UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

ESCOLA DE MINAS

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

AVALIAÇÃO E DIAGNÓSTICO DE UMA NASCENTE DEGRADADA POR MAU USO DO SOLO EM SANTO HIPÓLITO-MG

Natália Lessa Chaves

MONOGRAFIA nº 467

Ouro Preto, janeiro de 2023

AVALIAÇÃO E DIAGNÓSTICO DE UMA NASCENTE DEGRADADA POR MAU USO DO SOLO EM SANTO HIPÓLITO-MG

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

Reitora

Prof.ª Dr.ª Cláudia Aparecida Marliére de Lima

Vice-Reitor

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

Pró-Reitora de Graduação

Prof.ª Dr.ª Tânia Rossi Garbin

ESCOLA DE MINAS

Diretor

Prof. Dr. José Alberto Naves Cocota Júnior

Vice-Diretor

Prof. Dr. Cláudio Eduardo Lana

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Chefe

Prof. Dr. Geraldo Magela Santos Sampaio

MONOGRAFIA

Nº 467

AVALIAÇÃO E DIAGNÓSTICO DE UMA NASCENTE DEGRADADA POR MAU USO DO SOLO EM SANTO HIPÓLITO-MG

Natália Lessa Chaves

Orientadora

Prof.ª Dr.ª Mariangela Garcia Praça Leite

Co-Orientadora

Prof.ª Dr.ª Maria Augusta Gonçalves Fujaco

Monografia do Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso – TCC 402, ano 2022/1.

OURO PRETO

2023

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

C512a Chaves, Natália Lessa.
Avaliação e diagnóstico de uma nascente degradada por mau uso do solo em Santo Hipólito - MG. [manuscrito] / Natália Lessa Chaves. - 2023.
94 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Dra. Mariangela Garcia Praça Leite.
Coorientadora: Profa. Dra. Maria Augusta Gonçalves Fujaco.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Geológica .

1. Geologia ambiental. 2. Serviços ambientais. 3. Carste. 4. Meio ambiente - Contaminação. 5. Microbacias. I. Leite, Mariangela Garcia Praça. II. Fujaco, Maria Augusta Gonçalves. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 550.7:502.51

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

FOLHA DE APROVAÇÃO

Natália Lessa Chaves

Avaliação e diagnóstico de uma nascente degradada por mau uso do solo em Santo Hipólito-MG

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Geológica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Geólogo

Aprovada em 06 de fevereiro de 2023

Membros da banca

Dra. Mariangela Garcia Praça Leite - Orientadora (Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP)
Dra. Adivane Terezinha Costa (Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP)
Dr. Lucas Pereira Leão (Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP)

Dra. Mariangela Garcia Praça Leite, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 15/02/2023

Documento assinado eletronicamente por **Mariangela Garcia Praca Leite**, **PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/02/2023, às 10:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0 , informando o código verificador **0475537** e o código CRC **E4789620**.

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35402-163
Telefone: 3135591600 - www.ufop.br

Agradecimentos

Agradeço, primeiramente à Deus, por se fazer morada em mim e pelos momentos em que me reergueu. Aos meus pais, Basílio e Flaviane, por serem exemplos de perseverança e amor incondicional e principalmente, por fazerem do meu sonho, o deles. Agradeço a minha irmã Isadora por ter sido paciente, companheira e me ensinar a importância do amor fraternal. As minhas avós Doralice e Raquel por transmitirem a proteção e a forca necessária para conquistar os objetivos. Aos meus avôs Luciano e Pedro, que já se foram, por serem meu amparo e exemplo de altruísmo.

Agradeço em especial à minha orientadora Mariângela e co-orientadora Maria Augusta por auxiliarem no meu amadurecimento tanto universitário quanto pessoal, e, principalmente por me apresentarem ao mundo acadêmico e despertarem em mim a vontade de seguir os mesmos passos. Ainda nessa etapa, a presença dos professores Lucas e Bacellar por confiarem em minha capacidade e pelo próspero convívio que teremos durante a pós-graduação. Além desses, agradeço imensamente a UFOP pela oportunidade do ensino público e de qualidade. Agraço também a Romero, morador da região estudada, pela boa vontade em coletar os dados quando não pude estar presente e pelo interesse em estudar e recuperar a microbacia Sambaíba.

Reconheço a relevância das amizades que caminharam ao meu lado para que essa etapa seja vencida, por essa razão, sou grata as Winx por estarem ao meu lado sendo esteio ao longo da vida acadêmica e pela nossa conexão, a Brenda e Sabrina por se comprometerem a estar comigo e pela sintonia única. Por fim, agradeço a todos que passaram e permanecem ao meu lado sabendo que a partir de agora, um novo momento está apenas começando.

SUMÁRIO

SUMÁRIO viii
ÍNDICE DE FIGURAS xi
ÍNDICE DE TABELAS xiii
Resumo xv
Abstract xvii
1 INTRODUÇÃO 1
1.1 APRESENTAÇÃO 1
1.2 LOCALIZAÇÃO 2
1.3 OBJETIVOS 4
1.4 JUSTIFICATIVA 4
2 MICROBACIAS KÁRSTICAS E SUA CONTRIBUIÇÃO AMBIENTAL 6
2.1 BACIAS HIDROGRÁFICAS E SEUS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS 6
2.1.1 Nascentes 7
2.2 ÁGUA, CICLO HIDROLÓGICO E BACIAS HIDROGRÁFICAS 8
2.2.1 Ciclo Hidrológico 9
2.3 CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS 14
2.3.1 Características físicas 14
2.3.2 Características químicas 15
2.4 BACIAS HIDROGRÁFICAS E AQUÍFEROS EM REGIÕES KÁRSTICAS 19
2.4.1 Hidrogeoquímica 20
2.4.2 Dinâmica e Contaminação Hidroquímica 21
2.5 RECUPERAÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS 23
2.5.1 Preservação de Áreas de Nascentes 23
3 CONTEXTOS GEOLÓGICO E AMBIENTAL 26
3.1 CLIMA 26
3.2 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA 26
3.2.1 Grupo Bambuí 26
3.3 GEOMORFOLOGIA E SOLOS 28
3.3.1 Análise de Solos 28
3.4 HIDROGRAFIA E AQUÍFEROS 30
3.5 VEGETAÇÃO E HISTÓRICO DE USO E OCUPAÇÃO 31
4 MATERIAIS E MÉTODOS 32
4.1 DELIMITAÇÃO DA MICROBACIA E SEU USO E OCUPAÇÃO 32
4.2 TRABALHOS DE CAMPO 32
4.2.1 Instalação de Equipamentos: lisímetro e pluviômetro 32

4.2.2 Medidas *In Situ* 34
4.2.3 Coleta de Amostras 35
4.3 ANÁLISES LABORATORIAIS 37
4.3.1 Determinação da Alcalinidade 37
4.3.2 Determinação da concentração de elementos maiores, menores e traço em águas 38
4.3.3 Análise Isotópica 38
4.3.4 Análise microbiológica da água de superfície 39
4.4 TRATAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS 39
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES 40
5.1 USO E OCUPAÇÃO DA MICROBACIA 40
5.2 PLUVIOSIDADE, TAXA DE INFILTRAÇÃO E VAZÃO 41
5.2.1 Pluviosidade 41
5.2.2 Taxa de infiltração (lisímetro) 42
5.2.3 Vazão do córrego Sambaíba 43
5.3 ANÁLISE GEOQUÍMICA DAS ÁGUAS 44
5.3.1 Isótopos Estáveis 44
5.3.2 Ânions 45
5.3.3 Elementos maiores, menores e traço 47
5.3.4 Classificação das Águas 49
6 CONCLUSÕES 52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Localização geográfica da microbacia e as demais rodovias percorridas para o acesso. 3

Figura 1.2: Recorte da litologia da Bacia do Rio das Velhas, evidenciando a cobertura geológica da área de estudo.. 4

Figura 2.1: Desenho esquemático de divisor de águas superficiais e divisor de águas subterrâneas.. 6

Figura 2.2: Esquema ilustrativo do ciclo hidrológico. 9

Figura 2.3: Desenho esquemático de um lisímetro, fora de escala. 11

Figura 2.4: Esboço esquemático do dispositivo utilizado por Darcy 13

Figura 2.5: Diagrama Eh – pH com limites do campo de estabilidade da água em ambientes naturais, em função do Eh e pH. 15

Figura 2.6: Modelo conceitual do fluxo de água em um aquífero kárstico (Travassos 2019). 20

Figura 3.1: Mapa de localização da microbacia Sambaíba na UTE Rio Pardo, inserido no Bacia do Rio das Velhas 30

Figura 3.2: Histórico de uso e ocupação da microbacia, obtido através da extensão de imagens históricas do Google Earth Pro. 31

Figura 4.1: Mapa de delimitação da microbacia Sambaíba 32

Figura 4.2: A - Lisímetro para o estudo da infiltração da água no solo 33

Figura 4.3: A – Detalhe do local da medida de vazão com o copo medidor, B – Copo medidor usado para calcular a vazão do rio com auxílio de um cronômetro. 34

Figura 4.4: Processo de análise de amostras pelo colorímetro HACH®. 35

Figura 4.5: A – detalhe da coleta e filtragem de amostras em campo para análise no ICP - OES, B – detalhe das membranas usadas para a filtragem da água. 37

Figura 5.1: Mapa de uso e ocupação do limite municipal de Santo Hipólito (MG) que engloba a microbacia estuada em destaque na imagem 40

Figura 5.2: Mapa de uso e ocupação do entorno da microbacia estudada..... 41

Figura 5.3: Gráfico de barras mostrando a pluviosidade em Santo Hipólito/MG (01844001, HIDROWEB 2022) e na microbacia Sambaíba..... 42

Figura 5.4: Gráficos com os dados de entrada de água. 42

Figura 5.5: Gráfico indicando a relação entre a pluviosidade e vazão da microbacia estudada. 43

Figura 5.6: Gráfico de resultados isotópicos para a Microbacia Sambaíba.**Erro! Indicador não definido.**

Figura 5.7: Gráficos com os dados de PCA, onde C: águas do córrego, P: águas do poço tubular e L: águas do lisímetro. 47

Figura 5.8: Diagrama de Piper para as águas do poço tubular e do lisímetro 50

Figura 5.9: A- Diagrama de Stiff para as águas do poço tubular. Elaborado no software Qualigraf. B - Diagrama de Stiff para título de comparação 50

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1: Correlação entre os tipos de alcalinidade e o pH. 16

Tabela 2.2: Valores máximos permitidos de concentração em águas, deliberado pelo CONAMA 357 e 396..... 17

Tabela 3.1: Divisão litoestratigráfica do Grupo Bambuí..... 27

T**abela 3.2**: Tabela com as características das setes amostras de solo analisadas..... 29

Tabela 4.1: Relação de origem e data das amostras coletadas para análise isotópica. Vale ressaltar que o ponto P3 foi chamado de montante e o ponto P1 de jusante na tabela..... 38

Tabela 5.1: Resultados obtidos com o colorímetro, ... 46

Tabela 5.2: Resultados obtidos com o ICP-OES..... 47

Resumo

A contribuição de microbacias para a disponibilidade de água com qualidade e a quantidade necessárias ao abastecimento de populações rurais é indiscutível. Isso é especialmente verdadeiro para microbacias com nascentes degradadas em áreas kársticas. O cercamento de nascentes nestas áreas tem o potencial de mudar substancialmente a qualidade e a quantidade de águas de microbacias tropicais. Este é o caso do local deste estudo, localizada sobre rochas do Grupo Bambuí, no Município de Santo Hipólito-MG. Para se avaliarem os serviços ambientais dessa microbacia, foram monitoradas a precipitação acumulada diária, a taxa de infiltração, a vazão de seu córrego principal, ao longo de 18 meses, assim como a qualidade de suas águas superficiais, e de subsuperfície. Foram coletadas 183 amostras para a caracterização química da área estudada, subdivididas em: análise isotópica de elementos químicos estáveis (H e O) somando 10 amostras, 123 amostras para caracterização de elemento maiores, menores e traço, analisadas em um ICP-OES e estudo aniônico através do colorímetro HACH® totalizando 50 amostras. A microbacia Sambaíba apresenta vazão média de 5,13 x 10^{-5} m^3/s e 184 L/h, demostrando a sua pequena extensão e volume d'água. Um lisímetro, foi instalado especialmente para este estudo, possibilitando a averiguação de sua taxa de infiltração com valores entre 16 e 22%. Com base nos dados obtidos, o solo, a água superficial e subsuperficial que abastecem a microbacia apresentam fortes indícios de contaminação por atividades antrópicas, com elevadas concentrações de nitrato e de cloro livre. No mais, o elemento Cd também mostra valores alarmantes para as águas do aquífero, acima dos padrões brasileiros de potabilidade utilizados nesse estudo (CONAMA 357 (2005), CONAMA 396 (2008) e Portaria GM/MS Nº 888 (2021)) reiterando a contaminação do ambiente por meio de sistemas agropastoris.

Palavras-chave: Microbacia. Serviços ambientais. Karste. Contaminação ambiental.

Abstract

The contribution of microbasins to the availability of water with the quality and quantity necessary for the supply of rural populations is indisputable. This is especially true for watersheds with degraded springs in karstic areas. The fencing of springs in these areas has the potential to substantially change the quality and quantity of water in tropical watersheds. This is the case of the location of this study, located on rocks of the Bambuí Group, in the municipality of Santo Hipólito-MG. To evaluate the environmental services of this micro-basin, the flow of its main creek was monitored for 18 months, as well as the quality of its surface and subsurface waters. 183 samples were collected for the chemical characterization of the studied area, subdivided into the isotopic analysis of stable chemical elements (H and O) adding 10 samples, 123 samples for characterization of larger, smaller and trace elements, analyzed in an ICP-OES and anionic study through the HACH® colorimeter totaling 50 samples. The Sambaíba micro-basin has an average flow of 5.13 x 10^{-5} m^3/s and 184 L/h, demonstrating its small extension and volume of water. A lysimeter was especially installed for this study, enabling the investigation of infiltration rate, presenting values that varied between 16 and 22%. based on collected data, the soil, surface, and subsurface water that supply the watershed present compelling evidence of contamination by anthropic activities, with high concentrations of nitrate and free chlorine. In addition, the element Cd also shows alarming values for the waters of the aquifer, above the Brazilian potability standards used in this study estudo (CONAMA 357 (2005), CONAMA 396 (2008) e Portaria GM/MS Nº 888 (2021)) reiterating the contamination of the environment through agropastoral activities.

Key words: Micro-basin. Environmental services. Karste. Environmental contamination

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

No Brasil, a água é um bem natural de domínio público. Diversas leis foram criadas para assegurar que esse direito de uso seja efetivado. Em 8 de janeiro de 1997, foi instituída a Lei nº 9.433 que assevera que a atual e as futuras gerações precisam ter acesso à água com padrões de qualidade, a depender de seu uso. Esta lei determina também que essa assertiva seja incluída nos instrumentos da Política Nacional dos Recursos Hídricos. Recentemente (31/3/2021), o Senado aprovou uma proposta de emenda à Constituição (PEC 4/2018) que inclui, na Constituição Federal, o acesso à água potável entre os direitos e garantias fundamentais.

Extrapolando para a realidade mundial, a ONU estabelece metas de Desenvolvimento Sustentável, as quais devem ser cumpridas até 2030 pelos 192 países membros (incluindo Brasil). Uma dessas metas (Objetivo 6), a qual se intitula: "Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos", aponta para a necessidade urgente de discutir formas que garantam que esse bem natural seja usado e disponibilizado de um modo consciente. Porém, o uso indiscriminado desse recurso vem afetando toda a humanidade, seja direta ou indiretamente (Rezende 2016). Assim, o cenário atual da distribuição de água e as dificuldades no que diz respeito à manutenção da sua qualidade fazem com que mais pesquisas, estudos que envolvam quantidade e qualidade e monitoramento dos sistemas hídricos sejam não só fundamentais, mais indispensáveis.

Neste sentido, os trabalhos realizados em microbacias são os ideais, não só por apresentarem facilidades de delimitação da área e identificação dos tipos de uso e ocupação, mas também por contribuírem para a sua sustentabilidade e equilíbrio de outros serviços ecossistêmicos como os do solo, florestas, biodiversidade e beleza cênica (Turpie 2008). Os parâmetros utilizados em estudos de microbacias, como a quantificação da vazão de seus córregos (quantidade) e os parâmetros físicos e químicos de águas superficiais e subterrâneas (qualidade) estão entre os fundamentais para se entender o papel destas áreas na produção de serviços ecossistêmicos (Karmakar *et al.* 2019). Ademais, o manejo adequado, a proteção e a recuperação de microbacias têm a capacidade de elevar a qualidade e a quantidade da água local e, consequentemente, para jusante. Até mesmo ações simples como o cercamento de nascentes, que está entre os métodos mais baratos de recuperação, pode contribuir significativamente para melhoria e preservação dos recursos hídricos dessas pequenas bacias hidrográficas (SMA 2009). Neste sentido, microbacias são geossistemas únicos, que podem ser

encarados como a unidade natural de planejamento ambiental, que por se tratarem sistemas abertos, são sensíveis às diversas interferências antrópicas na dinâmica de uso e ocupação de seu solo.

Dentre os sistemas hidrológicos, os kársticos, que abastecem cerca de 25% da população mundial (Ford e Williams 2007), são provavelmente os mais sensíveis à contaminação. Esses sistemas, principalmente no Brasil, datam especialmente do Neoproterozoico (Travassos 2019) onde se consolidaram em regiões cratônicas. Neles, há uma clara conexão entre as águas subterrâneas e as superficiais, através de feições características, como sumidouros, surgências, ressurgências, entre outros (Travassos 2019). Essa estrita ligação é um dos motivos da vulnerabilidade hídrica desses locais, principalmente quando relacionados ao uso indiscriminado de defensivos agrícolas.

Os defensivos agrícolas são produtos químicos, físicos ou biológicos cujo uso está associado ao gerenciamento de seres vivos nocivos ao homem, as criações e plantações (Ronei *et al.* 2018). Esses componentes químicos quando lançados sobre o ambiente causam a contaminação do solo, água e ar. Levando em consideração que o sistema hidrológico abarca toda a geosfera, fica evidente o impacto desses materiais. Além disso, os karstes são considerados uma rede de fluxo, com alta permeabilidade, por onde a água passa através de conjuntos de fraturas, planos de acamamento e dutos (Travassos 2019). Essa característica, por si só, já marca a facilidade de infiltração de pesticidas quando solúveis em água, reiterando a sua alta vulnerabilidade ambiental.

Neste contexto, o presente estudo buscou quantificar e qualificar a produção de água bruta de uma microbacia (Figura 1.1), vinculada ao sistema kárstico das rochas carbonáticas do Grupo Bambuí na região de Santo Hipólito (MG). A microbacia, foco deste estudo, foi degradada nas últimas décadas por atividades agropastoris, mas teve sua nascente cercada em 2017, como uma tentativa de melhorar a quantidade e a qualidade de suas águas.

1.2 LOCALIZAÇÃO

A área de estudo encontra-se na região central de Minas Gerais e pertence ao município de Santo Hipólito (Figura 1.1). A região posiciona-se a cerca de 340 km de Ouro Preto e o acesso à região é realizado a partir das rodovias BR-356 (Rodovia dos Inconfidentes), em direção à Belo Horizonte, devendo-se entrar na BR-040, em direção à Brasília, até o trevo de Curvelo, onde se segue para norte pela BR-135 até a cidade de Corinto. Posteriormente, toma-se a MG-220 no sentido de Santo Hipólito, passando por uma estrada vicinal que interligam as localidades, distritos, vilas e fazendas da região até o destino, a microbacia (Figura 1.1).

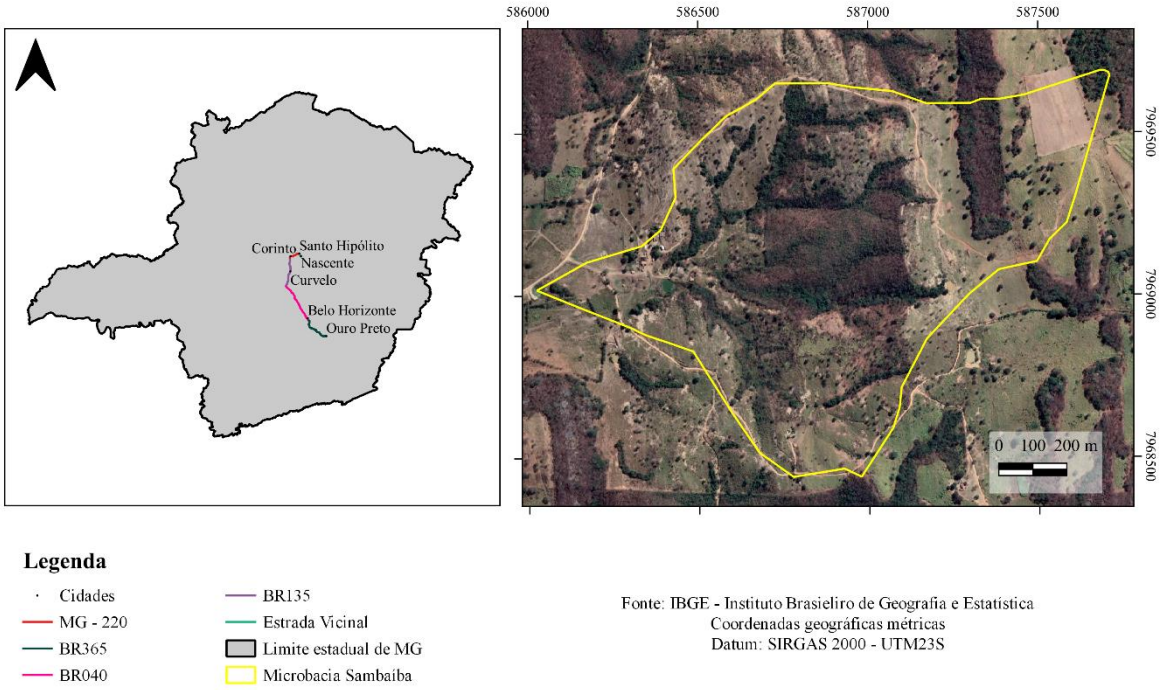

Figura 1.1: Localização geográfica da microbacia e as demais rodovias percorridas para o acesso.

A microbacia possui 0,45 km^2 e está inserida na unidade geomorfológica da Depressão do Alto-Médio Rio São Francisco (IBGE, 1993), assentada sobre as rochas carbonáticas do Grupo Bambuí, mais especificamente sobre a Formação Lagoa do Jacaré (Figura 1.2). Apesar de pequena, é de grande relevância para a população local, que sofre com períodos de estiagem extensos e tem nela e nos poços artesianos em seu aquífero as fontes para seu suprimento de água.

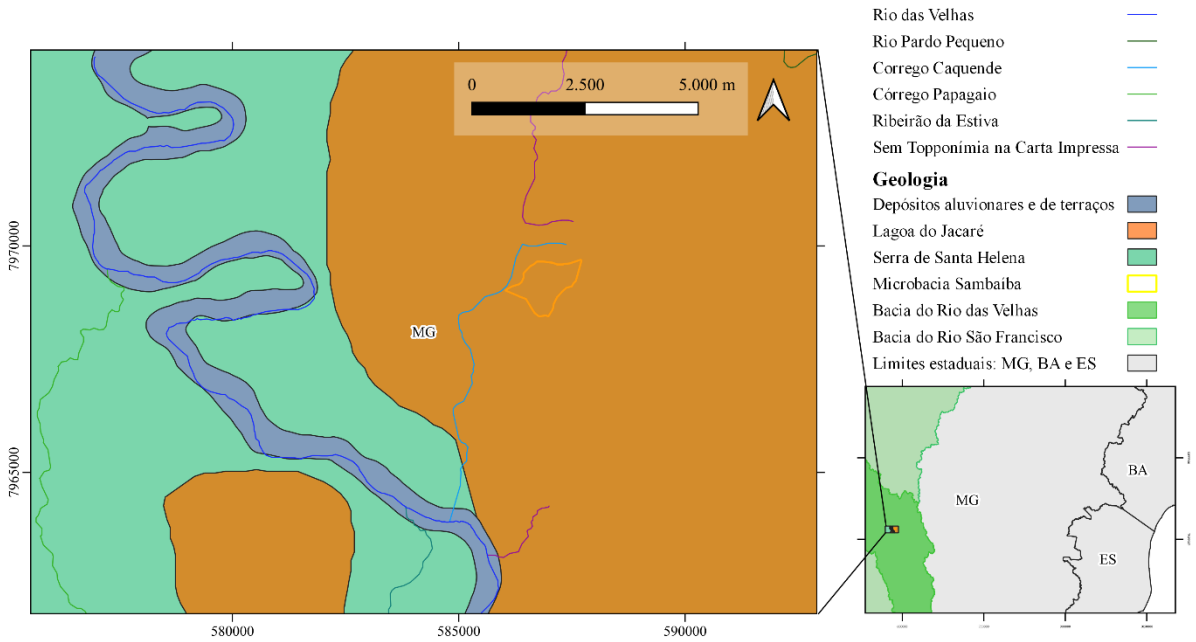

Figura 1.2: Recorte da litologia da Bacia do Rio das Velhas, evidenciando a cobertura geológica da área de estudo. Mapeamento realizado pela CPRM (2020) em escala de 1:1.000.000.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral do projeto foi caracterizar a qualidade e quantificar a produção de água de uma microbacia localizada no Município Santo Hipólito-MG, de forma a embasar uma proposta de recuperação ambiental para a área.

Por se tratar de uma área nunca estudada, para os objetivos específicos, tem-se:

- Caracterizar a geologia da área através da análise de imagens de satélite e campanhas de campo;
- Mapear o uso e ocupação do solo da microbacia;
- Entender o ciclo hídrico na microbacia (quantidade e qualidade), através da instalação de pluviômetro, lisímetro, medidas vazão do córrego principal e isotopia das águas;
- Analisar a geoquímica das diferentes matrizes ambientais na microbacia (solos e águas).

1.4 JUSTIFICATIVA

A questão hídrica é de suma importância em todo o mundo e, por isso, o Brasil como sendo um dos maiores detentores de água doce do planeta, deve fazer o seu uso de forma consciente e presar pelos recursos hídricos ainda em condições de uso.

A região de estudo está inserida em uma área kárstica, cuja disponibilidade hídrica é limitada, sendo as águas superficiais a maior fonte de abastecimento (Rodrigues e Travassos, 2013). Trata-se de uma microbacia degradada por atividades antrópicas, que reduziram a disponibilidade hídrica bem como a qualidade deste recurso natural indispensável à manutenção dos ecossistemas da vida humana. Somente um estudo detalhado das características de quantidade e qualidade das águas da microbacia poderia embasar um projeto viável de recuperação ambiental possa reverter este cenário. Considerando a falta de dados científicos na região, isto seria por si só motivo para realização do trabalho aqui proposto. Contudo, pensando nos benefícios para a população e a instrução dos indivíduos que ali residem, a restauração do potencial dessa fonte d'água seria inspiração para manter e reestruturar as pequenas nascentes que na região que se esvaíram por mal uso dos recursos naturais que ali já existiram.

CAPÍTULO 2

MICROBACIAS KÁRSTICAS E SUA CONTRIBUIÇÃO AMBIENTAL

2.1 BACIAS HIDROGRÁFICAS E SEUS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS

O gerenciamento dos recursos hídricos, pauta atual que tem sido amplamente discutida, tem como um dos principais pilares a conservação, manejo e restauração de bacias e, em especial, microbacias hidrográficas. As bacias hidrográficas, segundo Tucci (1993), são extensões da superfície cuja água da precipitação é captada e conduzida até o seu exultório, isto é, seu ponto de saída. Essas bacias funcionam com um sistema aberto, onde se reconhece o volume de entrada e o volume de saída, além de ser constatado perdas por meio da infiltração, transpiração e evaporação do meio.

As bacias são compostas por divisores de água, ou seja, áreas topograficamente mais elevadas, onde a água proveniente da precipitação é ecoada de maneira divergente (Collischonn e Dornelles 2013), como ilustra a Figura 2.1. Já os divisores de águas subterrâneas estão estritamente relacionados às rochas que compõem a subsuperfície, bem como a sua disposição nesses locais, por isso, os divisores de águas superficiais podem não coincidir com os de águas subterrâneas (Collisochonn e Dornelles 2013).

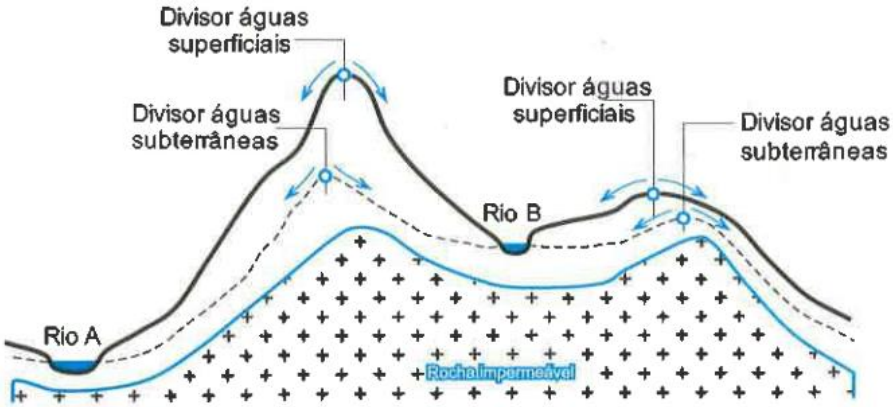

Figura 2.1: Desenho esquemático de divisor de águas superficiais e divisor de águas subterrâneas. Fonte: Modificado de Collischonn e Dornelles 2013.

Os serviços ambientais fornecidos pelas bacias hidrográficas – como quantidade e qualidade da água – estão diminuindo, mas a demanda por esses serviços está aumentando (Townsend *et al.* 2012). As microbacias, comumente as bacias de primeira ordem (Strahler 1957), situam-se nas porções mais elevadas da topografia, em áreas de grande declividade e são as regiões onde estão localizadas as nascentes da maioria dos cursos de água (Valente e Gomes 2005). Essas bacias de cabeceira são

pequenas e muitas vezes, em países em desenvolvimento como o Brasil, localizam-se em regiões rurais (Medeiros *et al.* 2013), como é o caso da microbacia de estudo. Segundo a ANA (2005), bacias hidrográficas, ao longo de sua extensão, acabam por adentrar áreas com elevados grupos populacionais e, portanto, têm uma relevância econômica e uso estratégico, requerendo uma gestão que respeite o tanto crescimento da população, o desenvolvimento econômico como a proteção ambiental, de modo a compatibilizar os diversos usos da água. Dessa forma, a atenção deve estar voltada para o uso e ocupação da área, já que é a partir deles é que se tem a extração dos recursos naturais, tanto superficiais, quanto subterrâneos (Dudley e Solton 2003).

O conceito de serviços ecossistêmicos é relativamente recente, destacando-se o trabalho de publicado por Costanza *et al.* (1997) na revista Nature, em que os autores colocam a paisagem (incluindo aí as bacias hidrográficas) como fornecedora de uma gama de bens e serviços ecossistêmicos críticos para o suporte à vida da Terra, contribuindo direta e indiretamente para o bem-estar da humanidade. Em 2005, a Avaliação Ecossistêmica do Milênio (Millennium Ecosystem Assessment 2005), após examinar os impactos das ações humanas no meio ambiente, classificou como serviços ecossistêmicos "*o conjunto de benefícios que os humanos obtêm dos ecossistemas*". Nesse mesmo caminho, Daily (1997) os define como "*situações e atividades dos ecossistemas naturais e suas espécies constituintes que mantém e sustentam a vida humana*". Já Boyd e Bhanzhaf (2007) restringem mais o termo, considerando apenas são os "*constituintes naturais que são consumidos pelos humanos para o seu bem-estar*". Mais recentemente, Haines-Young e Potschin (2013) caracterizaram os serviços ambientais como "*uma colaboração do ecossistema (natural ou melhorado) que impactam direta ou indiretamente o conforto dos seres humanos*". Como pode-se perceber, para grande parte dos autores, a característica imprescindível dos serviços ecossistêmicos é a relação direta mantida entre as funções, processos, estruturas dos ecossistemas que os originam e a sobrevivência da humanidade (Parron e Garcia 2015). No caso das microbacias, isso inclui o fornecimento de alimentos e serviços de água; controle de inundações e secas; redução da degradação do solo (processos erosivos); serviços de apoio, como formação do solo e ciclagem de nutrientes; serviços culturais, como lazer, espiritual, religioso e outros benefícios não materiais (SMA 2009).

2.1.1 Nascentes

"Nas.cen.te adj2g. 1. Que nasce ou começa. • sm. 2. V. oriente (1). • sf. 3. Fonte dum curso de água." Assim é definido o conceito de nascente pelo dicionário Aurélio (Ferreira 2008). Estudos científicos, raros, focam no significado e importância geológica do tema, sendo poucos os textos científicos que definem o termo, a saber:

1. "*Afloramento do lençol freático que vai dar origem a uma fonte de água de acúmulo (represa), ou cursos d'água (regatos, ribeirões e rios).*" (Calheiros *et al.* 2009)

2. "*A nascente do rio ou riacho é a fonte situada no limite do afloramento do aquífero. A cabeceira é o ponto onde nasce o curso d'água, não possuindo lugar bem definido, pode ser formada por uma área*." (Gomes *et al.* 2005).

Calheiros *et al.* (2009) separam, ainda, nascente ou olho d´água, veredas e nascente com acúmulo inicial. Para esses autores, as nascentes ou olho d'água não tem acúmulo de água inicial e ocorrem em terrenos declivosos, as veredas são nascentes espalhadas difusamente em um afloramento e as nascentes com acúmulo inicial ocorrem quando a camada impermeável fica paralela a parte mais baixa do terreno, formando um lago.

Com poucos estudos a respeito e significados ainda rasos para pautar uma definição prática, há uma dificuldade enorme por meio da população de identificar de fato uma nascente. Santos (2009) salienta que esse obstáculo aumenta em locais de topografia suave ou muito plana, onde há uma natural dificuldade em se formarem escoamentos de água canalizados, formando áreas enxarcadas. Além disso, o autor aponta outro fato polêmico, qual seja: "*a existência de olhos d'água intermitentes causados pela infiltração de água, que ao passar pela parte superior do solo (zona de aeração), encontra mudanças geológicas internas causadas por obstáculos latentes - níveis menores ou mesmo impermeáveis (por exemplo, lentes de argila ou certos tipos de estruturas). Nesse caso, a água infiltrada resultará na formação de "lençóis suspensos" ou "empoleirados*", que acabarão aparecendo na superfície do terreno inclinado antes de atingir o próprio lençol freático.

Essa dificuldade em se definir precisamente uma nascente muitas vezes contribui para dificultar sua proteção e manejo. Em áreas rurais de países em desenvolvimento, como a do presente trabalho, a água das nascentes é usada para fins domésticos (como beber, lavar), para cuidados com o gado, uso agrícola e reservatórios de água para piscicultura. Ou seja, nestes locais, as comunidades são totalmente dependentes da qualidade e quantidade dessas águas (Vashisht e Sharma, 2007; Tiwari e Joshi, 2012; Oliveira Neto 2013).

2.2 ÁGUA, CICLO HIDROLÓGICO E BACIAS HIDROGRÁFICAS

A água é o componente principal da hidrosfera que corresponde a toda porção líquida que integra o planeta Terra (Cabral 2008). Tendo em vista que água é um bem mineral essencial na vida humana e dos demais seres vivos, a necessidade de mantê-la bem preservada é resguardar as vidas futuras (ANA 2005). Desse modo, a água é o elemento norteador para evolução de todas as espécies que habitam o planeta Terra. É a partir dela que os humanos conseguem manter suas funções vitais através de reações orgânicas nas células, fora que a água tem papel fundamental na construção de moradias, preparo de madeiras, beneficiamentos de metais, entre outros fatores (ANA 2005). Sendo assim, seu afloramento em superfície ou armazenamento subterrâneo permite que as plantas sejam capazes de

crescer, que alimentos sejam produzidos e abasteçam o planeta, permite o transporte de pessoas, bens comerciais e que suprimentos cheguem à população (Cabral 2008). A água é um bem versátil que alimenta, sacia, limpa e transporta. Manter sua qualidade e estimular sua produção é garantir que o progresso continue e mantenha sem grandes alterações o mecanismo motor principal (Athayde Jr. *et al.* 2009).

2.2.1 Ciclo Hidrológico

O ciclo hidrológico, para se manter, necessita da interação entre os oceanos, continentes e atmosfera (Figura 2.2). As águas disponíveis em superfície (oceanos, rios e lagos) são evaporadas pela ação da radiação solar, condensadas e precipitadas em forma de chuva, retornando para a superfície e abastecendo os reservatórios. Este ciclo é governado, no solo e no subsolo, pela ação da gravidade, bem como pelo tipo e densidade da cobertura vegetal e, na atmosfera e superfícies líquidas (rios, lagos, mares e oceanos), pelos elementos e fatores climáticos, como por exemplo, a temperatura do ar, vento, umidade relativa do ar (função de pressão de vapor), insolação (função da radiação solar), que são responsáveis pelos processos de circulação da água dos oceanos para a atmosfera, em uma dada latitude terrestre (Feitosa *et al.* 2008). Sendo assim, para a melhor compreensão de sua importância e funcionalidade, entender os processos (precipitação, infiltração e evaporação) que permeiam sua existência é fundamental (Tucci 1993).

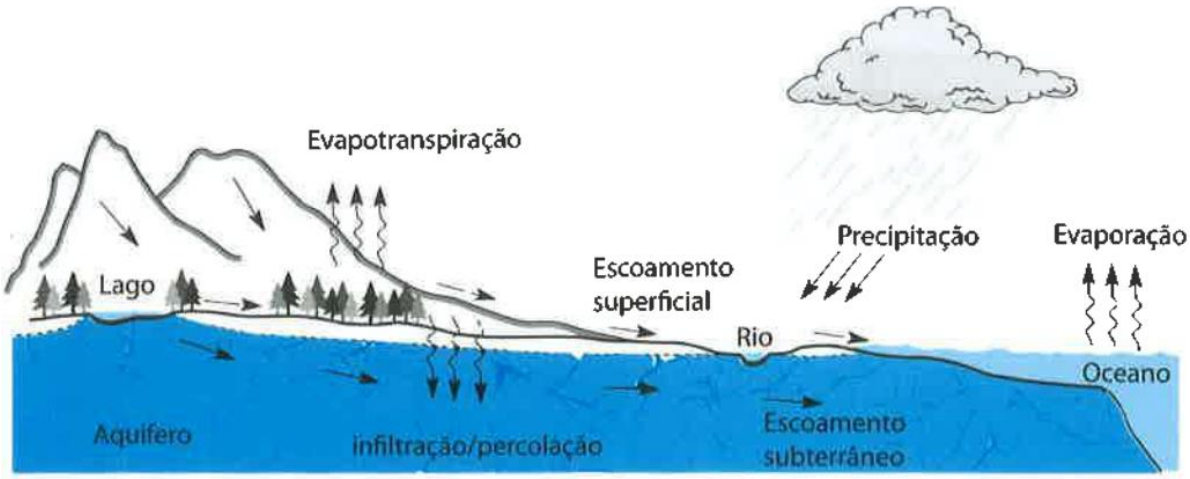

Figura 2.2: Esquema ilustrativo do ciclo hidrológico. Fonte: Modificado de Collischonn e Dornelles 2013.

Quantificação do ciclo hidrológico

Como na natureza tende-se a ter uma redução dos esforços para que se gaste menos energia, em relação a água não seria diferente. A quantificação do ciclo hidrológico requer o princípio de conservação de massa e é verificado pela Equação do Balanço Hídrico. Essa equação, por sua vez, está ligada diretamente ao propósito de representação. Isto é, permite subdivisões a fim de se adequar melhor ao fato a ser pesquisado. Com isso, ela pode ter termos eliminados, variação no intervalo de tempo,

território a ser analisado e caracterização da evapotranspiração. Em concordância com a literatura, a equação é dada pela equação (1) (Feitosa *et al.* 2008):

$$P - ETR - R - I = \Delta S \quad (1)$$

Onde: P= precipitação total; ETR = evapotranspiração real; R = recarga, I = infiltração e ΔS = variação de armazenamento na bacia hidrográfica

Apesar de ser um ciclo, para entendê-lo é necessário se começar em um ponto. A precipitação (P) consiste em gotículas de água que caem das nuvens em forma de água líquida ou sólida (granizos). São provocadas pela ascensão de água em forma gasosa para atmosfera até que ela condense e retorne para sua forma líquida, saturando a atmosfera e sendo liberada na forma de chuva. Todo esse processo só ocorre poque a quantidade de vapor d'água aliado à poeira e gelo (núcleo de condensação) são capazes de adquirir um peso considerável para vencer a gravidade, além de exceder a dinâmica atmosférica de natureza ascendente (Tucci 1993).

A água é composta por dois elementos químicos: H e O, ambos são conhecidos como isótopos estáveis, isto é, nuclídeos que não decaem radioativamente e são formados pelo mesmo elemento com variação de massa atômica (Caxito e Silva 2015). Sendo assim, ultimamente, tem sido difundido o uso de isótopos estáveis para rastrear a mobilidade da água dentro do ciclo hidrológico (Barbosa *et al.* 2018), através deles é possível monitorar a origem, a interrelação ente os reservatórios de superfície e subsuperfície, aquíferos interconectados, o funcionamento da recarga (circunstâncias e formas que acontece), além do acompanhamento de contaminação, seja ela salina ou decorrente de ações antrópicas.

A evapotranspiração real (ETR), é a mistura entre a evaporação (processo em que a irradiação solar instiga a liberação de água em forma gasosa) e a transpiração (processo de liberação de água através das plantas). A mensuração desse fator se dá por meio de fórmulas empíricas, como as de Penmann, Turc e Thornwaite (Castany 1967) e pela utilização dos lisímetros (Figura 2.3) ou infiltrômetros. Os lisímetros são instrumentos de baixo custo que irão representar as condições climáticas e ambientais da área estuda, ofertando dados de taxa de infiltração (Feltrin *et al.*, 2011). Para que isso seja possível, deve-se levar em conta a localização do instrumento de medição, bem como alguns cuidados como: as condições físicas devem ser as mesmas da qual se deseja reproduzir, além de ser instalado em locais cujo efeito de advecção (troca de energia, umidade ou "momentum" causado pela diversidade horizontal) seja reduzido (Silva 1996).

A lisimetria é realizada de diversos modos, mas considerando a região estudada foi adotada a seguinte maneira: tem-se um recipiente estéreo, no qual é adicionado o mesmo tipo de solo e vegetação encontrada no local estudado. Nessa caixa será feito uma abertura na parte inferior, onde será adicionado um filtro para evitar o carreamento de sedimentos e será conectado uma mangueira para o escape da água infiltrada. Essa água é direcionada para outro recipiente que a armazenará para a quantificação da

água. Vale ressaltar que a quantidade de água precipitada é quantificada pelo uso de um pluviômetro que está localizado próximo ao local de instalação do lisímetro (Santos 2021).

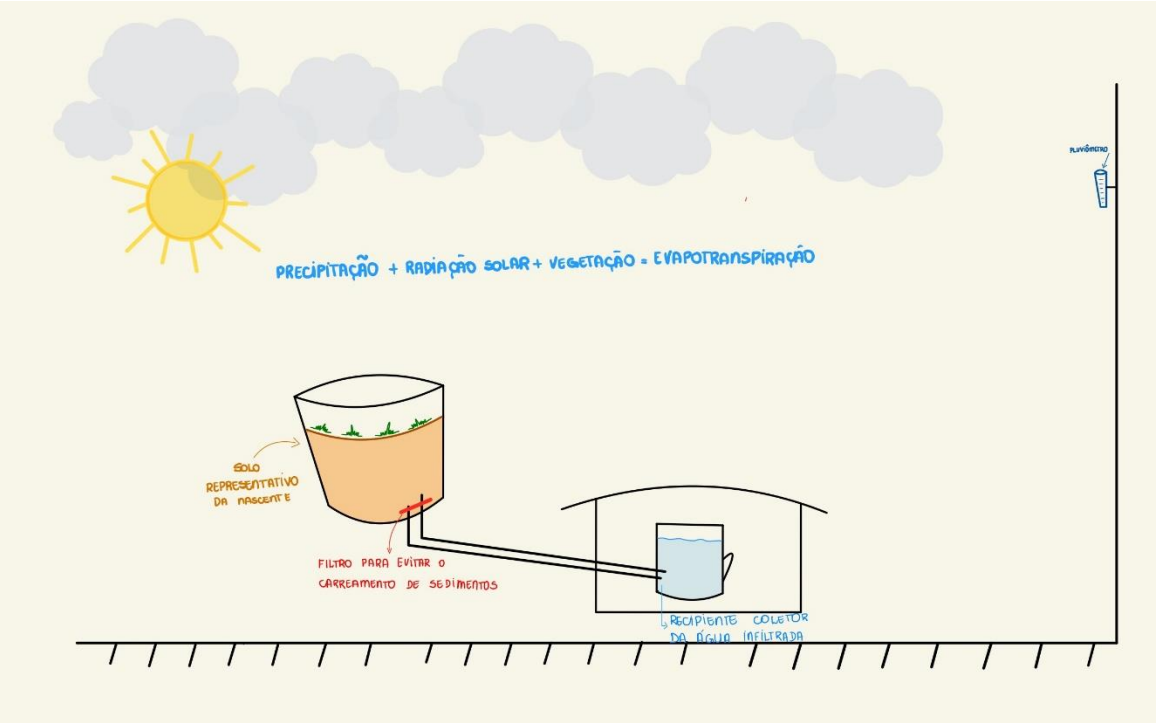

Figura 2.3: Desenho esquemático de um lisímetro, fora de escala. Fonte: Autor.

O escoamento superficial, também conhecido como deflúvio (R), consiste no fato da água proveniente da chuva, de modo gravitacional, fluir dos pontos de maior cota topográfica para as menores, através de fluxos laminares sobre o substrato, leitos dos rios e riachos (Feitosa *et al*. 2008). Vale salientar que, para que esse processo ocorra, existem vários fatores limitantes como a permeabilidade da superfície, a intensidade e o tempo de duração da chuva, a vegetação que compõe a bacia hidrográfica, entre outros (Tucci 199).

A vazão é conhecida como o volume de água que escorre ao longo de um canal (tem dimensões de área e comprimento) por um intervalo de tempo (Collischonn e Dornelles 2013). Quando o canal por onde a água passa não seca, isto é, comporta-se como perene, temos a união de dois conceitos fundamentais para o entendimento do fluxo hídrico, que são: fluxo superficial e fluxo de base, conforme pontuado por Custódio e Llamas (1976).

O fluxo superficial é aquele em que a água precipitada é escoada juntamente com os rios sem que haja sua infiltração. Isso ocorre de duas maneiras: ou quando o solo já se encontra saturado em água e não permite a percolação das gotículas ou quando há uma composição pedológica que impeça a infiltração, ou seja, o solo é composto por camadas impermeáveis ou possui condutividades hidráulicas distintas entre os horizontes de solo (Lima e Zakia 2000; Pozzebon 2000).

Já o fluxo de base é conceituado por Collischonn e Dornelles (2013) como sendo um escoamento natural sustentado pela água subterrânea dos aquíferos que constituem a bacia hidrográfica, sendo um dos responsáveis pela manutenção do nível d'água das drenagens em épocas de estiagem. Fetter (1988) reafirma que o armazenamento subterrâneo não é estático dado que é este armazenamento que irá abastecer os rios. Smaktin (2001) sinaliza que o fluxo de base não é alimentado apenas pelo curso d'água subterrâneo, mas também pela drenagem lateral de zonas alagadas e por meio de lagos que estejam conectados hidraulicamente aos rios.

Tendo sido elencado os dois conceitos fundamentais no fluxo hídrico é necessário destacar que nascentes, são exatamente a junção, isto é, a mistura das águas provenientes de ambos. Sendo assim, ao estudá-las é primordial entender a fragilidade do ambiente, bem como o fato que suas águas serão química e fisicamente distintas das duas (águas subterrâneas e de rios), angariando características próprias.

A infiltração (I), que de acordo com Horton (1933 *apud* Feitosa *et al.* 2008) pode ser definida como sendo a taxa máxima à qual um solo pode absorver da precipitação, numa certa condição. Durante esse processo, a água infiltrada é dividida em três categorias: a zona de fluxo não saturado (região acima do lençol freático), zona de interfluxo (escoamento sub-superficial) e a zona de recarga (a água percola até atingir o lençol freático). Esta zona é a principal fonte desse bem natural para os locais que sofrem com a escassez desse recurso (Rosa Filho 2008). Apesar da fase sucessora ser a infiltração é importante destacar que ainda durante o processo de precipitação, a água pode ser capturada pela vegetação, estando sobre as folhas – facilitando a sua evaporação – ou sobre os caules, quando as árvores se nutrem (Tucci 1993).

Segundo Feitosa *et al.*, 2008, a infiltração (I) também pode ser medida por meio de lisímetros (Figura 2.3) que são métodos locais, pelos quais é possível fazer análises dos valores infiltração através da taxa de infiltração. Por ser uma metodologia pontual, para que se obtenham valores mais representativos para uma bacia hidrográfica maior, é necessário se extrapolar os dados de uma rede de lisímetros para uma equação linear que relaciona a infiltração à pluviosidade, esse método foi adaptado de Castany (1967).

Quantificação da produção de águas em bacias hidrográficas

A quantificação das águas em bacias hidrográficas é possível por meio do cômputo da vazão. Esse conceito foi inicialmente proposto do Henry Darcy, engenheiro hidráulico francês que buscava compreender como funcionava o fluxo de água em filtros de areia (Feitosa *et al.* 2008). Conforme Feitosa *et al.* (2008), esse cientista concluiu que a vazão era, de modo simplista, dependente de um coeficiente de condutividade hidráulica (K), da área da seção transversal por onde o fluxo passava (A)

e do gradiente hidráulico (i), o qual representa a diferença de cargas hidráulicas pelo comprimento do corpo de estudo, conforme ilustra a Figura 2.4.

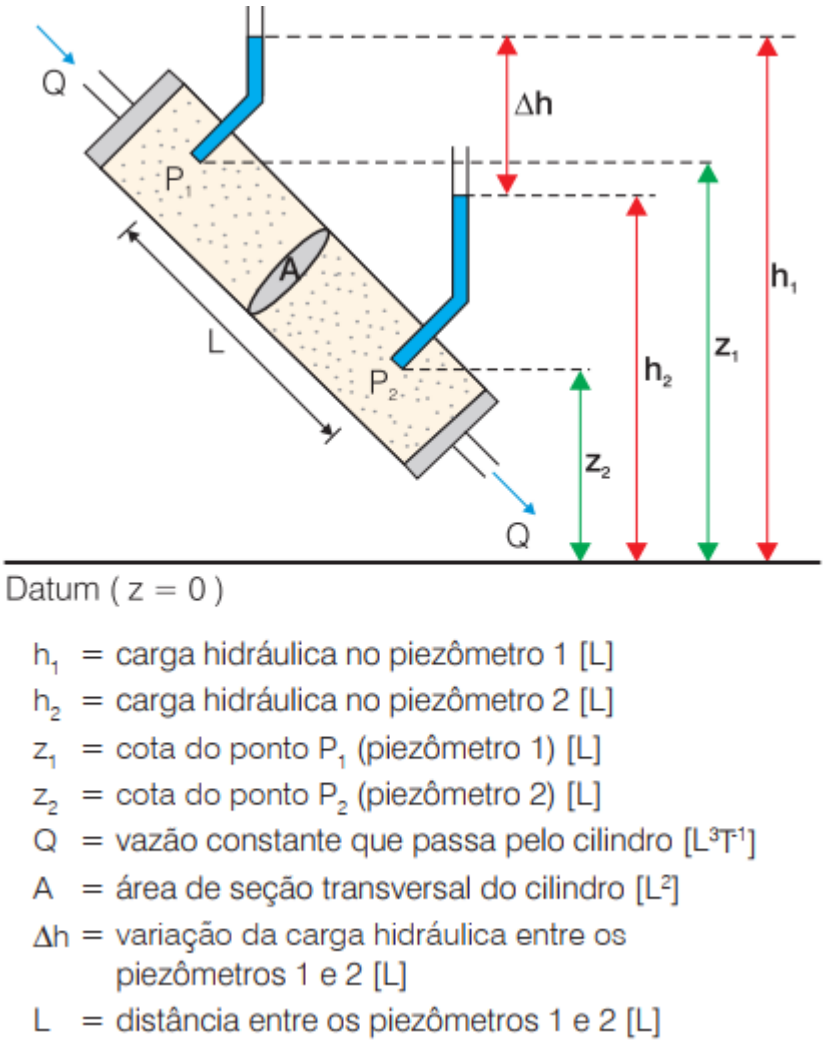

Figura 2.4: Esboço esquemático do dispositivo utilizado por Darcy (Feitosa *et al.* 2008).

A descoberta de Darcy, em 1856, permitiu que fosse viável se dimensionar a produção de água dentro de uma bacia hidrográfica, levando em consideração a possibilidade de fazer medidas mensais de vazão de água (volume por unidade de tempo) no seu ponto mais a jusante, especificamente em seu exultório (Freeze e Cherry 2017). Desta forma, é possível a identificação das estações de chuva e seca, além de computar qual seria o fluxo de base, ou seja, as vazões que ocorrem quando não há o aporte da precipitação e a descarga de água nos rios/riachos são comandados pelas águas subterrâneas (Feitosa *et al.* 2008).

A metodologia que inclui a medição da vazão é categorizada em: por capacidade, por diluição de um traçador, por medição das velocidades do fluxo d´água, por fórmulas hidráulicas e/ou dispositivos

hidráulicos etc. (Tucci 1993). O recurso a ser usado deve ser definido conforme as características do local estudado e a precisão necessária (Coelho 2011).

Em pequenos córregos, como o do presente trabalho, uma das formas mais eficientes de se medir a vazão é através do método volumétrico (Coelho 2011). Este método, assim como o que requer a utilização de calhas e vertedores, são bastante precisos, mas limitados. A limitação é tanto financeira, instrumental como de volume a ser medido (Araújo 2019). Os vertedores e calhas possuem alto custo e são de difícil instalação dentro de rios de pequeno porte ou cursos naturais. Dessa forma, a metodologia aplicada é a de medição por capacidade como preconizada por Tucci (1993). Essa técnica consiste em capturar o fluxo hídrico mediante o uso de um balde calibrado e com o auxílio de um cronômetro, mensurar o tempo gasto para o seu preenchimento. O autor ainda reitera que essa metodologia é a mais lógica e de grande acurácia, porém informa que só pode ser usado em locais cujas vazões são inferiores a 1,5 L/s.

2.3 CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS

Sendo a água o único líquido inorgânico com ocorrência nos três estados físicos da matéria é mister a necessidade de sua caracterização quanto aos aspectos físicos, químicos e biológicos (Santos, 2008).

A legislação CONAMA 357, publicada em 17 de março de 2005, classifica as águas salobras, doce e salinas segundo sua qualidade, estabelecendo classes, com base em padrões e valores de concentração de diversas substâncias químicas. A seguir, a descrição de algumas dessas características.

2.3.1 Características físicas

Segundo Santos (2008), são características físicas das águas: cor, temperatura, turbidez e sólidos em suspensão.

- **Cor**: a água em seu estado puro é incolor. Porém, pode apresentar coloração dependendo das substâncias dissolvidas (derivadas da lixiviação de rochas, solos e matéria orgânica). Assim, águas quando possuem elevados teores de magnésio dissolvido apresentam colorações esverdeadas, arroxeadas quando há presença de ferro, negras quando há influência de manganês e amareladas (ou cor de coca-cola) devido à presença de ácidos húmicos.
- **Temperatura**: Dependente principalmente do clima, quando elevada pode provocar a intensificação do odor e do sabor do líquido. Isso ocorre pelo fato de acelerar as reações químicas e reduzir a solubilidade dos gases.
- **Turbidez**: é definida através da dificuldade do líquido em transmitir a luz devido à presença de sólidos em suspensão.

- **Sólidos em suspensão**: são ocasionados pela presença das partículas (argila, matéria orgânica, microrganismos etc.) que fluem com a água. São observados em águas superficiais, já que as ocorrências em águas subterrâneas são raras. Somente ocorrem em águas subterrâneas quando os aquíferos são kársticos ou fissurais.

2.3.2 Características químicas

As características químicas são as principais responsáveis pela qualificação da água para o consumo humano. Dentre elas, destacam-se:

- **pH**: é calculado pela quantidade de íons H^+ dissolvidos em solução, sendo controlado pelas reações químicas e pelo equilíbrio dos íons presentes. A maioria das águas subterrâneas exibem pH em torno de 5,5 a 8,5 (Santos 2008). Já as águas superficiais, que correm sobre substratos carbonáticos apresentam pH médio de 7,28 considerando as estações chuvosas e secas (Lucon *et al.* 2018; Araújo 2017; Karmann e Ford 1995).
- **Eh**: conhecido como potencial de oxirredução, esse parâmetro indica se o ambiente é oxidante ou redutor. Ambientes redutores, indicam locais com saturação em água, ao passo que ambientes oxidantes são aqueles em que existe contato com ar, com exposição subárea. O Eh de águas naturais é, em geral, mais positivo em meios oxidantes e negativos em ambientes redutores (Feitosa *et al.* 2008). A variação do Eh em função do pH está relacionado na Figura 2.5.

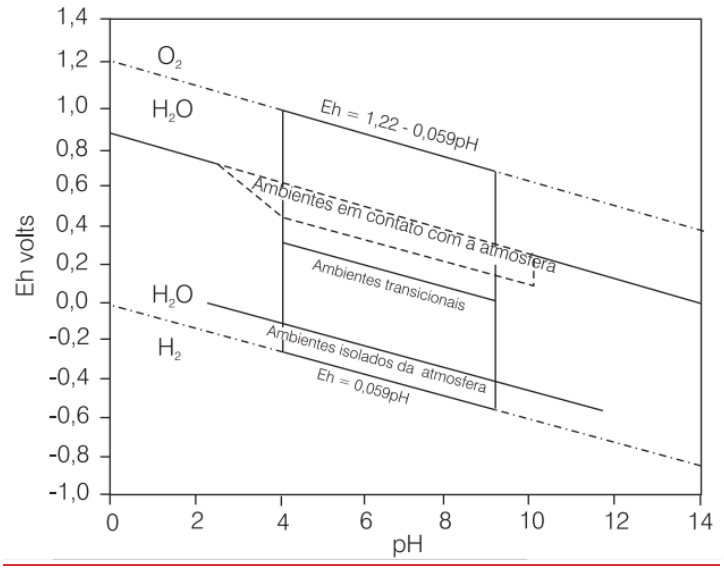

Figura 2.5: Diagrama Eh – pH com limites do campo de estabilidade da água em ambientes naturais, em função do Eh e pH (modificado de Carvalho, 1995). Retirado de Feitosa et al. 2008.

- **Alcalinidade**: é definida como a capacidade da água de neutralizar ácidos (Feitosa *et al.* 2008). É consequência da presença e/ou ausência de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos. Tem grande relação com o pH da água (Tabela 2.1) (Custodio e Llamas 1983).

Tabela 2.1: Correlação entre os tipos de alcalinidade e o pH (Custodio e Llamas 1983).

pH	Alcalinidade
11 a 9,4	Alcalinidade de hidróxidos e carbonatos
9,4 a 8,3	Alcalinidade de carbonatos e bicarbonatos
8,3 a 4,6	Alcalinidade de bicarbonatos
4,6 a 3,0	Ácidos minerais

As águas subterrâneas estudadas no Grupo Bambuí apresentam valor médio de alcalinidade em torno 395,07mg/L (Carvalho 2019). Já as águas superficiais, conforme apresenta o estudo de Bittencourt e Hindi (2000) não ultrapassam valores de alcalinidade de 500 mg/L de $CaCO_3$.

- **Demanda de oxigênio:** os compostos orgânicos podem ser biológica e quimicamente oxidados (Custódio 2001), provocando a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e a demanda química de oxigênio (DQO). Enquanto a DBO é a medida da quantidade de oxigênio necessária para consumir a matéria orgânica contida na água mediante processos biológicos aeróbios. Ela é um importante parâmetro para análise de contaminação de águas. Já a DQO é a capacidade da água de consumir oxigênio em processos químicos. A DBO é usada para medir o teor de matéria orgânica oxidável e de substâncias capazes de consumir oxigênio (Fe^{+2}, Mg^{+2}, NH^{4+}).
- **Condutividade elétrica (CE): é** a condução de corrente elétrica na água e está intimamente ligada aos sais dissolvidos em forma de íons.

2.3.2.1 Principais íons dissolvidos na água

A grande maioria das substâncias presentes na água se encontra dissolvida em forma de cátions e ânions. Considerando as definições elaboradas por Custodio e Llamas (1983) e Feitosa *et al.* 2008, serão listados os principais componentes de relevância para esse estudo. Além disso, os valores máximos de concentração desses componentes estão listados na Tabela 2.2, com as diretrizes em consonância com o CONAMA 357 E 396.

Tabela 2.2: Valores máximos permitidos de concentração em águas, deliberado pelo CONAMA 357 e 396. Obs: os íons assinalados com "-" não estão discriminados nas resoluções CONAMA 357 e 396.

Íons	Valor máximo (mg/L)	Íons	Valor máximo (mg/L)
Ba^{+2}	0,7	Mg^{+2}	-
Sr^{2+}	-	Na^{+}	200
Zn^{+2}	0,18	P	0,025
Al^{+3}	0,2	S	0,02
Fe	0,3	Cl^{-}	250
Mn	0,1	NO_3^{-}	10
Ca^{+2}	-	NO_2^{-}	1
K^{+}	-	SO_4^{-}	250

Ânions

Cloreto (Cl^{-}): espécie altamente solúvel. Pelo fato de a água fluir lentamente pode ocorrer acúmulo do elemento gradativamente. Ele está presente em todas as águas naturais com valores em torno dos 10 a 250 mg/L, acima desse valor o CONAMA 357 indica como água contaminada.

Nitrato (NO^{3-}): extremamente solúvel, ocorre em ambientes redutores (podendo se transformar em N_2 e NH_4^{+}) e em meios oxidantes (se transformando em $NO3^{-}$). Ocorre em baixas quantidades e representa o estágio final da oxidação da matéria orgânica. A contaminação da água é identificada quando os teores de nitrato estão acima de 10 mg/L, conforme o CONAMA 357. A presença de nitrito (NO_2^{-}) na água subterrânea é um indicativo de poluição recente e tem seu valor máximo igual a 1 mg/L.

Sulfato (SO_4^{-}): são sais que tem muita facilidade de absorver moléculas de água que se encontram na atmosfera, além de transitarem entre o moderadamente a muito solúvel. São originados pela oxidação do enxofre presente nas rochas e na lixiviação de compostos sulfatados (gipsita e anidrita). Valores acima de 250 mg/L são indicativos de poluição, em consoante com as diretrizes do CONAMA 357.

Bicarbonato (HCO_3^{-}): o ânion bicarbonato é proveniente da colaboração do CO_2 presente na atmosfera e na zona não saturada do solo, aliada ao carbono oriundo das rochas calcárias. Esse ânion não sofre nenhuma alteração química (oxidação e redução) em águas naturais, no entanto, apresenta bastante facilidade para precipitar na forma de bicarbonato de cálcio ($CaCO_3$).

Cátions

Fósforo (P): ocorre nas águas naturais sob a forma dos fosfatos. Segundo Mathess (1982) devido a ação dos microrganismos, a concentração de fosfato é geralmente baixa (0,01 a 1,0 ml/L). A

poluição por esse cátion pode ser causada pela ação de fertilizantes, detergentes, efluentes domésticos, inseticidas e pesticidas.

Sódio (Na^+): é um metal muito importante e abundante na água subterrânea. A sua disponibilidade está intimamente ligada à sua vasta disposição nos minerais fontes, baixa estabilidade química, alta solubilidade e difícil precipitação.

Potássio (K^+): em geral, não apresentam grandes concentrações. Isso ocorre pela sua facilidade de ser adsorvido pelas argilas além de serem utilizado pela vegetação para o suprimento de sais minerais. Ademais, é muito usado em reações de troca iônica.

Cálcio (Ca^+): elemento químico de alta solubilidade e participante da reação de precipitação de carbonatos. É um dos principais constituintes da água e é responsável pela dureza da água.

Mg (Mg^{+2}): mais solúvel que cálcio, porém de maior dificuldade de precipitação. São relacionados às rochas que contêm biotita, magnetita, granada, hornblenda, entre outros.

Ferro (Fe): o ferro está presente em concentrações muito baixas, pois tem facilidade de se oxidar. A água subterrânea quando tem a presença de ferro está associada à ocorrência de ferrobactérias, ou quando as amostras coletas são de poço tubular pode estar relacionada à corrosão do filtro ou revestimento do poço. Esse elemento químico, quando em ambientes mais redutores, o Fe sofre complexação e passa para o estado coloidal, fato que permite que mesmo com filtração através de membranas de 0,45 µm, o elemento químico permaneça na água e dê níveis elevados de concentração (Moruzzi e Reali, 2012).

Estrôncio (Sr^-): encontrado na natureza sobre a forma de carbonatos ou sulfatos. Sua solubilidade é menor que a do cálcio.

Manganês (Mn): de comportamento semelhante ao do ferro e acontecem, usualmente, em concentrações menores que ele. São íons que não ocorrem de forma livre e são persistentes na água, com bastante tempo para sofrer degradação. É válido ressaltar que o elemento químico conhecido como Mn apresenta 11 número de oxidação (variando de -3 a +7), devido a isso é mais vulnerável as mudanças físico-químicas do meio, exibindo um grande poder de adaptação (Afonso 2020).

Zinco (Zn^{+2}): dentre os metais pesados é o mais solúvel e altamente duradouro em águas.

Bário (Ba^{+2}): perigoso quando presente em água e em grandes concentrações. Sua ingestão contínua pode causar danos no sistema nervoso e/ou aumento de pressão sanguínea por vasoconstrição.

2.4 BACIAS HIDROGRÁFICAS E AQUÍFEROS EM REGIÕES KÁRSTICAS

De acordo com a definição padrão na literatura, aquíferos são rochas que podem guardar e transferir grandes volumes d'água (Feitosa *et al.* 2008). Portanto, para se definir um aquífero, essas duas particularidades são necessárias. Dentro da rocha estruturas como poros, rachaduras e dutos fornecem um local de armazenamento perfeito. A comunicação entre água e espaço é favorecida por meio de uma rede de dutos enorme e complexa (White 1988; 2005). Já a infiltração, uma das formas de saída da água dentro do sistema da bacia hidrográfica é o principal fator para a formação dos aquíferos, processo que armazena a água subterrânea. Ou seja, a infiltração é a passagem de água através dos poros que compõem o solo, advinda da precipitação, conforme Collischonn e Dornelles (2013) pontuam.

Dessa forma, é imprescindível se reconhecer a importância da bacia hidrográfica dentro do processo de desenvolvimento dos aquíferos. São nesses locais onde estarão situadas as áreas de recarga, bem como, definirão as características hidroquímicas da água do subsolo, haja visto que durante o processo de percolação, íons presentes no solo e nas rochas podem ser incorporados ao líquido que por elas passam (Tucci 1993). Assim, a qualidade das águas subterrâneas em uma determinada região depende em grande parte de processos naturais, como (Apollaro *et al.* 2019): dissolução e precipitação de minerais (incluindo intemperismo e erosão), velocidade de infiltração e fluxo das águas subterrâneas, quantidade e qualidade das águas de recarga (precipitação) e de contaminantes antropogênicos (derivados de centros urbanos, atividades agrícolas e industriais).

Sabendo disso, as superfícies kársticas são bastante complexas e de grande relevância para regiões com baixos índices pluviométricos. Nesses locais, como Travassos (2019) pontuou, há uma relação direta entre as águas subterrâneas e superficiais por meio de depressões fechadas e fraturas. Assim, a água da chuva que atinge a superfície do karste pode ser ligeiramente capturada para os sistemas subterrâneos também se acumulam caso haja características que permitam esse fenômeno, isto é, presença de rochas impermeáveis ou camadas de sedimentos depositados sobre o karste (Figura 2.6).

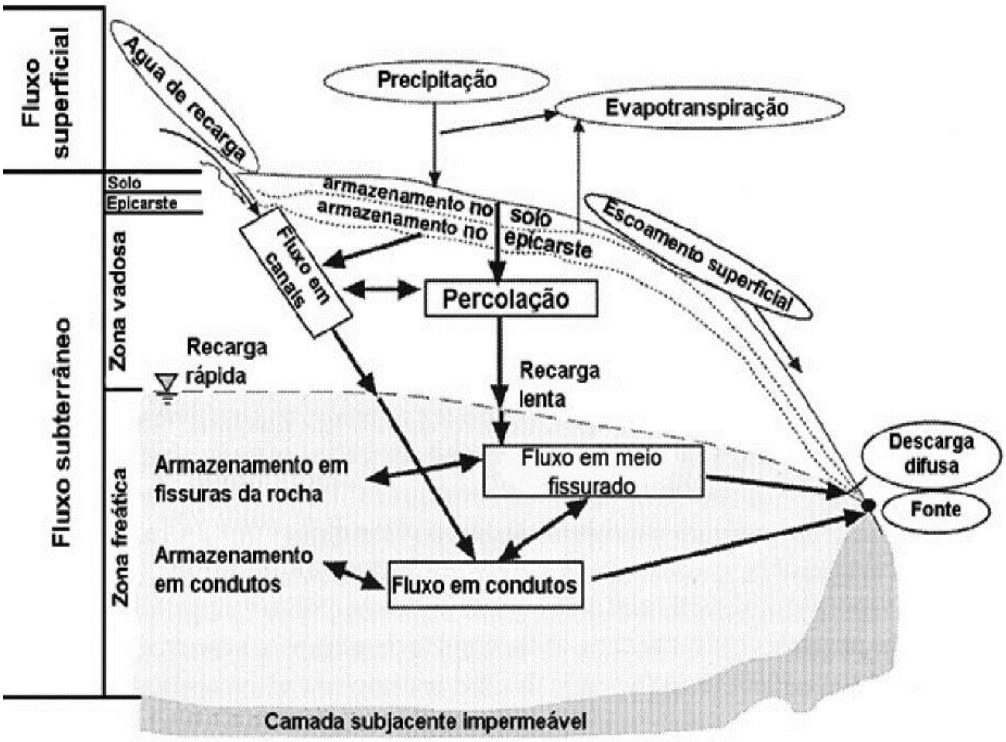

Figura 2.6: Modelo conceitual do fluxo de água em um aquífero kárstico (Travassos 2019).

2.4.1 Hidrogeoquímica

2.4.1.1 Águas superficiais

As águas superficiais são originadas diretamente da precipitação (aquela que não infiltra nem evapora) unida às águas subterrâneas. Suas características químicas são provenientes de interações gasosas e com a própria litologia exposta em seu leito e entorno (Szikszay 1993). Grandes cursos d'água carregam características tanto do substrato em que correm quanto da química advinda dos seus afluentes, ao passo que, essas particularidades são uniformizadas ao longo do percurso. Há também influência do clima e da estação: durante o inverno, a dissolução dos sais é mais intensa, ao passo que no verão, eles são diluídos pelo incremento de água (Sziksay 1993).

Em geral, nas regiões kársticas os cursos d'água são derivados diretamente de carbonatos ou de camadas acima destes. Nessas áreas, o comportamento intermitente da água é comum, visto que a explotação de água do subsolo pode ter grande influência no volume de água que extravasa nas áreas de nascentes (Travassos 2019). Isto porque, embora ainda exista o recurso hídrico no subsolo, a quantidade de água em subsuperfície pode variar significativamente ao longo do tempo, o que pode reduzir drasticamente o fluxo de superficial (Travassos 2019).

2.4.1.2 Águas subsuperficiais

As águas subterrâneas são determinadas pela absorção da água meteórica pelos solos e rochas. Eles são de grande importância pela capacidade que exerce em alterá-la quimicamente durante sua entrada em uma zona de alta atividade biológica e de grande espessura (Freeze e Cherry 2017). As características hidrogeoquímicas das águas subterrâneas são capazes de retratar tanto a origem como a evolução química de seus componentes (Apollaro *et al.* 2019). É a partir dessa interpretação que é possível se definir os valores de referência naturais (*background* geoquímico) para o local, assim como quais seriam as contribuições antrópicas e a melhor maneira de uso para esse bem mineral (Feitosa *et al.* 2008). Esse é um dos modos mais utilizados para se quantificar a vulnerabilidade desses sistemas hídricos (Moraru e Hannigan 2017).

Principalmente em ambientes kársticos, segundo Fitts (2014) as águas de chuva são insaturadas em Ca, Mg e íons de carbonato, o que proporciona a dissolução dessas rochas e assim, há alteração da composição química da água infiltrada em pequenas profundidades acrescendo as águas meteóricas desses compostos químicos. Conforme pontuado por Freeze e Cherry (2017) os principais fatores que favorecem a alteração química das águas em ambientes carbonáticos são: temperatura, pressão parcial de CO_2 e ao grau de saturação de calcita e dolomita. Esses são os catalizadores das reações químicas que irão controlar a sua composição. Entender a sua constituição e evolução são de significativa relevância dado que às águas subsuperficiais em ambientes carbonáticos apresentam caminhos ao longo de fraturas e de zonas de maior permeabilidade, dificultando o seu mapeamento. Além disso, as próprias águas ao diluírem as rochas, alargam seus canais e geram condutos diretos entre o lençol freático e ambiente, viabilizando a entrada de contaminantes (Palmer 1990).

2.4.2 Dinâmica e Contaminação Hidroquímica

Dentre os sistemas hidrológicos, os kársticos, que abastecem cerca de 25% da população mundial (Ford e Williams 2007), são provavelmente os mais sensíveis à degradação da qualidade de suas águas.

As águas precipitadas adquirem características próprias ao entrar em contato com as variáveis locais. Isto é, assim que é precipitada sofre reações químicas que mudam sua constituição quando se deparam com os sólidos, líquidos e gases que estão em seu caminho (ANA 2005). Isso é possível pelo fato de a água ser um excelente solvente e, assim, carreia os elementos dissolvidos, formando uma solução aquosa com elementos químicos provenientes dos locais por onde circula (Feitosa *et al.* 2008). No caso da contaminação de águas superficiais, a sua origem é diversificada. Como Guerra e Cunha (2001) apontam, principalmente no Brasil, a poluição dos cursos d´água se dá por meio do carreamento de resíduos industriais, urbanos, além da utilização de maneira irracional dos bens, causando a

intensificação da erosão, desmatamento e carreamento dos insumos provenientes da agricultura e mineração. Esses quando acrescidos das condições climáticas e pluviométricas, afetam ainda mais os mananciais hídricos.

Já a contaminação de águas subterrâneas têm sido uma pauta bastante discutida na atualidade. Apesar de menos frequente que a poluição em águas superficiais, o grande impasse para as águas subterrâneas é como controlar e detectar a propagação das substâncias potencialmente tóxicas (Freeze e Cherry 2017). Nas proximidades de centros urbanos, Athayde Júnior *et al.* (2009), indicam que as maiores fontes de contaminação desse bem natural é devido ao chorume proveniente dos depósitos de resíduos sólidos (esgotos a céu aberto, lixões, depósitos irregulares de lixos). Para as regiões rurais, grande parte do contágio das águas é ocasionado pelo uso de produtos químicos: inseticidas, adubos químicos, calcário, entre outros como foi observado por Paz *et al.* (2002), esses contaminantes, devido ao uso indiscriminado e sem auxílio técnico suficiente, acabam por serem introduzidos no solo e atingir os sistemas subterrâneos, o que agrava ainda mais a disponibilidade de água de qualidade.

Os principais poluentes de bacias hidrográficas são a disposição inadequada de lixos, a lixiviação dos produtos usados na agricultura, os superbombeamentos e a acidificação das águas (Rocha *et al.* 2009). Para as bacias rurais, os principais contaminantes estão relacionados ao uso inadequado do solo, assim como pelo uso indiscriminado de agroquímicos (Fritszons 1999; Merten e Minella 2002; Haddad 2007).

O Brasil é o país que mais consome agrotóxicos e consequentemente é o que mais afeta os mananciais superficiais e subsuperficiais por estes componentes (Ronei *et al.* 2018), haja vista que a agricultura é a ocupação humana que mais necessita de água doce no planeta (Haddad 2007). O uso de defensivos agrícolas tem por objetivo dizimar as pragas que devastam os plantios e, mesmo sendo aplicados sobre as plantas, o seu destino será o solo, isso porque quando a chuva ou a água da irrigação é aspergida sobre elas, os compostos químicos são lavados e o atingem. Posterior a esse fato, os agroquímicos são infiltrados e contaminam as águas subterrâneas e/ou são lixiviados para os níveis de base local, que geralmente são os corpos hídricos superficiais.

Trabalhos como os de Merten e Minella (2002), Cunha *et al.* (2002), entre outros apresentam as dificuldades quanto a qualidade das águas e do seu gerenciamento por estarem inseridas em propriedades ruais que utilizam de agroquímicos para uma solução parcial de um problema perene (plantio agrícola). Já as pesquisas lideradas por Letourneur e Michel (1971), Assaad e Jordan (1994), Fritzons (1999), Haddad (2007) dão um novo panorama a essa questão quando a insere em um contexto geomorfologicamente conhecido como karste.

Os sistemas kársticos são susceptíveis a contaminação por terem em seus substratos rochas que são extremamente solúveis. Essas com a ação da dissolução química e erosão mecânica originam feições

e alargam condutos, facilitando a entrada dos contaminantes (Letourneur e Michel 1971), já que cria uma comunicação direta entre a superfície e a subsuperfície. Yuan (1983) apud. Ford e Willians (1989) destaca que o descarte de lixo em comunidades rurais inseridas em ambientes kársticos são direcionadas às cavidades naturais já que assim, eles desaparecem "da vista e da mente". Fritzsons (1999) e Merten e Minella (2002) apontam que o nitrogênio é o principal elemento químico contaminante das águas em microbacias kársticas, já que sua origem no sistema é oriunda tanto do cultivo quanto do pastoreio.

A grande dificuldade de controle de contaminação em água subterrânea acontece pelo fato de que quando uma mistura de poluentes reativos entra em contato com as águas subterrâneas, a velocidade de movimento de cada espécie depende de sua fugacidade relativa de cada constituinte químico (Feitosa *et al.* 2008). Depois de um certo tempo t, a nuvem de poluição original terá se segmentado em áreas diferentes e cada parte avança na mesma direção, porém com velocidades diferentes, como pontuam Freeze e Cherry (2017). Ou seja, uma vez contaminado um aquífero, dificilmente será recuperado se não fizer usos de conhecimentos e técnicas adequadas e principalmente, compreender que é um processo que demanda um longo período para sua conclusão (CETESB 2022).

2.5 RECUPERAÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

É importante salientar que a água e as matas são inseparáveis, de modo que discutir sobre a preservação desse recurso automaticamente indica discorrer sobre biodiversidade, densidade de biomassa, recuperação de áreas degradadas, gestão de solos, mudanças climáticas e diversos outros temas (SMA, 2009). Para que isso se concretize, são necessários conhecimentos técnicos e científicos suficientes para um ótimo diagnóstico. Isso requer um monitoramento do local, a fim de diagnosticar e quantificar os principais problemas do local, além de quais as medidas para conter o avanço da degradação e mitigar seu efeito.

2.5.1 Preservação de Áreas de Nascentes

O primeiro passo a se realizar na proteção de uma nascente, é delimitar a área de sua microbacia. A delimitação da área pode ser realizada usando um Sistema de Informação Geográfica (SIG), no qual poderemos inserir imagens de sensores orbitais, ou imagens geradas por um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT). A partir disso é plausível defini-la dentro de características morfoclimáticas, geológicas, geomorfológicas além de questões bióticas, como os domínios de vegetação, bioma entre outras características. A partir de então inicia-se a discussão sobre como conservá-la e se possível, aumentar a produção de água.

A etapa mais simples viável economicamente é o cercamento da área, o que dificultará a passagem de animais de grande porte, como bois e cavalos que são os que mais utilizam os locais adjacentes ao recurso natural, em concordância com os métodos ensinados em SMA (2009) e aplicados por Zanzarini e Rosolen (2007), Ferreira *et al.* (2009), Dias *et al.* (2022).

Após essa etapa inicial, as pesquisas químicas da água indicarão sua qualidade e se é viável aumentar sua produção, conforme realizado também por Donadio *et al.* (2005), Scorsafava (2010), Santos (2013) etc.

Além disso, a recuperação da vegetação é indispensável para concluir o processo de reestabelecimento das condições naturais. A cobertura florestal tem um impacto positivo na hidrologia do solo, melhorando a infiltração, os processos de infiltração e armazenamento de água, reduzindo os processos de escoamento superficial e promovendo os processos de escoamento subterrâneo, o que leva à redução dos processos de erosão (Lima 1986). O uso desse mecanismo obteve sucesso, segundo trabalhos como de Honda e Durigan (2017), Gomes (2021), entre outros.

CAPÍTULO 3

CONTEXTOS GEOLÓGICO E AMBIENTAL

Neste capítulo, serão apresentados a geologia e a caracterização ambiental da região onde está inserida a microbacia. Por ser um lugar nunca estudado antes, as informações bibliográficas encontradas através de estudos anteriores são da região onde se encontra a microbacia, que pode ter peculiaridades locais, que não foram alvo deste estudo.

3.1 CLIMA

O clima predominante na área onde se localiza a microbacia estuda é o Tropical Brasil Central quente, A_w de Köppen (Alvares *et al*. 2013), com temperaturas médias acima dos 18º C. Sua caracteristicas principal são as duas estações bem marcadas, uma chuvosa (outubro a março) e uma seca, com pico entre os meses de julho a setembro. Segundo Libano e Felfili (2006), a precipitação total anual média é de 1.425 mm, umidade relativa do ar em torno de 67% sofrendo um decréssimo para 50% nos meses de maio e setembro, sendo todos esses fatores variantes de acordo com questões locais.

3.2 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

Segundo CPRM (2020), a região está situada sobre rochas da Formação Lagoa do Jacaré, uma das unidades que compõem o Grupo Bambuí.

3.2.1 Grupo Bambuí

O Grupo Bambuí está localizado sobre o Cráton São Francisco e registra coberturas neoproterozoicas que sofreram deformações posteriores, sobretudo do Evento Brasiliano (Bizzi *et al.* 2003). Constituído por sedimentos pelíticos-carbonáticos, conforme a classificação proposta por Dardenne (1978), é composto por seis formações: Jequitaí, Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré, Serra da Saudade e, por fim, Três Marias (Tabela 3.1). Seis anos após a classificação feita por esse autor, Schobbenhaus *et al.* (1984) mantiveram a proposta de divisão apresentada, no entanto, separaram as formações Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré e Serra da Saudade no Subgrupo Paraopeba. Dando seguimento aos estudos, Martins-Neto e Alkmim (2001) caracterizam os sedimentos encontrados no Grupo Bambuí como depositados em uma região estável de uma plataforma

marinha correlacionada ao preenchimento de uma bacia de ante-país gerada pela movimentação da Faixa Brasília.

Tabela 3.1: Divisão litoestratigráfica do Grupo Bambuí (Neves 2020; baseado em Dardenne 1978a, 1979 e 1981).

	Formação	Características litológicas	Ambiente de sedimentação
GRUPO BAMBUI	Três Marias	Siltitos, arenitos e arcoseos cinza a verde-escuros.	Ambiente fluvial. Ambiente marinho a sublitorâneo, alternante. Ambiente marinho litorâneo, agitado, submetido a influência de ondas e correntes de maré; exposição subaérea temporária, frequente na zona de intermarés.
	Serra da Saudade	Folhelhos, argilitos e siltitos verdes, com lentes de calcário subordinado.	
	Lagoa do Jacaré	Calcários oolíticos e pisolíticos, cinza escuros, fétidos, siltitos e margas.	Ambiente marinho litorâneo, agitado, submetido a influência das ondas e correntes de maré.
	Serra de Santa Helena	Folhelhos e siltitos cinza a cinza esverdeados.	Ambiente marinho sublitorâneo, abaixo do nível de base das ondas e correntes de maré, profundidade moderada.
	Sete Lagoas	Calcários dolomíticos e calcários microcristalinos finamente laminados, de cor cinza. Dolomitos bege litográficos, laminados com intraclastos, oólitos e estromatólitos colunares	

3.2.1.1 Formação Lagoa do Jacaré

A Formação Lagoa do Jacaré (Costa e Branco 1961) é, segundo Dardenne (1978), formada por uma variação de calcários oolíticos e pisolíticos, de coloração acinzentada, com estratos siltosos e algumas margas. Para Lima (2005), ocorrem ainda calciruditos e doloruditos intercalados com raras bioconstruções carbonáticas.

Para Iglesias (2007), o ambiente deposicional da Formação Lagoa do Jacaré pode ser definido como sendo similar a uma plataforma carbonática de alta energia. Os depósitos registrariam uma sedimentação regressiva, com episódios de tempestade e calmaria. Estudos mais recentes, publicados por Uhlein *et al.* (2019), fragmentam a Fm. Lagoa do Jacaré em duas sucessões: na parte inferior, grainstones com estruturas sedimentares de ondas de tempestade (*hummocky*); e, no topo, sedimentos que mesclam carbonatos e siliciclásticos, com formação de rochas típicas de situações de calmaria. Em 2021, utilizando o método Camures (Caracterização Multiescalar de Reservatórios), Freitas *et al*. (2021) com base nas litofácies e estruturas sedimentares encontradas nos afloramentos de uma pedreira desativada na região de Paraopeba/MG, reconheceram elementos de uma sedimentação sob influência de ondas de tempestade, destacando a presença de ciclos tempestíticos depositados em uma plataforma carbonática rasa. No mais recente trabalho, Dantas *et al*. (2022), ao analisarem as fácies e a variação de isótopos estáveis em uma seção exposta dessa formação na região de Paraopeba, também encontraram

claras evidências de uma sedimentação influenciada por tempestades, corroborando o modelo proposto anteriormente.

3.3 GEOMORFOLOGIA E SOLOS

A microbacia de estudo situa-se em uma região geomorfológica conhecida como Depressão do Alto-Médio Rio São Francisco. Conforme Simões *et al.* (2020), a Serra do Espinhaço (unidade limítrofe) é uma compartimentação de terras altas que se comporta como divisor de águas dos rios São Francisco, Jequitinhonha e Doce. É exatamente por essa compartimentação que a depressão do alto-médio Rio São Francisco foi gerada, que apresenta altitudes variando entre 550 a 1485 metros. As maiores altimetrias estão na Serra da Canastra, onde nasce o rio São Francisco e as menores na represa de Três Marias (MG), conforme o trabalho de Araujo *et al*. (2022).

Santos *et al*. (2006), com base em mapeamento da EMPRABA, indicam que a região é coberta por três tipos de solo: argissolos vermelhos eutróficos, argissolos vermelhos distróficos e latossolos vermelho-amarelos distróficos. Os argissolos são caracterizados por possuírem grandes quantidades de argila, cuja coloração é em tons de vermelho ou amarelo. Pela sua grande quantidade de argila são imperfeitamente drenados e moderadamente ácidos (Santos *et al*. 2018). Segundo o mesmo autor, os latossolos são definidos como sendo solos bastante evoluidos que já sofreram uma grande quantidade de troca iônica e em avançado estado de intemperismo. Esse já são bem drenados, ebora a depender da sua coloração pode ter sua capacidade reduzida pelo processo de gleização.

3.3.1 Análise de Solos

Sete amostras de solo da microbacia foram avaliadas quanto à sua fertilidade (**Tabela 3.2**). Os solos são levemente alcalinos, com valores de Al trocável inferiores a 0,5 $cmol_c\ dm^{-3}$, teores altos de Ca e Mg, saturação por bases superior a 70%, indicando que não há necessidade de correção da acidez com adição de calcário dolomítico (EMBRAPA, 2015). Além disso, possuem altos teores de matéria orgânica e demais nutrientes, mostrando que se trata de solos férteis e sem necessidade de adição de adubos.

A amostra AML1, em destaque azul na Tabela 3.2 foi coletada do lisímetro através de uma homogeneização das amostras P1, P2 e P3. É evidente que para todos os parâmetros estudados, há uma semelhança entre os valores obtidos pela média (P1 a P3) quando comparadas com os valores de AML1, haja vista que todos os itens analisados se encontram dentro dos limites superior e inferior do desvio padrão. No entanto, é importante destacar que para o lisímetro todos os valores mostram-se enriquecidos já que o local não sofre escoamento superficial como no córrego, o que acaba por lixiviar esses elementos.

Tabela 3.2: Tabela com as características das setes amostras de solo analisadas, onde: DP – desvio padrão; t - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva, T - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0, V = Índice de Saturação por Bases, m = Índice de Saturação por Alumínio, ISNa - Índice de Saturação por Sódio, MO = Matéria Orgânica, P-rem = Fósforo Remanescente, S - Extrator - Fosfato monocálcico em ácido acético, B - Extrator água quente e N - N total - Digestão sulfúrica - Destilação Kjeldhal.

Parâmetros	**Pontos**							
	P1	**P2**	**P3**	**AML1**	**R1**	**R2**	**R3**	**Média**
pH (H20)	7,5	7,48	7,48	7,53	4,56	6,63	6,97	6,88
pH (KCl)	6,9	6,81	6,85	6,94	4	6	6,05	6,22
P (mg/L)	0	27,6	61,6	34,4	2,2	9,8	10,7	20,9
Ca2+ (cmolc/L)	12,59	14,1	14,25	12,53	1,16	16,42	12,68	11,96
Mg2+ (cmolc/L)	0,83	0,85	0,9	0,77	0,57	1,61	1,74	1,04
Al3+(cmolc/L)	0	0	0	0	0,88	0	0	0,13
H + Al (cmolc/L)	0	0	0	0	4,7	2,3	1,6	1,2
SB (cmolc/L)	13,51	15,13	15,36	13,48	2,03	18,8	16,06	13,5
t(cmolc/L)	13,51	15,13	15,36	13,48	2,03	18,8	16,06	13,5
T(cmolc/L)	13,51	15,13	15,36	13,48	6,73	21,1	17,66	14,7
V (%)	100	100	100	100	30,2	89,1	90,9	87,2
m (%)	0	0	0	0	30,2	0	0	4,3
MO (dag/kg)	2,49	4,44	4,99	4,15	1,73	10,28	6,9	5,0
P-Rem (mg/L)	32,3	35,1	34,8	36	33,1	28,1	30,7	32,9
S(mg/L)	319,7	2,9	1,7	174,5	12,6	0,5	0,6	73,2
B(mg/L)	0,05	0,06	0,06	0,05	0,07	0,18	0,15	0,1
Cu(mg/L)	0,22	0,55	0,71	0,73	1,64	0,25	0,24	0,6
Mn(mg/L)	23,5	54,7	51,5	49,4	47,3	86	63,2	53,7
Fe(mg/L)	1,6	9,9	9,5	17,3	58,5	5,2	9,9	16,0
Zn(mg/L)	0,78	2,05	3,34	2,57	0,27	1,62	2,06	1,8

3.4 HIDROGRAFIA E AQUÍFEROS

A microbacia Sambaíba faz parte da sub-bacia do rio Pardo, componente da Média Baixa bacia do rio das Velhas, o qual é um dos grandes afluentes da bacia hidrográfica do rio São Francisco (Figura 3.1). Rodrigues (2011) mostra que aquela bacia se destaca por sua localização entre as Serras do Espinhaço (Supergrupo Espinhaço na parte oriental) e pelas rochas do Grupo Bambuí (Depressão do Alto-Médio Rio São Francisco, na parte ocidental), sendo o rio das Velhas é o nível de base regional. A microbacia pertence à Unidade Territorial Estratégica (UTE) Rio Pardo, tendo sido o subcomitê da bacia hidrográfica do rio Pardo instituído no dia 07 de novembro de 2022.

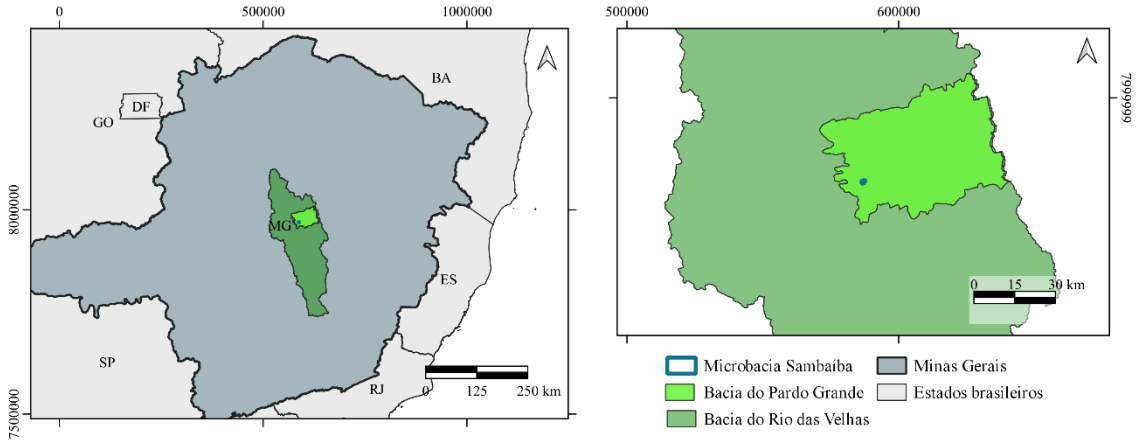

Figura 3.1: Mapa de localização da microbacia Sambaíba na UTE Rio Pardo, inserido no Bacia do Rio das Velhas. Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Na área de abrangência da UTE Rio Pardo estão localizadas três estações de amostragem de qualidade das águas do IGAM, sendo duas no rio das Velhas e uma no ribeirão Pardo Pequeno. As águas das primeiras estão enquadradas na Classe 2 e as da última na Classe 1. Segundo o CBH Rio das Velhas (2022), os principais agentes de degradação da qualidade dessas águas superficiais são os lançamentos de esgotos domésticos brutos e o aporte de cargas difusas. Rodrigues (2011) quando estudava os afluentes do rio Pardo Grande, os quais correm sobre a mesma geologia da Microbacia Sambaíba, rochas do Grupo Bambuí, destacou que suas águas apresentavam quase sempre coloração escura, porém translúcida (como ocorre na microbacia em estudo), haja vista que transportam muitos íons dissolvidos e poucas partículas em suspensão.

Quanto à composição química das águas de aquíferos em rochas da Fm. Lagoa do Jacaré, a pesquisa de Costa *et al.* (2019) mostra que há uma tendência das águas serem bicarbonatadas e cálcicas e secundariamente sódicas e cloretadas. Ainda segundo esses autores, a dureza de suas águas varia de 193,25 a 405,3 mg/L e pHs próximos a 7,5 (levemente alcalino). Ademais, os dados do estudo indicam que os íons Na^+, Cl^-, SO_4^- e HCO_3^- exercem forte interferência na condutividade elétrica indicando que os fatores litológicos e pluviométricos poderiam ser os responsáveis pela salinidade das águas.

3.5 VEGETAÇÃO E HISTÓRICO DE USO E OCUPAÇÃO

A vegetação dominante na parte central do estado de Minas Gerais é o bioma conhecido como Cerrado (Ab'Saber 2003). Esse domínio fitogeográfico se apresenta com pertinente homogeneidade tanto do panorama ecológico quanto do fisiográfico.

Na região de estudo é possivel identifiar a presença de formas florestais, issto é, matas de galeria, florestas estacionais e "matas secas", além de matas ciliares. Rodrigues (2011) ressalta que nessa região, onde se encontram terrenos acidentados, é possivel que não haja uma transiçao evidente entre o Cerrado e Mata Seca, fato que camufla a existencia delimitada de Mata Ciliar.

Segundo o CBH Rio das Velhas (2022), a sub-bacia do rio Pardo Grande sofre com a expansão das atividades agropecuárias e consequente retirada da vegetação nativa e lançamento de efluentes domésticos e industriais. Assim, cabe destacar o quanto a pressão antrópica tranformou o cenário de Cerrado em extensivas pastagens para o uso da pecuária bovina de leite e corte. Conforme a Figura 3.2, devido a baixa qualidade das imagens do Google Earth, o histórico de uso e ocupação começou em 2010. No entanto, a partir desse período a degradação do local já havia iniciado, tranformando o Cerrado em pastagens restando apenas a área das matas ciliares, de galeria e a APP determinada por lei.

Figura 3.2: Histórico de uso e ocupação da microbacia, obtido através da extensão de imagens históricas do Google Earth Pro.

CAPÍTULO 4

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado conforme as seguintes etapas:

4.1 DELIMITAÇÃO DA MICROBACIA E SEU USO E OCUPAÇÃO

Para a delimitação da microbacia, a partir do MDE (Modelo Digital de Elevação) gratuito, obtido através do ASF, cujo projeto pertence a NASA Earth Science Data and Information System (ESDIS), operando entre janeiro de 2006 a maio de 2011 e possui resolução espacial de 12,5m. Realizou-se a extração das curvas de nível a fim de se identificarem os altos topográficos e o exultório da microbacia (Figura 4.1). Dessa maneira, foi determinado o perímetro da área da microbacia estudada para posteriormente ser caracterizado seu uso e ocupação. Em função do tamanho reduzido da microbacia, para essa caracterização foi utilizada uma imagem de radar Alos Palsar devido à sua resolução espacial.

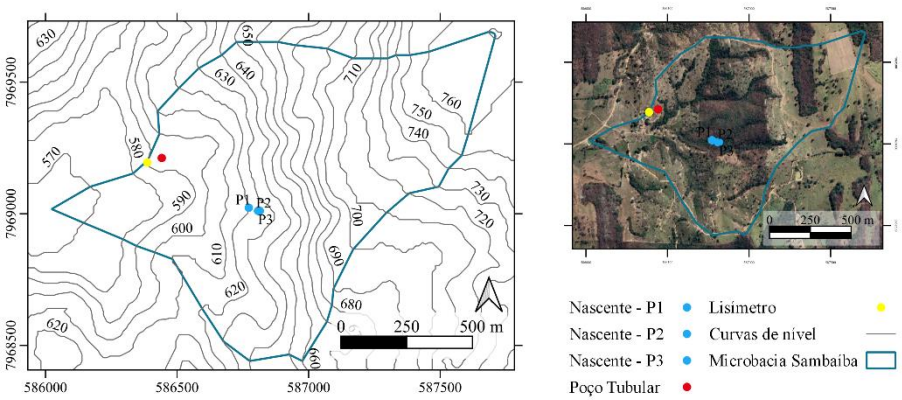

Figura 4.1: Mapa de delimitação da microbacia Sambaíba, com destaque para a localização dos pontos de coleta em azul, lisímetro em amarelo e poço tubular em vermelho.

4.2 TRABALHOS DE CAMPO

4.2.1 Instalação de Equipamentos: lisímetro e pluviômetro

Para o monitoramento do ciclo hídrico, foi instalado um lisímetro a fim de reproduzir as condições do solo próximo à nascente e assim calcular a taxa de infiltração no local. O lisímetro foi montado em uma caixa d'água de 1000 L (Figura 4.2A). Instalado com uma leve inclinação, o lisímetro possui uma torneira para coleta da água de chuva que infiltra pelo solo. Para preenchimento da caixa d'água foram coletadas amostras de solo em 3 locais diferentes ao longo da microbacia: cabeceira, meia

encosta e próximo ao exultório. Os solos foram coletados manualmente entre 0 e 20cm. Após coletas, as amostras foram homogeneizadas e só então colocadas no lisímetro.

Concomitantemente, foi instalado um pluviômetro Walmur no mesmo local, para registro da pluviosidade (Figura 4.2 B). O pluviômetro possui 22 cm, com um diâmetro de que varia de 4cm (parte superior) a 3cm (parte inferior), sendo feito de acrílico com proteção contra raios UV do sol (Figura 4.2 B).

Cabe ressaltar que já existia na microbacia, na propriedade rural denominada Sambaíba, um poço artesiano, instalado em 1982. O poço possui vazão de 30.000L/h aproximadamente, cuja profundidade é de 65m. Seu uso é bastante variável, já que é a única fonte de água da propriedade. Dessa forma, sua água é utilizada para a dessedentação humana e animal, higiene pessoal e de ambiente, além de irrigação.

Figura 4.2: A - Lisímetro para o estudo da infiltração da água no solo, reparar a caixa de isopor (contendo o recipiente de coleta de água de infiltração) e a mangueira. B - Pluviômetro Walmur instalado para medir a pluviosidade do local.

4.2.2 Medidas *In Situ*

4.2.2.1 Registo da pluviosidade (pluviômetro)

A medição do volume diário acumulado de chuva foi realizada com o auxílio da graduação em mm precisamente adaptada a conicidade do cilindro que compões o pluviômetro, sem distorções, e documentada pelo responsável da leitura.

4.2.2.2 Registo da taxa de infiltração (lisímetro)

Para o monitoramento da taxa de infiltração, foi instalada uma mangueira (vermelha) no fundo do lisímetro (este levemente inclinado), que transportava a água infiltrada até um recipiente devidamente lacrado e armazenado em caixa de isopor (branca) para evitar perdas por evaporação (Figura 4.2 A). Mensalmente o recipiente era retirado e o volume de água acumulado medido.

4.2.2.3 Registo da vazão do córrego

Para monitoramento da vazão do córrego, foi escolhido um ponto mais à jusante desse curso d'água, que possuía uma facilidade geológica para a instalação do copo medidor, além de representar o ponto de maior vazão em água corrente (Figura 4.1; ponto 3). A medida da vazão foi feita pelo método volumétrico, com o auxílio de cronômetro e copo graduado de 1000ml (Figura 4.3). A periodicidade das medidas foi mensal.

Figura 4.3: A – Detalhe do local da medida de vazão com o copo medidor, B – Copo medidor usado para calcular a vazão do rio com auxílio de um cronômetro.

4.2.2.4 Parâmetros físicos e químicos das águas

Foram medidos *in situ*: condutividade elétrica, potencial de oxirredução, resistividade, pH, sólidos totais dissolvidos (STD) e temperatura. Para tal foi usado um multiparâmetro (Ultrameter II da marca Myron L). Já para se determinar a concentração de nitratos, sulfatos, fosfatos e cloretos foi utilizando o colorímetro de campo modelo DR890 HACH (Figura 4.4) e seus respectivos reagentes: (NitraVer®5, PhosVer®3, SulfaVer® e Chlorine®), todos reagentes da HACH®.

Foram analisadas: águas do córrego em três pontos distintos (Figura 4.1) um próximo à nascente (P3), um próximo ao exultório da microbacia (P1) e um intermediário (P2); água do lisímetro e água do poço artesiano. Este último, instalado há 40 anos, é do tipo tubular (Figura 4.1).

Figura 4.4: Processo de análise de amostras pelo colorímetro HACH®.

4.2.3 Coleta de Amostras

4.2.3.1 Amostras de águas para análises geoquímicas

- Água da Chuva

Para as coletas de água pluvial, utilizou-se um recipiente de 2 L, previamente lavado com água destilada. Posteriormente à coleta, as águas foram distribuídas em dois frascos distintos: um âmbar, com batoque e vedado com o máximo de água admitida (60 mL) e sem bolhas. Essas amostras foram encaminhadas para análise isotópica, por isso não houve adição de ácidos ou outros químicos; e um

cristal, de capacidade de 30 mL, em que foram adicionadas três gotas ácido nítrico, esta amostra destinada à análise química de elementos maiores, menores e traço.

- Águas Superficiais

Nos mesmos pontos de medidas *in situ*, foram coletadas amostras 30 mL de água (Figura 4.5), que foram filtradas com membranas de 0,45 µm adaptadas em seringas de 50 mL para separar o material particulado. O volume foi acondicionado em frascos plásticos, com tampas de fundo branco. Ainda em campo, as amostras foram acidificadas com ácido nítrico concentrado e preservadas refrigeradas a 4ºC. Paralelamente, foram coletadas duas amostras de 1L de água em garrafa plástica para determinação da alcalinidade.

- Águas de Subsuperfície

Para a coleta das águas de subsuperfície foi necessário cessar o bombeamento por cerca de 12 horas. Subsequente a isto, o bombeamento foi recomeçado e esperou-se cerca de 10 minutos para o momento de purga. Terminada a purga, fez-se a coleta de amostras de água, tendo duas finalidades diferentes: análise isotópica e química, com respectiva distinção de frascos (60 e 30 mL) e procedimentos de armazenagem como os descritos no item “água da chuva”.

- Águas do Lisímetro

Da mesma maneira que as águas superficiais, a água retida no recipiente de drenagem do lisímetro foi coletada com todos as ressalvas devidas. Além disso, devido à coloração da água, bem como das partículas de solo em suspensão, a água foi filtrada e adicionada em frascos plásticos cristal (30 mL), acondicionadas em refrigeração após ser acidificada com 3 gotas de ácido nítrico.

Figura 4.5: A – detalhe da coleta e filtragem de amostras em campo para análise no ICP - OES, B – detalhe das membranas usadas para a filtragem da água.

4.2.3.2 Amostra de água superficial para análises microbiológicas

Na primeira campanha de campo, foi coletada uma amostra para avaliação da presença de bactérias na água do córrego. Essa amostra deveria ser coletada com no máximo 24h de intervalo entre a coleta e a análise laboratorial, o que impediu a realização de outras amostragens, função da distância da microbacia.

4.3 ANÁLISES LABORATORIAIS

4.3.1 Determinação da Alcalinidade

A alcalinidade foi quantificada em laboratório através de métodos de titulação, usando-se alaranjado de metilas e H_2SO_4 (0,01 mg/L). Essas análises foram realizadas em duplicata. Para tal, foi preparada uma solução de ácido sulfúrico, a qual foi transferida para um balão volumétrico de 1000 ml e misturada com o alaranjado de metila. Com uma pipeta de 25 ml foi adicionada a amostra de água. Após o procedimento de preparação da instrumentação, começou-se a titulação.

Cuidadosamente, a água caia na solução que foi agitada conforme as diretrizes paro procedimento, até que ocorreu a mudança de coloração da mistura, fato que marca o ponto ideal do experimento. A *posteriori*, foi quantificada a alcalinidade com base na equação (2):

$$C_{CaCO_3} = \frac{m_{CaCO_3}}{V_{amostra}} = \frac{C_{H_2SO_4}(V_{mo}+V_{ff})M_{CaCO_3}}{V_{amostra}} = \frac{100g/molXC_{H_2SO_4}(V_{mo}+V_{ff})}{0,1L} = 1000xC_{H_2SO_4}V_{mo} \quad (2)$$

4.3.2 Determinação da concentração de elementos maiores, menores e traço em águas

No total, foram coletadas 127 amostras para análise geoquímica de águas (11 de água da chuva, 84 de água do córrego – 28 em cada ponto amostral, 9 do lisímetro e 23 de água de subsuperfície), com a determinação de elementos maiores, menores e traço. A determinação da concentração foi realizada em um ICP-OES "Agilent 725", no laboratório de Geoquímica Ambiental do DEGEO (UFOP), previamente calibrado com o material de referência LKSD-01 (CCNRP-Canadá). Foram analisados 13 elementos químicos: Ba, Li, Sr, Zn, Al, Fe, Mn, Ca, K, Mg, Na, P e S. Junto com as amostras, foi feita a leituras de uma amostra de água deionizada, utilizada como branco.

4.3.3 Análise Isotópica

Para o estudo isotópico foram analisadas 12 amostras, sendo elas proveniente da chuva (2), nascente (6) e poço tubular (4). A distinção entre as amostras assim como suas datas de coleta está discriminada na Tabela 4.1. Os isótopos foram analisados em espectrômetro de massas de razão isotópica para elementos leves (IRMS) da marca Thermo Scientific, modelo DELTA V. O padrão utilizado para calibração foi o VSMOW (*Vienna Standard Mean Ocean Water*).

Tabela 4.1: Relação de origem e data das amostras coletadas para análise isotópica. Vale ressaltar que o ponto P3 foi chamado de montante e o ponto P1 de jusante na tabela.

Amostras		Data de coleta
Chuva		01/11/2020
		12/02/2021
Córrego	Jusante	09/08/2020
	Montante	09/08/2020
	Montante	16/01/2021
	Jusante	16/01/2021
	Jusante	13/03/2021
	Montante	13/03/2021
Poço tubular		18/08/2020
		26/09/2020
		07/02/2021
		14/03/2021

4.3.4 Análise microbiológica da água de superfície

Em laboratório, para a análise microbiológica da água de superfície foi utilizado o método de Colilert, que utiliza da tecnologia de substrato definido (Defined Substrate Technology®) para a detecção de coliformes torais e *E.coli* em água. Esse método funciona a partir da mudança de coloração da água a partir da presença da *E.coli*, isso ocorre a partir do momento em que a bactéria se reproduz e metaboliza o indicador de nutriente ONPG.

4.4 TRATAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS

Os dados de pluviosidade registrados foram comparados com os dados da estação pluviométrica situada em Santo Hipólito/MG (01844001, HIDROWEB, 2022). Já os dados de isótopos estáveis obtidos foram comparados com os trabalhos já realizados no aquífero Bambuí, bem como com os trabalhos que utilizaram dados isotópicos, tais como Silveira e Junior 2002, Barbosa *et al.* 2018, Carvalho 2018, Zhao *et al.* 2018, Ribeiro 2020, Jesus 2020, Gatsmans *et al.* 2021, entre outros. Além disso foram obtidos os dados da estação de Belo Horizonte (MG), operada pelo GNIP em parceria com o AIEA.

A fim de se avaliar quais dos parâmetros analisados seriam capazes de individualizar os diferentes tipos de águas, separando-as em superficial, subterrânea e infiltrada no lisímetro, foi feita, inicialmente, uma análise de principais componentes (PCA) com os resultados das análises geoquímicas advindas do ICP-OES. O teste de Kolmogorov – Smirnov (K – S) foi o escolhido para se avaliar a normalidade da distribuição dos dados geoquímicos. Para dados com distribuição não normal foi aplicado o teste não paramétrico Kruskal-Wallis e para as distribuições normais a ANOVA (acoplada com método de comparação múltipla de Tukey) Todas as análises estatísticas foram realizadas com o software MINITAB 18®, adotando-se um intervalo de confiança de 5% ($p<0,05$). Além disso, foi utilizado o software Qualigraf® para a classificação hidrogeoquímicas das águas em relação a dissolução de íons maiores.

Os dados da geoquímica de águas foram comparados com os padrões de potabilidade e qualidade definidos nas legislações ambientais atualmente vigentes no Brasil. Além disso, diagramas de Piper e Stiff foram confeccionados para a classificação das águas do poço tubular e do lisímetro.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 USO E OCUPAÇÃO DA MICROBACIA

A Figura 5.1 exibe o mapa de uso e ocupação do município de Santo Hipólito (MG), onde está inserida a microbacia estudada (IBGE 2002). Nela identificamos que grande parte do município está sobre o domínio de sistemas agropastoris – principalmente pastagens, fato que não é diferente da microbacia Sambaíba.

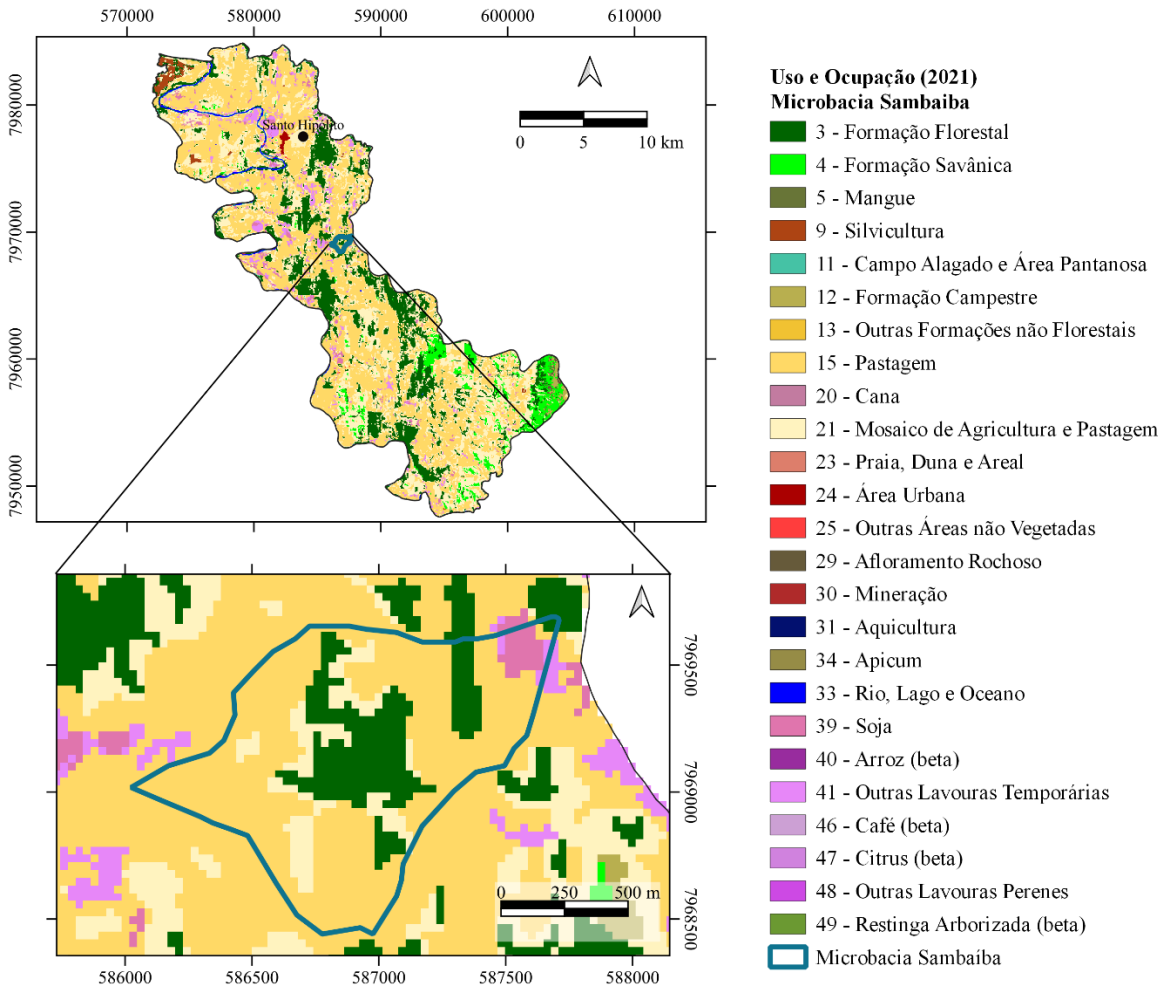

Figura 5.1: Mapa de uso e ocupação do limite municipal de Santo Hipólito (MG) que engloba a microbacia estuada em destaque na imagem (Adaptado de Mapbiomas 2022).

A Figura 5.2 traz o mapa de uso e ocupação da microbacia Sambaíba em setembro de 2022. Como se pode observar, a maior parte da área é usada para pastoreio ou para agricultura de sorgo, o que de fato implica para a grande degradação sofrida pela microbacia causada pelo uso irracional do seu entorno.

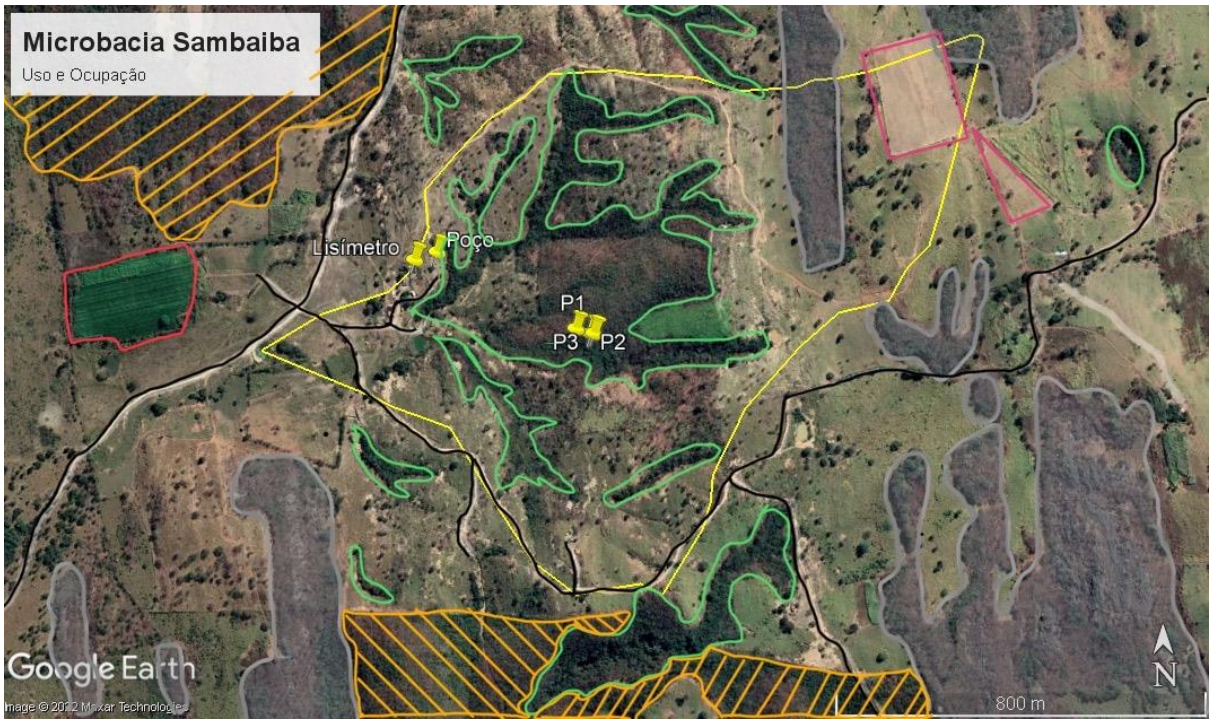

Figura 5.2: Mapa de uso e ocupação do entorno da microbacia estudada. Em amarelo a delimitação da microbacia Sambaíba, tons acinzentados os afloramentos das lentes calcárias da Fm. Lagoa do Jacaré, em vermelho a plantação irrigada e em rosa agricultura não irrigada, hachurado em laranja as áreas de Cerrado preservado, em verde as matas ciliares e em preto as estradas vicinais.

5.2 PLUVIOSIDADE, TAXA DE INFILTRAÇÃO E VAZÃO

5.2.1 Pluviosidade

Os gráficos da Figura 5.3 mostram a pluviosidade no período entre outubro de 2019 e março de 2021, cumprindo um total 18 meses de monitoramento. A pluviosidade em 2020 foi de 1063 mm, sendo esse valor compatível com o registrado na Estação de Santo Hipólito/MG (01844001; HIDROWEB 2022), que foi de 1948,8 mm. Os gráficos apresentam padrões muito semelhantes, com a evidente distinção entres as duas estações do ano: chuvosa (outubro a março) e seca (abril a setembro). Apesar disso, o pluviômetro instalado na microbacia registrou diferenças importantes nos últimos meses do monitoramento, em especial em outubro/2020 e fevereiro/2021, com registros ultrapassando os 300 mm de total mensal. Nesses meses, houve diversos eventos de precipitação de elevada intensidade na microbacia, algo que não foi registrado na estação que dista 20 km do local, principalmente no dia 31/10/2020, que registrou uma chuva de 168 mm (Apêndices).

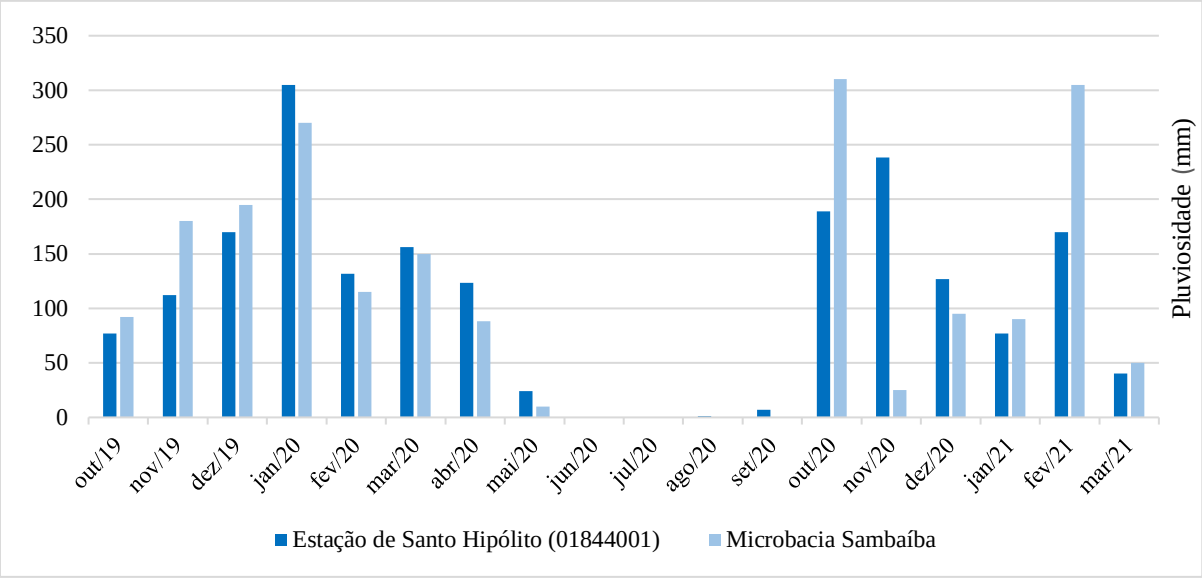

Figura 5.3: Gráfico de barras mostrando a pluviosidade em Santo Hipólito/MG (01844001, HIDROWEB 2022) e na microbacia Sambaíba.

A existência de duas estações bem-marcadas é uma característica do clima do tipo Topical Brasil Central – quente e semiúmido, com 4 a 5 meses secos (IBGE, 2002). Ele se caracteriza por chuvas torrenciais, como as registradas. Também denominadas como chuvas convectivas, tem sua geração no verão causada pelo calor em grande proporção unido ao excesso de umidade (Collischonn e Dornelles 2013). Sua característica principal é a alta intensidade e curto intervalo de duração (Mello e Viola, 2013). Esse tipo de chuva com alta intensidade e concentração territorial acaba por causar maiores danos aos solos, como enxurradas e erosão (Dedecek 1988).

5.2.2 Taxa de infiltração (lisímetro)

A Figura 5.4 apresenta os dados do volume mensal de água infiltrada no lisímetro e o total de chuva acumulada nos mesmos meses. Como se pode observar, entre 16 e 22% de toda água precipitada foi infiltrada (média= 18,7 ± 2,3%).

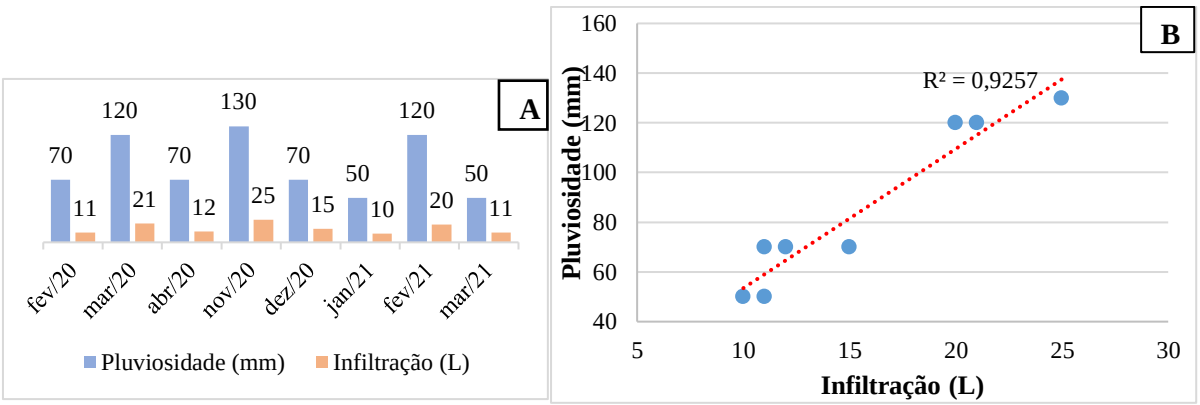

Figura 5.4: Gráficos com os dados de entrada de água (Pluviosidade - P) e de saída de água (Infiltração - L) no lisímetro: A) gráfico de barras e B) regressão com o valor de R^2 e linha de tendência.

5.2.3 Vazão do córrego Sambaíba

O córrego Samambaia, apesar de pequeno, apresentou vazões cuja média é 5,13 x 10^{-5} m^3/s ou 184,66 L/h. Vale ressaltar que, como esperado, as maiores vazões foram registradas nos meses chuvosos, como por exemplo 351 L/h em março de 2020 (máximo registrado) e decrescer nos meses de seca mostrando valores de 26,73 L/h em setembro de 2020 (mínimo registrado; Figura 5.5).

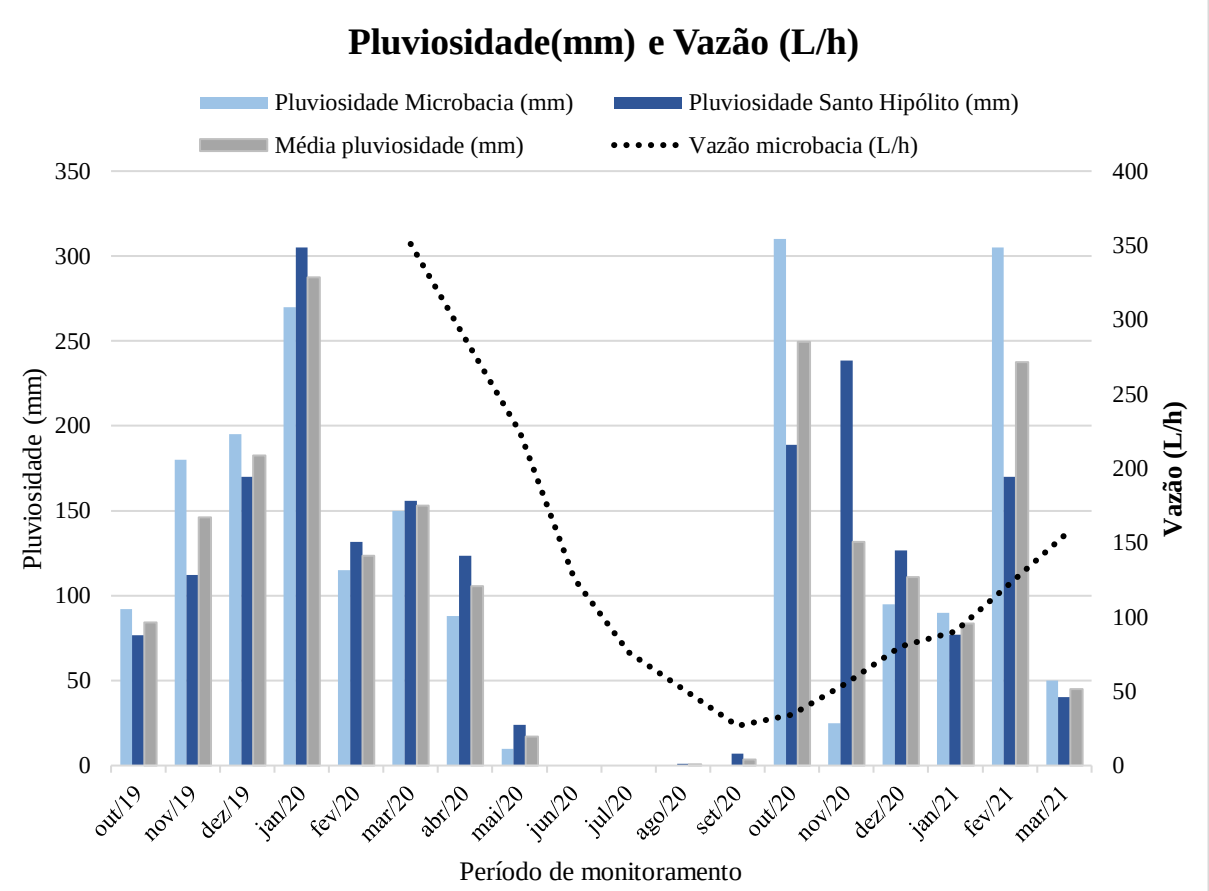

Figura 5.5: Gráfico indicando a relação entre a pluviosidade e vazão da microbacia estudada.

Em microbacias como a estudada, durante o período de seca, a ausência de precipitação em diversos meses faz com que a vazão do córrego seja total dependente do aquífero (Reichardt e Timm 2022). Muitas vezes, microbacias são abastecidas por aquíferos granulares rasos (nos solos pouco espessos), cujo volume armazenado durante o período chuvoso é insuficiente para a manutenção da nascente, fazendo com que muitos córregos se tornem intermitentes (Fitts 2014). Áreas de microbacias, normalmente mais declivosas, há uma tendência a privilegiar o escoamento superficial em detrimento

da infiltração e consequente recarga do aquífero (Oliveira *et al.* 2016). Este parece ser o caso da microbacia Samambaia, onde menos de 22% do total precipitado infiltra a ponto de promover a recarga.

Apesar do córrego Samambaia não ter secado durante o período estudado, moradores da região relataram, em conversas informais, que a produção de água na nascente do córrego Sambaíba era muito maior do que o observado hoje. Segundo eles, mesmo em períodos de grandes estiagens, o córrego Sambaíba não só não secava como mantinha um volume de água muito superior ao que é observado hoje. A redução drástica das vazões dos córregos na região estudada durante os meses de estiagem, ressalta a importância do uso de águas subterrâneas para o suprimento das cidades próximas e da região onde a microbacia estudada se localiza, que são utilizadas para dessedentação humana e animal. Porém, sabe-se que mudanças no uso e ocupação do solo podem afetar o volume de água infiltrado, reduzindo a recarga dos aquíferos e aumentando o fluxo superficial (Almeida Junior *et al.* 2020), ainda mais quando essas alterações ocorrem em áreas de recarga. Como se pode observar nas Figura 5.1 e Figura 5.2 mais da metade da área da microbacia está destinada às atividades agropastoris.

5.3 ANÁLISE GEOQUÍMICA DAS ÁGUAS

5.3.1 Isótopos Estáveis

O estudo isotópico foi utilizado nesse trabalho para a caracterização da dinâmica hídrica da bacia do córrego Samambaia, visando entender o quanto as águas da microbacia são dependentes das águas meteóricas (Gastmans *et al.* 2021). Na Figura 5.6 está o gráfico com os resultados das análises isotópicas, a reta dos valores de águas meteóricas de Belo Horizonte (GNIP/AIEA) e de valores encontrados para as águas do aquífero Bambuí (Gastmans *et al.* 2021). As amostras analisadas ficaram muito próximas da reta do GNIP, todas abaixo desta, com exceção das amostras de água meteórica, uma coletada em novembro de 2020 (após um mês de outubro com total de chuvas acima da média; Figura 5.3) e janeiro de 2021 (episódio de chuva intensa após 2 meses com total de chuvas abaixo da média; Figura 5.3).

Enquanto os resultados da amostra de água meteórica coletada em novembro/20 representam bem papel da evapotranspiração proveniente da floresta amazônica como fonte de umidade para a formação de chuvas na porção centro-sudeste do Brasil (Salati *et al*. 1979), o mesmo não ocorre com a amostra coletada em janeiro/21 (Figura 5.5). O efeito sazonal da evapotranspiração faz com que ocorra um empobrecimento dos valores isotópicos durante o verão (atuação da Zona de Convergência Intertropical - ZCIT) e enriquecimento durante o inverno (Matsuyama *et al*. 2005). A amostra de em novembro/20 se enquadraria na *zona ii* de Gastmans *et al.* (2021), com valores mais depletados de $\delta^{18}O$ (< -4,5‰), influenciados pela umidade re-evaporada da Amazônia (Salati *et al*. 1979; Matsuyama *et al*. 2005). Já a amostra de janeiro/21 apresenta algumas inconsistências que provavelmente influenciaram

na sua dessemelhança com o esperado, podendo ser resultado de algum fator morfoclimático, como uma frente fria que possibilitou o seu enriquecimento isotópico (Clark e Fritz 1997, Kendall e Doctor 2005).

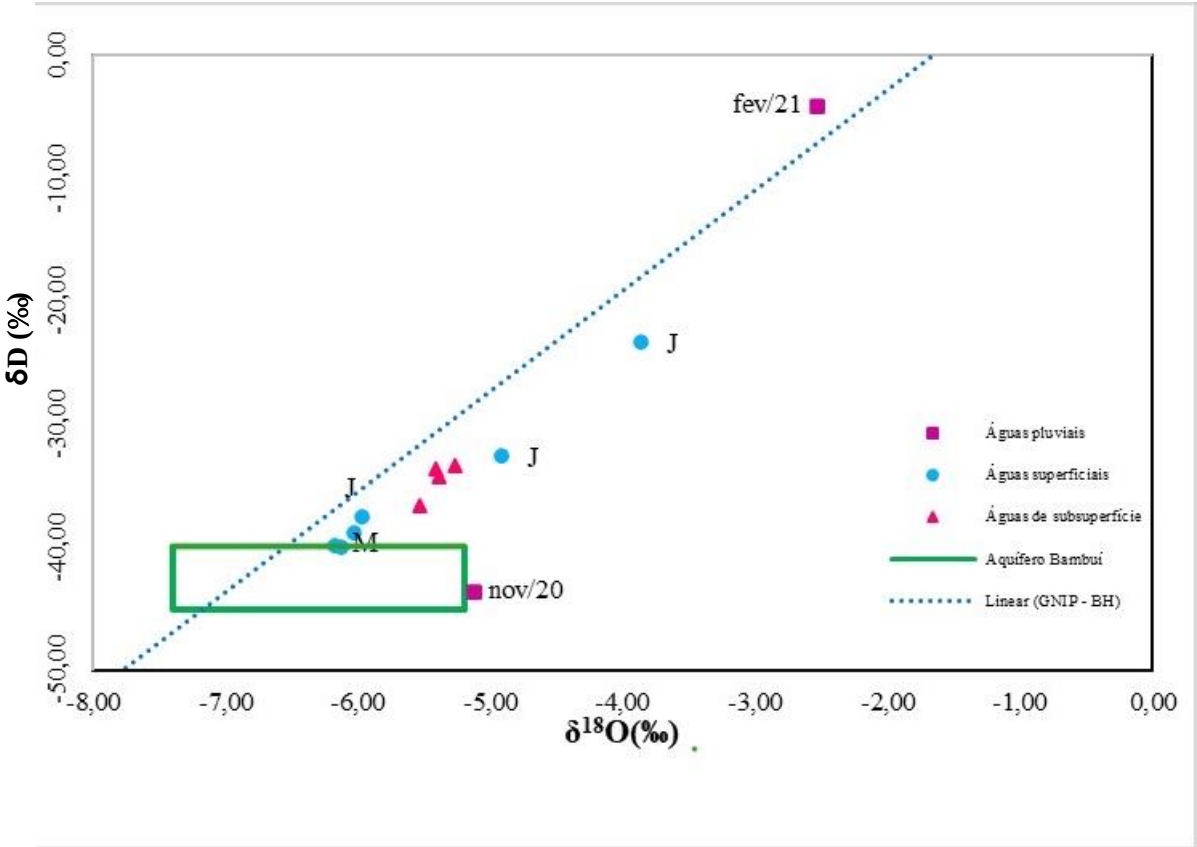

Figura 5.6: Gráfico de resultados isotópicos para a Microbacia Sambaíba. As amostras do córrego datam: 08/2020, 01/2021 e 03/2021, com diferença de posição ao longo do córrego. As amostras de águas de subsuperfície foram coletadas em: 08/2020, 09/2020, 02/2021 e 03/2021.Ainda na figura 5.6, pode-se perceber na que as águas subterrâneas da microbacia não têm uma relação explicita com o Aquífero Bambuí (GASTMANS *et al.*, 2021), com valores mais próximos da reta do GNIP. Esse mesmo autor constata que, de maneira geral, observa-se que as maiores variações na composição isotópica são encontradas nos aquíferos de grande extensão e com porções confinadas é possível que as águas coletadas no poço tubular sejam de um aquífero suspenso, influenciado pelas águas meteóricas (Barbosa *et al*., 2018).

No que diz respeito às águas superficiais (coletadas em: 08/2020, 01/2021 e 03/2021), nota-se claramente uma diferenciação das amostras segundo o posicionamento do ponto de coleta no córrego. As águas a montante (M) interceptam o limite superior do Aquífero Bambuí (Gastmans *et al.* 2021), enquanto as águas a jusante (J) se mostram menos depletadas, inclusive quando comparadas às amostras de águas subsuperficiais, sugerindo uma forte influência das águas meteóricas (Barbosa *et al*. 2018).

5.3.2 Ânions

A Tabela 5.1 traz os resultados obtidos com o colorímetro, bem como os valores de referência da legislação brasileira (Resolução CONAMA nº 357, Resolução CONAMA no 396 e Portaria GM/MS Nº 888). Como pode-se observar, os valores máximos encontrados para cloro livre nas águas do córrego, lisímetro e poço estão acima do limite permitido pela CONAMA 357 (2005), mas não ultrapassa o valor

definido o na Portaria 888 (Ministério da Saúde 2021). Esse valor por se mostrar maior no córrego pode ter sido causado pela sazonalidade das chuvas, já que esse córrego é bem dependente da precipitação (Almeida *et al.* 2020). A análise dos dados de nitrato deixa claro que há uma contaminação desse composto nas águas do córrego, lisímetro e poço. É importante destacar que o valor máximo de nitrato na água subsuperficial (média: 11,88 mg/L, desvio padrão: 7,17 mg/L e máximo: 24,5 mg/L) é duas vezes maior que o limite definido pelas três legislações analisadas, fato que aponta para uma contaminação do aquífero. Quanto às águas provenientes do lisímetro, estas exibem valores ainda mais impressionantes (média: 28,7 mg/L, desvio padrão: 20,5 mg/L e máximo 48,5 mg/L), deixando evidente uma contaminação do solo, certamente causada pelo uso indevido de corretivos de solo (Ronei *et al.* 2018). Vale ressaltar que o nitrato é uma das principais substâncias encontradas em aquíferos contaminados por atividades agrícolas no Brasil.

Tabela 5.1: Resultados obtidos com o colorímetro, onde C: águas do córrego, P: águas do poço tubular e L: águas do lisímetro, bem como os valores de referência da legislação brasileira (Resolução CONAMA nº 357, Resolução CONAMA no 396 e Portaria GM/MS Nº 888). Em destaque estão os dados que se encontram acima do limite permitido por lei.

Variável	Local	Média	DesvPad	Variância	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo	CONAMA 357 (2005) (mg/L)	CONAMA 396 (2008) (mg/L)	Portaria Nº888/2021 (mg/L)
Cloro Livre	C	0,04595	0,0531	0,00282	0	0,02	0,03	0,055	0,29	0,01		5
	L	0,02075	0,01513	0,00023	0,003	0,00725	0,02	0,035	0,04			
	P	0,02	0,01803	0,00032	0	0,005	0,02	0,025	0,06			
Nitrato	C	4,141	2,588	6,7	0	2,9	3,7	5,25	12	10	10	10
	L	28,7	20,5	421	2,6	7,6	31,9	46,6	48,5			
	P	11,88	7,17	51,39	1,6	6,6	11,4	17,35	24,5			
Nitrito	C	0,03819	0,03974	0,00158	0	0,018	0,03	0,0415	0,2	1	1	1
	L	0,0955	0,112	0,0125	0,033	0,0333	0,043	0,2103	0,263			
	P	0,03211	0,02003	0,0004	0,011		0,024	0,0525	0,065			
Fosfato	C	0,2962	0,1739	0,0302	0,08	0,17	0,22	0,4	0,9	-	-	-
	L	0,27	0,224	0,05	0,07	0,09	0,215	0,505	0,58			
	P	0,5122	0,1717	0,0295	0,32	0,405	0,45	0,65	0,82			
Sulfato	C	60,68	16,2	262,45	29	48,5	62	78	79	250	250	250
	L	10,5	5,92	35	2	4,25	12,5	14,75	15			
	P	27,78	5,52	30,44	19	23,5	26	33,5	35			

As análises de PCA para os dados obtidos com o colorímetro (Figura 5.7) mostram uma clara influência dos nitritos, nitratos e fosfatos na composição das águas do poço tubular e do lisímetro, o que, juntamente com os dados da Tabela 5.1, pode indicar uma contaminação antrópica do solo na microbacia, o que automaticamente implicará em um aquífero contaminado (Freeze e Cherry 2017).

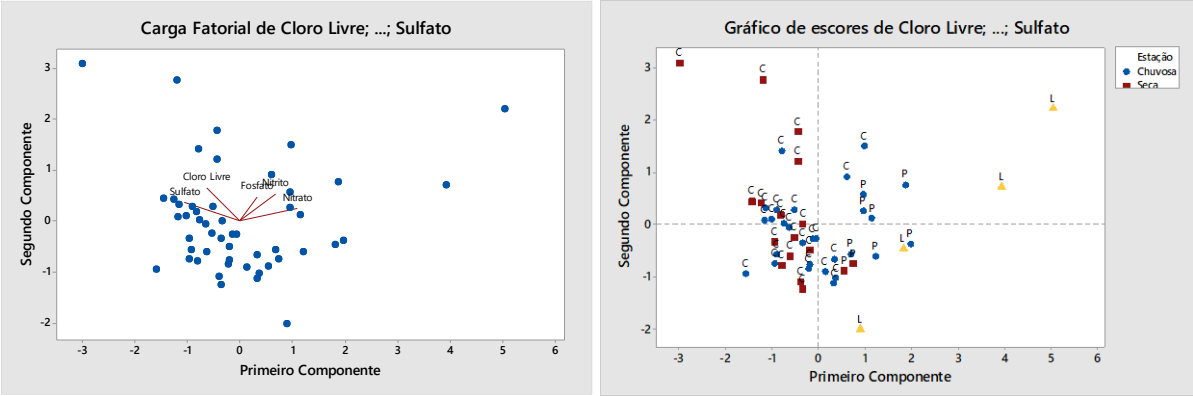

Figura 5.7: Gráficos com os dados de PCA, onde C: águas do córrego, P: águas do poço tubular e L: águas do lisímetro.

5.3.3 Elementos maiores, menores e traço

A Tabela 5.2 traz os resultados obtidos com o ICP-OES, bem como os valores de referência da legislação brasileira (Resolução CONAMA nº 357, Resolução CONAMA no 396 e Portaria GM/MS Nº 888). Como pode-se observar, as águas superficiais têm valores de Al (média: 29,45µg/L, desvio padrão: 39,25µg/L e máximo: Al: 326,07µg/L), Fe (média: 49,93µg/L, desvio padrão:69,12µg/L e máximo:303,1µg/L), Mn (média: 408,3µg/L, desvio padrão:446,8µg/L e máximo:2.349,4µg/L) acima dos valores limite para as três legislações vigentes. O primeiro e último apresentam valores máximos na ordem de 1,6 e 23,5 vezes maiores que o permitido. Para o elemento químico manganês o valor de sua média (408,3µg/L) ainda é acima do valor limitante.

Tabela 5.2: Resultados obtidos com o ICP-OES, onde C: águas do córrego, P: águas do poço tubular, L: águas do lisímetro e CH: águas pluviais, bem como os valores de referência da legislação brasileira (Resolução CONAMA nº 357, Resolução CONAMA no 396 e Portaria GM/MS Nº 888). Em destaque estão os dados que se encontram acima do limite permitido por lei.

Variável	Local	Média	DesvPad	Variância	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo	CONAMA 357 (2005) (µg/L)	CONAMA 396 (2008) (µg/L)	Portaria Nº888/2021 (mg/L)
Ba (µg/L)	C	19,219	6,486	42,063	11,738	14,431	17,068	22,24	43,31	700	700	700
	CH	146,6	206,3	42546,1	0	26,6	38,3	458,6	472,8			
	L	7,44	5,14	26,46	2,36	4,07	4,24	13,37	15,69			
	P	17,27	4,488	20,143	11,928	13,496	17,485	18,564	27,287			
Li(µg/L)	C	1,6633	0,2372	0,0562	1,33	1,33	1,83	1,83	1,83	2500	2500	-
	CH	1,6936	0,2335	0,0545	1,33	1,33	1,83	1,83	1,83			
	L	1,6633	0,25	0,0625	1,33	1,33	1,83	1,83	1,83			
	P	4,522	2,619	6,861	1,83	1,83	5,061	7,226	7,715			
Sr (µg/L)	C	452,89	65,09	4236,64	282,87	400,86	486,13	498,84	520,81	-	-	-
	CH	4,03	5,65	31,91	0,15	0,15	2,33	2,76	18,7			
	L	119,8	60,9	3713,5	41	41,4	141,3	174,4	180,9			
	P	346,5	82,9	6877	4	325,6	360,4	396,8	416,1			
Zn(µg/L)	C	14,95	46,26	2139,55	3,11	3,11	3,11	11,8	324,1	180	5000	5000
	CH	16,93	22,34	498,95	3,11	3,11	9,1	20,87	80,29			
	L	7,07	6,02	36,21	3,11	3,11	3,11	14,12	16,74			
	P	24,1	89,3	7978,3	0	3,1	3,1	9,3	423,7			
Al (µg/L)	C	29,45	39,25	1540,81	5,45	5,45	27,97	32,55	326,07	100	200	200
	CH	19,3	41,3	1708,4	5,5	5,5	7,5	7,5	143,9			
	L	55,5	88,9	7896,9	5,5	9,4	20,4	63	280,9			
	P	17,15	11,38	129,47	5,45	5,45	19,81	23,92	43,73			
Fe (µg/L)	C	48,93	69,12	4777,56	3,52	4,25	17,85	50,29	303,1	300	300	300
	CH	3,719	0,341	0,116	3,52	3,52	3,52	4,25	4,25			
	L	43,5	73	5331,2	3,5	6	9,8	57,7	228,3			
	P	4,962	3,669	13,465	3,52	3,52	3,885	4,25	18,014			
Mn (µg/L)	C	408,3	446,8	199631,3	1,1	200,5	280,4	454,3	2349,4	100	100	100
	CH	2,434	1,755	3,081	1,14	1,14	1,14	3,631	6,534			
	L	4,83	8,28	68,58	1,14	1,14	1,14	5,21	26,19			
	P	1,275	0,747	0,558	0	1,14	1,14	1,14	3,261			
Ca (mg/L)	C	112,83	17,4	302,7	70,37	101,58	120,72	125,42	132,97	-	-	-
	CH	1,627	1,45	2,103	0,731	0,75	1,012	1,649	5,519			
	L	42,09	19,87	394,73	15,66	15,75	53,53	56,09	59,08			
	P	98,82	23,65	559,26	1,55	95,25	102,26	111,85	120,55			
K (mg/L)	C	1,962	1,256	1,577	0,941	1,218	1,532	2,247	6,651	-	-	-
	CH	0,081	0,02692	0,00072	0	0,0855	0,09	0,09	0,09			
	L	1,202	0,614	0,376	0,534	0,561	1,096	1,928	2,012			
	P	1,2275	0,3412	0,1164	0	1,1589	1,1942	1,3025	1,7796			
Mg (mg/L)	C	10,843	1,468	2,156	7,357	10,169	11,051	11,396	14,23	-	-	-
	CH	0,0259	0,0562	0,0032	0	0,0098	0,01	0,01	0,1951			
	L	3,141	1,743	3,039	0,912	0,922	3,655	4,789	4,922			
	P	7,027	1,647	2,711	0	6,955	7,071	7,81	8,253			
Na (mg/L)	C	12,919	2,06	4,243	6,582	11,868	13,206	13,923	17,68	-	-	200 mg/L
	CH	0,4004	0,1867	0,0349	0,1539	0,1907	0,4822	0,5772	0,6022			
	L	0,656	0,605	0,366	0,02	0,02	0,502	1,387	1,428			
	P	14,288	3,268	10,677	0,326	13,668	15,414	15,833	16,153			
P (mg/L)	C	0,0457	0,02155	0,00046	0,03	0,03	0,0325	0,0704	0,0907	0,186 mg/L	-	-
	CH	0,0744	0,036	0,0013	0,0325	0,0325	0,0737	0,0928	0,155			
	L	0,04909	0,02686	0,00072	0,03	0,03	0,0325	0,08288	0,08855			
	P	0,11334	0,02749	0,00076	0,07435	0,08698	0,11415	0,14274	0,14887			
S (mg/L)	C	18,089	3,376	11,396	9,81	16,34	18,452	19,968	27,469	-	-	-
	CH	0,3938	0,1651	0,0273	0,2451	0,2785	0,3632	0,3787	0,8362			
	L	5,402	2,886	8,329	1,563	1,584	6,99	7,452	7,958			
	P	11,074	2,583	6,672	0,394	10,561	11,101	12,545	13,271			
Cd(µg/L)	C	3,2667	0,0379	0,00144	3,24	3,24	3,24	3,32	3,32	1	5	3
	CH	3,2618	0,0374	0,0014	3,24	3,24	3,24	3,32	3,32			
	L	3,2667	0,04	0,0016	3,24	3,24	3,24	3,32	3,32			
	P	4,359	2,802	7,852	3,24	3,24	3,32	3,32	11,797			

Para as águas de subsuperfície o único elemento químico preocupante é o Cd (Média: 4,359 µg/L, desvio padrão: 2,802 µg/L e máximo: 11,797 µg/L), haja vista que o seu valor máximo para as legislações vigentes (CONAMA 357: 1µg/L, CONAMA 396: 5 µg/L e Portaria nº 888: 3 µg/L) é variável e o valor máximo encontrado é acima de todos os parâmetros.

Já para os valores encontrados para o lisímetro, os elementos químicos que se mostraram acima do permitido foram: Al (média: 55, 5µg/L, desvio padrão: 88,9 µg/L e máximo: 280,9 µg/L) e Cd (Média: 3,2667 µg/L, desvio padrão: 0,04 µg/L e máximo: 3,32 µg/L).

Os resultados do ICP-OES, quando analisados com a geologia da área, apontam que as concentrações de Sr, Ca, Mg e Mn (Tabela 5.2) são reflexo da composição das rochas carbonáticas que formam a microbacia (Formação Lagoa do Jacaré; Santos 2017; Carvalho 2019).

Em termos de potabilidade, atentando-se aos valores de Al, Fe e Mn, os quais se encontram acima do limite permitido pelo CONAMA 357(2005), CONAMA 396 (2008) e Portaria 888/2021 do Ministério da Saúde, temos que:

- A presença de Fe e Mn estão, em geral, associados devido ao seu comportamento químico semelhante (Feitosa *et al.* 2008). Sua presença em águas de subsuperfície (como no caso do poço tubular) pode ser influenciada por meio de contaminação antrópica, o que inclui o deterioramento do filtro de revestimento do poço tubular (Feitosa *et al.* 2008). No mais, pelos dados químicos do solo é perceptível que grande parte da área tem altos valores de Mn quando comparados aos limites das legislações vigentes.
- O alumínio não está disponível nos solos (Tabela 3.1 - ver alumínio trocável), muito provavelmente, está relacionado à sua liberação de aluminossilicatos das rochas pelos processos intempéricos, isto é, carbonatos impuros (contendo argilominerais), como é descrito na geologia da região (Dana 1983).

A concentração de Cd é outro fator que requer atenção. Esse elemento químico é bastante tóxico para o homem, considerando que tem ação bioacumulativa no organismo humano (Baird e Cann 2011). Sua presença nas águas da microbacia está diretamente ligada ao uso irracional de agroquímicos no seu entorno, já que os fertilizantes fosforados têm grandes quantidades desse elemento químico em sua composição (Bizarro *et al.* 2008). Além disso, as águas do poço artesiano apresentam altos teores de P (Tabela 5.2), mesmo que ainda dentro dos limites aceitáveis, o que aponta para uma possível contaminação do aquífero por fertilizantes (Fitts 2014).

5.3.4 Classificação das Águas

As amostras do poço tubular e do lisímetro podem ser classificadas como cálcica bicarbonatada e cálcica sulfatada, respectivamente, conforme os diagramas de Piper (Figura 5.8). As águas do aquífero Bambuí, segundo trabalhos como o de Carvalho (2018) mostra que suas águas são bicarbonatadas cálcicas, assim como afirma Gonçalves *et al.* 2022, reiterando os dados da pesquisa.

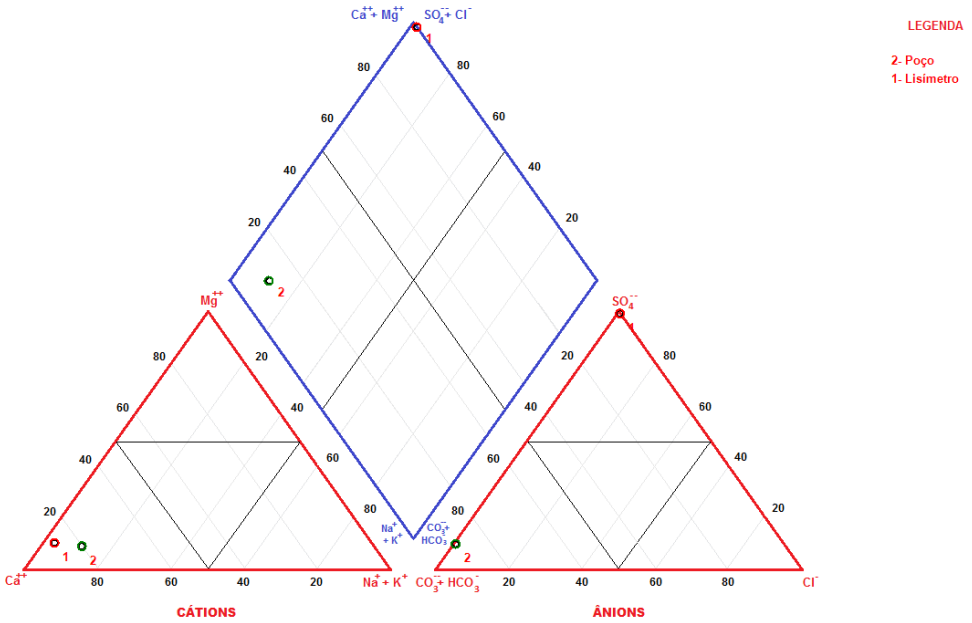

Figura 5.8: Diagrama de Piper para as águas do poço tubular e do lisímetro. Elaborado no software Qualigraf.

A classificação conforme o diagrama de Stiff exibe clara relação entre as águas do poço tubular com as águas típicas de ambientes carbonáticos (Figura 5.9).

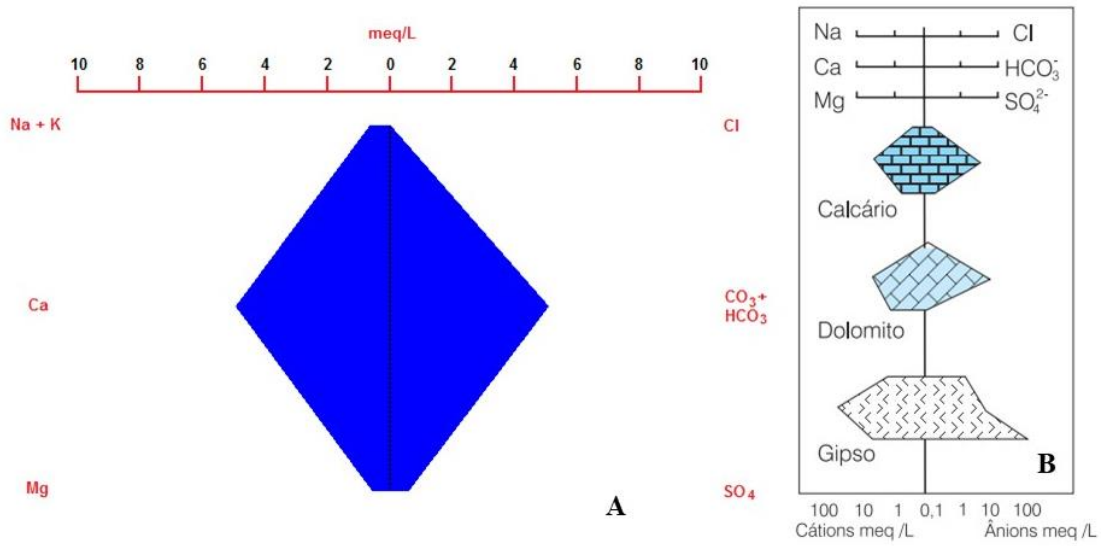

Figura 5.9: A- Diagrama de Stiff para as águas do poço tubular. Elaborado no software Qualigraf. B - Diagrama de Stiff para título de comparação (Retirado de Feitosa *et al*. 2008).

É importante ressaltar que a alcalinidade da água da nascente variou entre 308,66 mol e 305 mol de HCO_3^-. Essa alcalinidade demonstra que a água é de maior dureza e são incrustantes, suportando a hipótese de influência direta da geologia local, com rochas pertencentes ao Grupo Bambuí.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

A questão da água vem tendo destaque devido as grandes crises hídricas e ambientais que o planeta vem passando ultimamente. O Brasil, tem em sua Constituição uma emenda que diz respeito ao uso e qualidade desse bem para todos os cidadãos. Além disso, 132 países, incluindo o Brasil, assinaram um acordo com a ONU a fim de melhorar a disponibilidade e a gestão sustentável de suas águas até 2030. Sendo assim, inicia-se uma discussão sobre como as pesquisas nessa área são de grande importância para impulsionar a melhora na gestão e na qualidade desse bem natural.

Os serviços ambientais surgem para que toda população seja capaz de reconhecer o quão fundamental é a manutenção de qualidade e a recuperação de microbacias dentro de ambientes rurais. As microbacias são, muita das vezes, as únicas fontes de água de uma propriedade, onde seu uso é tão diversificado que passa de dessedentação humana a animal com rapidez. A pesquisa desenvolvida trata exatamente desse aspecto: além de ser uma microbacia rural está inserida em um domínio geomorfológico conhecido como karste, o qual é ainda mais vulnerável a contaminação que os demais.

A microbacia Sambaíba teve sua geologia caracterizada, foi mapeado o uso e ocupação da área, caracterizado quimicamente águas e solos, além da compreensão de modo quantitativo e qualitativo do ciclo hídrico da região, cumprindo a maior parte dos objetivos estabelecidos.

Assim, os serviços ecossistêmicos produzidos por uma microbacia são determinados em parte pela quantidade e qualidade de suas águas, o que é resposta direta do uso e ocupação de seu solo. Durante esse mapeamento, foi identificado que a maior parte da área está ocupada por sistemas agropastoris que impactam diretamente na qualidade e na produção de água da MS, haja vista que os dados do presente estudo mostram um claro controle da geologia na geoquímica das águas e indicam uma possível contaminação do aquífero, mesmo após cinco anos de cercamento da nascente.

Nesse sentido, observou-se que apesar do cercamento de nascentes de microbacias rurais degradadas pela ação antrópica (agricultura e pecuária) ser capaz de aumentar a produção de água e melhorar sua qualidade, aparentemente não foi o suficiente. Mesmo após a retirada do gado, o solo continua contaminado (claramente evidenciado pelos resultados do lisímetro) o que reflete na qualidade das águas subterrâneas e superficiais.

Devido a contaminação das águas do aquífero, a recuperação completa da microbacia ficou comprometida. Dessa maneira, propõe-se que seja feita a identificação do limite do aquífero suspenso por meio de técnicas geofísicas para a delimitação da área de risco e assim evitar que

agroquímicos sejam aspergidos do sobre o solo, bem como que os dejetos animais não o contaminem e possa ser efetuado o projeto de recuperação.

A priori, o trabalho conseguiu grandes feitos considerando que a região nunca havia sido estudada, mas isso não seria possível sem o auxílio e interesse dos que ali residem. Essa já é uma conquista muito grande, já que eles aprenderam sobre serviços ambientais e o porquê colocá-los em prática é tão importante hoje em dia. Ademais, o estudo isotópico foi de grande importância pois esclarece o quanto o córrego é dependente do aquífero nos períodos de estiagem. No mais, a classificação de suas águas as determinaram como bicarbonatada cálcica, assim como toda a literatura que trata do assunto no Grupo Bambuí.

Diante de tais considerações, recomenda-se para trabalhos futuros nessa área de estudo ou nessa linha de pesquisa que sejam realizados maiores levantamentos sobre a origem da contaminação das águas superficiais e subsuperficiais, e principalmente, sobre o uso de técnicas menos agressivas em ambientes agropastoris, haja vista que grande parte da Bacia do Rio das Velhas (onde a microbacia está inserida) tem em seu uso e ocupação, esse sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SÁBER, A.N. 2003. Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas. Ateliê editorial, São Paulo, 151 p.

Afonso, J. C. 2020. Manganês no brasil: descoberta, extração, consumo e comercialização numa perspectiva histórica. Química Nova, v. 42, p. 1172-1183.

Agência Nacional de Águas (Brasil). 2005. Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos, Brasília, 176 p.

Almeida Júnior, M.C.D., Castro, P.A.L., Santos, G.O. 2020. Taxa de infiltração de água no solo em diferentes usos do solo. Journal of Biotechnology and Biodiversity, 8(2):115-121.

Almeida, T.P. et al. 2020. Qualidade e preservação da água das fontes minerais naturais do município de Amparo–SP. Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades, v. 8, n. 56.

Alvares C.A, Stape J.L, Setelhas P.C, Gonçalves J.L.M, Spavorek G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift. 22(6):711-728.

ANA - Agência Nacional de Águas. 2022. HIDROWEB. Disponível em: https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas. Acesso em: 25 de nov. de 2022.

Apollaro, C., Perri, F., Borrelli, L., Caloiero, T. 2019. The role of water-rock interaction processes in soil formation: geochemical, mineralogical, geomorphological, and engineering-geological aspects. Geofluids, v. 2019. 5 p.

Aquino, F.G., Albuquerque, L.B., Alonso, A.M., Lima, J.E.F.W., Sousa, E.S. 2012. Cerrado: restauração de matas de galeria e ciliares. Embrapa, Brasília, 40 p.

Araujo, A.M.R. de. 2019. Prova conceitual de um equipamento para medição de vazão de rios de pequeno porte. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 55 p.

Araújo, B.S. 2022. Análise do modelo de cobrança pelo uso da água bruta aplicado na bacia do Rio São Francisco. Monografia bacharelado em Engenharia Civil, Centro de Ciência e Tecnologia, Agroalimentar, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 11 p.

Araújo, F.W.C., Melo Neto, A.A., Lago Helene, P.R. 2017. Estudo da Repassivação das Armaduras em Concretos Carbonatados através da Realcalinização Química com Solução de Hidróxido de Potássio. Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, 2(3):110-118.

Assaad, F. A., Jordan, H. 1994. Karst terranes and environmental aspects. Environmental Geology, 23(3):228-237.

Assessment. 2005. Millennium Ecosystem. Millennium Ecosystem Assessment.

Athayde Júnior G. B., Nóbrega C. C., Gadelha C. L. M., Souza I. M. F., Fagundes G. S. 2009. Efeito do antigo Lixão do Roger, João Pessoa, Brasil, na qualidade da água subterrânea local. Ambiente e Água, 4:142-155.

Barbosa, N.S., Barbosa, N.S., Salles, L.Q. 2018. Métodos de avaliação de isótopos estáveis (δ2h E δ18o) na hidrologia: uma revisão. Terrae Didatica, 14(2):157-172.

Baird, C., & Cann, M. 2011. Química Ambiental. Porto Alegre, 844 p.

Bittencourt, A.V.L.; Hindi, E.C. 2000. Tópicos de hidroquímica. In: III Curso Sudamericano Sobre Evalución y Vulnerabilidad de Acuíferos, Asunción, Itaipú binacional, OEA.

Bizarro, V. G., Meurer, E. J., & Tatsch, F. R. P. 2008. Teor de cádmio em fertilizantes fosfatados comercializados no Brasil. Ciência Rural, 38:247-250.

Bizzi, L. A., Schobbenhaus, C., Gonçalves, J. H., Baars, F. J., Delgado, I. D. M., Abram, M. B., Santos, J. O. S. 2003. Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: texto, mapas e SIG. Serviço Geológico do Brasil, Brasília, 692 p.

Boyd, J., Banzhaf, S. 2007. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. Ecological economics, 63(2-3):616-626.

Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2008. Resolução n° 396 3 de abril 2008. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama>. Acesso em: 10 jun 2021.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente. 2005. Resolução CONAMA nº 357, de 15 de junho de 2005. Acesso em: 20 set 2021.

Cabral, J.J.S.P. 2008. Hidrologia: conceitos e aplicações. In: Movimentos das águas subterrâneas. Rio de Janeiro, CPRM, LABHID, p. 17 - 91.

Calheiros, D.F., Arndt, E., Rodriguez, O.R., Silva, M.C.A. 2009. Influências de usinas hidrelétricas no funcionamento hidro-ecológico do Pantanal Mato-Grossense-Recomendações. Embrapa Pantanal, 21 p.

Calixto, F.A., Silva, A.V. 2015. Isótopos Estáveis: Fundamentos E Técnicas Aplicadas à Caracterização e Proveniência Geográfica de Produtos Alimentícios. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. Geonomos, 23(1):10-17. Disponível em: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:_a_z3124JEsJ:https://periodicos.uf

mg.br/index.php/revistageonomos/article/view/11694/8434+&cd=1&hl=ptBR&ct=clnk&gl=br>. Acesso em: 30 mai. 2021.

Carvalho, J.V. 2019. Hidrogeoquímica e Isótopos estáveis das águas subterrâneas do Aquífero Bambuí (Bahia, Brasil). Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 53 p.

Carvalho, D.S. 2018. Biogênicos e isótopos de oxigênio: ferramentas na elucidação de parte da história paleoambiental em um testemunho da Lagoa dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil. Salão de Iniciação Científica, Porto Alegre, 30:15-19.

Castany, G. 1967. Introduction à l'ètude des courbes de tarissements. Chronique D'hydrogéol, 10:23-30.

CBH Rio das Velhas. 2022. UTE Rio Pardo. Disponível em: https://cbhvelhas.org.br/riopardo/. Acesso em 18 jan. 2023.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo 2022. Poluição das Águas Subterrâneas. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/informacoes-basicas/poluicao-das-aguas-subterraneas/. Acesso em: 10 out 2022.

Clark I.D., Fritz P. 1989. Environmental Isotopes in Hydrogeology. New York, CRC Press. 328p.

Coelho, Z. B. 2011. Avaliação de Técnicas e Métodos de Hidrometria na Estação Fluviométrica. São Ludgero, SC. Monografia do Curso de Engenharia Ambiental, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 83 p.

Collischonn, W., Dornelles, F. 2013. Hidrologia para engenharia e ciências ambientais. Porto Alegre, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 336 p.

Costa, M.S., Nascimento, S.A.M., Gomes, M.C.R. 2019. Análise hidrogeoquímica comparativo entre os ambientes carbonáticos do estado da Bahia – Uma abordagem estatística. Geosciences = Geociências, 38(4):987-998.

Costa M.T. da, & Branco. 1961. Roteiro para a excursão Belo Horizonte - Brasília. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 14, Belo Horizonte, EEUFMG-Instituto de Pesquisas Radioativas, Publicação, 15, 25 p.

Costanza, R., D'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., van den Belt, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 387:253–260.

Custodio, E., Llamas, M. R. 1976. Hidrologia Subterránea. Omega, Barcelona, 1157 p.

Custodio, E. Llamas; Llamas, M. R. 1983. Hidrología Subterránea. Ediciones Omega. Tomo, I. 2350 p.

Custódio, G. 2001. Determinação voltamétrica da capacidade de complexação das águas do Ribeirão São Bartolomeu. MSc. Dissertation, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 165 p.

Cunha, A.V., Previero, C.A., Oliveira, G.P.T.C. Agrotóxicos e o Impacto Ambiental na Bacia Hidrográfica na APA de Lajeado-To. IXX Jornada de Iniciação Científica, p. 271-275.

Cunha, S. B. 2008. Geomorfologia fluvial. In: Guerra, A.J.T., Cunha, S.B. (org.). Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, p. 211–234.

Daily, G. C. (Ed.). 1997. Nature's services: societal dependence on natural ecosystems. Washington, DC, Island Press, 392 p.

Dana, J.D. 1983. Cristalografia. Manual de mineralogia. Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro, 442 p.

Dantas, M.V.S., Uhlein, A., Uhlein, G.J., Freitas, A.R., Mendonça, T.K., Santos, J.A.O., Silva, S.A.M. 2022. Carbonate storm deposits and C, O isotopes of the Lagoa do Jacaré Formation (Ediacaran) in the Paraopeba area, Bambuí Group, Brazil. Brazilian Journal of Geology, v. 52.

Dardenne, M. A. 1978 Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. In: Congresso Brasileiro de Geologia. p. 597-610.

Dedecek, R.A. 1988. Fatores de erosividade da chuva, enxurrada e perdas de solo sob condições de cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 23(12):1431-1437.

De Medeiros, G.A., Tomaz, I.S.F., Ribeiros, A.I., Longo, R.M. 2013. Qualidade Da Água Em Microbacias Hidrográficas Rurais. IV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Salvador, 8 p.

Dias, J.S., Carpanez, T.G., Silva, J.B.G., Branco, O.E.A. 2022. Caracterização do estado de conservação de nascentes do córrego da Pindaíba/MG. Revista Internacional de Ciências, 12(1):60-78.

Donadio, N.M.M., Galbiatti, J.A., Paula, R.C. 2005. Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do Córrego Rico, São Paulo, Brasil. Engenharia Agrícola, 25:115-125, 2005.

Dudley, N. & Stolton, S. 2003. Running Pure: The Importance of Forest Protected Areas to Drinking Water. World Bank/WWF Alliance for Forest Conservation and Sustainable Use. United Kingdom, 144 p.

Feitosa, F.A., Manoel Filho J., Feitosa E. C., Demetério J.G. A. 2008. Hidrogeologia: conceitos e aplicações. Rio de Janeiro, CPRM, LABHID, 812 p.

Feltrin, R.M., Paiva, J.B.D., Paiva, E.M.C.D., Beling, F.A. 2011. Lysimeter soil water balance evaluation for an experiment developed in the Southern Brazilian Atlantic Forest region. Hydrological Processes, 25(15):2321-2328.

Ferreira, A.B. de H. 2008. Dicionário Aurélio ilustrado. Curitiba, 560 p.

Ferreira, M. J., Pereira, I. M., Botelho, S. A., & Mello, C. R. D. 2009. Avaliação da regeneração natural em nascentes perturbadas no município de Lavras, MG. Ciência Florestal, 19:109-129.

Fetter, C. W. 1988. Applied Hydrogeology. Merrill Publishing Company, Universy of Wisconsin, Oshkosh, 592 p.

Fitts, C.R. 2014. Águas Subterrâneas. Rio de Janeiro, Elsevier. 578 p. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595154421/. Acesso em: 25 set 2022.

Ford D.C., Williams P.W. 1989. Karst geomorphology and hidrology. Wiley, United Kingdom. Chapman & Hall. 576 p.

Freeze, R. A.; Cherry, John A. 2017. Água subterrânea. Instituto Água Sustentável. São Paulo.

Freitas, A.R. de, Uhlein, A., Dantas, M.V.S., Mendonça, T.K. 2021. Caracterização em multiescala de carbonatos neoproterozóicos da Pedreira GMD, Formação Lagoa do Jacaré, Grupo Bambuí, Paraopeba - MG. Geologia USP. Série Científica, 21(1):103-120.

Fritzsons, E., Rizzi, N., Bittencourt, A.V., Mantovani, L.E. 2001. Estudo do impacto da contaminação por nitrogênio numa bacia hidrográfica cárstica. Boletim Paranaense de Geociências, 49:39-52.

Gastmans, D. et al. 2022. Contribuição dos Isótopos Estáveis da Água (HEO) no Conhecimento dos Aquíferos Brasileiros: Estado da Arte e Perspectivas Futuras. Derbyana, 42:1-47.

Gens, R., Logan, T. 2003. Alaska Satellite Facility software tools. Geophysical Institute, University of Alaska, Fairbanks, Alaska. Disponível em: http://www.asf.alaska.edu/documents/asf_software_tools.pdf.

Gomes, P.M., De Melo, C., Do Vale, V.S. 2005. Avaliação dos impactos ambientais em nascentes na cidade de Uberlândia-MG: análise macroscópica. Sociedade & Natureza, 17(32):103-120.

Gomes, R.C. 2021. Revegetação de áreas degradadas por mineração na Floresta Nacional do Jamari e sua relação com a qualidade das águas superficiais. Tese de Doutorado, Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 153 p.

Gonçalves, M.V.P. et al. 2022. Variação sazonal da composição geoquímica e isotópica das águas do Aquífero Bambuí no Oeste da Bahia, Brasil. Concilium, 22(4):444-464.

Haddad, E.A. 2007. Influência antrópica na qualidade da água da bacia hidrográfica do rio São Miguel, carste do alto São Francisco, Minas Gerais. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 155 p.

Honda, E.A., Durigan, G. 2017. A restauração de ecossistemas e a produção de água. Hoehnea, 44:315-327.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2002. Mapa de clima do Brasil. Rio de Janeiro, Brasil.

Iglesias, M. I. 2007. Estratigrafia e tectônica do Grupo Bambuí no norte do estado de Minas Gerais. MS Dissertation. Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte 112p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 1993. Mapa de Unidades de Relevo do Brasil 1:5.000.000. Diretoria de Geociências. JESUS, Tarsila Carvalho de. Vulnerabilidade intrínseca à contaminação do Aquífero Bambuí, Oeste da Bahia. 2021.

Jesus, T.C. 2021. Vulnerabilidade intrínseca à contaminação do Aquífero Bambuí, Oeste da Bahia. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 52 p.

Karmakar, S., Sirajul, H.S.M., Hossain, M.M., Sen, M., Hoque, M.E. 2019. Water quality parameter as a predictor of small watershed land cover. Ecological Indicators, 106:1-12.

Karmann, I., Ford, D. 1995. Denudação química da bacia associada ao sistema de cavernas Pérolas-Santana, município de Iporanga, São Paulo. V Congresso Brasileiro de Geoquímica. Anais, p. 307-308.

Kendall, C., Doctor, D.H., 2005. Stable isotope applications in Hydrologic Studies. In: Drever J.I. (ed.). Surface and ground water, weathering, and soils: Treatise on Geochemistry, 5(11):319-364.

Letourneur, J.N.E., Michel, R. 1971. Géologie du génie civil. A. Colin. Paris, 727 p.

Libano, A.M., Felfili, J.M. 2006. Mudanças temporais na composição florística e na diversidade de um cerrado sensu stricto do Brasil Central em um período de 18 anos (1985-2003). Acta Botanica Brasilica, 20:927-936.

Lima, O. N. B. 2005. Estratigrafia regional no Alto Rio São Francisco e geologia dos depósitos fosfáticos da Serra da Saudade - MG. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 142p.

Lima, W.P. 1986. Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 250 p.

Lima, W.P., Zakia, M.J.B. 2000. Hidrologia de matas ciliares. In: Matas ciliares: conservação e recuperação. São Paulo, p. 33-34.

Lucon, T.N., Costa, A.T., Meyer, B.O., Assunção, P.H.S., Oleiveira, L.D. 2018. Utilização do mapeamento hidroquímico para avaliação da qualidade das águas superficiais da bacia do Rio São Miguel, Minas Gerais. Geonomos, 26:31-42.

Martins-Neto M. A., Alkmim F. F. 2001. Estratigrafia e evolução tectônica das bacias neoproterozóicas do paleocontinente São Francisco e suas margens: Registro da quebra de Rodínia e colagem de Gondwana. In: C.P. Pinto & M.A. Martins-Neto (eds.) Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais, Belo Horizonte, SBG/MG, 31-54.

Matthess, G. 1982. Properties of groundwater. John Wiley and Sons, New York New York. 406 p.

Matsuyama, H., Miyaoka, K., Masuda, K. 2005. Year-to-Year Variations of the Stable Isotopes in Precipitation in February at Cuiabá, Located on the Northern Fringe of Pantanal, Brazil. Journal of Hydrometeorology, 6(3):324-329.

Mello, C.R.D., Viola, M. R. 2013. Mapeamento de chuvas intensas no estado de Minas Gerais. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 37:37-44.

Merten, G.H., Minella, J.P. 2002. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. Agroecologia e desenvolvimento rural sustentável, 3(4):33-38.

Ministério da Saúde. 2021. Portaria Gm/Ms Nº 888, de 4 de maio de 2021. Disponível em: https://bvsms:saude:gov:br/bvs/saudelegis/gm/2021/ prt0888_07_05_2021:html. Acesso em: 04/12/2022

Ministério da Saúde. 2011. Portaria n.º 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, 14 de dezembro de 2011.

Moraru, C., Hannigan, R. 2017. Groundwater Geochemistry and Vulnerability. Analysis of Hydrogeochemical Vulnerability, p. 155–171.

Moruzzi, R.B., Reali, M.A.P. 2012. Oxidação e remoção de ferro e manganês em águas para fins de abastecimento público ou industrial: uma abordagem geral. Revista de Engenharia e Tecnologia, p. 29-43.

Neves, P.F. 2020. A plataforma carbonática de alta energia da formação Lagoa do Jacaré (Grupo Bambuí) na região de Brasília de Minas, MG: arquitetura sedimentar, feições pós-deposicionais e potencial relação com sistemas petrolífero e cárstico locais. Monografia do curso de Engenharia Geológica, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 72 p.

Oliveira, A.H., Neto, G.K., Pereira, S.Y. 2016. Análise do relevo para o mapeamento de áreas favoráveis ao processo de infiltração. Águas Subterrâneas, 9 p.

Oliveira Neto, A.F. de. 2013. O papel das nascentes no abastecimento de populações rurais difusas na Mata Pernambucana. Dissertação de Mestrado, Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 153 p.

Palmer, A. N. 1990. Groundwater processes in karst terranes. In: Groundwater Geomorphology; The Role of Subsurface Water in Earth-Surface Processes and Landforms, C. G. Higgins and D. R. Coates, (eds)., Geol. Soc. Amer. Special Paper, 252:177–209.

Parron, L.M., Garcia, J.R., Oliveira, E.B. de, Brown, G.G., Prado, R.P. (eds.). 2015. Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica. Embrapa Florestas, 370 p.

Paz V.P.S., Frizzone J.A., Botrel T.A., Folegatti M.V. 2002. Otimização do uso da água em sistemas de irrigação por aspersão. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 6:404.

Pinto, E.J.A. 2013. Atlas pluviométrico do Brasil: metodologia para definição das equações intensidade-duração-frequência do Projeto Atlas Pluviométrico. CPRM, Belo Horizonte, 47 p.

Potschin, M. Haines-Young. 2013. Landscapes, sustainability and the place-based analysis of ecosystem services. Landscape Ecology, 28(6):1053-1065.

Pozzebon, E.J. 2000. Simulação de escoamento em Microbacia Hidrográfica utilizando sistemas de informações geográficas e de modelagem hidrológica. Tese de Doutorado, ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 234 p.

Presidência da República, Casa Civil. 2018. PEC 4/2018. Constituição Federal. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%209.433%2C%20DE%208%20DE%20JANEIRO%20DE%201997.&text=Institui%20a%20Pol%C3%ADtica%20Nacional%20de,Federal%2C%20e%20altera%20o%20art.> Acessado em 10 jun 2020.

Reichardt, K., Timm, L.C. 2022. Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações. Editora Manole, 524 p. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786555764680/. Acesso em: 25 nov 2022.

Rezende, L.A. 2016. A crise hídrica e o direito brasileiro: problemas de governança na política nacional de recursos hídricos. Monografia, Centro Universitário de Brasília, Brasília, 66 p.

Ribeiro, C.G. 2020. Compartimentação dos fluxos do sistema hidrogeológico cárstico do Grupo Bambuí a partir dos isótopos ^{2}H, ^{18}O e ^{3}H na região de Lagoa Santa, Minas Gerais. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas, Gerais, Belo Horizonte, 267 p.

Rocha, J.C., Rosa, A.H., Cardoso, A.A. 2009. Introdução à Química Ambiental. Porto Alegre, 154 p. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788560031337/. Acesso em: 15 out. 2022.

Rodrigues, B.D., Travassos, L.E.P. 2013. Identificação e mapeamento das matas secas associadas ao carste carbonático de Santo Hipólito e Monjolos. Mercator-Revista de Geografia da UFC, 12(29):233-256.

Ronei, T.S., Pires, A.S., Giacomelli, C.L.F., et al. 2018. Meio ambiente. Grupo A. Porto Alegre, 16 p. E-book. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595025738/. Acesso em: 09 nov. 2022.

Rosa Filho, E., Hindi, E.C., Rigoti, A., Pereira, J.H., Guarda, M. J. 2008. Prospecção de estruturas subterrâneas para processos de recarga indireta do aqüífero cárstico com águas do Rio Capivari–Colombro, PR. Águas Subterrâneas, 22(1). 22 p.

Salati, E., Dall'olio, A., Matsui, E., Gat, J.R. 1979. Recycling of Water in the Amazon Basin: An Isotopic Study. Water Resources Research. 15(5):1250-1258.

Santos, A.C. 2008. Hidrologia: conceitos e aplicações. In: Noções de Hidroquímica. Rio de Janeiro, CPRM, LABHID, 325 – 357 p.

Santos, A.R. dos. 2001. As APPs associadas a nascentes: o que é uma nascente. Como identificá-la. Disponível em: https://www.ecodebate.com.br/2009/07/21/as-apps-associadas-a-nascentes-o-que-e-uma-nascente-como-identifica-la-artigo-de-alvaro-rodrigues-dos-santos/#:~:text=As%20nascentes%20localizam%2Dse%20em,apenas%20alguns%20dias%20ou%20horas). Acesso em: 10 jul. 2020.

Santos, G.M.P. 2017. Quimioestratigrafia isotópica (C, O, Sr, Li, Mg) e proveniência sedimentar (U-Pb, Hf, Sm-Nd) do grupo Bambuí no sul da bacia do São Francisco. Tese de Doutorado, Curso de Geologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

Santos, H.G., Carvalho Junior, W., Dart, R.O., Aglio, M.L.D., Sousa, J.S.; Pares, J.G., Fontana, A., Martins, A.L.S., Oliveira, A.P. 2011. O novo mapa de solos do Brasil: legenda atualizada. Escala 1:5.000.000. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 67 p. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/123772/1/DOC-130-O-novo-mapa-de-solos-do-Brasil.pdf. Acesso em: 6 dez 2022.

Santos, H.G., Jacomine, P.K.T., Anjos, L.H.C., Oliveira, V.A., Lumbreras, J.F., Coelho, M.R., Almeida, J.A., Arúujo Filho, J.C., Oliveira, J.B., Cunha, T.J.F. 2018. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, Embrapa. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/

digital/bitstream/item/181677/1/SiBCS-2018- -ISBN-9788570358172.epub>. Acesso em: 6 dez 2020.

Santos, O.J. dos. 2021. O uso da lisimetria na medição da evapotranspiração. Anais do 7º Encontro Científico Acadêmico da UNIFEOB, 36 p.

Santos, R.S. 2013. Saúde e qualidade da água: análises microbiológicas e físico-químicas em águas subterrâneas. Revista contexto & saúde, 13(24-25):46-53.

Scorsafava, M.A., Souza, A., Nunes, C.A., Milanez, T.V. 2010. Avaliação físico-química da qualidade de água de poços e minas destinada ao consumo humano. Revista do Instituto Adolfo Lutz, 69(2):229-232.

Schobbenhaus, C. A. 1984. evoluçâo da plataforma Sul-America no Brasil e suas principais concentrações minerais. Geologia do Brasil, p. 9-53.

Secretaria de Estado de Meio Ambiente. 2009. Cadernos da Mata Ciliar, Departamento de Proteção da Biodiversidade. São Paulo, 35 p.

Silva, E.T., Magalhães, C.S. 2001. Controle de poluição de atividades pecuárias. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, **22(210):**62-76.

Silva, F.C. da. 1996. Uso de dispositivos lisimétricos para medida da evapotranspiração de referência. Tese de Doutoramento, Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 68 p.

Silva, M.A., Pinto, C.P., Pinheiro, M.A.P., Marinho, M.S., Lombello, J.C., Pinho, J.M.M.P., Goulart, L.E.A., Magalhães, J. R. 2020. Mapa geológico do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte. Escala 1:1.000.000. CPRM, Belo Horizonte.

Silveira, C.S., Silva Júnior, G.C. 2002. O uso de isótopos ambientais em estudos hidrogeológicos no Brasil: uma resenha crítica. Anuário do Instituto de Geociências, 25:25-43.

Simões, P.L., Valadão, R. C., Oliveira, C. V., & Oliveira, F. S. et al. 2020. Uso de atributos pedológicos na compreensão da gênese de superfícies geomorfológicas escalonadas da borda oeste do Planalto do Espinhaço Meridional/Minas Gerais – Brasil. Revista Brasileira de Geomorfologia, 21(2).

Smakhtin, V.U. 2001. Low flow hydrology: a review. Journal of hydrology, 240(3-4):147-186.

Sobral, L.F., Barreto, M.C.V., Silva, A.J., Anjos, J.L. 2015. Guia prático para interpretação de resultados de análises de solos. Embrapa Documentos, Aracaju, 15 p.

Strahler, A.N. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. Eos, Transactions American Geophysical Union, 38(6):913-920.

Szikszay, M. 1993. Geoquímica das águas. Boletim IG-USP. Série Didática, 5:1-166.

Tiwari, P.C., Joshi, B., 2012. Environmental changes and sustainable development of water resources in the Himalayan headwaters of India. Water resources management, 26(4):883-907.

Townsend, P.V., Harper, R.J., Brennan, P.D., Dean, C. et al. 2012. Multiple environmental services as an opportunity for watershed restoration. Forest Policy and Economics, 17:45-58.

Travassos, L.E.P. 2019. Princípios de Carstologia e geomorfologia cárstica. Brasília, ICMBio. 242 p.

Tucci, C.E.M. (eds.). 1993. Hidrologia: Ciência e Aplicação. EDUSP, Editora da UFRGS. 952 p.

Turpie, J. K., Marais, C., Blignaut, J.N. 2008. The working for Water Programme: evolution of a payments for ecosystem services mechanism that adresses both poverty and ecosystem service delivery in South Africa. Ecological Economics, 65:788-798.

Uhlein, G. J., Uhlein, A., Pereira, E., Caxito, F.A., Okubo, J., Warren, L.V., Sial, A. N. 2019. Ediacaran paleoenvironmental changes recorded in the mixed carbonate-siliciclastic Bambuí Basin, Brazil. Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology. 517:39-51.

Valente, O.F., Gomes, M.A. 2005. Conservação de nascentes: hidrologia e manejo de bacias hidrográficas de cabeceiras. Viçosa, 287 p.

Vashisht, A.K., Sharma, H.C. 2007. Study on hydrological behaviour of a natural spring. Current Science, 837-840.

White, W.B. 1988. Geomorphology and hydrology of karst terrains. New York, Oxford University Press. 464 p.

White, W.B. 2005. Hydrology of karst aquifers. In: Culver, D. C.; White, W. B. (Ed.). Encyclopedia of Caves. London, Elsevier Academic Press, p. 293-300.

Zanzarini, R.M., Rosolen, V. 2009. Mata ciliar e nascente no cerrado brasileiro: análise e recuperação ambiental. In: 12º Encuentro de geógrafos de América Latina, Montevideo, v. 1, p. 1-10.

Zhao, Min et al. 2018. Effects of land cover on variations in stable hydrogen and oxygen isotopes in karst groundwater: A comparative study of three karst catchments in Guizhou Province, Southwest China. Journal of hydrology, 565:374-385, 2018.

APÊNDICES

APÊNDICE A

ANÁLISE PLUVIOMÉTRICA NA FAZENDA SAMBAÍBA, MUNICÍPIO DE SANTO HIPÓLITO - MG														
DIAS	**2019**			**2020**								**2021**		
	OUTUBRO	**NOVEMBRO**	**DEZEMBRO**	**JANEIRO**	**FEVEREIRO**	**MARÇO**	**ABRIL**	**MAIO**	**OUTUBRO**	**NOVEMBRO**	**DEZEMBRO**	**JANEIRO**	**FEVEREIRO**	**MARÇO**
2			80											
3			45							15		5		
4			70			30	18					25		
5				45		25					10		10	
6				40		30							15	
7													10	25
8											15		35	10
9						35		10						
10					35									
11							25							15
12					20								25	
13												5		
14							25							
15					15		20					10		

ANÁLISE PLUVIOMÉTRICA NA FAZENDA SAMBAÍBA, MUNICÍPIO DE SANTO HIPÓLITO - MG														
DIAS	**2019**			**2020**								**2021**		
	OUTUBRO	**NOVEMBRO**	**DEZEMBRO**	**JANEIRO**	**FEVEREIRO**	**MARÇO**	**ABRIL**	**MAIO**	**OUTUBRO**	**NOVEMBRO**	**DEZEMBRO**	**JANEIRO**	**FEVEREIRO**	**MARÇO**
16												35	25	
17									12					
18		10								10				
19		25				15							35	
20		90		35		15							35	
21		35			35						45			
22		20		35									25	
23	20			60					25		25		45	
24	2													
25	25				10									
26	20								60			10		
27	25			45									45	
28				10					20					
29									25					
31									168					