, o N<sub>2</sub> não é diretamente assimilado pelas plantas e animais, necessitando ser fixado em formas biologicamente aproveitáveis. O processo de fixação do nitrogênio é feito por bactérias, tanto aeróbicas, quanto anaeróbicas, que geram amônia (NH<sub>3</sub>) através da seguinte equação:



Uma vez reduzido como amônia, o nitrogênio pode ser incorporado à matéria orgânica como variantes de C-NH<sub>2</sub> (por isso conhecido como nitrogênio orgânico). A

decomposição dessa matéria orgânica, por sua vez, pode gerar formas nitrogenadas particuladas (bactérias, fitoplâncton, zooplâncton e detritos), os dissolvidas (peptídeos, purinas, aminas, aminoácidos, etc.).

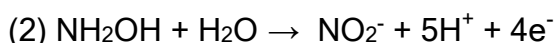
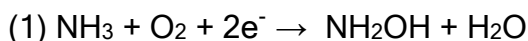
Os principais processos envolvidos nesse ciclo biótico do nitrogênio são: a denitrificação, a nitrificação, a amonificação, a anammox (*anaerobic ammonium oxidation* - oxidação anaeróbica da amônia). Os principais produtos desses processos são formas reduzidas e oxidadas de nitrogênio, tais como: Amônia (NH<sub>3</sub>), Íon Amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), Hidrazina (N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), Hidroxilamina (NH<sub>2</sub>OH), Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O), Óxido Nítrico (NO), Ácido Nitroso (HNO<sub>2</sub>), Nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>), Ácido Nítrico (HNO<sub>3</sub>) e Nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) (BERNHARD, 2010).

A nitrificação é o processo que converte amônia em nitrito e depois este em nitrato (tóxico à vida), tanto em ambiente aeróbio, quanto anaeróbio. A nitrificação aeróbica ocorre segundo as reações 1 e 2 abaixo, enquanto que a anaeróbica (anammox) é a nitrificação feita por bactérias anaeróbias do grupo dos Planctomicetes e ocorre segundo os passos indicados pela reação 3, abaixo.

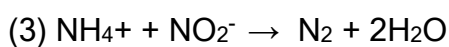
Um segundo passo na nitrificação é a transformação de nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) em nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), segundo a equação 4, abaixo. Já a denitrificação é o processo de transformação do nitrato em nitrogênio gasoso (N<sub>2</sub>), segundo as equações 5 e 6 (BERNHARD, 2010, STEIN; KLOTZ, 2016).

Por fim, a amonificação é o processo pelo qual microorganismos transformam o nitrogênio orgânico (R-NH<sub>2</sub>) em amônia (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), conforme o esquema ilustrado em 7 (ROMILLAC, 2019).

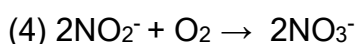
#### *Nitrificação Aeróbia*



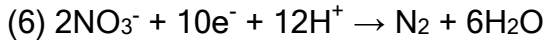
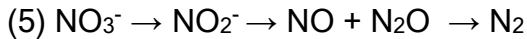
#### *Nitrificação Anaeróbia (Anammox)*



#### *Nitrito → Nitrato*



### Denitrificação



### Amonificação



As principais fontes de nitrogênio para dentro de corpos d'água são os esgotos e os nutrientes de fertilizantes, os quais, juntamente com o fósforo, pode provocar a superpopulação de microrganismos da base da cadeia trófica e isto, por sua vez, a superpopulação dos consumidores dos demais níveis da cadeia trófica, resultando assim, na eutrofização dos corpos d'água e a concomitante depleção de oxigênio devido ao consumo excessivo por parte da grande biomassa (ANAGNOSTOU; GIANNI; ZACHARIAS, 2016). Desta maneira, os níveis de nitrogênio servem como indicativo do grau de eutrofização desses corpos (STEWART et al, 1982).

#### 3.4.4.4. Temperatura (T)

A temperatura da água é importante índice de monitoramento da qualidade das águas porque está relacionada à estabilidade estrutural e funcional das comunidades bióticas que lhe habitam.

Estudos indicam que os efeitos da temperatura nas comunidades ocorrem em várias escalas, desde a genômica até a comunitária e se expressam de várias formas, desde variações no tamanho dos indivíduos, até mudanças na estrutura e na fisiologia das comunidades.

Via de regra, a atividade metabólica e fisiológica da biota é otimizada em temperaturas médias e desfavorecidas em temperaturas muito elevadas ou muito baixas (BONACINA et al, 2023). Neste sentido, este parâmetro funciona também como um bom indicador da qualidade das águas.

#### 3.4.4.5. Potencial Hidrogeniônico (pH)

Em águas doces, principalmente de rios, o pH é influenciado por uma série de fatores, destacando-se as chuvas, a atividade biótica e a ordem das divisões dos

cursos (TAGLIAROLO, 2018). O H<sub>2</sub>O das chuvas entram em contato com o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) do ar e forma ácido carbônico, o qual, por sua vez, acidifica os corpos d'água superficiais. Nestes, o ácido carbônico acaba por dissociar-se, formando íon hidrogênio (H<sup>+</sup>) e bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), acidificando estas águas.

Outro fator de alteração do pH das águas naturais é o fato de que a água é um poderoso solvente e é comum que ela dissolva materiais geológicos, como carbonatos (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>). A dissolução dos carbonatos aumenta o pH, alcalinizando as águas. As reações entre o CO<sub>2</sub>, o H<sup>+</sup> e os ânions que produzem alcalinidade regulam o pH das águas naturais, deixando-as com pH em torno de 6 a 8,5.

As águas que interagem com material pouco alcalino acabam por apresentar pH baixo e o contrário resulta em águas com pH mais básico (TUCKER; D'ABRAMO, 2008). Os corpos d'água superficiais de Roraima costumam apresentar pH entre 4,9 e 8,2, sendo que a maioria é geralmente ácida, abaixo, inclusive, do limite inferior de 6,0 preconizado para a classe 2 pela Resolução CONAMA 357/2005 (MENESES; COSTA; COSTA, 2007).

#### **3.4.4.6. Sólidos Totais Dissolvidos (TDS)**

Os sólidos totais dissolvidos consistem de sais inorgânicos e outros materiais dissolvidos na água, geralmente com ânions como carbonatos, cloretos, sulfatos e nitratos e cátions como sódio, potássio, cálcio e magnésio.

A concentração e balanço entre esses sais dependerá da natureza dos materiais geológicos com os quais os corpos d'água interagem. A concentração desses sais, medida em mg/L, é maior em regiões áridas, onde há mais evaporação. A salinidade é derivada da concentração desses sais.

A Resolução CONAMA 357/2005 estipula que as águas são doces quando a salinidade é de até 500 mg/L, salobras quando está entre 500 e 30.000 mg/L e salgadas quando é maior do que 30.000 (BRAGA et al, 2021).

#### **3.4.4.7. Sólidos Totais em Suspensão (TSS)**

Quando não dissolvidos e em solução nos líquidos, os sólidos formam partículas de tamanhos variáveis que ficam suspensas na água e que podem ser capturadas por filtros adequados para cada classe de tamanhos. O peso seco dessas partículas forma o TSS.

Esse parâmetro é utilizado como indicador da qualidade das águas, já que é considerado um poluente primário pelo Ato da Água Limpa (*Clean Water Act*) do governo americano, ao contrário dos sólidos dissolvidos, que são indicadores de poluição por outras substâncias nocivas, mas não são considerados poluentes em si.

#### **3.4.4.8. Turbidez**

A turbidez é o resultado combinado da presença dos sólidos nas águas, com destaque para os em suspensão. É medida pela quantidade de luz captada por um sensor após uma fonte de intensidade conhecida atravessar um corpo de prova padrão, em um equipamento conhecido como espectrômetro.

Essa quantidade será tanto menor quanto mais absorvido ou espalhado for o feixe de luz emitido pela fonte e vice-versa. A quantidade de sólidos na água depende da ação do clima na geologia e geomorfologia dos terrenos drenados e dos processos erosivos atuantes nos mesmos (MOURA et al, 2021). Além de indicadora de processos erosivos, a turbidez funciona também como um indicador indireto de possíveis contaminações antrópicas por resíduos sólidos (SOUZA; GASTALDINE, 2014).

#### **3.4.4.9. Condutividade Elétrica**

A condutividade elétrica (CE) é a capacidade da água de transmitir corrente elétrica, propriedade esta controlada pela quantidade e qualidade das substâncias dissolvidas, em particular, substâncias que liberam ânions e cátions. Nas águas doces os valores oscilam entre 5 a 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , enquanto que nas águas salgadas, devido à maior concentração de sais, entre 50 e 50.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

A quantidade e qualidade das substâncias dissolvidas está relacionada, por sua vez, à natureza do material geológico com que estas águas entram em contato, bem como ao tempo em que passam reagindo com este material. Geralmente, calcários e basaltos apresentam maior CE, enquanto que granitos e quartzitos apresentam menor CE (GIAMPÁ; GONÇALES, 2013).

#### **3.4.5. Legislação Brasileira sobre a qualidade das águas**

No Brasil, as principais leis e normas que regem o uso e gestão das águas são as seguintes:



- **CONSTITUIÇÃO FEDERAL (CF)**

**Lei 9.433/97:** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

**Lei 9.984/2000:** Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Água - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências.

**Lei 12.334/2021:** Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). Alterada parcialmente pela Lei nº 14.066

**Lei 14.026/2020:** Atualiza o Marco Legal do Saneamento Básico e altera a lei 9.984/2000.

- **CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (CNRH)**

**Resolução 91/2008:** Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos.

**Resolução 92/2008:** Estabelece critérios e procedimentos gerais para proteção e conservação das águas subterrâneas no território brasileiro.

**Resolução 126/2011:** Aprova diretrizes para o cadastro de usuários de recursos hídricos e para a integração das bases de dados referentes aos usos de recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

- **CONAMA**

**Resolução 357/2005:** dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

**Resolução 396/2008:** Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.

**Resolução 397/2008:** Altera o inciso II do § 4º e a Tabela X do § 5º, ambos do art. 34 da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA nº 357, de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

**Resolução 420/2009:** dispõe sobre os 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.

**Resolução 430/2011:** dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.

- **MINISTÉRIO DA SAÚDE**

**Portaria 888/2021:** dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

- **AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS**

**Resolução 903/2013:** Cria a Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais - RNQA e estabelece suas diretrizes.

## **4. METODOLOGIA**

Os procedimentos metodológicos dividiram-se em etapas de campo e gabinete. Em campo foram levantados dados da fisiografia da área de estudo e da qualidade das águas, enquanto que, em gabinete, foram realizados levantamentos de bibliografia científica, imagens remotas e documentos técnicos pertinentes ao assunto, bem como a análise e integração dos dados obtidos ao longo de toda a pesquisa.

### **4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

#### **4.1.1. Localização e Acesso**

A área objeto de estudo compreende a bacia do Igarapé Carrapato, situada entre as coordenadas 02°52'23" "e 03°01'58" N e longitudes 60°38'32" e 60°45'43" W, drenando uma área aproximada de 95 km. O acesso se dá inicialmente pelas estradas e vicinais à direita da BR 174, sentido Boa Vista – Amajari (Fig. 8).

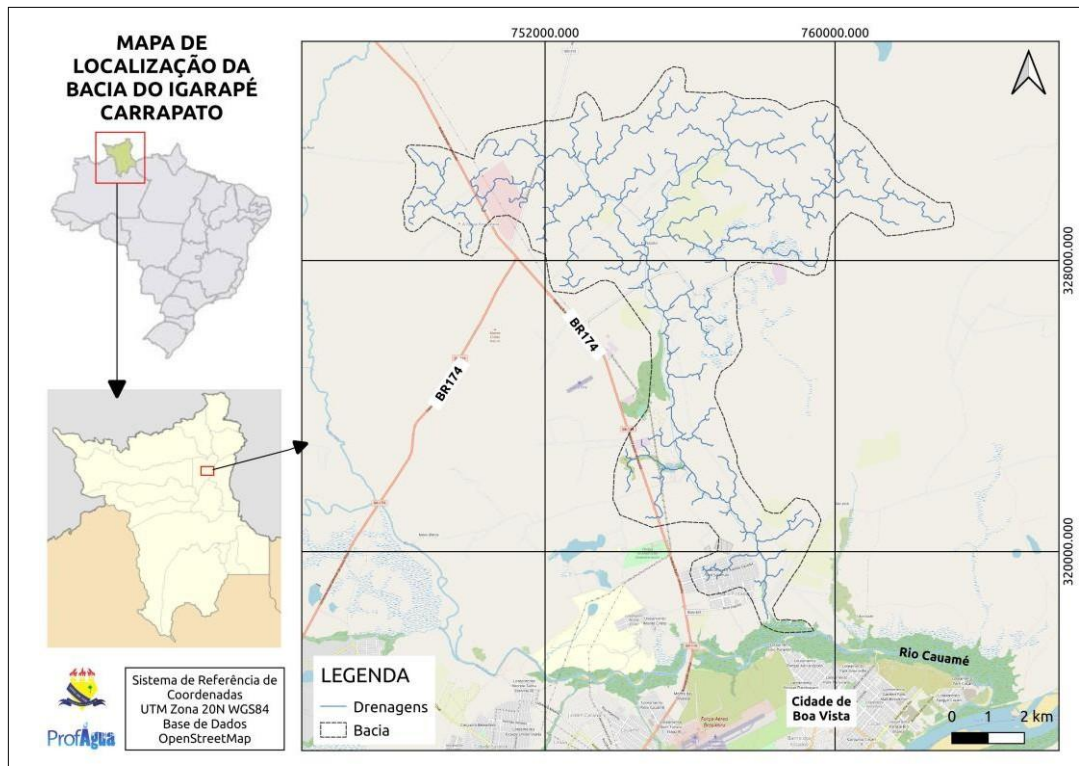
Sua porção sul pode ser acessada pela RR 321, virando-se à direita na BR 174 logo após a passagem da ponte do rio Cauamé. Sua porção norte pode ser acessada entrando-se à direita pela BR 174 na RR 319. Sua porção central pode ser acessada por inúmeras pequenas vicinais que partem da BR 174.

#### **4.1.2. Geomorfologia**

A bacia está inserida na Unidade Geomorfológica Depressão Boa Vista (IBGE, 2005a) e apresenta um relevo plano e levemente dissecado com cotas que variam de 84 a 120 metros (Figs. 9, 10, 11 E 12).

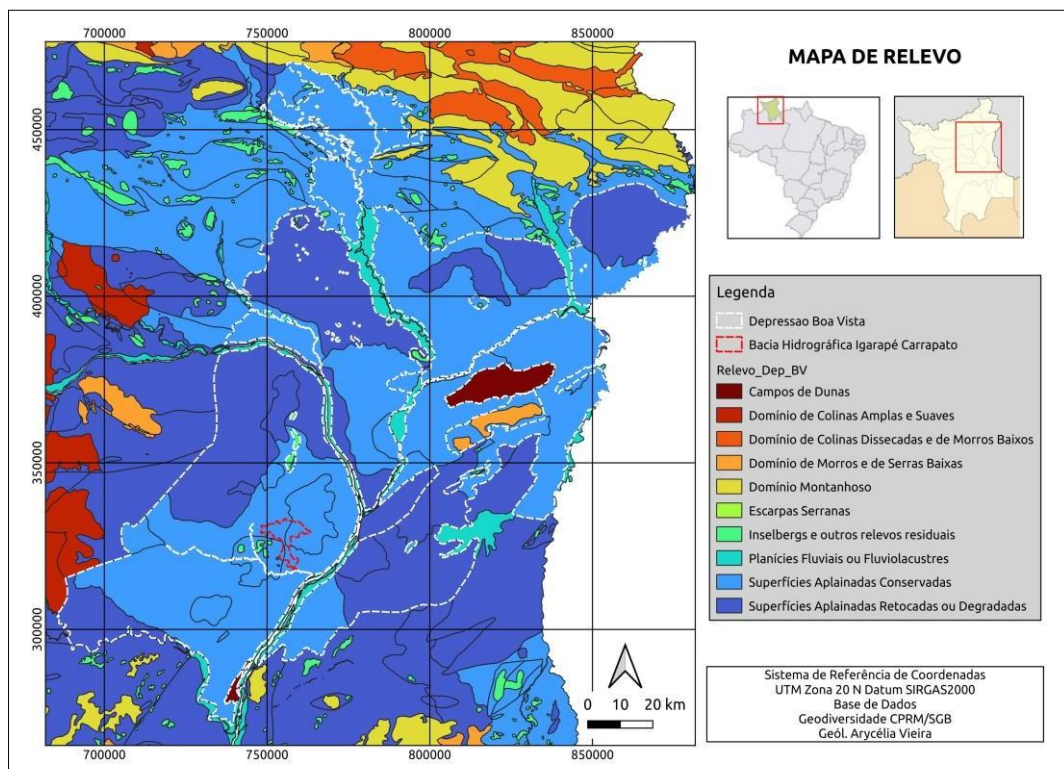
As maiores altitudes estão concentradas em pequenas serras residuais. Pequenas elevações colinosas chamadas "tesos" são observadas ao longo de toda a área e sua gênese e presença deve-se aos solos lateritizados, que funcionam como resistatos ao intemperismo e erosão (erosão diferencial) quando comparados aos solos do entorno. Nas depressões do terreno comumente formam-se lagos, lagoas ou banhados e, por vezes, pequenos cursos d'água chamados de igarapés.

Figura 09- Mapa de localização da bacia hidrográfica Igarapé Carrapato, Boa Vista, Roraima.



Fonte: Autora (2022).

Figura 9 - Mapa da Depressão Boa Vista e relevo associado.



Fonte: A autora (2022).

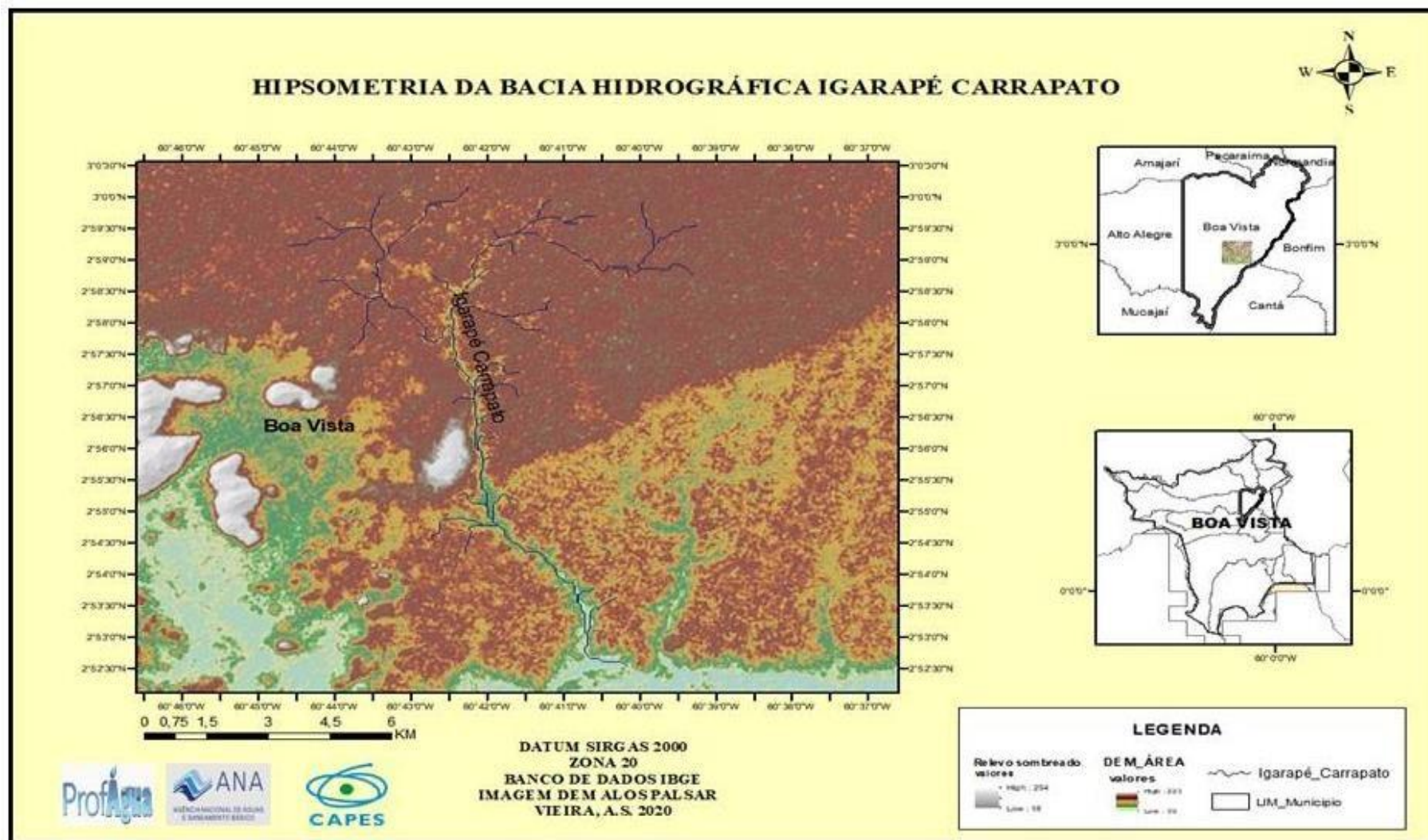
### 4.1.3. Geologia e Pedologia

O substrato rochoso dominante na bacia é a Formação Boa Vista, de idade Terciária e constituída por sedimentos inconsolidados arenosos com intercalações de níveis conglomeráticos e de argila com concreções lateríticas que afloram na área na forma de tesos (Fig. 13). Sobre estes depósitos desenvolveram-se Latossolos Amarelos Distróficos (textura média), apresentando baixa fertilidade natural, sendo ácidos a fortemente ácidos (Fig. 14).

Contudo, são solos aptos à maioria das culturas anuais e principalmente às culturas permanentes (fruticultura). Restrito à porção centro-oeste da área de estudo ocorre ainda depósitos da Formação Apoteri (Fig. 13), formados por derrames de lava basáltica e andesítica, de idades jurocretácio, sobre os quais se desenvolveram Latossolos Vermelhos Eutróficos suaves e ondulados (Fig. 14).

Suas boas características morfológicas e seu potencial agrícola elevado permitem que sejam explorados com culturas anuais e perenes (VALE JÚNIOR & SOUSA, 2005).

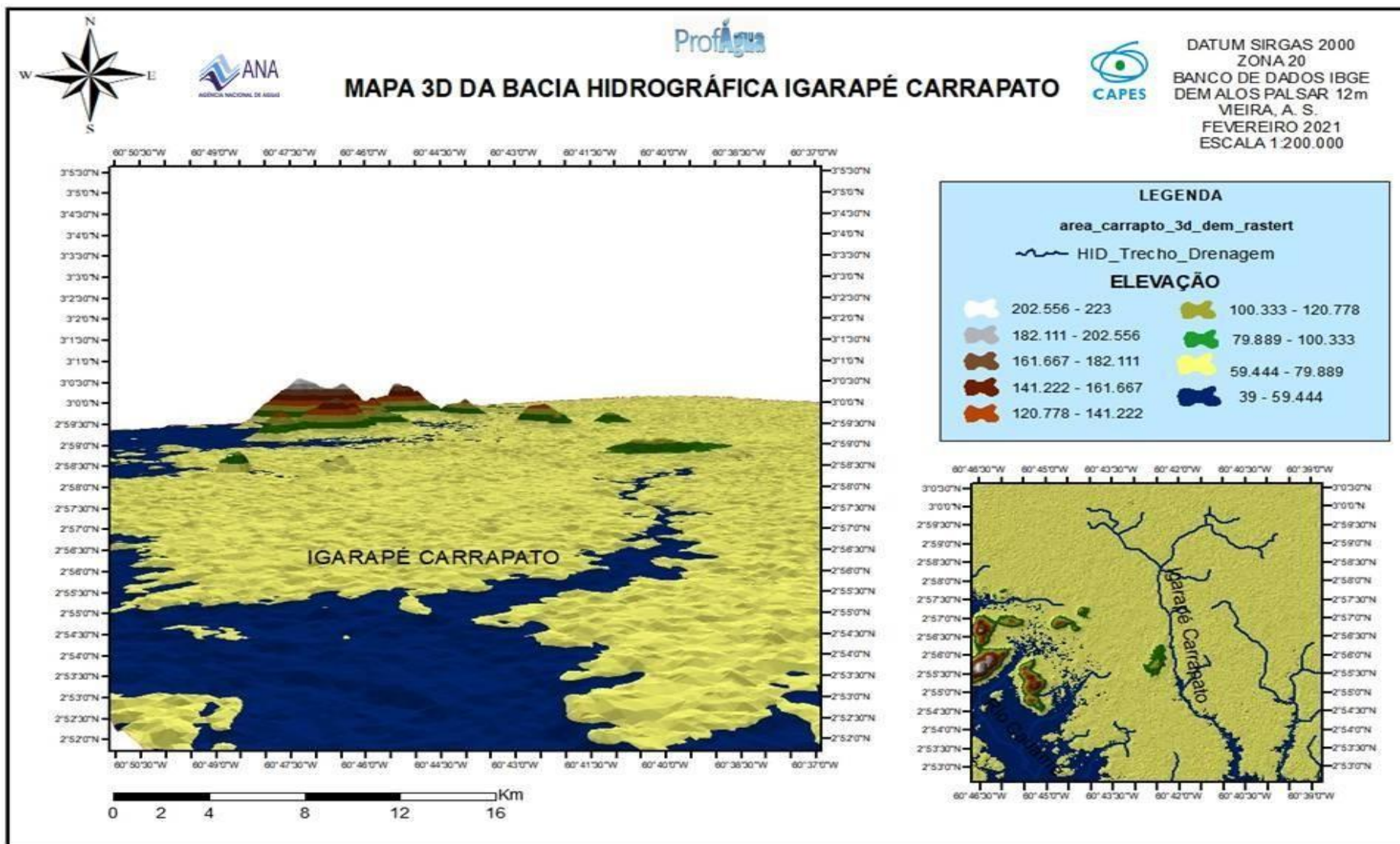
Figura 10- Mapa Hipsométrico da bacia hidrográfica Igarapé Carrapato, evidenciando essas áreas planas.



Fonte: Autora (2021).



Figura 11- Mapa 3D da bacia e modelagem dimensional da elevação altimétrica



Fonte: Autora (2021).

Na porção nordeste da área de estudo, associada às superfícies aplainadas, de baixas altitudes (de 0 a 10 m), registra-se a ocorrência da unidade Formação Areias Brancas, constituída basicamente por areias de alta porosidade, estrutura maciça e bastante lixiviadas. Existe ainda muita discussão sobre a natureza dessa unidade, se geológica ou pedológica, porém, a despeito disso, é mencionada aqui a fim de fazer jus a uma característica de fato existente nessa porção da área.

#### **4.1.4. Hidrogeologia**

Devido ao ainda grande desconhecimento dos limites e relações entre os aquíferos de Roraima, as unidades hidrogeológicas são iguais às unidades geológicas, de modo que o mapa hidrogeológico acaba por ser o mesmo que o geológico. Em função disto, os mapas hidrogeológicos do estado agrupam as unidades em grandes domínios quanto à sua natureza, granular, fraturada ou mista, atribuindo potenciais de produção (favorabilidade) a cada um.

No caso específico da Bacia Hidrográfica do Igarapé Carrapato, a área é composta por domínios hidrogeológicos de natureza granular (formações Boa Vista, Areias Branca e Depósitos Aluvionares) e fraturado (Formação Apoteri), sendo suas favorabilidades variáveis, no primeiro caso, e baixa no segundo (CPRM, 2014).

#### **4.1.5. Hidrografia**

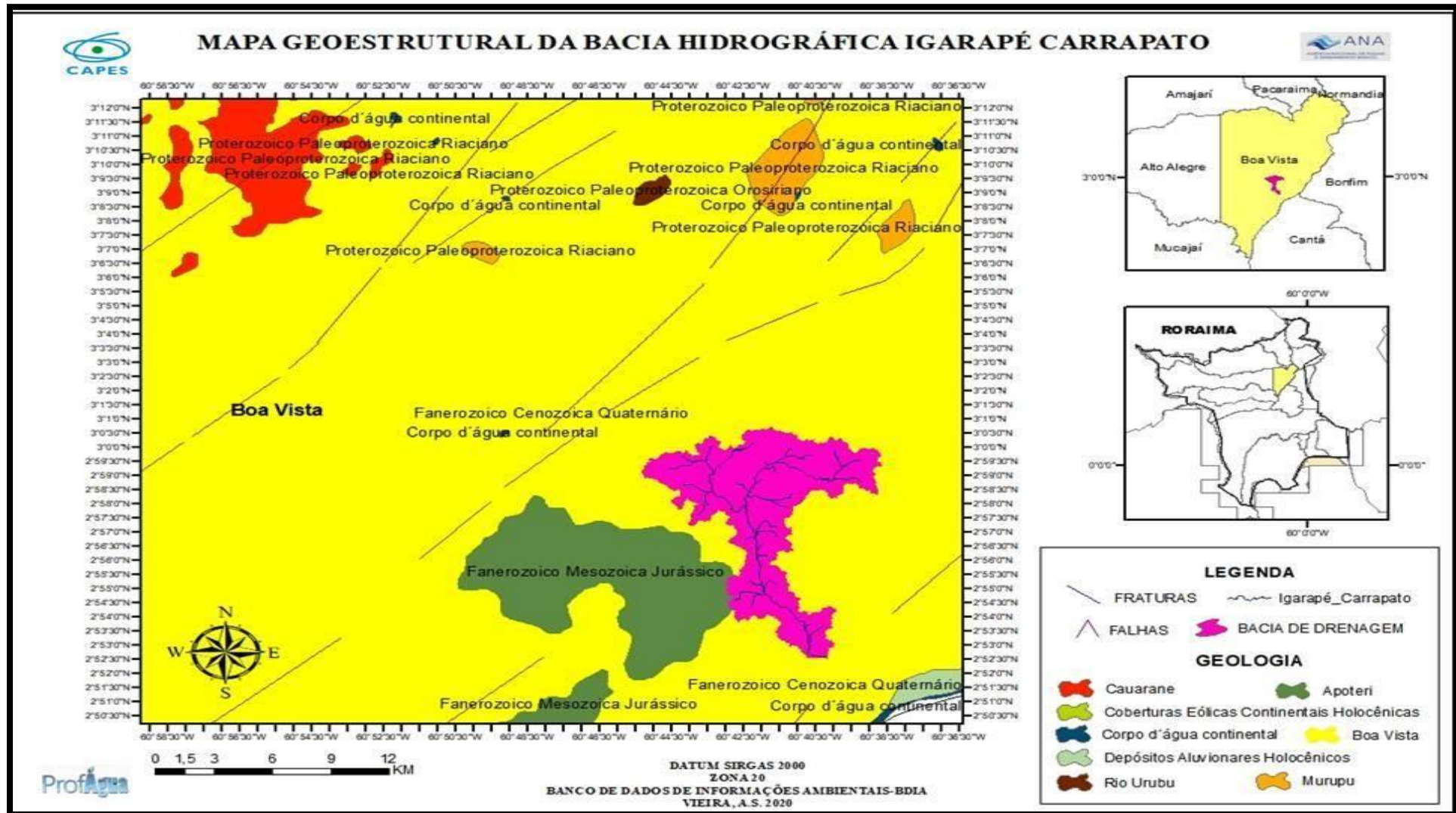
O Igarapé Carrapato é um afluente da margem esquerda do curso inferior do rio Cauamé que por sua vez é afluente da margem direita do Rio Branco (Fig. 15). São importantes cursos d'água nessa região também os igarapés Murupu e Água Boa de Cima.

#### **4.1.6. Vegetação**

A vegetação nativa da área de estudo constitui-se em Savana Arborizada com Floresta de Galeria e Savana Arborizada com Floresta de Galeria (Fig. 16). Em ambos os casos a paisagem típica é de gramíneas com árvores esparsas ou formando manchas relativamente densas, principalmente nas proximidades de corpos d'água perenes, porém, a quantidade de árvores e manchas de árvores é maior no segundo caso.

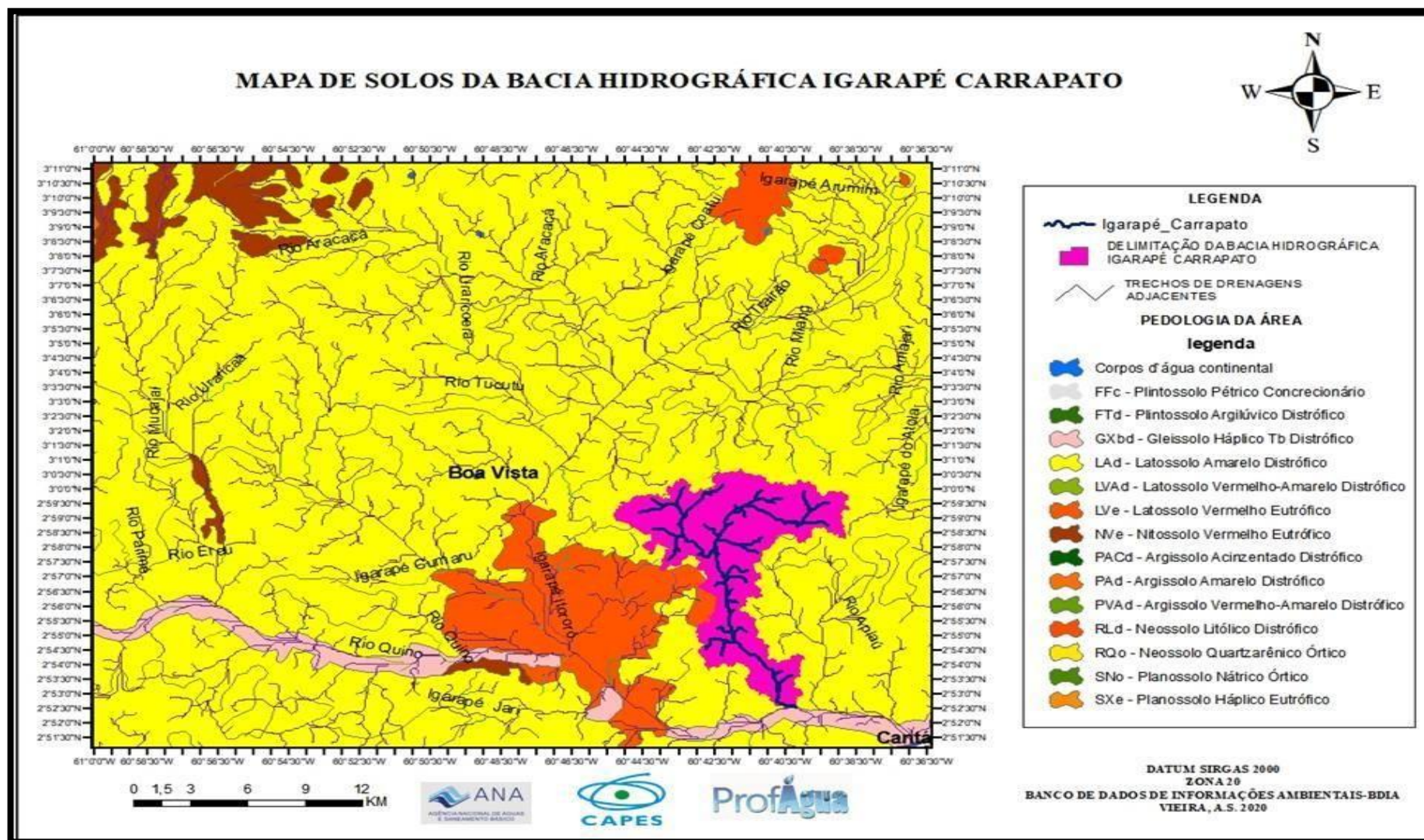


Figura 12- Mapa Geológico e geoestrutural da área da bacia hidrográfica do Igarapé Carrapato, evidenciando a estruturação da área da bacia sedimentar do Tacutu.



Fonte: Autora (2021).

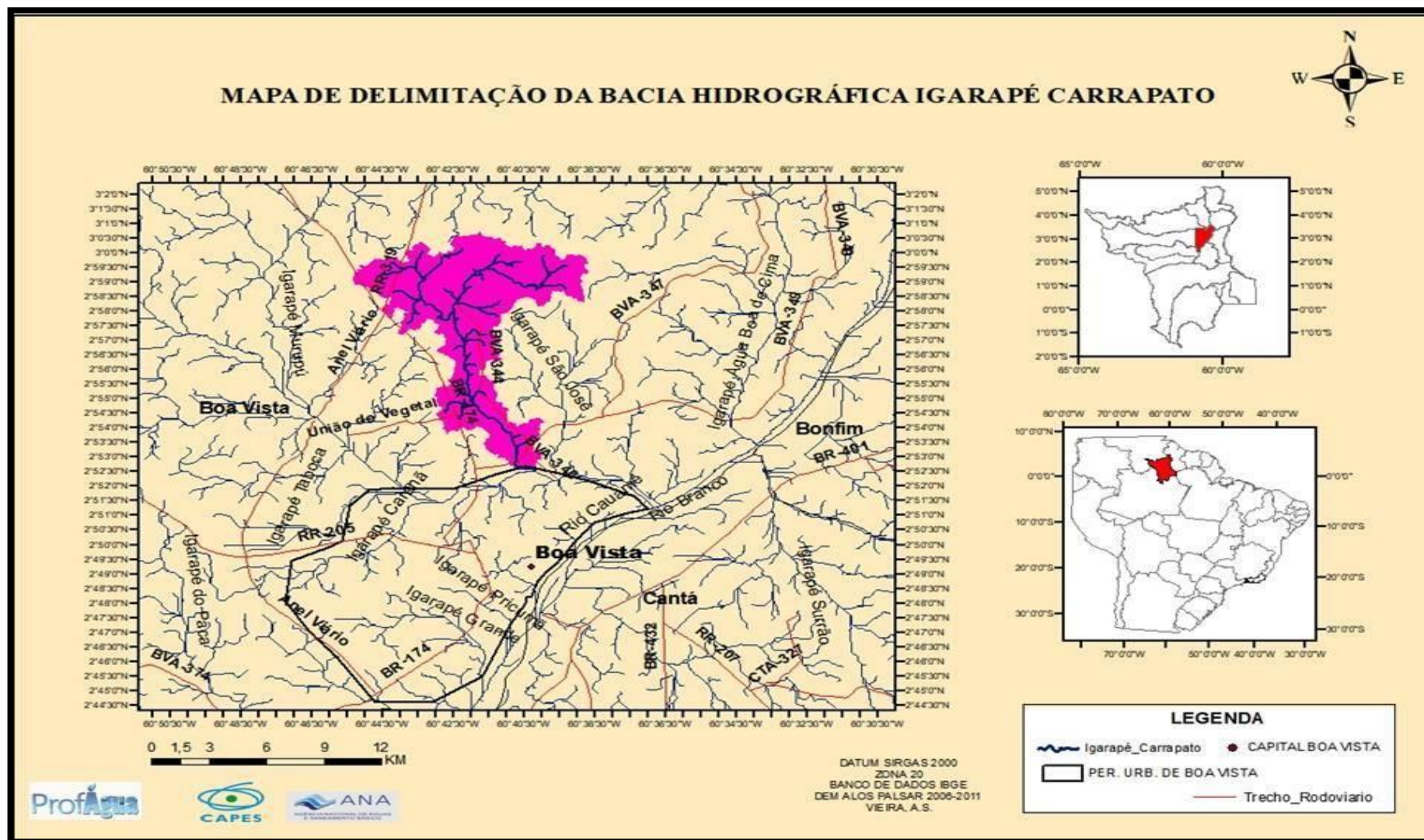
Figura 13- Mapa de solos da Bacia Hidrográfica Igarapé Carrapato.



Fonte: Autora (2021).

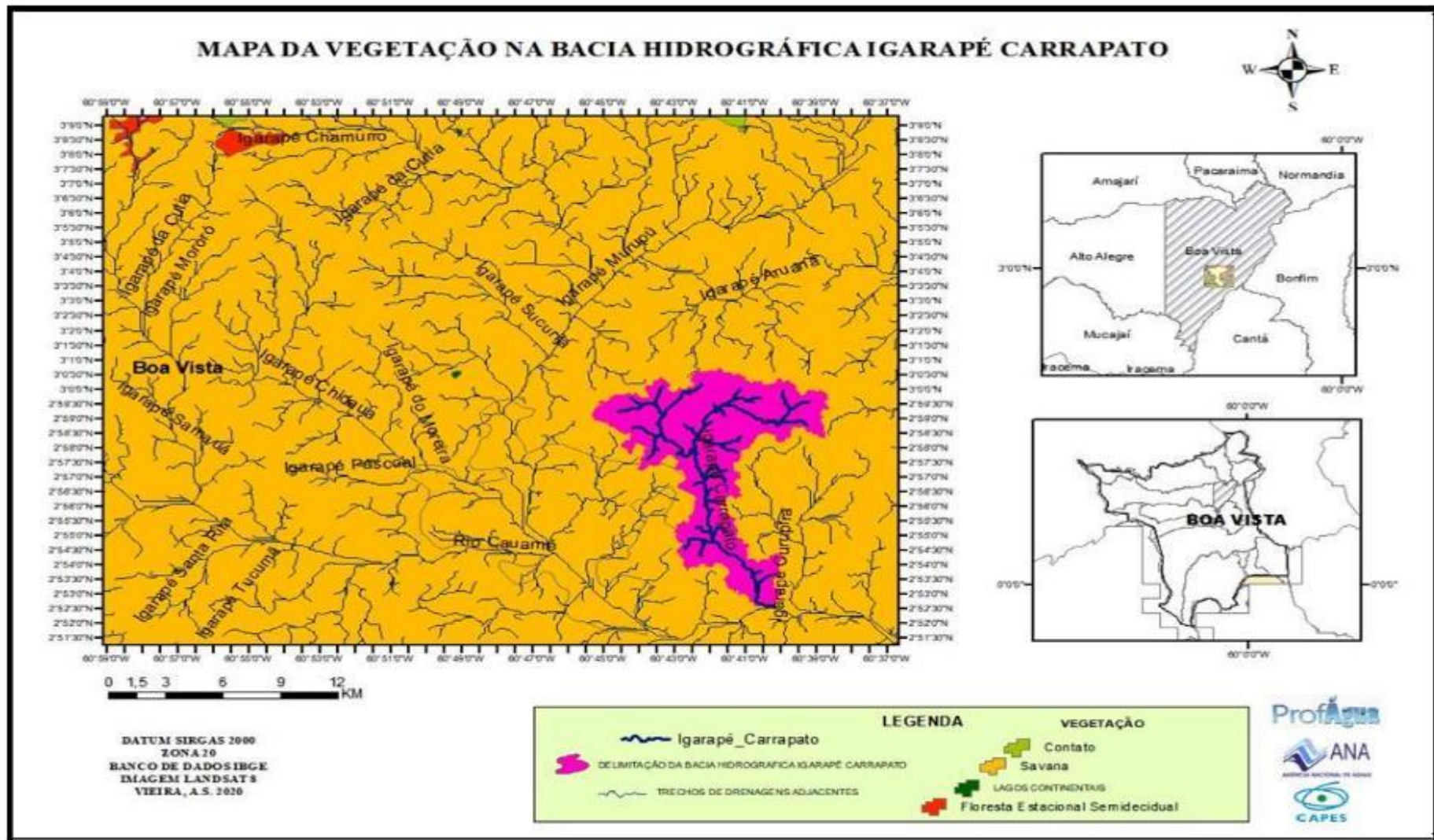


Figura 14- Mapa hidrográfico da região de estudo e delimitação da Bacia Hidrográfica Igarapé Carrapato.



Fonte: Autora (2021).

Figura 15 - Mapa de vegetação da bacia hidrográfica Igarapé Carrapato, mostrando toda sua área de influência inserida dentro de uma área de Savana



Fonte: Autora (2021).

#### 4.1.7. Aspectos Climatológicos

A Amazônia brasileira é caracterizada por apresentar clima quente e úmido, dando assim a conotação de uniformidade climática, porém apresenta na realidade, nítida variação térmica e acentuada variabilidade hídrica, tanto em termos espacial, quanto temporal.

As maiores flutuações na radiação solar, na temperatura do ar e umidade atmosférica estão associadas com o padrão das chuvas, verificando-se que por ocasião do período mais chuvoso, ocorre redução na temperatura do ar, radiação solar global, brilho solar e aumento na umidade do ar, com o oposto ocorrendo por ocasião do período de menor pluviosidade (BASTOS, 2005).

A região Amazônica é cortada, de um extremo a outro, pelo Equador e caracteriza-se por baixas altitudes (0 a 200 m). São quatro os principais sistemas de circulação atmosférica que atuam na região, a saber: sistema de ventos de Nordeste (NE) a Leste (E) dos anticiclones subtropicais do Atlântico Sul e dos Açores, geralmente acompanhados de tempo estável; sistema de ventos de Oeste (O) da massa equatorial continental (mEc); sistema de ventos de Norte (N) da Convergência Intertropical (CIT); e sistema de ventos de Sul (S) do anticiclone Polar. Estes três últimos sistemas são responsáveis por instabilidade e chuvas na área.

Quanto ao regime térmico, o clima é quente, com temperaturas médias anuais variando entre 24º e 26º C (AYOADE, 2001).

Com relação à pluviosidade não há uma homogeneidade espacial como acontece com a temperatura. No setor ocidental da região, o total pluviométrico anual, em geral, excede a 3.000 mm (INMET, 2020).

Na direção NO-SE, de Roraima a leste do Pará, tem-se o corredor menos chuvoso, com totais anuais da ordem de 1.500 a 1.700 mm. O período chuvoso da região ocorre nos meses de verão (dezembro-março), a exceção de Roraima e da parte norte do Amazonas, onde o máximo pluviométrico se dá no inverno (junho), por influência do regime do hemisfério Norte (INMET, 2020).

A climatologia do Estado de Roraima é a mesma de grande parte da região Amazônica, onde são verificados climas Equatorial Quente Úmido e

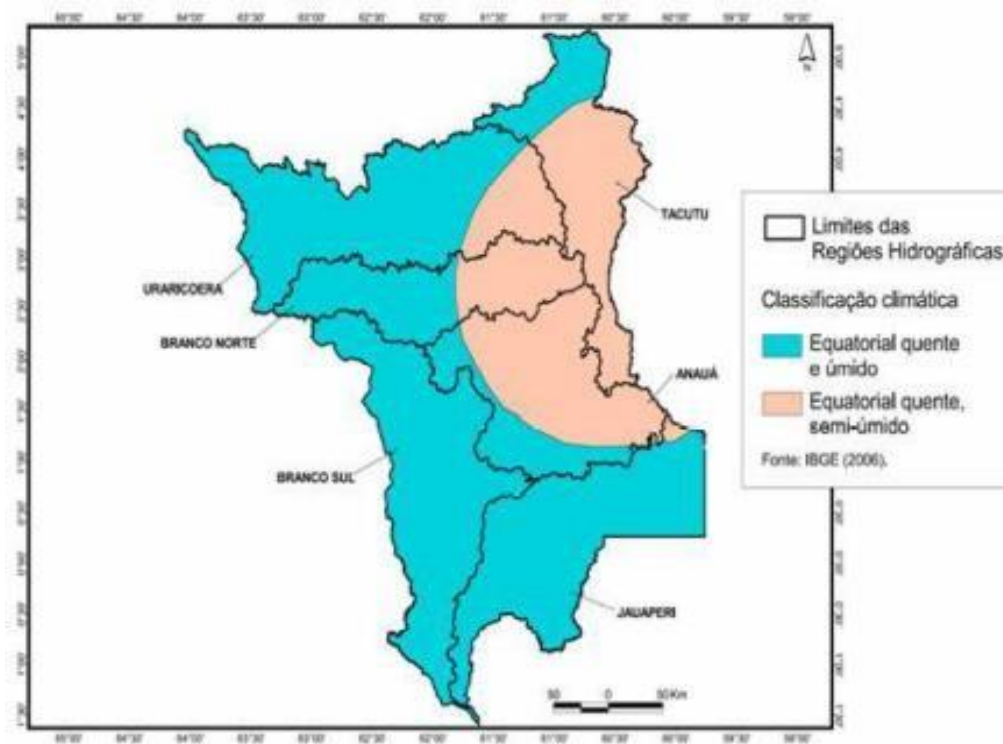


Equatorial Quente Semi-Úmido (Fig. 17), provenientes das massas Equatoriais. Os balanços hídricos mostram déficit hídricos que podem alcançar mais de 500 mm em Roraima em torno de Boa Vista, durante a estação seca.

O clima em Roraima é quente e úmido. Só existem duas estações no ano: inverno (período de chuvas, que se estende de abril a setembro) e verão (período seco, que se estende de outubro a março).

Nos planaltos mais elevados a temperatura no inverno, varia de 15° e 20° C. Nas partes mais baixas a temperatura chega a 36° C. Os meses de junho e julho são os que mais chovem, enquanto dezembro e janeiro são os mais secos (INMET, 2020).

Figura 16- Classificação climática do Estado de Roraima.



Fonte: Plano estruturante do sistema de gerenciamento de recursos hídricos do estado de Roraima (2006).

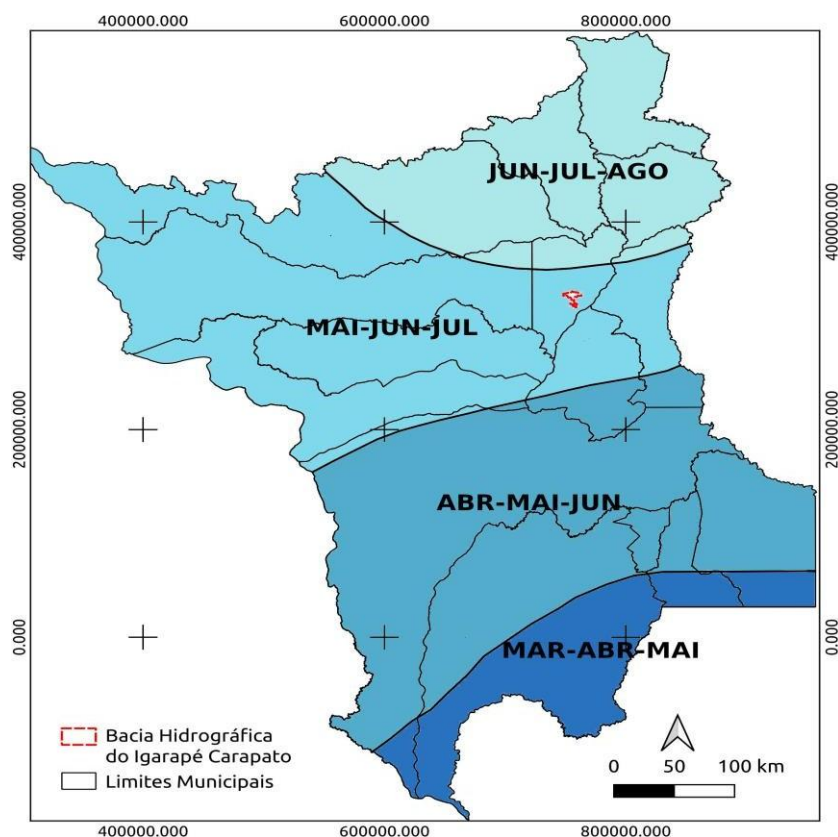
As chuvas influenciam na quantidade de água no rio Branco. Durante o verão ele fica quase que intráfegável para barcos grandes. Isso dificulta muito o transporte fluvial entre Manaus e Caracarái (Roraima). Araújo et al (2001)

constataram que para Boa Vista (RR) a precipitação anual média é de 1.688,4 mm, com grande variabilidade, sendo que as variações menores ocorrem entre os meses de maio a agosto, e as maiores entre os meses de dezembro a março que correspondem ao período mais chuvoso e mais seco, respectivamente (Fig. 18).

De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, o clima da região de Boa Vista é do tipo Aw, caracterizado por clima tropical chuvoso com predomínios de savana, quente úmido apresentando períodos de estiagem bem definidas no período de seis meses.

A estação seca conhecida como verão ocorre nos meses entre outubro a março e a estação chuvosa entre os períodos de abril a setembro, a temperatura oscila entre 22°C (mínima) e 35°C (máxima) ao longo do ano. Na área de estudo, as precipitações médias anuais oscilam entre aproximadamente 1580 mm a quase 1700 mm conforme pode-se ver na figura 16 (BASTOS, 2005).

Figura 17- Distribuição da precipitação pluviométrica no estado de Roraima.



Fonte: Plano estruturante do sistema de gerenciamento de recursos hídricos do estado de Roraima (2006).

## 4.2. TRABALHO DE CAMPO

As amostras de água foram coletadas entre novembro de 2021, sendo esse período considerado o período seco (P1), e junho de 2021, considerado o período chuvoso (P2). Coleta manual de amostras foram realizada no centro da seção de amostragem em um ponto representativo da massa líquida, utilizando-se recipientes plásticos limpos, previamente identificados, com enxágue dos frascos três vezes com a mesma amostra, evitando-se aeração excessiva no momento da coleta.

Para cada período foram realizadas coletas em cada um dos pontos a definir por questões de acesso e em dias sem chuva. A coleta, acondicionamento e conservação das amostras, assim como as análises, foram realizadas conforme métodos especificados em "Standard Methods for the Examination of



Water and Wastewater", editado pela "American Public Health Association" (APHA, 1995).

Análises dos parâmetros de qualidade da água foram realizadas segundo metodologias descritas no APHA (2005), em Laboratórios da Companhia de águas e esgoto de Roraima (CAER). O pH da água foi determinado por meio da leitura em potenciômetro digital. A temperatura da água foi determinada no próprio local de amostragem, por leitura direta em termômetro de mercúrio com escala interna.

A cor, turbidez, pH, temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica foram determinados com uso da sonda multiparâmetros digital. O valor da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) foi obtido a partir da diferença inicial e final do oxigênio dissolvido (OD), mensurado em amostra no início e ao final de cinco dias de incubação, a 20 °C (APHA, 1995). A tabela 1 detalha as informações:

Figura 18 - Parâmetros e metodologia adotados na pesquisa

PARÂMETROS DA QUALIDADE DA ÁGUA	METODOLOGIA ANALÍTICA	LIMITE DE DETECÇÃO
Temperatura da água	Termometria	0,1°C
Turbidez	Nefelométrico	0,1 UNT
Ph	Potenciométrico	0,1
Condutividade elétrica	Potenciométrico	0,1 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$
Oxigênio dissolvido	Oxímetro	0,1 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
Nitrito	Cromatografia iônica	0,1 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
Nitrato	Cromatografia iônica	0,1 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
DBO <sub>5</sub>	Winckler	0,1 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
Nitrogênio amoniacal	Cromatografia iônica	0,1 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

Fonte: Autora (2021).

Foram realizados estudos comparativos dos dados através do laboratório da CAER, aplicando-se a análise de agrupamento, utilizando-se do método de Tocher e da análise de correspondência canônica. Os dados de temperatura foram submetidos à transformação 10 e os de turbidez foram submetidos à transformação logarítmica. A DBO foi submetida à transformação 1/DBO. A variável pH não necessitaram de transformação para ser analisadas.

As primeiras coletas ocorreram nos dias 16 e 17 de junho de 2021, em todo o perímetro da bacia, de forma representativa, de acordo com o uso e ocupação do solo dentro do perímetro da área da bacia hidrográfica, período de muitas chuvas, a onde classificou como P2 (período de inverno que vai de março a setembro), a onde os cursos d'água se mantêm com um alto poder de vazão e assim, alto poder de depuração das cargas que são carregadas para dentro do seu leito.

O segundo período de coleta ocorreu nos períodos de 04 a 05 de dezembro, na tentativa de encontrar a área da bacia com menor volume de água e vazão, este denominado de período P1 (período de verão que vai do mês de

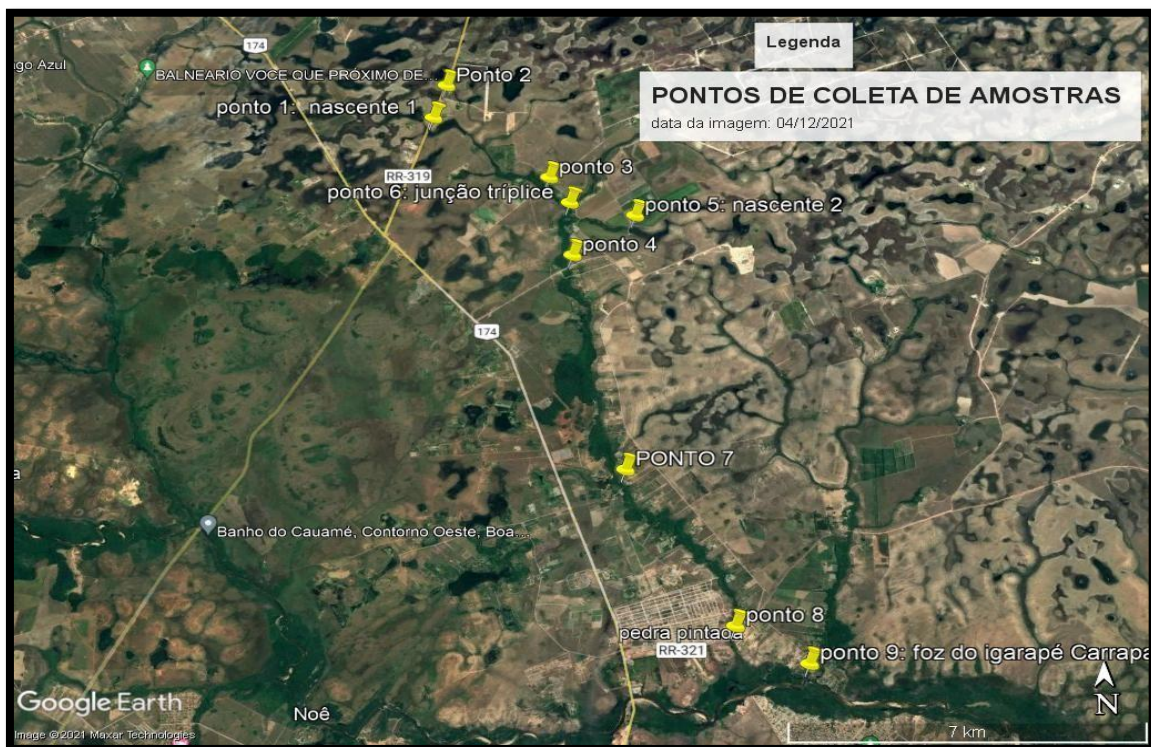
setembro a fevereiro), mas, infelizmente, nos períodos que anteriormente eram bem definidos, se tornou atípica no ano de 2019, 2020 e 2021, ainda nesses meses estava chovendo muito em decorrência do fenômeno La Niña (LI et al, 2022).

A bacia Hidrográfica do Igarapé Carrapato é uma bacia de fácil acesso, por se tratar de uma área rural da cidade e também por fazer parte da área de expansão da capital, existem muitos investimentos e a manutenção das estradas em todas as estações é fundamental para o tráfego nessa região, e também por existir uma forte corrida do agronegócio para estas áreas, fortes investimentos das indústrias de geração de energia, todos estes fatores corroboram para uma bacia importante para todos os setores citados anteriormente.

Os pontos de coleta foram determinados na fase de pré-campo, através de imagens orbitais e análise de rodovias e estradas que pudessem ser percorridas nos períodos de intensas chuvas e, também, através de conhecimento de alguns donos de chácaras na área da bacia, que permitissem o acesso às propriedades. Ao todo, foram amostrados 09 pontos em locais estratégicos que representam os mais diversos tipos de uso e ocupação do solo dentro da bacia do Carrapato, os quais podem ser visualizados através da figura 19.

Foram coletadas 800 ml de água em cada um dos pontos estratégicos que representaram a bacia para cada um dos parâmetros químicos nas campanhas de saída de campo, definidos no início do projeto. Também foram realizados no local das coletas de amostras a aquisição dos dados dos parâmetros físicos com a ajuda de uma sonda multiparâmetros emprestadas pelo órgão de fiscalização ambiental do Estado de Roraima, Fundação Estadual do Meio Ambiente E Recursos Hídricos (FEMARH). Tais coletas podem ser visualizadas na figura 20.

Figura 19 - Mapa de pontos de coleta das amostras de água para análise físico-química, para identificação das cargas difusas presentes nos corpos hídricos da bacia Hidrográfica Igarapé Carrapato.



Fonte: a autora (2021).

Figura 20- Campanhas de coleta de água para análise físico química na bacia do Igarapé Carrapato.



Fonte: Autora (2021).

Após sua coleta, as amostras foram enviadas para o laboratório da CAER, mediante acordos para que estas análises pudessem ser feitas em tempo hábil e estratégico.

Todas as amostras foram identificadas por um número no ainda no local de coleta, contendo data e hora. Utilizou-se etiquetas e marcadores resistentes à água, ao manuseio e à estocagem.

Também registrou-se em um caderno informações sobre o local amostrado, em especial as coordenadas geográficas obtidas por meio de GPS, dados sobre o tipo da amostra, o amostrador utilizado, as condições do tempo, os dados inseridos nas etiquetas, além de informações de caracterização da área de estudo. O volume amostrado foi suficiente para todas as análises.

Os frascos para a coleta de amostras de água eram de vidro de borosilicato e de polietileno resistente a álcalis, com tampas rosqueáveis de plástico inerte, as quais constituíram-se na melhor forma de vedação, já que as tampas de borracha podiam desintegrar-se ou liberar metais traço quando na presença de solventes orgânicos e as tampas de vidro não são adequadas para soluções alcalinas.

Os frascos foram limpos com detergentes apropriados, enxaguados com água bidestilada e, a seguir, com acetona de alta pureza e foram mantidos sempre vedados.

A entrega ao laboratório se deu nas primeiras horas do dia seguinte às coletas conforme o acordo firmado com a CAER. Elas foram levadas refrigeradas para não perder seus valores reais de prováveis poluentes presentes na água e seguindo todos os padrões de coleta já mencionados anteriormente.

### **4.3. GEOPROCESSAMENTO**

Para a elaboração dos produtos cartográficos foram utilizados os seguintes materiais:

- a. Dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) com resolução espacial de 30 metros obtidos gratuitamente no site da United States Geological Survey (USGS) para elaboração dos mapas de declividade e hidrográficos;

- b. MDE captadas pelo sensor OLI com resolução de 30 metros para as bandas espectrais e 12 metros para a pancromática, disponíveis no site da <https://search.asf.alaska.edu> (NASA).
- c. O software utilizado será o ArcGis 10.4 e o QGIS 3.14, o qual permite a classificação supervisionada para criação do mapa de cobertura do uso do solo, bem como, o acabamento dos mapas temáticos de localização, mapas de distribuição química e caracterização da área de estudo.

#### 4.3.1. Processamento Inicial do MDE

O modelo digital de elevação (MDE) é uma representação digital matemática da superfície terrestre (ZHILIN, 2004). Para um conjunto de dados coordenados no espaço, temos um valor correspondente de elevação de um ponto da superfície do terreno. Deste modo, a superfície terrestre pode ser representada por uma função  $z = f(x,y)$ , isto é, para cada coordenada no plano xy de um ponto, este possui uma elevação z.

Para modelagem de terreno é necessário que uma função polinomial passe por todos os pontos do MDE de modo que através dela seja possível extrair atributos do relevo. A construção de um MDE depende de uma fonte de dados que disponha os valores de elevação da superfície terrestre num conjunto numérico coordenado. Os dados que compõe um MDE divergem em alguns fatores tais como distribuição espacial dos dados e resolução da área que será representada num pixel.

O sensor PALSAR do satélite ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) foi lançado em 2006 pela missão da agência de exploração aeroespacial japonesa (Japan Aerospace Exploration Agency - JAXA). A coleta de dados do sensor PALSAR durou até 2006 e foi projetado com mais dois instrumentos para contribuir no mapeamento da topografia terrestre, precisão no monitoramento da cobertura vegetal e de desastres e no levantamento de recursos naturais (ASF DAAC, 2018).

Os MDE ALOS PALSAR podem ser adquiridos gratuitamente, já corrigidos e projetados no sistema UTM WGS84, nas resoluções baixa e alta, de

30 m e 12,5 m, respectivamente. Após a aquisição das cenas, elas serão processadas utilizando o programa ArcMap 10.4 no qual será realizado inicialmente um mosaico, obtendo assim um único arquivo, com a combinação das duas imagens.

Em seguida o mosaico foi reprojetoado, passando do sistema de coordenadas geográficas para o sistema de coordenadas planas; esse procedimento foi necessário para determinação de área e perímetro. O próximo passo será o recorte da área que abrange a bacia analisada, utilizando um retângulo envolvente, com isso reduziu-se significativamente o tamanho da imagem, tornando os processamentos posteriores mais rápidos.

#### **4.3.2. Delimitação Automática da Bacia e Drenagens**

Monitorar as fontes diversas de contaminação química na escala de uma bacia hidrográfica envolve muitas incertezas, uma vez que depende da interação de diferentes fatores, como a intensidade e duração das chuvas, o tipo e as formas de uso dos solos, a declividade do terreno, entre outros.

Diferentemente das outras regiões, uma bacia com divisores topográficos não tão bem definidos, como é o caso da Bacia Hidrográfica do Igarapé Carrapato, torna a avaliação do aporte químico para seu interior um desafio, pois o compartilhamento de nascentes entre bacias vizinhas implica em possibilidade de contaminação cruzada durante épocas de cheia e, assim, o rastreamento das conexões entre elas é imprescindível (COVINO, 2017).

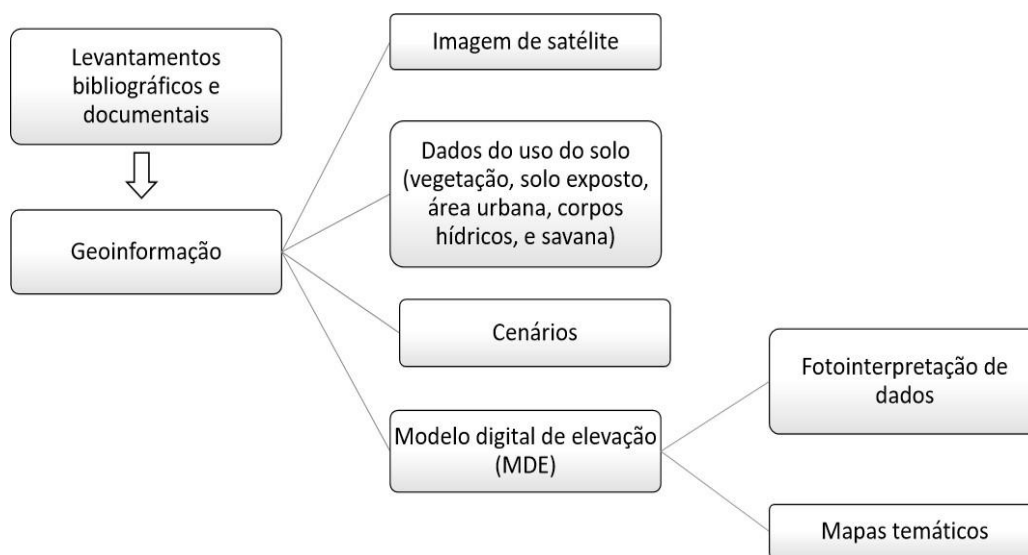
Levando-se em conta essas dificuldades, a delimitação do contorno da bacia foi feito empregando-se técnicas apropriadas a planícies de inundação muito planas, onde tal fenômeno é bastante comum (LAI et al, 2016).

Para a extração automática da rede de drenagem e bacia hidrográfica a partir dos MDEs foram percorridas as seguintes etapas (Fig. 21): correções das depressões (descrito acima), direção de fluxo (flow direction), fluxo acumulado (flow accumulation) e extração da rede de drenagem e bacia hidrográfica. A direção de fluxo foi calculada utilizando algoritmo 8D. Assim, para cada pixel

foram examinados os oito pixels vizinhos e escolhida direção da inclinação mais íngreme (JENSEN; DOMINGUE, 1988).

Figura 21

Figura 21- Fluxograma de desenvolvimento da metodologia de extração automática da bacia



Fonte: Autora (2021).

Para gerar o fluxo acumulado foi calculado para cada pixel do MDE o número de pixels à montante cujos caminhos fluem para essa célula, todos os processos serão através do ArcMap versão 10.4, no qual será embarcada a extensão Spatial Analyst – A extensão ArcGIS Spatial Analyst fornece um rico conjunto de ferramentas de análise e modelagem espacial para dados rasterizados (baseados em células) e de recursos (vetoriais) que consiste em um conjunto de ferramentas que permitem a delimitação de bacias hidrográficas de maneira automática, rápida e objetiva.

As ferramentas de hidrologia são usadas para modelar o fluxo de água através de uma superfície. As ferramentas de hidrologia podem ser aplicadas individualmente ou usadas em sequência para criar uma rede de riachos ou delinear bacias hidrográficas.

Os passos para a obtenção do divisor topográfico da bacia consistem em: (1) correção do MDE para a remoção de pixels que poderiam comprometer a continuidade do fluxo da água (INPE), através da ferramenta ArcToolbox-



Conversion tools; (2) utilizando a ferramenta Fill, em seguida determinação da direção preferencial do fluxo na superfície – ferramenta Flow Direction, a qual define o fluxo, pixel a pixel em apenas uma direção dentro de oito possíveis caminhos em relação aos pixels vizinhos; (3) obtenção da bacia em formato raster – ferramenta basin, neste passo foi possível também a extração da rede de drenagem numérica para a área de estudo. Como a bacia é obtida em um arquivo raster faz-se necessário à sua conversão para o formato vetor (polígono), para realização dos cálculos de área e perímetro.

#### **4.3.3. Mapa de Uso e Cobertura do Solo**

O mapeamento do uso e ocupação do solo foi realizado por meio do uso do software ArcGIS 10.5 e QGIS 3.14 e por imagens de Dronne, sendo que foram levados em consideração os seguintes parâmetros analisados e comparados com a legislação vigente:

- Perímetro Urbano e rural: Por ser o fator que causa maior índice de degradação do meio ambiente incluindo os recursos hídricos.
- Vegetação: a preservação deste ambiente junto aos recursos hídricos é de suma importância visto que são essenciais para, manter os ambientes naturais, evitando o escoamento superficial, degradação das áreas próximas aos corpos hídricos evitando o assoreamento.
- Agronegócio: Pode ter suas áreas avançadas sobre a vegetação natural do lavrado, ou seja, sua área pode aumentar em proporções invertidas à vegetação remanescente, uma das causas do assoreamento dos córregos e rios.
- Termelétricas: A presença de usinas de produção às margens dos cursos d'água pode causar desestruturação das margens, despejos de óleo e assoreamento, que podem afetar a qualidade da água e a biota local.

O mapeamento do uso e ocupação da área foi feito levando em consideração a imagem obtida por sensor orbital com resolução espacial de 30 metros, e pela interpretação da imagem pelos autores.

#### 4.3.4. Mapas de qualidade da água

Os dados levantados em campo foram tabulados e organizados em tabelas no software Excel, onde os pontos corresponderam às linhas e as coordenadas planas e os valores físico-químicos corresponderam às suas colunas. Esta tabela foi salva no formato csv a fim de permitir sua importação e manipulação no software QGIS.

Este procedimento criou um arquivo vetorial shp (*“shapefile”*) de pontos o qual, por sua vez, foi utilizado para a aplicação da interpolação baseada no algoritmo do inverso da distância ponderada IDW (*“Inverse Distance Weighted”*). A interpolação foi feita para cada um dos parâmetros físico e químicos aqui tratados, resultando em distintos mapas, cujas cores corresponderam a sua respectiva distribuição dentro da área de estudo.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. Caracterização da bacia

O diagnóstico dos impactos passa inicialmente pela delimitação e caracterização da bacia. A delimitação da BHIC é relativamente mais complexa, dada a planura de seu terreno. Técnicas sofisticadas de tratamento de MDEs permitem obter aproximações bastante realistas dos contornos dos divisores de águas que delimitam as bacias, porém, sempre com a limitação óbvia da resolução espacial do sensor remoto utilizado (LAI et al, 2016). A fim de se contornar estas dificuldades, observações de campo, a pé ou por drones, foram feitas para garantir maior fidelidade à realidade da bacia.

Foi possível visualizar através das imagens de drone, que a região à norte (montante) da bacia agrupa várias nascentes que, por sua vez, formam vários pequenos afluentes, alguns perenes, outros temporários. Estas drenagens confluem entre si até formarem três ramos principais, um com direção NO-SE, que drena a zona N-NO da bacia, outro com direção NE-SO, que drena a porção NE-N da bacia e, por fim, um terceiro com direção aproximada L-O, que drena a porção L da bacia (Fig. 15).

Dando início à porção média da bacia, a confluência destes ramos forma uma junção tríplice que dá início à calha principal do Igarapé Carrapato (Fig. 15). A partir daí, o igarapé segue em direção aproximada N-S em direção ao rio Cauamé, ao sul (Fig. 15). Na porção baixa, o igarapé inflete para SE e segue assim até próximo ao rio Cauamé, quando então, curva-se para leste até desaguar nele (Fig. 15). Ao longo de todo este trecho pequenos igarapés são identificados afluindo em direção à calha principal, alguns de forma perene, outros temporária.

Durante a vazante, a foz do Igarapé Carrapato diminui consideravelmente o volume escoado sem, porém, chegar a secar. Nesta condição, forma-se um pequeno fluxo encaixado em uma calha bem marcada e de fácil distinção. Durante a época das chuvas, o volume escoado aumenta consideravelmente, resultando no extravasamento do fluxo para fora da referida calha e formando uma grande área inundada. Outro resultado das cheias é a subida do lençol

freático do Sistema Aquífero Boa Vista, que faz inundar as pequenas depressões existentes na região, sem, contudo, haver conexão com os cursos d'água.

As nascentes da BHIC são compartilhadas (Fig. 22) com a Bacia Hidrográfica do Igarapé Arauanã (BHIA), tributário do Murupu, e a Bacia Hidrográfica do Igarapé São José (BHISJ) e as perturbações antrópicas quali-quantitativas ocorridas nesta região podem impactar todas elas. O grau de impacto dependerá dos padrões locais de circulação, bem como de escoamento.

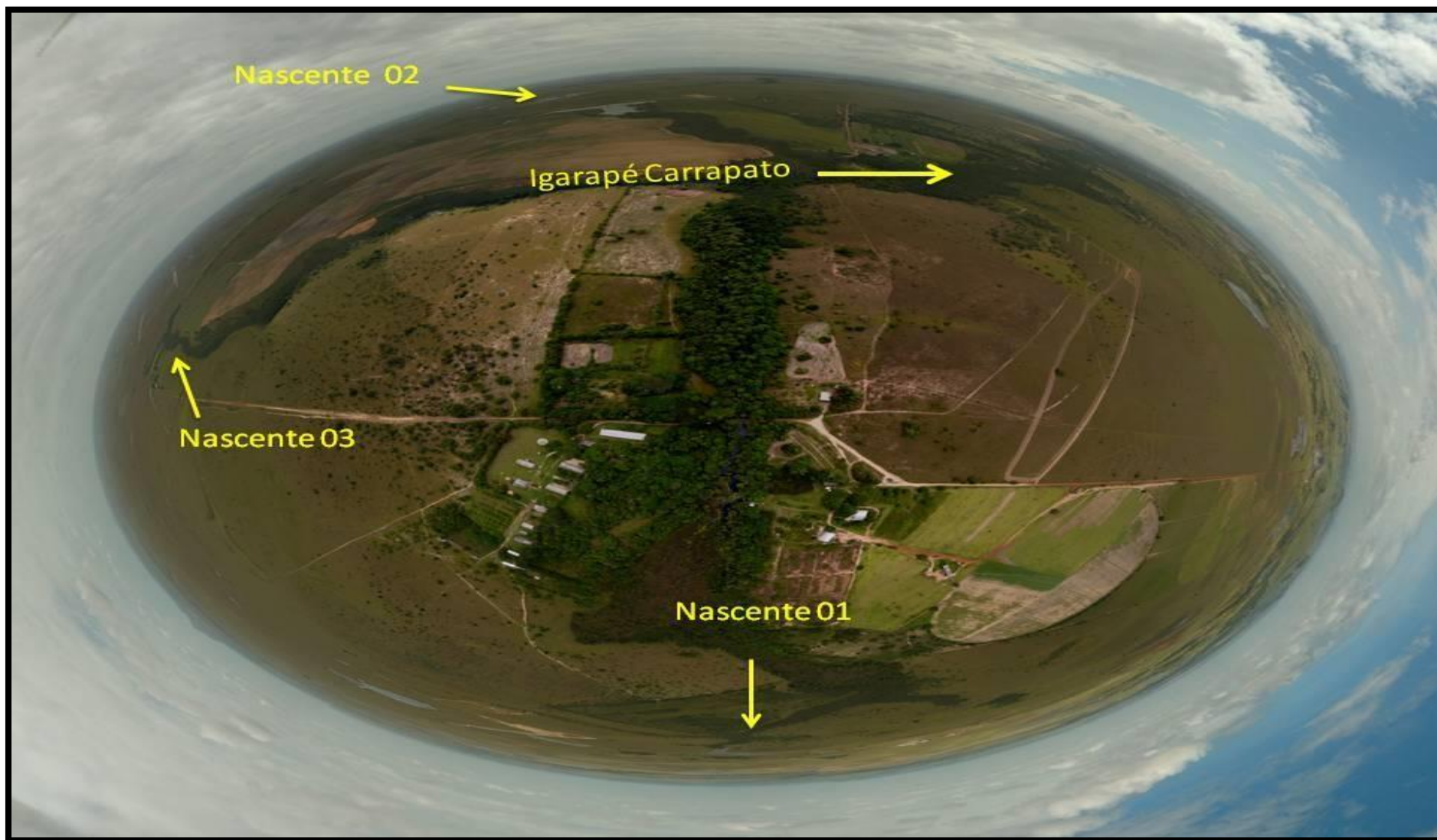
Figura 22- Imagem de satélite mostrando a região norte da bacia, à montante, onde é possível se ver o rosário de lagos e lagoas formados pelas nascentes e os cursos d'água delas derivados. Reparar no compartilhamento destas nascentes com bacias mais a norte (BHIC).



Fonte: Autora (2021).

Imagens aéreas obtidas durante as campanhas de campo nos períodos P1 (seca) e P2 (chuva) permitiram caracterizar as variações geomorfológicas resultantes destas diferenças climáticas, assim como as particularidades bióticas e abióticas que caracterizam cada ponto visitado (Fig. 23 a 31).

Figura 23- Imagem das principais nascentes do Igarapé Carrapato vista em 360°.



Fonte: Caleffi (2022).



Figura 24- Nascente 1 com visada para Leste. Ela é cortada pela rodovia de acesso à vila Passarão (RR 319) e abaixo à direita, fora da foto, há um matadouro de cabras (2°59'9.94"N / 60°44'13.29"O). Ao fundo, vê-se um barramento.



Fonte: Caleffi (2022).



Figura 25 - Nascente 1 com visada para NE.



Fonte: Caleffi (2022).



Figura 26 – Vista aérea da região à montante da bacia com visada para Oeste. Notar a profusão de nascentes formando pequenas lagoas alimentadoras dos fluxos superficiais.



Fonte: Caleffi (2022).



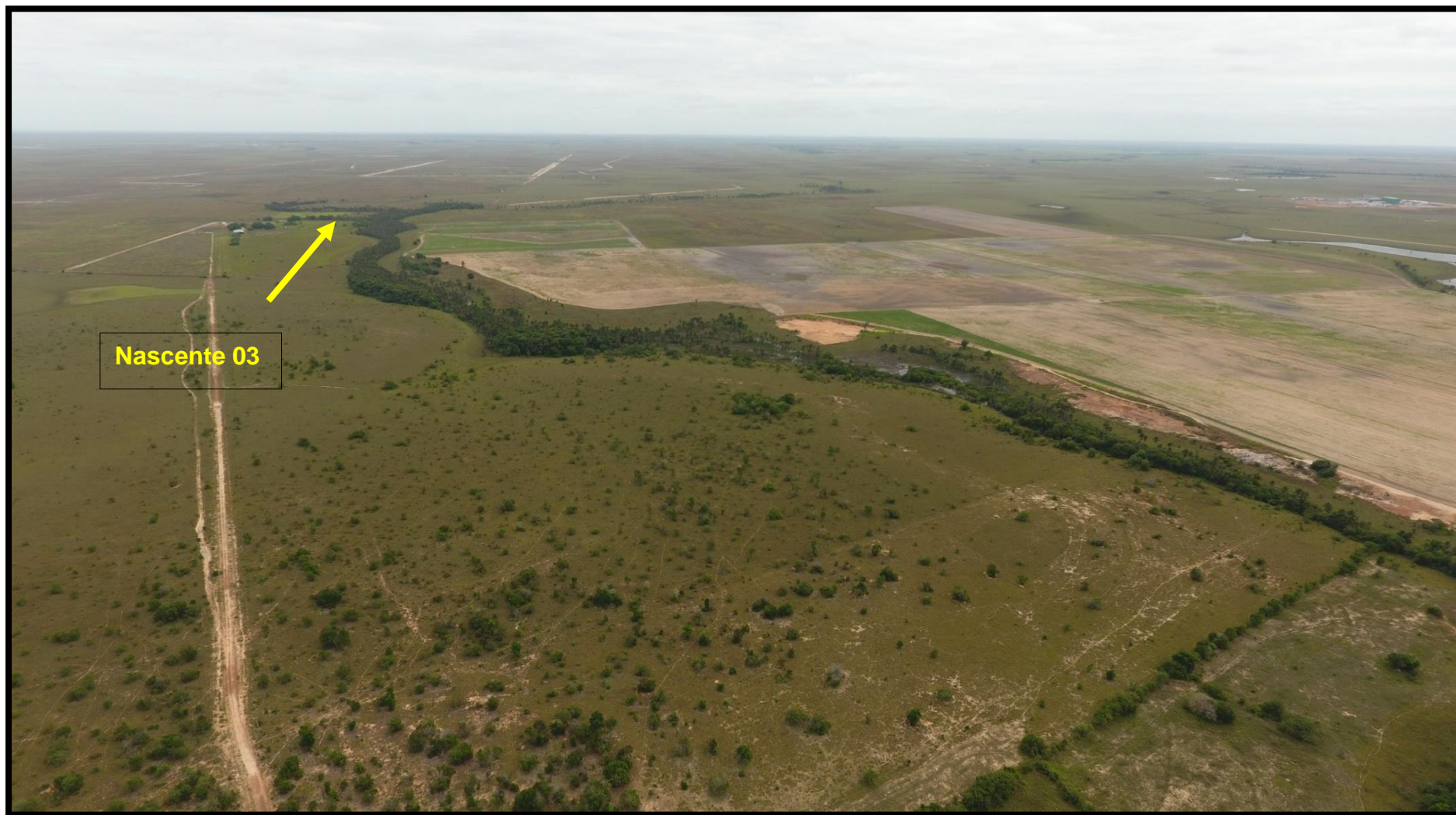
Figura 27 - Nascente 2 em visada para SSO. A leste dessa nascente (à esquerda, fora da foto) encontra-se a UTE Jaguatirica.



Fonte: Caleffi (2022).



Figura 28- Nascente 3 com visada para Leste. Esta nascente não pode ser amostrada devido à vedação do acesso por parte do proprietário.



Fonte: Caleffi (2022).



Figura 29 - Junção tríplice com visada para Leste. Em direção ao horizonte pode-se visualizar a UTE Jaguatirica e a BHISJ ao fundo.



Fonte: Caleffi (2022).

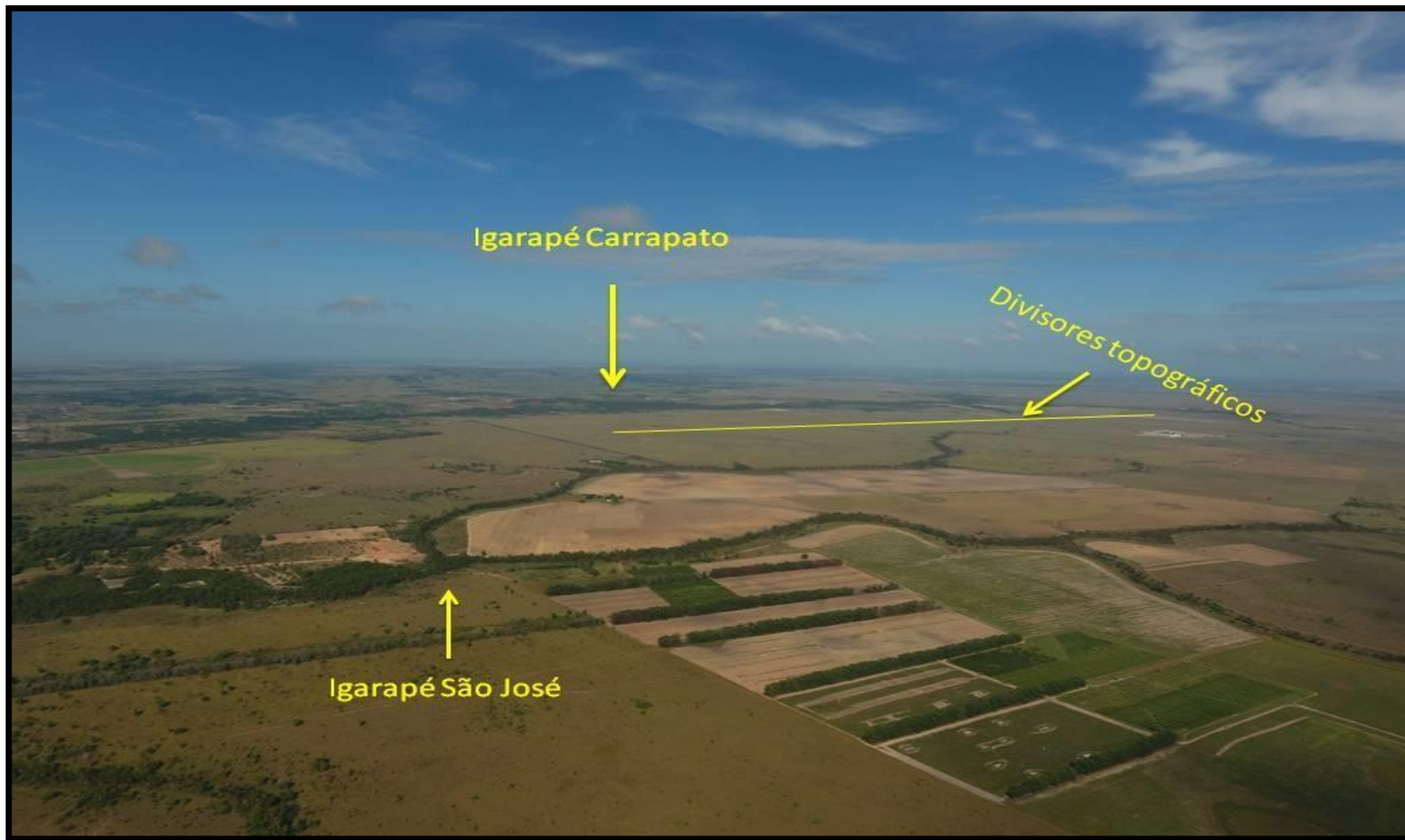


Figura 30 - Foz da bacia Igarapé Carrapato no período das chuvas desaguando no Rio Cauamé.



Fonte: Caleffi (2022).

Figura 31 - Vista aérea com visada para Oeste. Reparar a planura do terreno com limites difusos entre as duas bacias.



Fonte: Caleffi (2022).



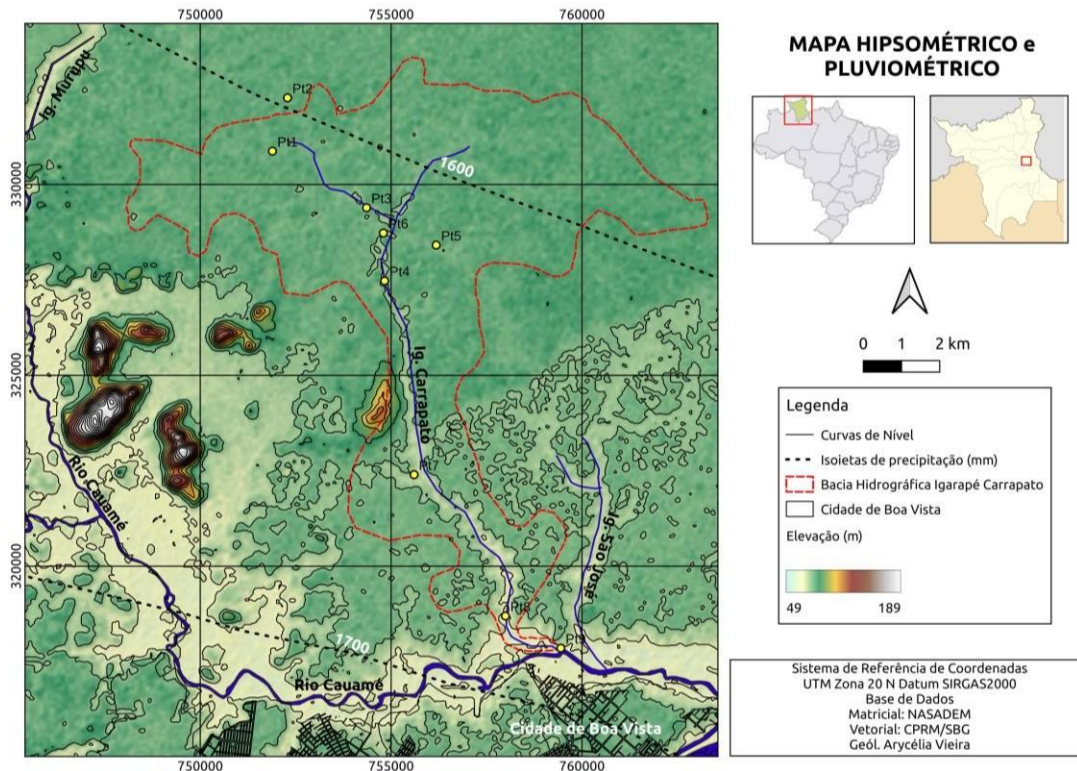
Conjugando-se os dados obtidos em campo com os arquivos vetoriais e matriciais dos bancos de dados remotos, foi possível elaborar mapas detalhados das principais características bióticas e abióticas da BHIC, conforme pode se ver nas figuras 32 a 38, a seguir. Estes mapas facilitam a análise e a interpretação da dinâmica de interação entre homem/natureza na área da bacia, auxiliando na caracterização do uso e ocupação do solo no entorno do igarapé Carrapato.

O relevo é um fator que influencia diretamente no processo de escoamento e pode ser visualizado por meio de um mapa hipsométrico conjugado com as isoietas registradas para a região. Conforme pode-se ver na figura 30, observa-se que há apenas uma quebra de relevo significativa, quando as altitudes passam gradualmente de aproximadamente 82 m para 78 m, na transição entre a porção média e baixa da bacia (evidenciado pela diferença de tons de verde na figura 32).

Quanto à distribuição de chuvas, a porção NE da bacia registra até 1500 mm de precipitação anual e o restante 1600 mm (Fig. 32). A menor precipitação na região NE está em aparente desacordo com o fato de que é justamente nessa porção em que é registrada a maior concentração de lagos e lagoas, porém, isso reforça que, mais do que o aporte de água pelas chuvas, é a geomorfologia que controla a ocorrência destas feições, no sentido em que elas constituem-se na expressão superficial das águas subterrâneas quando as depressões são profundas o suficiente para interceptar o lençol freático.

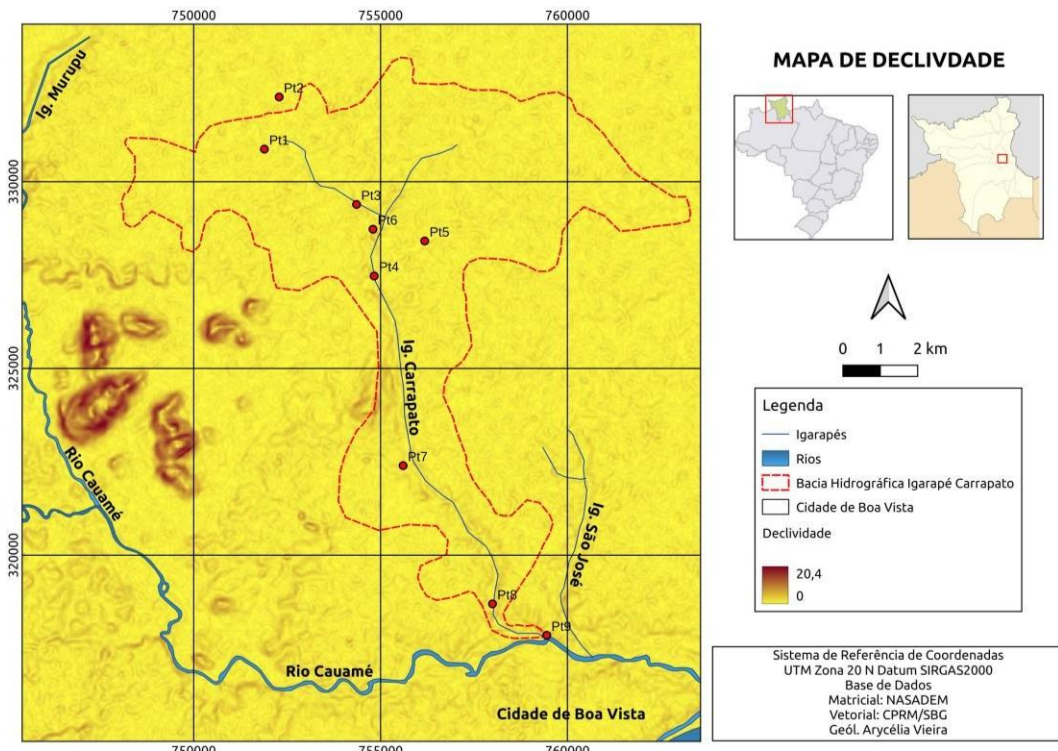
Na porção central da bacia, parte de seu limite oeste é dado por um morro basáltico de pouco mais de 120 m, onde encontra-se uma empresa de extração de brita (Fig. 32). Nessa região, os basaltos encontram-se ainda parcialmente bem preservados e, por causa disso, os escoamentos superficiais são mais acentuados, assim como a erosão decorrente. Trata-se também de uma área relativamente mais bem isolada de possíveis contaminações superficiais quando comparada às demais.

Figura 32 - Mapa Hipsométrico e Pluviométrico da BHIC.



Elaborado pela autora (2021).

Figura 33 - Mapa de declividade da BHIC.



Elaborado pela autora (2021).

Analisando-se o mapa de declividade da bacia (Fig. 33), vê-se a bacia como um todo é bastante plana, com valores entre 0 a 5º, sendo pontuada por ligeiras depressões e pequenas ravinas, feições estas mais bem distribuídas e com direções variadas na região à montante da bacia e agrupadas ao longo da calha principal no restante da bacia, com faces geralmente voltadas para ela. Isto explica a maior concentração de pequenas áreas abaciadas portadoras de corpos d'água na região à montante e a maior concentração de fluxos no restante da bacia.

As características geológicas da bacia são um dos fatores primordiais para entender o ambiente presente neste espaço geográfico. Toda a história evolutiva da região propiciou um relevo dissecado e em suas falhas e fraturas, que são estruturas geológicas mais susceptíveis ao intemperismo e erosão, corpos hídricos instalaram-se, sendo rios nas falhas e lagos e lagoas nos níveis mais dissecados, onde o lençol freático aflora (CPRM, 2014).

Neste último caso, tais ambientes podem ser considerados áreas de ressurgência do aquífero quando em períodos de cheia (WANKLER; SANDER; EVANGELISTA, 2012). Estas áreas estão inseridas dentro da legislação como áreas de proteção permanentes, mas a especulação imobiliária irresponsável e a falta de estudos sobre estes ambientes permitiram que a expansão territorial avançasse para elas (FALCÃO; OLIVEIRA, 2021). Da geologia local é possível ver que a porção NE da bacia é ocupada por sedimentos inconsolidados e altamente móveis da Formação Areias Brancas (Fig. 34).

Por serem inconsolidados, apresentam alta porosidade e, conseqüentemente, maior probabilidade de infiltração das águas pluviais e menor probabilidade de escoamento superficial. Nestes locais, é plausível supor que a vulnerabilidade do meio subterrâneo é maior e, conseqüentemente, maior a probabilidade de contaminação dos solos e aquíferos (RODRIGUES; SANDER; WANKLER, 2019, CARVALHO; MORAIS, 2021).

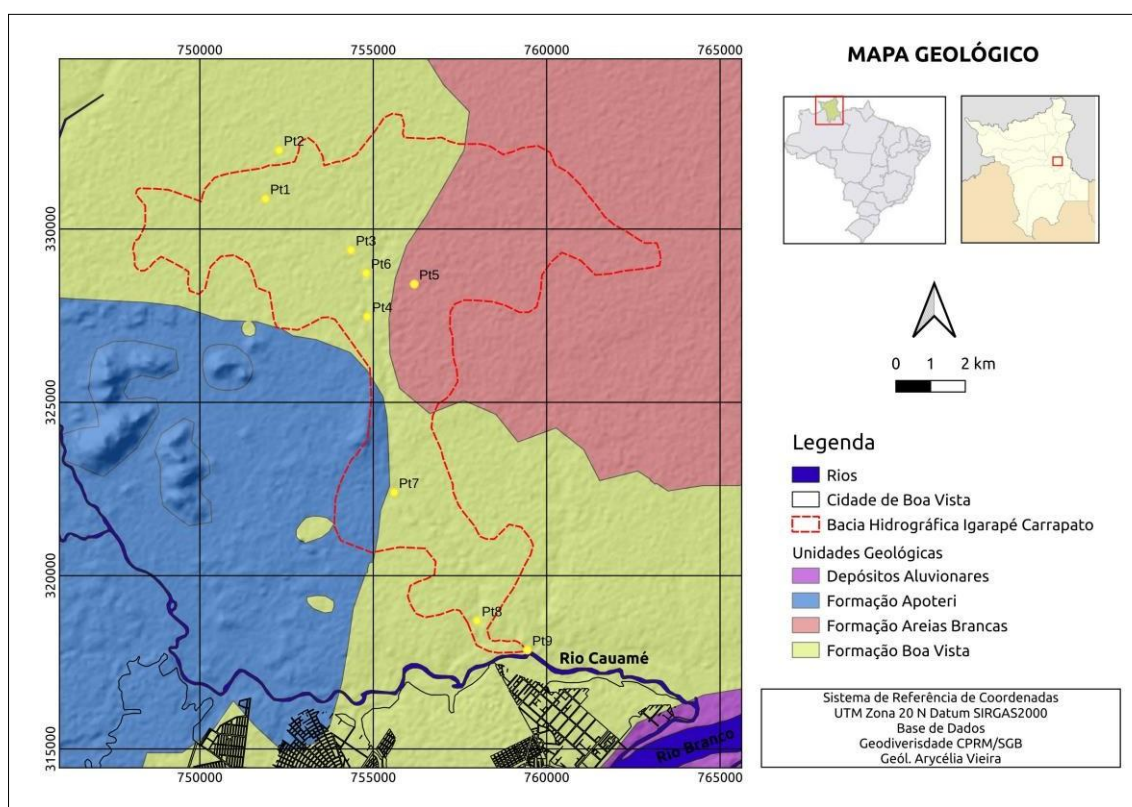
Já a região sudoeste da bacia registra a ocorrência de basaltos da Formação Apoteri (Fig. 34), cujas condições iniciais de impermeabilidade foram já consideravelmente diminuídas devido à forte alteração dessas rochas, que resultou em intenso fraturamento, fragmentação e decomposição. Os solos resultantes dessas



rochas são especialmente bons para a agricultura, razão pela qual, boa parte da sua região é ocupada por projetos agrícolas de alta rotatividade.

O restante da bacia é caracterizado pela ocorrência de sedimentos parcialmente consolidados da Formação Boa Vista (Fig. 34), cuja permeabilidade encontra-se em níveis intermediários aos das duas unidades discutidas anteriormente.

Figura 34 - Mapa geológico da área da BHIC.

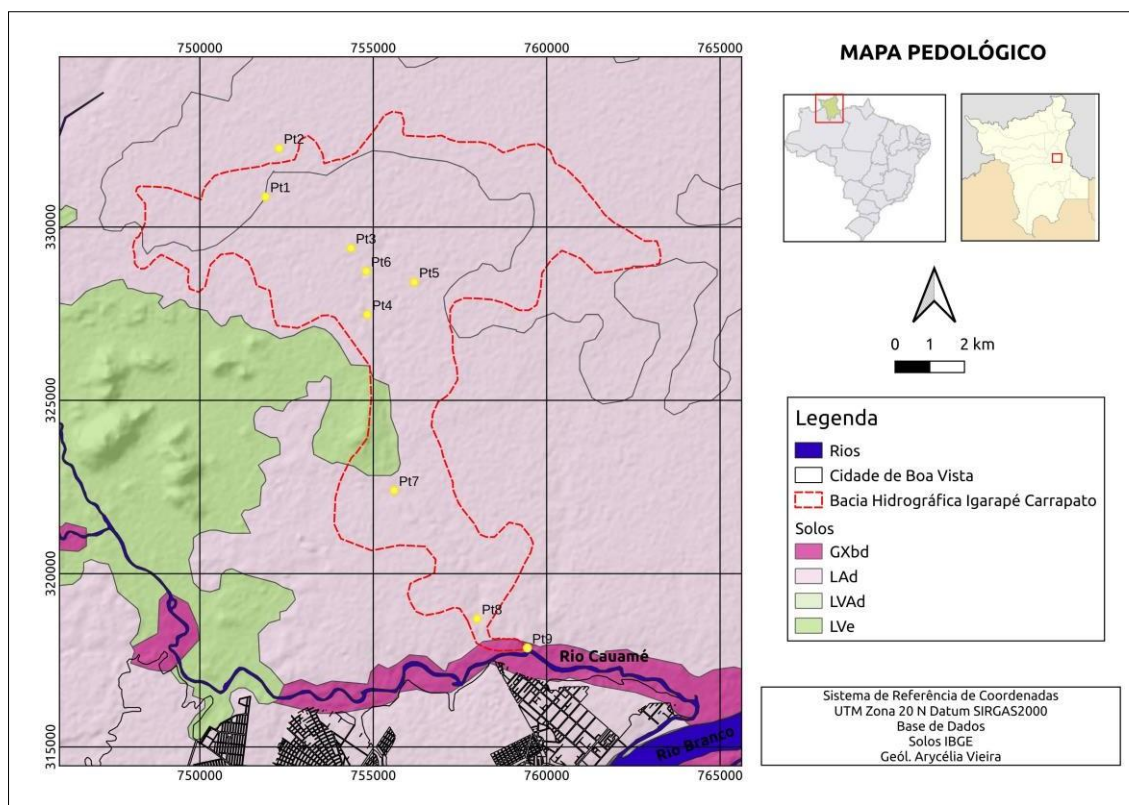


Elaborado pela autora (2021).

Quanto aos solos gerados por estas rochas, observa-se um padrão diferente. A distribuição de solos na bacia (Fig. 35) revela a presença de Latossolo Amarelo Distrófico em praticamente toda a sua área, à exceção dos Latossolos Vermelho Eutróficos junto ao morro basáltico à oeste, da Formação Apoteri e aos Gleissolos Háplicos Distróficos que acompanham os cursos d'água.

Figura 35 - Mapa de solos da BHIC, onde: GXbd = Gleissolo Háplico distrófico; LAd = Latossolo Amarelo Distrófico; LVAd = Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico e LVe = Latossolo Vermelho Eutrófico.

Figura 35- Mapa Pedológico da área da BHIC.



Elaborado pela autora (2021).

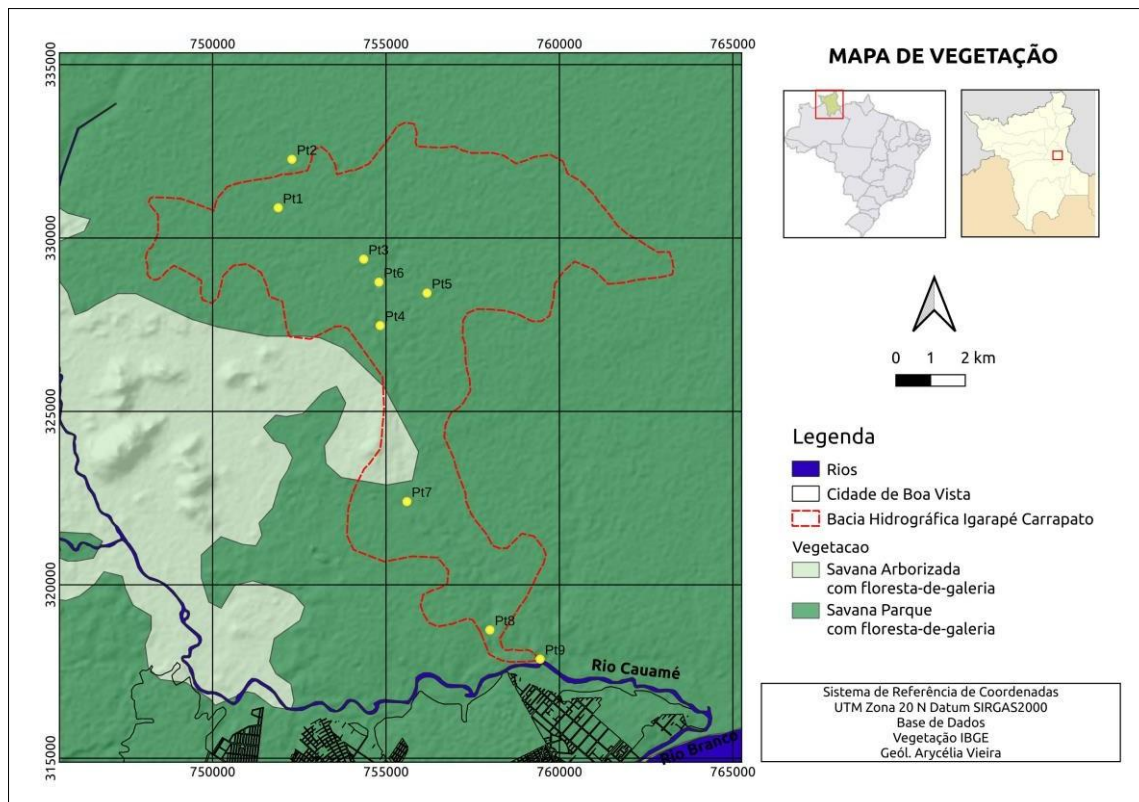
Em um estudo conduzido na zona urbana de Boa Vista e suas imediações, encontrou-se que os Latossolos Vermelhos apresentaram maior velocidade de infiltração, seguidos pelos Latossolos Amarelos (SANCHEZ, 2017). Assim, embora as rochas da Formação Apoteri possam ser mais impermeáveis que as rochas das formações Boa Vista e Areias Brancas, os Latossolos Vermelhos gerados por elas possuem maior permeabilidade e, conseqüentemente, maior probabilidade de contaminação e menor taxa de escoamento.

Cabe salientar que o fenômeno da lateritização é muito comum nessas áreas, o que pode criar crostas lateríticas que, se contínuas por grandes áreas, podem funcionar em épocas de chuvas como bases impermeáveis de aquíferos suspensos, muito rasos.

Em termos de vegetação, observa-se que praticamente toda a área da bacia é ocupada por Savana Arborizada (Fig. 36). Exceção a isto é, novamente, a área de afloramento dos basaltos da Formação Apoteri, onde observam-se vegetação de Savana Parque. Em ambos os casos ocorrem Florestas de Galeria, incluso aí os buritizais de *Mauritia speciosa*. Savanas Arborizadas possuem menos árvores do que

as Savanas Florestadas, porém, mais do que as Parque. Na prática, a maior densidade de árvores da Savana Arborizada se expressa na formação de pequenos agrupamentos de árvores não muito próximas entre si, ou mesmo pequenas manchas de árvores bastante próximas entre si, enquanto a Savana Parque apresenta árvores apenas como indivíduos relativamente distantes entre si, ou mesmo isolados um dos outros (BARBOSA; MIRANDA, 2004).

Figura 36 - Mapa de Vegetação da BHIC.



Elaborado pela autora (2021).

Quanto maior a densidade vegetal, maior a proteção do solo, quer contra a erosão, quer contra a contaminação hídricas. Assim, da distribuição de vegetação observada, conclui-se que a já referida área a oeste da porção central da bacia apresenta menor proteção vegetal a estes impactos do que o restante das áreas da bacia.

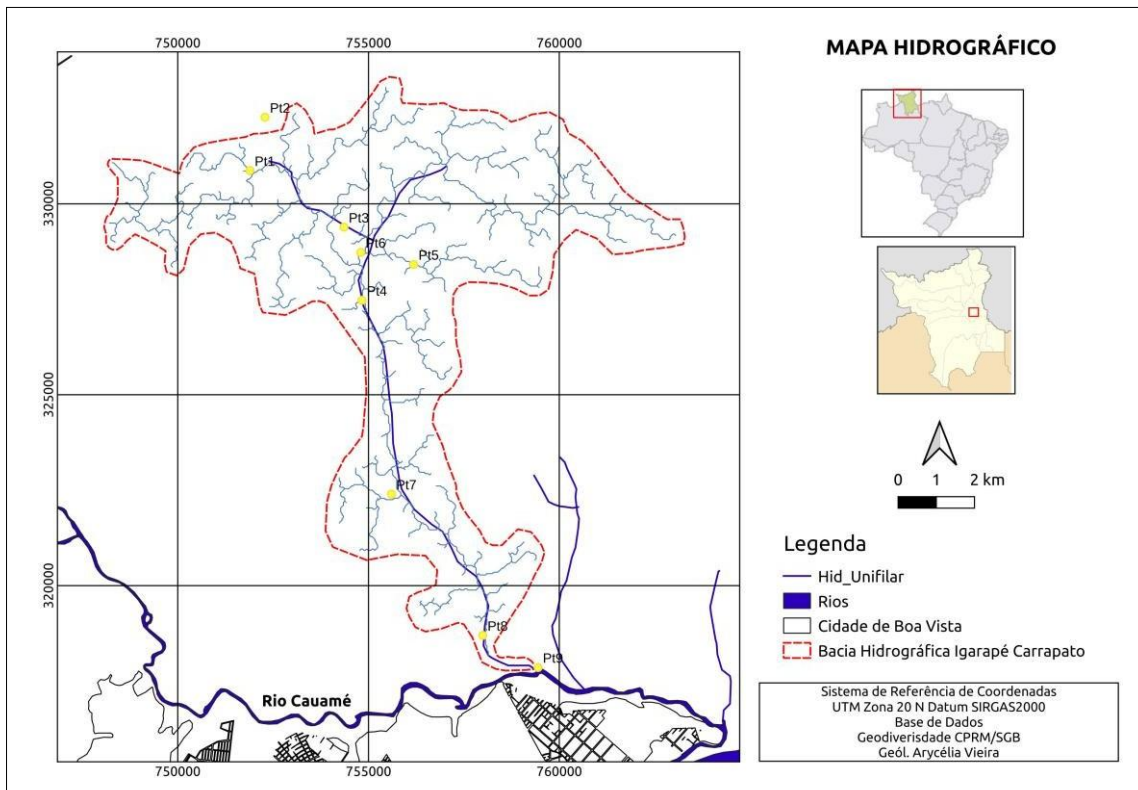
Quando analisada a morfometria da bacia (Fig. 37), observa-se que ela é uma bacia alongada, o que implica em rápida resposta à precipitação, com aumento rápido de vazão observado em seu exutório. Em termos hidrográficos, é possível observar que a BHIC apresenta uma boa malha de drenagem (Fig. 38).

Figura 37 – Morfometria da bacia.

CARACTERÍSTICAS	RESULTADOS
Área de drenagem (km <sup>2</sup> )	98
Comprimento da calha principal (km)	19,2
Comprimento total dos afluentes (km)	34,6
Comprimento total das drenagens (km)	46,3
Perímetro da bacia (km)	48,3

Elaborado pela autora (2021).

Figura 38 - Mapa hidrográfico da BHIC.



Elaborado pela autora (2021).

Estas características conferem à BHIC uma alta vulnerabilidade à contaminação superficial de suas águas. Confirma-se também que a área mais densamente irrigada é aquela à montante, em sua porção norte. Considerando-se que esta é também a porção de maior densidade de massas d'água, percebe-se facilmente a importância de sua preservação para a manutenção da integridade quali-quantitativa dos seus fluxos e reservatórios.

## 5.2. Diagnóstico de Impactos

À medida que a ocupação urbana na bacia aumenta, há um expressivo aumento das áreas impermeabilizadas e, com isso, há uma diminuição da infiltração que, por sua vez, provoca um aumento do volume e velocidade de escoamento superficial que, por fim, resulta em maior probabilidade de cheias próximo ao curso principal e seus afluentes (RODRIGUES; BITTENCOURT; FERNANDES, 2018).

A área da bacia é ocupada basicamente por atividades rurais, havendo pontualmente algumas exceções, como, por exemplo, o matadouro e a UTE Jaguatirica, na zona à montante, a UTE Monte Cristo, na porção média da bacia e os bairros Pedra Pintada e Said Salomão, à jusante, com variadas atividades comerciais e domicílios familiares.

Dentre outras atividades desenvolvidas na área da bacia, pode-se citar campo de painéis de captação de luz solar para fornecimento de energia, tanques de piscicultura dentro de lagoas, chácaras, bairros residenciais, agronegócio, grameiras, granjas, etc. Todos estes usos e ocupações resultam em algum tipo de impacto devido às cargas difusas produzidas, ou então, devido a alterações no regime e dinâmica das águas (OLIVEIRA; LIMA; SOUSA, 2017).

Tendo em mente que o uso e cobertura do solo interferem diretamente no comportamento hidrológico das bacias hidrográficas porque tendem a modificar sua dinâmica e seus padrões hidrológicos (DWARAKISH; GANASRI; De STEFANO, 2015), a identificação destes usos reveste-se de suma importância para o reconhecimento dos impactos ambientais possíveis.

A elaboração de um mapa de uso e cobertura do solo aqui empreendida mostrou-se insatisfatória para os fins propostos, uma vez que classes importantes não puderam ser distinguidas entre si, mesmo quando o treinamento do algoritmo passou de 30 para 100 polígonos por classe. A razão disso deve-se em grande parte do compartilhamento de cores de pixel entre classes distintas, como, por exemplo, as cores de solo exposto por atividade humana e as cores de savana gramínea pouco vegetada.

Uma alternativa para contornar estes problemas seria uma diminuição das classes utilizadas, a fim de agrupar o maior número possível de variação de cor de pixel nestas novas classes, porém, para que as mesmas tivessem coerência lógica, a distinção entre solos vegetados e solos expostos deveria ser mantida, mas isso não



solucionaria o problema acima exemplificado. Com isso, optou-se por uma solução híbrida, a saber, a utilização dos mapas do MAPBIOMAS como fonte inicial sobre a qual foram sobrepostos polígonos obtidos pela classificação aqui empreendida que, a despeito do insucesso do produto final, continha elementos que puderam ser validados em campo e de observações em imagens de satélite (Fig. 39).

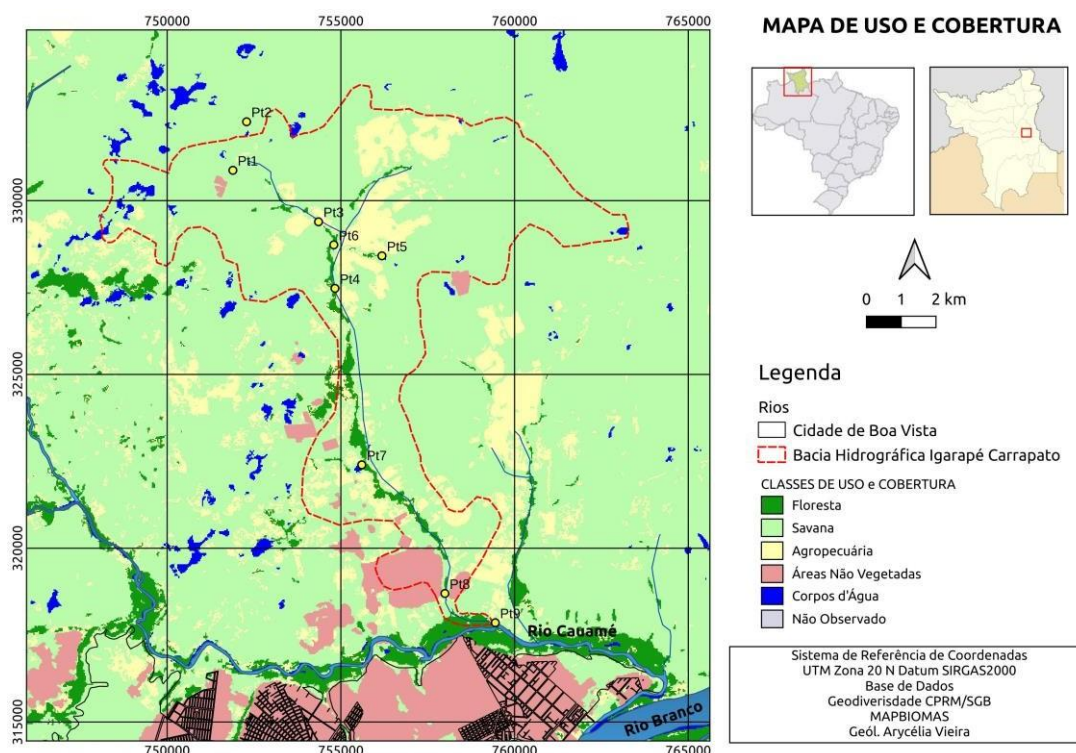
Da análise deste mapa observou-se que a classe Corpos d'Água está significativamente sub-representada, mas a razão disso passa pelo fato de que muitos deles são bastante rasos e permitem o desenvolvimento de vegetação em seu interior, ou mesmo em sua totalidade, dificultando a detecção da água pelos sensores orbitais e mascarando sua verdadeira natureza.

Outro problema encontrado é que a escala do mapa (1:110.000) confundiu muitos tipos de cultivares com formações vegetais naturais, como, por exemplo, pomares e florestas, pastagens com savana gramínea. Áreas muito pequenas de edificações que se enquadrariam na classe Áreas Não Vegetadas acabaram passando despercebidas nestes mapas e sendo classificadas como áreas de Floresta ou Savana.

Considerando-se estas observações, optou-se então por fazer uma distinção meramente qualitativa da representatividade das classes na área da BHIC, uma vez que os valores obtidos não têm significado real. Assim, na área da BHIC observa-se um predomínio das classes que representam a vegetação (Floresta e Savana), seguidas, em ordem decrescente de representatividade, das Agropecuária, Áreas Não Vegetadas e Corpos d'Água (Fig. 39). A classe Área não vegetadas englobou todas as alterações antrópicas, quer como edificações, quer como solos expostos ou ainda pátios de propriedades privadas não vegetados.

Compreensivelmente, esta classe ocorre com maior expressividade próximo ao núcleo urbano do município de Boa Vista e ao longo da BR 174, que a cruza. Da análise da distribuição de uso e cobertura da BHIC vê-se que as nascentes e demais corpos hídricos da região alta e média da bacia encontram-se ameaçadas basicamente por atividades agropecuárias, sendo então, esta a realidade dos pontos de 1 a 7. Por sua vez, os pontos 8 e 9, à jusante na bacia, em sua porção baixa, passam a receber também cargas de atividades humanas não agrícolas.

Figura 39 - Mapa de uso e cobertura do solo da BHIC.



Fonte: Autora (2021).

### 5.3. Análises Químicas

Devido aos atrasos de correio e problemas decorrentes da pandemia, os resultados laboratoriais das análises químicas das amostras coletadas durante a fase seca P1 não puderam ser incluídos neste estudo, o qual ficou, assim, restrito aos resultados obtidos durante a fase P2, de cheias e é a partir deles que são feitas as considerações a seguir.

Os resultados laboratoriais para os compostos nitrogenados orgânicos (Nitrogênio Amoniacal) e oxidados (Nitrito e Nitrato) encontram-se discriminados na figura 40, abaixo. Para os compostos nitrogenados, todos os pontos apresentaram valores muito abaixo do Valor Máximo Permitido (VMP) pela Portaria 888/21, do Ministério da Saúde, indicando boa qualidade das águas para estes parâmetros.

Considerando-se a proximidade com que os pontos amostrados se encontram de atividades agrícolas, seria esperado encontrar-se níveis elevados de compostos nitrogenados (RIGOBELLO; SERRA, 2020), logo, as baixas quantidades podem ser explicada por uma ou mais das seguintes razões: (1) o manejo de nutrientes

nitrogenados na área da BHIC não é intensivo; (2) os corpos d'água da BHIC possuem boa capacidade de atenuação; (3) o uso agrícola de compostos nitrogenados foi feito em tempo muito anterior ao das coletas aqui empreendidas e (4) a estação chuvosa aporta para dentro do sistema volume de água o suficiente para aumentar o poder de atenuação dos corpos d'água da BHIC.

Figura 40 – Valores de nitrogênio orgânico (Amoniacal) e oxidado (Nitrito e Nitrato) encontrados na BHIC. Onde: VMP = Valor Máximo Permitido. A soma das razões entre as concentrações das formas de nitrogênio e seus respectivos VMP não excederam 1 em nenhum valor.

	Nitrato (mg/L)	VMP Nitrato <sup>1</sup>	Nitrito (mg/L)	VMP Nitrito <sup>1</sup>	N Amoniacal (mg/L)	[Nitrato]/ VMP	[Nitrito]/ VMP	Soma
Ponto 1	1,2		0,013		0,4	0,12	0,013	0,026
Ponto 2	0,8		0,008		0,9	0,08	0,008	0,016
Ponto 3	0,4		0,014		0,3	0,04	0,014	0,028
Ponto 4	0,6		0,005		0,7	0,06	0,005	0,010
Ponto 5	0,5	10	0,005	1	0,2	0,05	0,005	0,010
Ponto 6	0,5		0,011		1,6	0,05	0,011	0,022
Ponto 7	0,4		0,012		0,8	0,04	0,012	0,024
Ponto 8	0,9		0,008		0,3	0,09	0,008	0,016
Ponto 9	0,7		0,006		0,8	0,07	0,006	0,012

<sup>1</sup>Portaria MS 888/2021

Fonte: Autora (2021).

A maior quantidade de nitrogênio amoniacal nos pontos 2, 4, 6, 7 e 9 em relação as suas formas oxidadas (Fig. 40) indica um aporte relativamente recente do nitrogênio de fontes próximas nestes pontos (MEALS; DRESSING; DAVENPORT, 2010). O fato de não haver continuidade espacial entre estes pontos indica que há mais de uma fonte, resultando na sobreposição do aporte sobre os efeitos da atenuação natural.

Os pontos onde os valores das formas oxidadas de nitrogênio foram maiores (1, 3, 5 e 8) indicam, por sua vez, maior tempo de residência desses compostos no sistema, ou seja, maior antiguidade e distância da área fonte (MEALS; DRESSING; DAVENPORT, 2010).

À exceção do ponto 9, que encontra-se na foz do Igarapé Carrapato, já sob influência direta da expansão urbana da cidade, todos os demais pontos estão circundados diretamente por atividades agrícolas (Fig. 40), o que requer, então, estudo detalhados dos padrões de escoamento superficial na região, bem como das práticas de manejo de nutrientes em cada local para explicar os valores observados – o que transcende ao escopo da presente pesquisa.

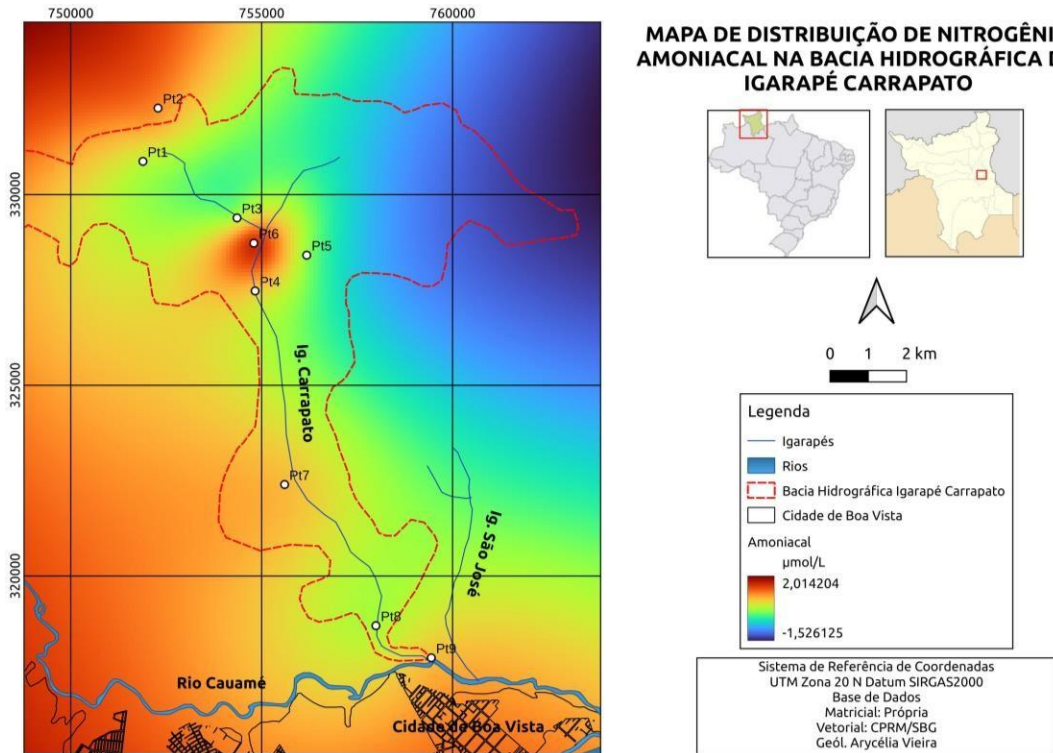


Observando-se o mapa de distribuição de nitrogênio amoniacal (Fig. 41), percebe-se que o ponto 6 constitui-se na zona de maior valor para esse parâmetro, o que pode ser explicado pelo fato de esta região concentrar a maior parte da agricultura intensiva encontrada na bacia, bem como situar-se na conjunção tríplice de ramos que, em conjunto, drenam várias destas propriedades.

Quando analisado o mapa de distribuição de nitritos (Fig. 42), percebe-se uma maior concentração nas nascentes à noroeste e na porção baixa, à jusante, da bacia. Neste último caso, a explicação pode se dever ao fato de que os compostos nitrogenados que entraram no sistema a partir da região à montante gastam bom tempo até chegar na região à montante, possibilitando, assim, sua oxidação ao longo desse trajeto.

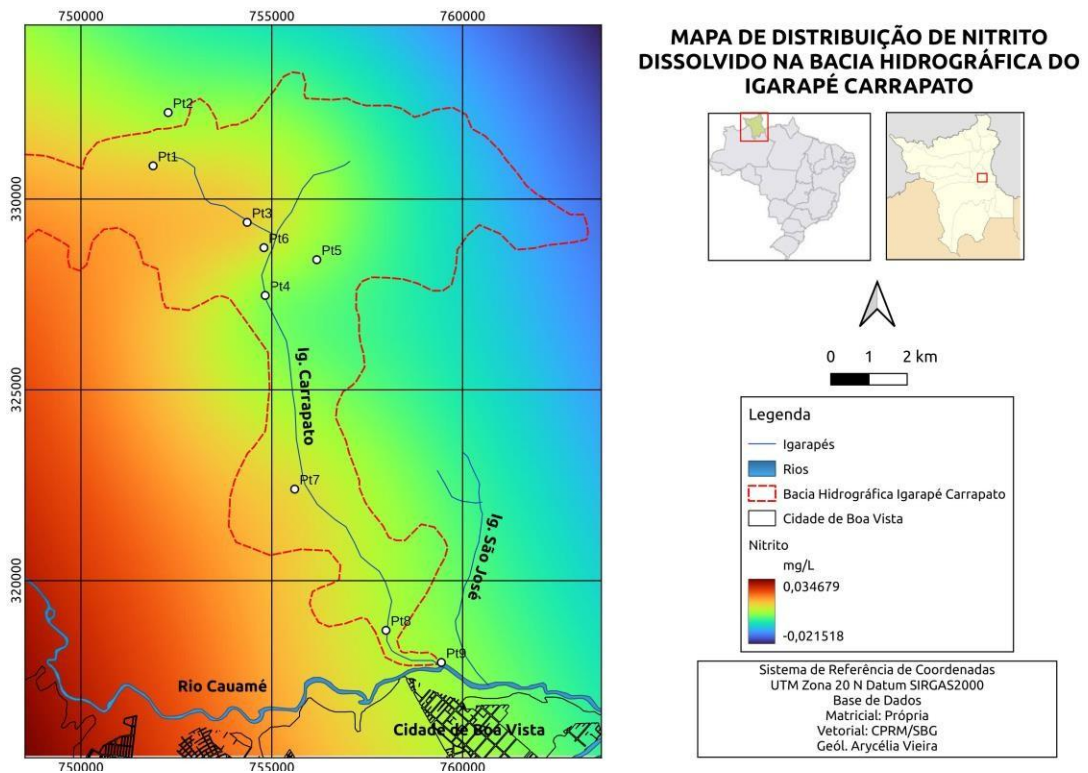
Já a maior concentração observada na região noroeste indica que boa parte do nitrogênio que entra no sistema aí acaba armazenado nos lagos e lagoas sem derivação e, assim, vão se oxidando com o tempo. O fato de os nitratos não apresentarem padrão similar (Fig. 43), ao contrário, eles apresentam concentração similar ao longo de toda a BHIC, indica que a forma final de oxidação destes compostos nitrogenados é atenuada ao longo de todos os corpos hídricos da BHIC, incluso em sua região noroeste.

Figura 41 - Mapa de distribuição do Nitrogênio Amoniacal na BHIC.



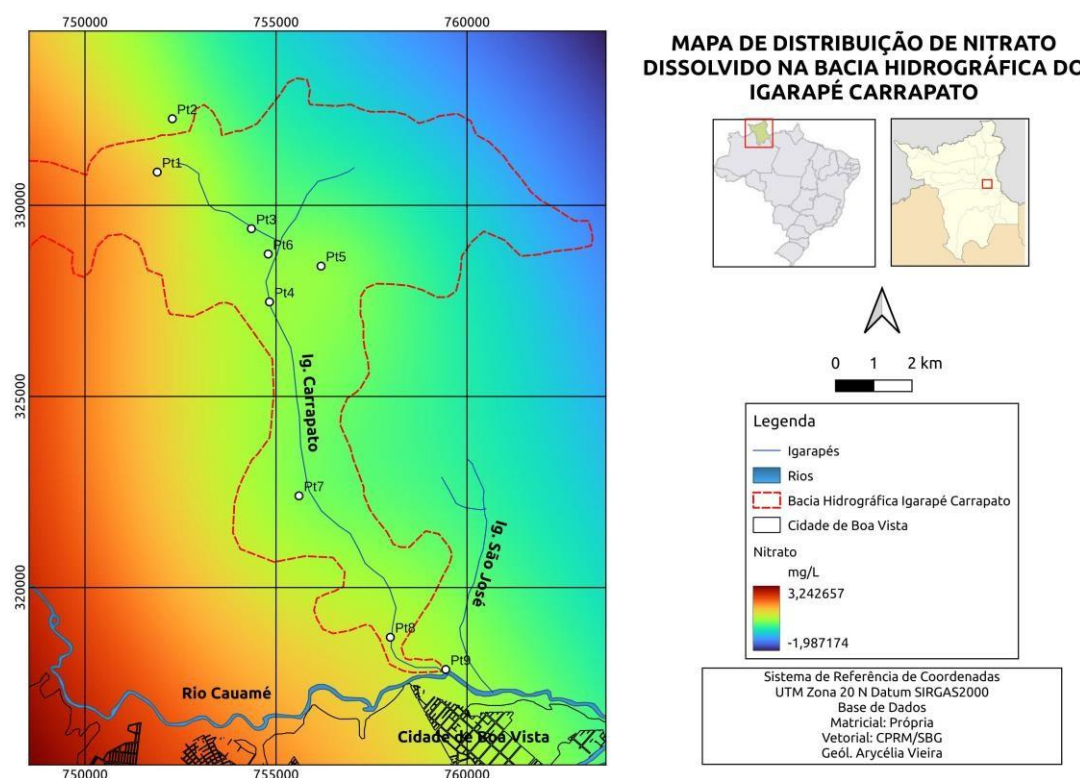
Fonte: Autora (2021).

Figura 42- Mapa de distribuição do Nitrito.



Fonte: Autora (2021).

Figura 43 - Mapa de Distribuição do Nitrato.



Fonte: Autora (2021).

É possível que isso se deva principalmente ao fato de que as contaminações iniciais por nitrogênio amoniacal e nitrito acabem por se transformarem em nitrato próximo ou já durante a época de chuvas e, assim, esta forma acaba sendo atenuada mais eficientemente e por isso não mostre heterogeneidades como as demais, mas esta hipótese requer estudos detalhados dos efeitos dos padrões climáticos no poder de atenuação da BHIC, bem como dos padrões de manejo de nutrientes para dentro desta bacia, o que, novamente, escapa ao escopo do presente estudo.

Os demais resultados para os parâmetros aqui analisados encontram-se discriminados na figura 44, mais abaixo.

No caso da Demanda Bioquímica de Oxigênio para 5 dias a 20 °C (DBO<sub>5,20</sub>), a maioria dos valores obtidos ficaram abaixo do limite de detecção do equipamento, com exceção do ponto 2, cujo valor foi de 1 mg/L (Fig. 44), ou seja, compatível com a classe 1 (até 3 mg/L) para águas doces segundo a Resolução CONAMA 357/2005. Esses valores são compatíveis também com aqueles obtidos para o nitrogênio (Fig. 40), que tem uma relação direta com os níveis de DBO. Estudos conduzidos na área urbana de Boa Vista (SANT'ANA; VITAL; SILVA, 2019), os níveis de DBO encontrados

foram todos maiores do que os aqui observados, indicando que a despeito do processo de urbanização estar avançando para dentro da área da BHIC, ele ainda não é suficiente para alterar as suas águas em grau equiparável àquelas das águas da área urbana antiga.

Figura 44 – Demais resultados químicos para os pontos analisados. Sendo, Ponto (Pt) 1 = Nascente 1; Pt 2 = Corte de estrada; Pt 3 = Grameira, granja e bovinocultura; Pt 4 = Ponte de acesso à termoeletrica; Pt 5 = Nascente 2; Pt 6 = Junção tríplice; Pt 7

	pH	T (°C)	DBO (mg/L)	OD (mg/L)	TDS (mg/L)	TSS (mg/L)	Turbidez (uNT)	CE (µS)
<b>Ponto 1</b>	5,28	28,74	LQ <sup>1</sup>	90,8	2	0	64,06	3,28
<b>Ponto 2</b>	5,02	27,17	1	88,9	4	0	18,55	6,8
<b>Ponto 3</b>	5,31	28,11	LQ <sup>1</sup>	55,9	3	0	-0,26	5,6
<b>Ponto 4</b>	5,17	27,81	0	62,8	4	0	5,78	6,3
<b>Ponto 5</b>	5,56	29,42	UFL <sup>2</sup>	94,8	2	0	8,73	4,1
<b>Ponto 6</b>	5,27	28,33	UFL <sup>2</sup>	84,8	4	0	1,6	6,3
<b>Ponto 7</b>	5,38	27,56	UFL <sup>2</sup>	66,7	4	0	2,68	6,5
<b>Ponto 8</b>	5,57	27,39	UFL <sup>2</sup>	71,7	4	0	6,21	6,8
<b>Ponto 9</b>	5,85	27,81	UFL <sup>2</sup>	65,8	5	0	11,95	8,2

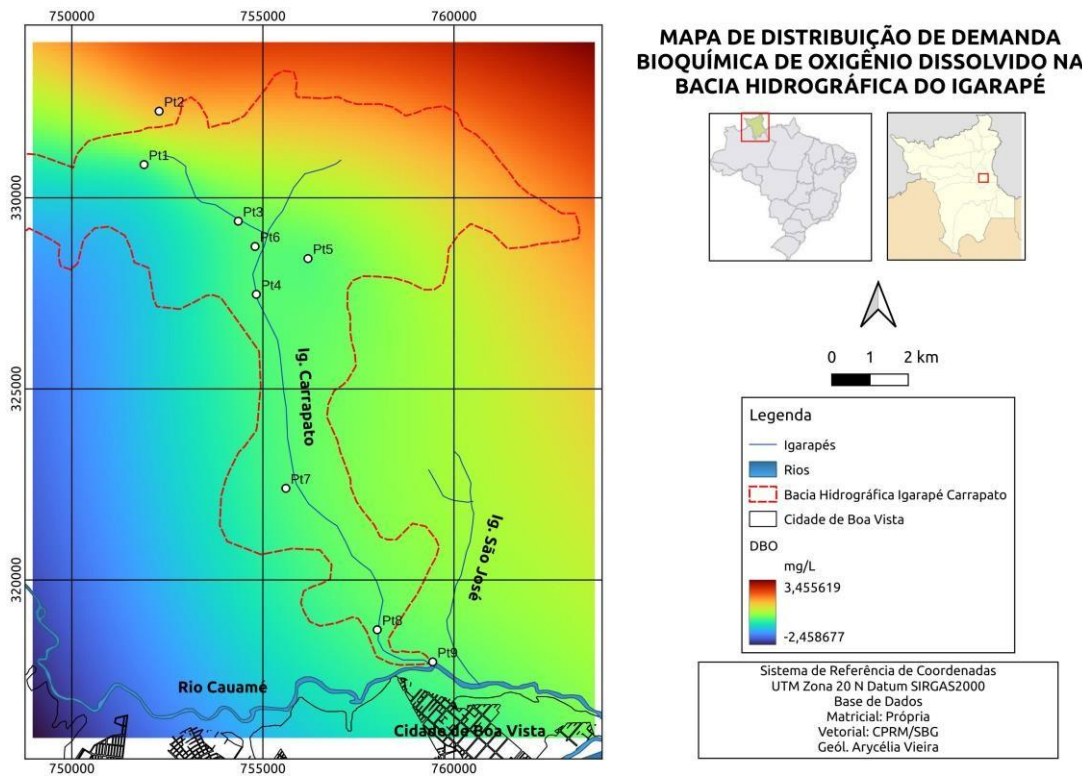
<sup>1</sup>LQ = Limite de Quantificação

<sup>2</sup>UFL = Unidade fora do LQ

Fonte: Autora (2021).

Em relação à distribuição espacial destes valores na BHIC (Fig. 45), o ponto 2 está próximo a um matadouro, cujos dejetos orgânicos podem explicar o fato de esta ter sido a única parte da bacia que apresentou valores detectáveis deste parâmetro. Esta contaminação, no entanto, é insuficiente para degradar a qualidade das águas locais, uma vez que estão abaixo do VMP para águas da classe 1.

Figura 45 - Mapa da distribuição de DBO<sub>5,20</sub> na BHIC.



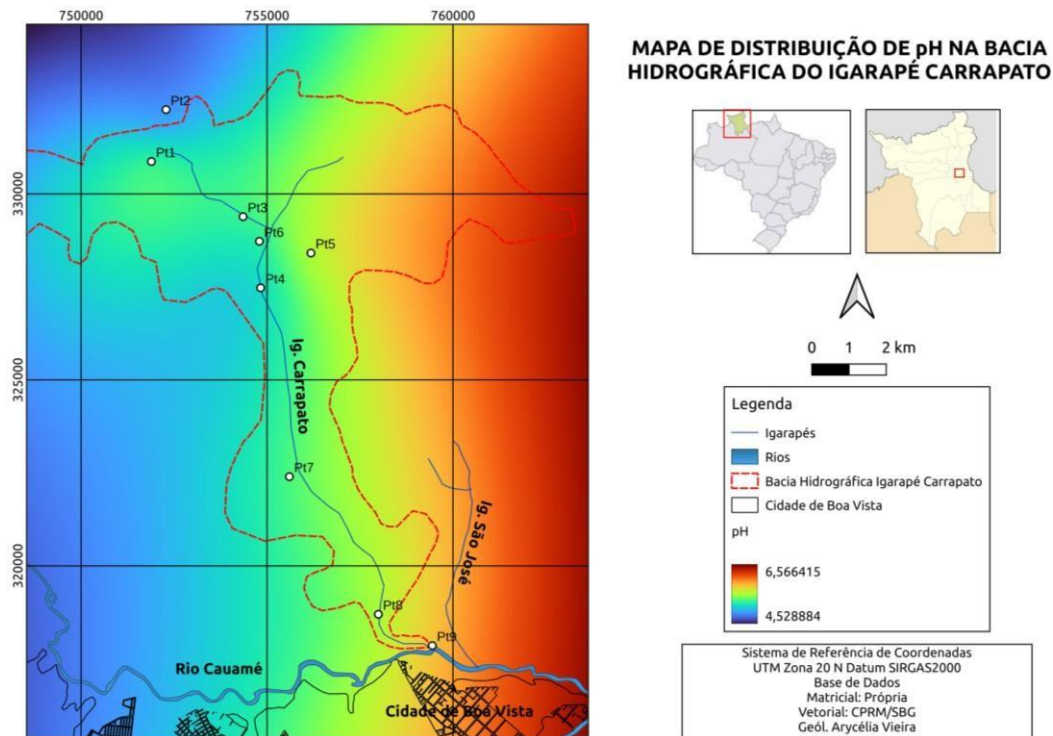
Fonte: Autora (2021).

Quanto aos valores de pH (Fig. 44), todos os valores apresentaram-se com ligeira acidez, condição esta já conhecida e totalmente esperada para as águas superficiais da região amazônica, uma vez que há muita matéria orgânica nessa região e sua decomposição produz ácidos húmicos e outros ácidos orgânicos (RIOS-VILLAMIZAR et al, 2013).

Da distribuição deste parâmetro na área da bacia (Fig. 46), vê-se que não há variações significativas entre os distintos pontos, indicando que as variações de uso e cobertura existentes na região não são suficientes para afetar este parâmetro (Fig. 39).



Figura 46 - Mapa de distribuição do pH na BHIC.

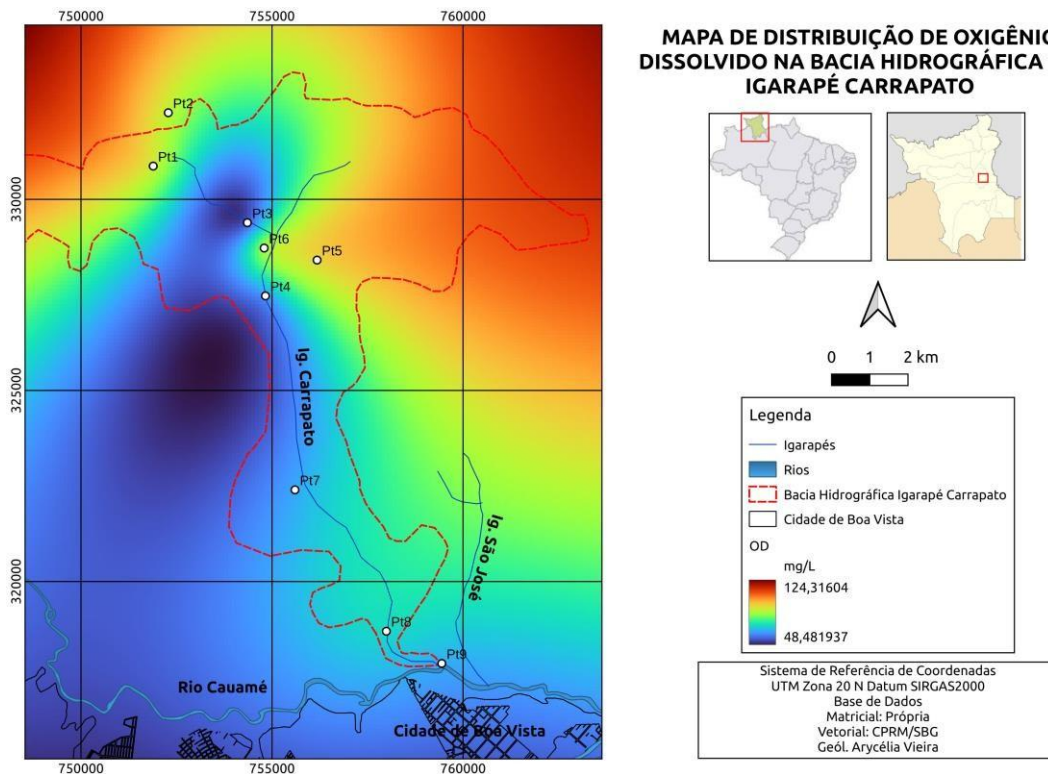


Fonte: Autora (2021).

O oxigênio dissolvido (OD) refere-se ao oxigênio molecular ( $O_2$ ) dissolvido na água. A concentração de OD no curso d'água do Igarapé depende da temperatura, da pressão atmosférica, da salinidade, das atividades biológicas, das características hidráulicas e, de forma indireta, de interferências antrópicas, devido as atividades presentes na bacia.

Os valores obtidos para OD (Fig. 44) são compatíveis com aqueles esperados ( $> 6 \text{ mg/L } O_2$ ) para águas da classe I segundo a Resolução CONAMA 357/2005, indicando águas bem oxigenadas e com excelente qualidade para este parâmetro.

Figura 47- Mapa de distribuição do Oxigênio Dissolvido na BHIC.



Fonte: Autora (2022).

É interessante observar que as características das águas de superfície da Amazônia não estão de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, que estabelece um intervalo de pH para águas brasileiras de 6,0 e 9,0. Os aspectos físicos obtidos no curso do Igarapé Carrapato através da sonda nos possibilitou verificar que os aspectos estão fora dos padrões descritos em literaturas, e também estão fora dos padrões descritos para os rios da Amazônia que estão em um intervalo abaixo de 4,5.

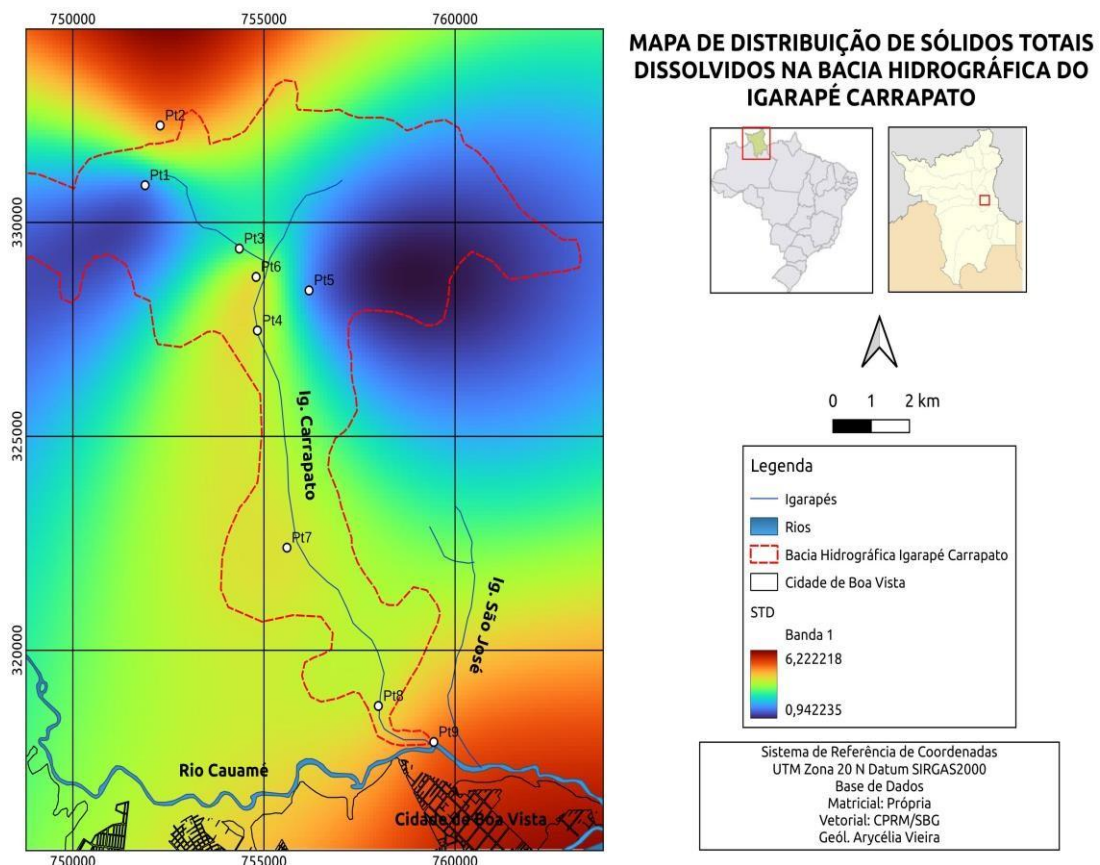
O mapa da figura 47 mostra que o menor índice de oxigênio dissolvido (OD) ocorreu justamente na porção do Igarapé Carrapato que divide plantações de grama e uma granja (Pt. 3), porém, conforme dito, com valores altos (>48 mg/L), compatíveis com o esperado para águas da classe 1.

Quanto ao parâmetro dos Sólidos Totais Dissolvidos (TDS), a variação registrada foi de aproximadamente 1,9 a 5 mg/L (Fig. 48), sendo os maiores valores localizados na montante e à jusante, na foz, associados, respectivamente, aos pontos 2 e 9 (Fig. 48). Os menores valores ocorreram praticamente ao longo de todo o restante da bacia (Fig. 48). Os valores de TDS recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS) para águas para consumo humano é de até 600 mg/L e dos

valores recomendados pela agência ambiental americana (EPA) é de até 500 mg/L. No Brasil, a Portaria 888/2021 do Ministério da Saúde estipula um valor máximo permitido (VMP) de 500 mg/L. Os resultados aqui obtidos mostram uma excelente qualidade para as águas no que tange a este parâmetro, uma vez que ficaram muito abaixo do VMP de qualquer uma destas agências. Os maiores valores observados nos referidos pontos 2 e 9 devem-se, à proximidade com um matadouro e à CEASA, no primeiro caso, e ao núcleo urbano da cidade de Boa Vista, no segundo.

Em relação aos Sólidos Totais em Suspensão (TSS), não houve recuperação deste dado, devido a problemas com a sonda multiparamétrica, de modo que, não pôde ser feita nenhuma consideração a seu respeito.

Figura 48- Mapa de distribuição dos Sólidos Totais Dissolvidos na BHIC.

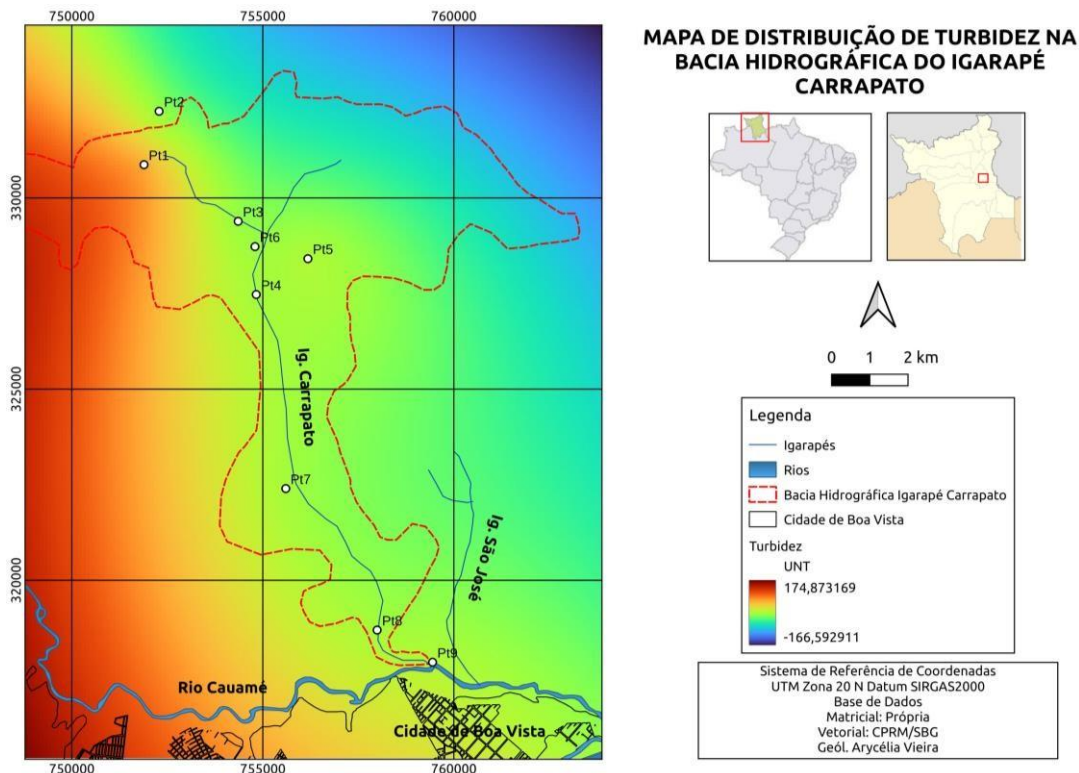


Fonte: Autora (2022).



A distribuição da turbidez na BHIC deu-se conforme observado na figura 44, onde é possível ver uma variação de aproximadamente 1 a 67 unidades nefelométricas de turbidez (UNT), distribuídas segundo um gradiente leste-oeste, sendo os maiores valores localizados na porção oeste da bacia associada ao ponto 1 e os menores valores localizados do centro de toda a bacia e em direção a leste (Fig. 49).

Figura 49 - Mapa de distribuição da Turbidez na BHIC.



Fonte: Autora (2022).

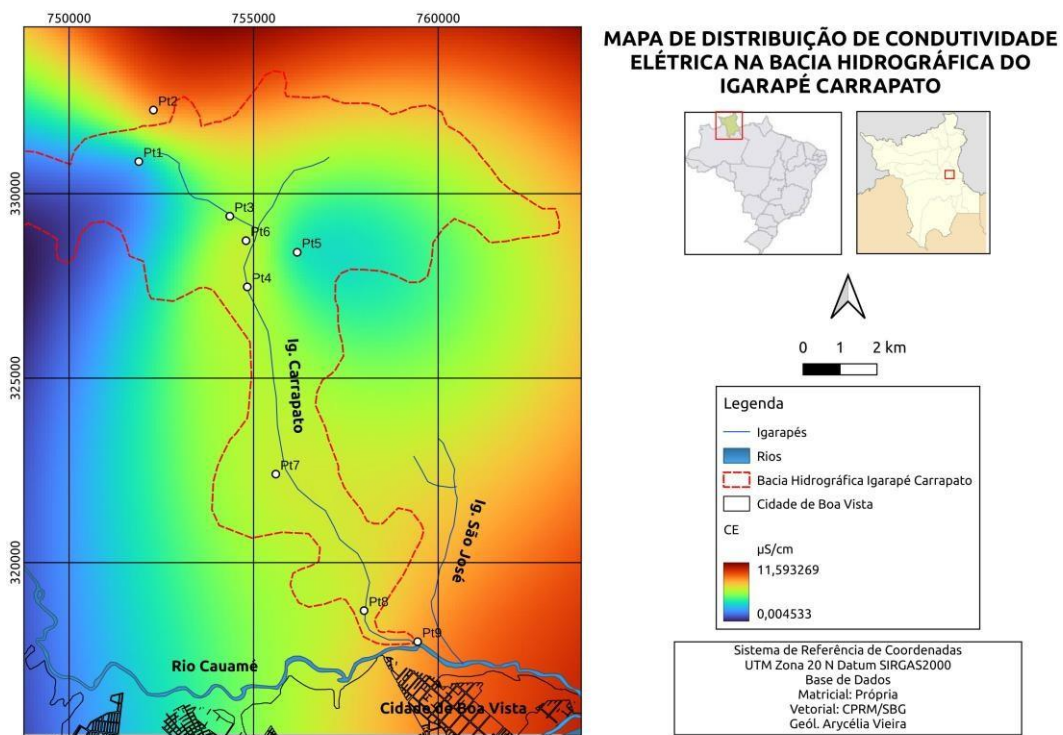
De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, que regula a classificação dos corpos d'água e os valores máximos e mínimos dos parâmetros de qualidade das águas, apenas as águas especiais e da classe um podem ser destinadas ao consumo humano e os níveis aceitáveis de turbidez para estes casos não devem ultrapassar 40 UNT.

Da distribuição de valores de turbidez para a BHIC (Fig. 49), observa-se que em toda a bacia os valores ficaram abaixo do VMP de 40 UNT, com exceção do ponto 1, onde a medição acusou valores acima de 65 UNT. As causas dessa anomalia não foram possíveis de se determinar com exatidão, mas é possível que tenham relação

de uma combinação entre os impactos da estrada, das atividades agrícolas e às atividades desenvolvidas na CEASA e no matadouro, que ficam próximos a este local.

Por fim, quanto à Condutividade Elétrica (CE), observou-se que os valores oscilaram entre aproximadamente 3 a 8  $\mu\text{S}/\text{m}$ , estando muito aquém do VMP sugerido para águas doces para fins de potabilidade que é de 1.005  $\text{mS}/\text{cm}$ . Os maiores valores concentram-se junto ao ponto 2, à montante, e aos pontos 8 e 9, próximo e na foz respectivamente (Fig. 50). Novamente, esta distribuição parece estar associada aos impactos da proximidade com a estrada (ponto 2) e com a cidade (pontos 8 e 9), ainda que, conforme dito, não sejam preocupantes devido a estarem bastante abaixo do VMP.

Figura 50 - Mapa de distribuição da Condutividade Elétrica na BHIC.



Fonte: Autora (2022).

## 6. CONCLUSÕES

Parte dos objetivos iniciais desta pesquisa tiveram de ser readequados para as condições limítrofes que a pandemia acarretou, a começar pela incapacidade de se comparar resultados de distintas estações climáticas devido à não entrega dos resultados por parte do laboratório contratado.

Os resultados obtidos para as características climatológicas, geomorfológicas (relevo, solos, hidrografia, vegetação), geológicas e socioambientais da área de estudo mostraram a imprescindibilidade das observações diretas em campo, uma vez que permitiram refinar os mapas e modelos digitais do terreno geoprocessados. O geoprocessamento, por sua vez, mostrou-se também fundamental para o reconhecimento em escala de feições existentes na bacia que não podem ser cobertas por campanhas de campo. Deste modo, confirma-se aqui o sucesso da integração destas técnicas para o reconhecimento de características de interesse do terreno.

Na pesquisa aqui feita, a combinação destas ferramentas possibilitou uma melhor definição dos limites da bacia e melhor demonstração do fenômeno das nascentes compartilhadas, cujo reconhecimento é fundamental para o rastreamento das possíveis contaminações e impactos decorrentes das atividades antrópicas desenvolvidas no âmbito dessa região.

Da observação das características climatológicas, geomorfológicas (relevo, solos, hidrografia, vegetação), geológicas e socioambientais da área de estudo foi possível estabelecer um alto grau de vulnerabilidade dos corpos hídricos da BHIC à contaminação direta, principalmente porque o terreno possui baixa inclinação e, conseqüentemente, maior propensão à acumulação de água por todo seu território.

Os padrões de escoamento em tais condições resultam no fácil espalhamento das substâncias nocivas ou problemáticas ao longo de quase toda sua superfície e, concomitantemente, a boa infiltração geral do solo implica também na maior propensão à contaminação dos corpos d'água subterrâneos.

A despeito dessa vulnerabilidade, os resultados aqui obtidos para Compostos Nitrogenados, Oxigênio Dissolvido, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Sólidos Totais Dissolvidos, Turbidez, Condutividade Elétrica, pH e Temperatura mostraram que, à

exceção da Turbidez, todos os demais valores mantiveram-se abaixo dos respectivos VMPs, atestando, assim, que a despeito das atividades antrópicas desenvolvidas na superfície da BHIC, não há impactos significativos delas nos corpos d'água.

A razão disto pode estar no fato de que as coletas restringiram-se ao período chuvoso, quando então, há muita precipitação e, assim, aumenta-se o poder de diluição dos contaminantes que porventura adentrem o sistema hídrico e, ato contínuo, de autodepuração dos corpos d'água. A anomalia de turbidez detectada para a Nascente do ponto 1, por sua vez, pode estar relacionada ao fato de que as atividades agropecuárias e industriais (Matadouro e CEASA) desenvolvidas ali, implicaram em desmatamento e degradação das matas ciliares.

Como conclusão, depreende-se que possíveis perturbações químicas advindas do uso de fertilizantes, agrotóxicos e efluentes gasosos e líquidos das atividades desenvolvidas na região da BHIC e seu entorno não são suficientes para comprometerem a qualidade química das águas superficiais da mesma, ao contrário das perturbações físicas, que tem o potencial de, via erosão facilitada por ação antrópica, provocarem níveis de turbidez da água acima do VMP.

Um panorama mais completo das possíveis consequências das atividades antrópicas realizadas na BHIC deve levar em consideração também a estação seca, o que infelizmente não pode ser acessado aqui, devido às razões já expostas, ficando, assim, a sugestão de complementação deste trabalho a partir do monitoramento destas condições em ambas as estações daqui para frente.

## REFERÊNCIAS

- ANAGNOSTOU, E.; GIANNI, A.; ZACHARIAS, I. Ecological modeling and eutrophication. *Natural Resource Modeling*, v. 30, n. 3, p. e12130. 2016.
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), 1987. NBR 9.898. **Preservação e Técnicas de Amostragem de Efluentes Líquidos e Corpos Receptores**. Rio de Janeiro: ABNT.
- ADAMI M. et Al. Metodologia para delimitação da bacia hidrográfica de reservatórios hidrelétricos: aplicação ao reservatório de Itumbiara (GO). *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)*, 15., 2011, Curitiba. Anais. São José dos Campos: INPE, 2011. Artigos, p. 1349-1356. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00056-0. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.22.17.43/doc/p1373.pdf>. Acesso em 08. out. 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. Portal da Qualidade das Águas: **Enquadramento**. ANA, 2009. Disponível em: [http://pnqa.ana.gov.br/Padres/enquadramento\\_basesconceituais.aspx](http://pnqa.ana.gov.br/Padres/enquadramento_basesconceituais.aspx). Acesso em: 23 dez. 2019.
- ALVES, M. N.; MOLINA, A. G. & SANCHEZ, P. S. Exame Microbiológico da Água. São Paulo, 2008: **Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental**. DOI: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/2008-ecoli.pdf>. Acesso em: 20 de agosto de 2020.
- AYOADE, J. O. Introdução à climatologia para os trópicos. São Paulo: DIFEL, 2001. 332p.
- BARRETO, L. V.; BARROS, F. M.; BONOMO, P.; ROCHA, F. A.; AMORIN, J. S. Eutrofização em rios brasileiros. *Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia*, v.9, n.16; p. 2165-2179. 2013
- BASTOS, T. X. Sistema de Produção da Pimenta-do-reino. Embrapa Amazônia Oriental. **Sistemas de Produção**, 01. dez. 2005.
- BERNHARD, A. The Nitrogen Cycle: Processes, Players, and Human Impact. *Nature Education Knowledge* 2(2): 12. 2010.
- BEIYSER, D. *Drew Water*. Gistrup: Editora River Publishers, 1ª ed., 2018. 306 pp.

- BITTENCOURT L. F. F., BATISTA G. T., CATELANI C. S. Sensoriamento remoto aplicado ao estudo de ocupação de solo de mata ciliar do rio Paraíba do Sul no município de Caçapava. In: Anais do I Seminário de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento do Vale do Paraíba – GEOVAP; 2006; Taubaté, Brasil. UNITAU; 2006. p. 89-99.
- BJØRG, P. L.; ALBRECHTSEN, H. J.; KJELDSEN, P. CHRISTENSEN, T. H.; COZZARELLI, I. M. The Biogeochemistry of Contaminant Groundwater Plumes Arising from Waste Disposal Facilities. In: H. D. HOLLAND; K. K. TUREKIAN, Treatise on Geochemistry, Amsterdam: Springer Verlag editora, 2<sup>a</sup>. ed., v. 11, pp. 573-605. 2014
- BONACINA, L.; FASANO, F.; MEZZANOTTE, V.; FORNAROLI, R. Effects of water temperature on freshwater macroinvertebrates: a systematic review. *Biological Reviews*, v. 98, n. 1, p. 191-221. 2023.
- BRAGA, E. A. S.; AQUINO, M. D.; ROCHA, C. M. S.; MENDES, L. S. A. S.; SALGUEIRO, A. R. G. N. L. Classificação da água subterrânea com base nos sólidos totais dissolvidos estimado. *Águas Subterrâneas, Seção de Estudos de Casos e Notas Técnicas*, v. 2021, n. 1, p. 2 – 7. 2021.
- BRASIL, Portaria nº36/GM. Padrão de Potabilidade da Água Destinada ao Consumo Humano. Brasília: **Ministério da Saúde Governo Federal, de 19 de janeiro de 1990.**
- BRASIL. Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências. **Diário Oficial da União, Brasília, DF, jan. 1997.** Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm). Acesso 19 dez. 2019.
- BRASIL. Portaria 518, de 25 de março de 2004. Norma de qualidade da água para consumo humano. **Diário Oficial da União, Brasília, 26 de março 2004.**
- BRUICK, Z. S.; RASMUSSEN, K. L. Subtropical South American Hailstorm Characteristics and Environments. *Monthly Weather Review*, v. 147, pp.: 4289-4304. 2019.
- CAMARGO, R. A.; CALIJURI, M. L.; SANTIAGO, A. F.; COUTO, E. A.; SILVA, M. D. F. M. *Water quality prediction using the QUAL2Kw model in a small karstic watershed in Brazil.* **ACTA LIMNOLOGICA BRASILIENSIA**, V. 22, N. 4, p. 486-498, 2010.

- CARPENTER, S. R.; CARACO, N. F.; CORRELL, D. L.; HOWARTH, R. W.; SHARPLEY, A. N.; SMITH, V. H. *Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen*. **Ecological Applications**, Washington, v.8, n.3, p.559-568, 1998.
- CHENG, P.; MENG, F.; WANG, Y.; ZHANG, L.; YANG, Q.; JIANG, M. The Impacts of Land Use Patterns on Water Quality in a Trans-Boundary River Basin in Northeast China Based on Eco-Functional Regionalization. *Int. Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 15, n. 9, p. 1-29, 2018. <https://doi.org/10.3390/ijerph15091872>
- CONAMA** Resolução 357 de 17 de março de 2005.
- CORREIA, F. N. - "Proposta de um Método Para a Determinação de Caudais de Cheia em Pequenas Bacias Naturais e Urbanas". **Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1984**.
- COX, B. A. A review of currently available in-stream waterquality models and their applicability for simulating dissolved oxygen in lowland rivers. *Sci. Total Environ.*, v. 314-316, p. 335- 377, Oct. 2003.
- CUNHA, S. B. In: CUNHA, S. B. & GUERRA, A. J. T. A Questão ambiental: **Diferentes Abordagens**. São Paulo, Bertrand Brasil. 2003, p 219-238
- CUTLER, D. F.; BOTHIA, T.; STEVERSON, D. Wm. Anatomina Vegetal. Rio de Janeiro ArtMed Editora, 1ª. E3.4. **QUALIDADE DA ÁGUA**.
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), 1987. NBR 9.898. Preservação e Técnicas de Amostragem de Efluentes Líquidos e Corpos Receptores. Rio de Janeiro: ABNT.
- ADAMI M. et Al. Metodologia para delimitação da bacia hidrográfica de reservatórios hidrelétricos: aplicação ao reservatório de Itumbiara (GO). In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 15. 2011, Curitiba.
- Anais. São José dos Campos: INPE, 2011. Artigos, p. 1349-1356. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00056-0. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.22.17.43/doc/p1373.pdf>. Acesso em 08. out. 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. Portal da Qualidade das Águas: Enquadramento. ANA, 2009. Disponível em: [http://pnqa.ana.gov.br/Padres/enquadramento\\_basesconceituais.aspx](http://pnqa.ana.gov.br/Padres/enquadramento_basesconceituais.aspx). Acesso em: 23 dez. 2019.



- ALVES, M. N.; MOLINA, A. G. & SANCHEZ, P. S. Exame Microbiológico da Água. São Paulo, 2008: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. DOI: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/2008-ecoli.pdf>. Acesso em: 20 de agosto de 2020.
- AYOADE, J. O. Introdução à climatologia para os trópicos. São Paulo: DIFEL, 2001. 332p.
- BARBOSA, R. I.; MIRANDA, I. S. Fitofisionomias e diversidade vegetal das savanas de Roraima. In: Barbosa R. I., Xaud H. A. M., Costa e Souza J. M., SAVANAS DE RORAIMA - Etnoecologia, Biodiversidade e Potencialidades Agrossilvipastoris, FEMACT, p. 61-78. 2004
- BASTOS, T. X. Sistema de Produção da Pimenta-do-reino. Embrapa Amazônia Oriental. Sistemas de Produção, 01. dez. 2005.
- BITTENCOURT, L. F. F; BATISTA, G. T; CATELANI, C. S. Sensoriamento remoto aplicado ao estudo de ocupação de solo de mata ciliar do rio Paraíba do Sul no município de Caçapava. In: Anais do I Seminário de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento do Vale do Paraíba – GEOVAP; 2006; Taubaté, Brasil. UNITAU; 2006. p. 89-99.
- BRASIL, Portaria no 36/GM. Padrão de Potabilidade da Água Destinada ao Consumo Humano. Brasília: Ministério da Saúde Governo Federal, de 19 de janeiro de 1990.
- BRASIL. Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, jan. 1997. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm). Acesso 19 dez. 2019.
- BRASIL. Portaria 518, de 25 de março de 2004. Norma de qualidade da água para consumo humano. Diário Oficial da União, Brasília, 26 de março 2004.
- CAMARGO, R. A.; CALIJURI, M. L.; SANTIAGO, A. F.; COUTO, E. A.; SILVA, M. D. F. M. Water quality prediction using the QUAL2Kw model in a small karstic watershed in Brazil. ACTA LIMNOLOGICA BRASILIENSIA, V. 22, N. 4, p. 486- 498, 2010.
- CARPENTER, S. R.; CARACO, N. F.; CORRELL, D. L.; HOWARTH, R. W.; SHARPLEY, A. N.; SMITH, V. H. Nonpoint pollution of surface waters with

- phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications*, Washington, v.8, n.3, p.559-568, 1998.
- CARVALHO, T. M.; MORAIS, R. P. Habitat, ecossistemas e paisagens de Roraima. *Biologia Geral Experimental*, v. 20/21, n. 1, p. 21-34. 2021.
- CONAMA Resolução 357 de 17 de março de 2005.
- CORREIA, F. N. - "Proposta de um Método Para a Determinação de Caudais de Cheia em Pequenas Bacias Naturais e Urbanas". Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1984.
- COVINO, T. Hydrologic connectivity as a framework for understanding biogeochemical flux through watersheds and along fluvial networks. *Geomorphology*, v. 227, p. 133-144. 2017.
- COX, B. A. A review of currently available in-stream waterquality models and their applicability for simulating dissolved oxygen in lowland rivers. *Sci. Total Environ.*, v. 314-316, p. 335- 377, Oct. 2003.
- CUNHA, S. B. In: CUNHA, S. B. & GUERRA, A. J. T. A Questão ambiental: Diferentes Abordagens. São Paulo, Bertrand Brasil. 2003, p 219-238
- DALL'AGNOL, A. et. al. Quadro, saneamento, *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*: v. 10 n. 1 (2019): *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*. Dez 2018, Jan 2019
- DWARAKISH, G. S.; GANASRI, B. P.; De STEFANO, L. Impact of land use change on hydrological systems: A review of current modeling approaches. *Cogent Geoscience*, v. 1, n. 1, p. e1115691. 2015
- DUNNE, T. Formation and controls of channel networks. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, v. 4, n. 2, p. 211-239. 1980.
- EVANS, A. E. V.; MATEO-SAGASTA, J.; QADIR, M.; BOELEE, E.; IPPOLITO, A. Current Opinion in Environmental Sustainability, v. 36, pp.: 20-27. 2019.
- FALCÃO, M. T.; OLIVEIRA, S. K. S. Impactos na paisagem da Microbacia do Igarapé Carrapato decorrentes da ocupação, zona rural de Boa Vista – Roraima. *Ambiente: Gestão e Desenvolvimento*, v. 14, n. 1, p. 38-45. 2021.
- FAN, F. M.; COLLISCHONN, W.; SORRIBAS, M. V.; Pontes, P. R. M. Sobre o início da rede de drenagem definida a partir dos modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.18, n. 3, p. 241- 257, 2013.

- FISTAROL, P. H. B.; SANTOS, J. Y. G. Implicações das alterações no uso e ocupação do solo nas perdas de solo da bacia do rio de ondas, estado da Bahia. *Revista OKARA: Geografia em debate*, v. 14, n. 1, p. 81-103, 2020.
- GIAMPÁ, C. E. Q.; GONÇALES, V. G. Águas subterrâneas e poços tubulares profundos. Rio de Janeiro: Editora Oficina de Textos, 1ª. ed., pp. 404.
- GÜNTHER, W. M. R. Áreas Contaminadas no contexto da Gestão Urbana. *São Paulo em Perspectiva*, v. 20, n. 2, pp.: 105-117. 2006.
- HORTON, R. E. The role of infiltration in the hydrologic cycle. *EOS American Geophysical Union Transactions*, v. 14, p. 446 – 60.1933.
- HOU, G.; ZHENG, J.; CUI, X.; HE, F.; ZHANG, Y.; WANG, Y.; Li, X.; FAN, C.; TAN, B. Suitable coverage and slope guided by soil and water conservation can prevent non-point source pollution diffusion: A case study of grassland. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 241, pp: 113804, 2022.
- HUANG, C.; ZHAO, D.; FAN, X.; LIU, C.; ZHAO, G. Landscape dynamics facilitated non-point source pollution control and regional water security of the Three Gorges Reservoir area, China. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 92, pp. 106696, 2022.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Atlas de Roraima. Rio de Janeiro: **Secretaria de Planejamento da Presidência da República**, Cartografia automatizada : SISCART : Produção de mapas municipais raster : manual de atualização cartográfica : versão.03 1999.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Mapas climáticos**. [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br). Acesso em: novembro 2020.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. **Plataforma de Coleta de Dados**. [www.cptec.inpe.br](http://www.cptec.inpe.br). Out. e nov. 2020.
- KANNEL, P. R.; KANEL, S. R.; LEE, S.; LEE, Y-S.; GAN, T. Y. A Review of Public Domain Water Quality Models for Simulating Dissolved Oxygen in Rivers and Streams. *Environ. Model. Assess.*, v. 16, n. 2, p. 183-204, Apr. 2011.
- KOURAKOS, George et. al.; Groundwater nonpoint source pollution modeling framework to evaluate long-term dynamics of pollutant exceedance probabilities in wells and other discharge locations. *Water Resources Research*, v. 48, n. 6, 2012. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2011WR010813/full>. Acesso em: 1 nov. 2019.

- LAI, Z.; LI, S.; LV, G.; PAN, A.; FEI, G. Watershed delineation using hydrographic features and a DEM in plain river network region. *Hydrological Processes*, v. 30, p. 276-288. 2016.
- LERMONTOV, A.; YOKOYAMA, L.; LERMONTOV, M.; MACHADO, M. A. S. Aplicação da lógica nebulosa na parametrização de um novo índice de qualidade das águas. *Engevista*, v. 10, n. 2, p. 106-125. 2008.
- LI, X.; HU, Z. Z.; TSENG, Y. H.; LIU, Y.; LLANG, P. A Historical Perspective of the La Niña Event in 2020/2021. *JGR Atmospheres*, v. 127, n. 7, p. e2021JD035546. 2022.
- LIMA, W.P.; ZAKIA M.J.B. Hidrologia de matas ciliares. In: RODRIGUES; R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) **Matas ciliares: Conservação e recuperação**. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2016. p.33-43
- LIMA, P.R. A.; LEOPOLDO, P.L. Quantificação de componentes hidrológica de uma mata ciliar, através do modelo de balanço de massas. **Revista Árvore**, Viçosa, v.24, n.3, p. 241-252. 2000
- LIMA, J. M. D. S. L. Modelação matemática da qualidade da água do rio Minho Internacional. Tese de mestrado integrado em Engenharia do Ambiente, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto 2012.
- MACLEOD C.; HAYGARTH, P. A.; Review of the significance of non-point source agricultural phosphorus to surface water. **Scope Newsletter**, Devon, UK, n.51, p.1-10, 2003.
- MANSOR, Maria T. C.; FILHO, José Teixeira; ROSTON, Denis M. Avaliação preliminar das cargas difusas de origem rural, em uma sub-bacia do Rio Jaguari. SP. In: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 715-723, 2006.
- MEALS, D. W.; DRESSING, S. A.; DAVENPORT, T. E. Lag Time in Water Quality Response to Best Management Practices: A Review. *Journal of Environmental Quality*, v. 39, n. 1, p. 85-96. 2010.
- MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. 2001. Geoprocessamento em recursos hídricos- **Princípios, integração e aplicação**. Porto Alegre, RS: ABRH, 534p.
- MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. Climatologia: Noções Básicas e Climas do Brasil. Rio de Janeiro: Editora Oficina de Textos, 1ª. ed., 208 pp. 2007.
- MENESES, M. E. N. S.; COSTA, M. L.; COSTA, J. A. V. Os lagos do lavrado de Boa Vista - Roraima: fisiografia, físico-química das águas, mineralogia e química dos sedimentos. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 37, n. 3, p. 478-489. 2007.

- MIRANDA, R.A.C. A interceptação das chuvas por ecossistemas. Agronline. 2006. <http://www.agroline.com.br/artigos/artigo.php?id+336>. Acesso em: 01 de marco de 2021
- MORAES, J. M. 2003. Propriedades físicas dos solos na parametrização de um modelo hidrológico. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 8(1):61-70.
- MORESCHI, I. C.; PAES, R. P.; CALHEIROS, D. F. Poluição Difusa na Bacia Hidrográfica do Rio Miranda, Mato Grosso do Sul. **Engineering and Science**, outubro de 2015, 4:2.
- MOURA, H. T. G. S.; SOUSA, J. A.; VERAS, G. C.; NUNES, Z. M. P. Influência sazonal e antrópica na qualidade da água em ecossistemas aquáticos da Amazônia Oriental: qualidade de água em ecossistemas amazônicos. In: C. A. M. CORDEIRO; D. S. SAMPAIO; F. C. A. F. HOLANDA, Engenharia de Pesca: aspectos teóricos e práticos, Editora Científica Digital, 1a. ed., v. 2, p. 136-149. 2021.
- MÜLLER, A.; ÖSTERLUND, H.; MARSALEK, J.; VIKLANDER, M. The pollution conveyed by urban runoff: A review of sources. *Science of The Total Environment*, v. 709, n. 20, pp. 136125, 2020.
- OKUMURA, A. et. al. Determinação da qualidade da água de um rio tropical sob a perspectiva do uso. *Revista Brasileira de Geografia Física* v.13, n. 04. 2020.
- OLIVEIRA, R. C. M.; LIMA, P. V. P. S.; SOUSA, R. P. Gestão ambiental e gestão de recursos hídricos no contexto de uso e ocupação do solo nos municípios. *Gestão e Regionalidade*, v. 33, n. 97, p. 48-64. 2017.
- OUSTROMOV, S. A. Water Quality and Conditioning in Natural Ecosystems: Biomachinery Theory of Self-Purification of Water. *Russian Journal of General Chemistry*, 2017, Vol. 87, No. 13, pp. 3199-3204. 2019.
- PIELKE, R. A.; ADEGOKE, J.; BELTRÁN-PRZEKURAT, A.; HIEMSTRA, C. A.; LIN, J.; NAIR, U. S.; NIYOGI, D.; NOBIS, T. E. An overview of regional land-use and land-cover impacts on rainfall. *Tellus*, v. 59B, pp.: 587-601. 2007.
- POLIDORI, L.; HAGE, M. Digital Elevation Model Quality Assessment Methods: A Critical Review. *Remote Sensing*, v. 12, pp.: 3522. 2020
- PRATT, B.; CHANG, H. Effects of land cover, topography, and built structure on seasonal water quality at multiple spatial scales. *Journal of Hazardous Materials*, v. 209-210, pp.: 48-58. 2012.

- RIGOBELLO, E. C.; SERRA, A. P. Nitrogen Fixation. New York: IntechOpen editora, 1ª. Ed, 202 p. 2020.
- RIOS-VILLAMIZAR, E. A.; PIEDADE, M. T. F.; COSTA, J. G. da; ADENEY, J. M.; JUNK, W. J. Chemistry of different Amazonian water types for river classification: a preliminary review. In: C. A. Brebbia, Water and Society II, New York: WIT Press (ed.), p. 17-28. 2013.
- RIPL, W. Water: the bloodstream of the biosphere. Philosophical Transactions of the Royal Society B, Biological Sciences, v. 358, n. 1440, pp.: 1921-1934, 2003.
- RODRIGUES, R. S. S.; BITTENCOURT, G. M.; FERNANDES, L. L. Escoamento Superficial em uma Pequena Bacia Hidrográfica Rural da Amazônia. Revista Brasileira de Cartografia, v. 70, n. 2, p. 605-628. 2018.
- RODRIGUES, A. S.; SANDER, C.; WANKLER, F. L. Vulnerabilidade natural à contaminação do Aquífero Boa Vista (ABV) na área urbana de Boa Vista, Roraima. In: S. G. Teixeira; C. L. Chaves, Contribuições à Geologia da Amazônia, Rio de Janeiro: SGB, v. 11, p. 37-49. 2019.
- ROMILLAC, N. Ammonification. In: Brian Fath, Encyclopedia of Ecology. Amsterdam, 2nd. ed., p. 256-263. 2019.
- SANCHEZ, A. D. R. Avaliação da infiltração de água em três classes de solos na savana de Roraima. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação), UFRR, 43 p.
- SÁNCHEZ, A. G., CRUZ, M. S. R., MARTÍN, M. J. S., RODRÍGUEZ, I. S. R., e GONZÁLES, S. S. (2013). Caracterización e impactos ambientales en la cuenca del río Águeda. In Cuenca del río Águeda: un territorio para dos países (pp. 35-64). Servicio de Publicaciones.
- SILVEIRA, A. L. L. Ciclo Hidrológico e a Bacia Hidrográfica. In TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Edusp / ABRH, 1997, 35-51p.
- SINGH, N.; SHARMA, N.; KATNORIA, J. K. Monitoring of Water Pollution and Its Consequences: An Overview. International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering, v. 8, n. 2, pp: 133-141. 2014.
- SIQUEIRA, C. Salto retira 40 t de peixes mortos por poluição no Tietê. O Estado de S. Paulo, São Paulo, 1 dez. 2014. Disponível em: <http://www.estadao.com.br/noticias/geral,salto-retira40-t-de-peixes-mortos-por-poluicao-no-tiete,1600482>. Acesso em: 1 dez. 2019.
- SOBRINHO JÚNIOR, MORAIS, SILVA. SOIL USE AND OCCUPATION OF WIND FARM AGRICULTURAL AREAS. **Mercator**, Fortaleza, v. 19, oct. 2020.

- SODRÉ, F. F. Fontes difusas de poluição da água: características e métodos de controle. Artigos Temáticos do AQQA, v. 1, pp.: 9-16. 2012.
- SOUZA, M. M.; GASTALDINI, M. C. C. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. Artigos Técnicos da Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 19, n. 3, p. 263-274. 2014.
- SPRUILL, C. A.; WORKMAN, S. R.; TARABA, J.L. 2000. Simulation of daily and monthly stream discharge from small watersheds using the SWAT model. Transactin. Published in **Transactions of the ASAE**, v. 43, issue 6, p. 1431-1439. DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.3041>. Disponível em: [https://uknowledge.uky.edu/bae\\_facpub/156/](https://uknowledge.uky.edu/bae_facpub/156/). Acesso em: 20 de ago de 2020.
- STEIN, L. Y.; KLOTZ, M. G. The nitrogen cycle. *Current Biology*, v. 26, n. 3, p. r94-r98. 2016.
- STEINK, E. T. *Climatologia Fácil*. Rio de Janeiro: Editora Oficina de textos, 1ª ed., 144 pp. 2012 .
- STEWART, W. D. P.; PRESTON, F. R. S.; PETERSON, H. G.; CHRISTOFI, N. Nitrogen cycling in eutrophic freshwaters. *Philosophical Transaction of the Royal Society of London, Biological Sciences*, v. 296, n. 1082, p. 491-509. 1982.
- TAGLIAROLO, M. Acidification on aquatic systems. In: Brian Fath, *Encyclopedia of Ecology*. Amsterdam, 2nd. ed., p. 1-8. 2018.
- TERCINI, J. R. B. e MÉLLO JÚNIOR, A. V. Modelo de simulação de OD e DBO integrando rio e reservatório aplicado ao rio Tietê. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** Versão On-line ISSN 2318-0331 RBRH vol. 21 n° 2 Porto Alegre abr/jun. 2016 p. 338 – 346.
- TEROSSI, WANKLER, F. L. (2002) A Degradação Ambiental do Igarapé Carrapato. Boa Vista II EPIC/ENEX, 2002, **Anais...** Boa Vista, UFRR. (CD-Rom).
- TOLEDO, L. G.; NICOLELLA, G. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. *Scientia agricola*, v. 59, n. 1, p. 181-186. 2002.
- TOMASZKIEWICZ, M.; NAJM, M. A.; BEYSENS, D.; ALAMEDDINE, I.; EL-FADEL, M. Dew as a Sustainable Non-Conventional Water Resource: A Critical Review. *Environmental Reviews*, v. 23, n. 4, pp.: er-2015-0035, 2015.
- TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L. D.; RIBEIRO, C. A. A. S.; LEITE, F. P. **Morphometric characteristics of Cachoeira das Pombas watershed, Guanhães-MG**, Brazil. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 849-857, 2006.



- TONG, S. T. Y.; CHEN, W. Modeling the relationship between land use and surface water quality. *Journal of Environmental Management*, v. 66, pp.: 377-393. 2002.
- TRUDGILL, S. T.; WALLING, D. E.; WEBB, B. W. "Water Quality - Processes and Policy". John Wiley & Sons Ltd., 1999. WANIELISTA, M.; Kersten, R.; Eaglin, R. - "**Hydrology - Water Quantity and Quality Control**". Jhon Wiley and Sons Inc., 2<sup>th</sup> Edition, 1997.
- TUCCI, C.E.M. E BELTRAME, L.F. Infiltração e armazenamento no solo: In: Tucci, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**, 2<sup>a</sup> Ed., Porto Alegre. Rio Grande do Sul (RS). Editora Universidade, p.335-372, 2000.
- TUCKER, C. S.; D'ABRAMO, L. R. Managing high pH in freshwater ponds. *Southern Regional Aquaculture Center*, v. 1, n. 4604, p. 1-5. 2008.
- TUNDISI, J. G. et al. Reservatórios da Região Metropolitana de São Paulo: conseqüências e impactos da eutrofização e perspectivas para o gerenciamento e recuperação. In: TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; SIDAGIS GALLI, C. (Ed.). *Eutrofização na América do Sul: causas, conseqüências e tecnologias de gerenciamento e controle*. IIE, IIEGA, ABC, IAP, Ianas, 2006. p.161-82.
- VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F. TOPODATA: Seleção de coeficientes geoestatísticos para o refinamento unificado de dados SRTM. São José dos Campos: INPE, 2010.
- VAN DER PERK, M. Soil and Water Contamination. Florida CRC Press Editora, 2<sup>a</sup> ed., 428 pp.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. 1. ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.
- VIANINI, K. N.; IBRAHIM, E. R. B.; Análise preliminar das cargas difusas e pontuais do córrego Sarandi através do georreferenciamento e análise físico-química da água. ABES - **Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental AESABESP** - Associação dos Engenheiros da Sabesp 2017.
- ZANCHIN, M. et. Al., Comparação de mapeamentos do uso da terra por técnicas de geoprocessamento no município de São Lourenço do RS, *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*: v. 9 n. 5 (2018): *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais* - Jun, Jul 2018.