

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS**

**RAFAELA INÊS DOS REIS**

**AVALIAÇÃO DO TRANSPORTE DE NUTRIENTES E SEDIMENTOS EM  
SUSPENSÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO RIO PARDO, SUL DE  
MINAS GERAIS**

**ALFENAS - MG**

**2020**

**RAFAELA INÊS DOS REIS**

**AVALIAÇÃO DO TRANSPORTE DE NUTRIENTES E SEDIMENTOS EM  
SUSPENSÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO RIO PARDO, SUL DE  
MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Alfenas/UNIFAL-MG. Área de concentração: Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Diego de Souza Sardinha.

**ALFENAS - MG**

**2020**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas

Reis, Rafaela Inês dos.  
R375a Avaliação do transporte de nutrientes e sedimentos em suspensão na  
bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo, Sul de Minas Gerais / Rafaela Inês dos  
Reis – Alfenas/MG, 2020.  
89f. : il. –

Orientador: Diego de Souza Sardinha  
Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal  
de Alfenas, 2020.  
Bibliografia.

1. Nitrato. 2. Fosfato. 3. Sulfato. 4. Sedimentos. 5. Reservatório de  
Caconde. I. Sardinha, Diego de Souza. II. Título.

CDD-577

Ficha Catalográfica elaborada por Fátima dos Reis Goiatá  
Bibliotecária-Documentalista CRB/6-425

RAFAELA INÊS DOS REIS

**"Avaliação do transporte de nutrientes e sedimentos em suspensão na Bacia Hidrográfica do Alto Rio Pardo, sul de Minas Gerais"**

A Banca examinadora abaixo-assinada aprova a Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Ciências Ambientais.

Aprovada em: 28 de fevereiro de 2020

Prof. Dr. Diego de Souza Sardinha  
Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Prof. Dr. Flávio Aparecido Gonçalves  
Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Prof. Dr. Paulo Henrique Bretanha Junker Menezes  
Instituição: Universidade Federal de Alfenas



Documento assinado eletronicamente por **Diego de Souza Sardinha, Professor do Magistério Superior**, em 28/02/2020, às 12:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Paulo Henrique Bretanha Junker Menezes, Professor do Magistério Superior**, em 28/02/2020, às 12:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Flávio Aparecido Gonçalves, Professor do Magistério Superior**, em 28/02/2020, às 12:15, 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 [https://sei.unifal-mg.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.unifal-mg.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0267165** e o código CRC **1BB37B82**.

Ao meu pai, Hailton Rosa Reis,  
que está sempre presente em  
minha memória e no meu coração,  
dedico.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter me permitido concluir este trabalho com muita fé e perseverança...

Ao professor Dr. Diego de Souza Sardinha, pela orientação, motivação, ensinamentos, auxílio técnico e disposição em todas as coletas de campo. Agradeço também a amizade e confiança em mim depositada durante esse período.

Aos membros da banca, professores Dr. Flávio Aparecido Gonçalves e Dr. Paulo Henrique B. J. Menezes, pelas contribuições indispensáveis à conclusão deste trabalho.

À Universidade Federal de Alfenas, que possibilitou a realização do curso de mestrado e a todo o corpo docente do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, pelos ensinamentos nesta minha formação.

Aos colegas do curso de Pós-graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Alfenas, *campus* Alfenas, pelos momentos de estudos e pelas horas de descontração.

Aos técnicos dos laboratórios multiusuários da Universidade Federal de Alfenas, *campus* Poços de Caldas, pelo apoio profissional, em especial ao colega Cochise Libanio, que não mediu esforços para contribuir com a minha formação.

Ao colega Lucas Servidoni, pelo auxílio técnico no processamento de imagens e geração de mapas.

À colega Elisa Rocha, por ter me acolhido em sua casa durante o período de estudos em Alfenas. Foram muitos momentos de diversão e risadas que serei eternamente grata.

À todos os meus amigos, pelas horas de lazer, companhia e bons momentos compartilhados, em especial aos meus queridos amigos Jonas Dias e Danuza Gonçalves, pelo carinho, apoio, pelas conversas e conselhos diários, vocês são essenciais em minha vida.

À minha mãe Silvana Reis, tia Sônia Silva, irmãos Alex, Israel, Jean e Igor, pelo suporte, paciência, conselhos, carinho, compreensão e ajuda em todos os momentos que necessitei.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

*“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.”*

Madre Teresa de Calcutá

## RESUMO

A composição química das águas fluviais é influenciada pelos fatores físicos, químicos e biológicos que ocorrem na bacia hidrográfica, bem como pela interferência antrópica. O rio forma a drenagem principal da bacia, assim, integra todos os fenômenos ocorrentes nas vertentes, sendo que as consequências dos processos naturais e antrópicos podem se refletir a jusante pelo aumento de nutrientes e sedimentos, redução de seções de escoamento e assoreamento de reservatórios. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o transporte de nutrientes e sedimentos em suspensão na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo (BHARP) à montante do Reservatório de Caconde, Caconde-SP. As águas fluviais foram monitoradas uma vez por mês durante o período de maio de 2018 a abril de 2019. A BHARP foi caracterizada fisiográfica e morfometricamente desde a nascente do Rio Pardo até o ponto de amostragem, localizado a 44 km do Reservatório de Caconde, em uma área total de drenagem de 1.627,05 km<sup>2</sup>. Os resultados da caracterização fisiográfica demonstraram a predominância de rochas do tipo monzonito (21,33%) e ortognaisse (19,88%), solos do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo (43,46%) e Cambissolo Háplico (37,12%), áreas de culturas agrícolas (39,40%), seguido de mata nativa e floresta plantada (18,81%). A altitude média da BHARP é de 1.188m, com predomínio do relevo ondulado (57,41%). A caracterização morfométrica demonstrou que a área de estudo possui 3.229 km de cursos d'água, apresentando boa capacidade de drenagem ( $Dd= 1,98 \text{ km/km}^2$ ) e intensa dissecação. A vazão média anual foi de 33,97 m<sup>3</sup>/s e 20,88 l/s/km<sup>2</sup> de vazão específica. As precipitações médias segundo os métodos da média aritmética e de Thiessen foram de 1.740,94 mm e 1.763,47 mm, respectivamente, acima da média pluviométrica anual para o período de 1942 a 2018 de 1.457,78 mm. A estação seca ocorre no período de maio/18 a setembro/18 apresentando déficits no sistema hídrico, e a estação chuvosa de outubro/18 a abril/19, com superávit hídrico. O balanço hídrico demonstrou que a área estudada é bastante representativa, do ponto de vista da recarga de aquíferos regionais. De um modo geral, os valores de temperatura, pH, turbidez, OD, nitrato e sulfato estiveram dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para rios de classe 2. O índice de estado trófico para o nutriente fósforo (IET-PT) apontou que no período seco o Rio Pardo pôde ser classificado como mesotrófico, e no período chuvoso como eutrófico. Em relação ao transporte anual, foi observado durante o período de estudo um total afluente ao Reservatório de Caconde de 259.453,64 toneladas, distribuídos em 3.002,22 t de nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), 428,88 t de fosfato (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), 5.682,78 t de sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), 41.923,95 t de sólidos em suspensão, 24.017,81 t de sólidos dissolvidos e 184.398,00 t de sedimentos de fundo e/ou arraste, evidenciando os possíveis impactos ao Reservatório de Caconde, como a aceleração do assoreamento. A caracterização fisiográfica e morfométrica aliadas às avaliações hidrológicas, qualidade da água e transporte de nutrientes e sedimentos podem fornecer subsídios para a gestão dos recursos hídricos desta importante bacia localizada na região sul do estado de Minas Gerais.

Palavras-chave: Nitrato. Fosfato. Sulfato. Sedimentos. Reservatório de Caconde.



## ABSTRACT

The river waters chemical composition is influenced by the physical, chemical and biological factors that occurs in the hydrographic basin, as well by the anthropic factors interferences. The river forms the basin main drainage, therefore, integrates all the phenomena occurring the mountain slopes, and the consequences of natural and anthropic processes at the nutrients and sediments that can be reflected in downstream processing, in the decrease of runoff sections and silting reservoirs. In this context, the present paper work aimed to evaluate the nutrients and sediments suspension transport in Alto Rio Pardo hydrographic basin (BHARP) upstream Caconde Reservoir, Caconde-SP. The river waters were monitored once a month during May 2018 to April 2019. BHARP was physiographically and morphometrically characterized from the Rio Pardo source to the sampling point, located 44 km to the Caconde Reservoir, in 1,627.05 km<sup>2</sup> total area. The physiographic characterization results demonstrated predominance of monzonite (21.33%) and orthogneiss (19.88%) rocks, Red-Yellow Argisol (43.46%) and Cambisol Háplico (37.12%) soils, agricultural cultures (39.40%), followed by native and planted forest (18.81%) of predominance areas. BHARP average altitude is 1,188m, with undulating relief predominance (57.41%). The morphometric characterization results demonstrated 3,229 km of water courses study area, well drainage capacity ( $Dd = 1.98$  km/km<sup>2</sup>) and intense dissection. The annual flow average was 33.97 m<sup>3</sup>/s and the specific flow 20.88 l/s/km<sup>2</sup>. The rainfall average according methods arithmetic was 1,740.94 mm and Thiessen 1,763.47 mm, was higher than the historical pluviometric averaged for the 1942 to 2018 period (1,457.78 mm). The dry season occurred from May/18 to September/18 with deficits in the water system, and the rainy season from October/18 to April/19, with a water surplus. The water balance demonstrated that area studied is very representative to regional aquifers recharging. Temperature, pH, turbidity, OD, nitrate and sulfate values were within limits by CONAMA Resolution No. 357/2005 for class 2 rivers. The trophic state index for the nutrient phosphorus (IET-PT) indicated that Rio Pardo dry period was classified mesotrophic, and in the rainy period it was eutrophic. In relation to annual transport, Caconde Reservoir total affluent of 259,453.64 tons, distributed in 3,002.22 t nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), 428.88 t phosphate (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), 5,682.78 t sulfate (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), 41,923.95 t sediments suspension, 24,017.81 t dissolved solids and 184,398.00 t bottom sediments was observed during the study period, showing the Caconde Reservoir possible impacts, such as the silting acceleration. The physiographic and morphometric characterization combined with the hydrological evaluations, water quality and nutrients and sediments transport can to provide water resources management subsidies in this important basin located in the southern region of Minas Gerais state.

Key words: Nitrate. Phosphate. Sulfate. Sediments. Caconde Reservoir.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Principais etapas realizadas para delimitação da bacia hidrográfica a partir de dados SRTM.....	32
Figura 2 –	Interface do software <i>WinTSR</i> .....	43
Figura 3 –	Alterações antrópicas nas margens do Rio Pardo próximo ao ponto de amostragem.....	52
Fotografia 1 –	Vista panorâmica do Reservatório de Caconde, Caconde-SP.....	30
Fotografia 2 –	Avaliação da qualidade da água no ponto de amostragem.....	40
Fotografia 3 –	Coleta de amostra de água fluvial no ponto de amostragem.....	41
Fotografia 4 –	Avaliação dos sólidos totais em suspensão em laboratório.....	42
Fotografia 5 –	Espectrofotômetro modelo DR 890 da Hach Company.....	42
Fotografia 6 –	Representação do relevo ondulado na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG.....	58
Fotografia 7 –	Variações de vazão no ponto de amostragem.....	64
Gráfico 1 –	Pluviosidade média mensal na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG, 2018-2019.....	59
Gráfico 2 –	Pluviosidade média histórica na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG, 1942-2018.....	61
Gráfico 3 –	Comparação da pluviosidade média mensal no período 2018-2019 e média histórica no período 1942-2018 na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG.....	62
Gráfico 4 –	Relação entre vazão e precipitação em 10 e 5 dias anteriores às datas de amostragem na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG.....	63
Gráfico 5 –	Representação da calha do Rio Pardo, 2018-2019.....	64
Gráfico 6 –	Transporte anual de nutrientes na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG, 2018-2019.....	72
Gráfico 7 –	Transporte anual de sedimentos na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG, 2018-2019.....	73

Mapa 1 –	Delimitação dos municípios que compõem a bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG, com a localização do ponto de amostragem e delimitação da área de drenagem.....	29
Mapa 2 –	Litologia da bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG.....	46
Mapa 3 –	Pedologia da bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG.....	47
Mapa 4 –	Mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG.....	50
Mapa 5 –	Hidrografia da bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG.....	54
Mapa 6 –	Altimetria da bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG.....	56
Mapa 7 –	Declividade da bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG.....	57
Mapa 8 –	Polígonos de Thiessen com área de influência das estações pluviométricas localizados na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG.....	60

## LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1 –	Características morfométricas analisadas na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG.....	34
Quadro 2 –	Classes de relevo e declividade segundo Embrapa (1999).....	36
Quadro 3 –	Caracterização das estações pluviométricas selecionadas para estudo da precipitação mensal na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG, 2018-2019.....	36
Quadro 4 –	Caracterização das estações pluviométricas selecionadas para estudo da série histórica na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG, 1942-2018.....	38
Quadro 5 –	Classificação do estado trófico para rios segundo índice de Carlson (1977), modificado por Lamparelli (2004).....	44
Quadro 6 –	Resumo da caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG.....	55
Tabela 1 –	Classes de rochas presentes na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG.....	47
Tabela 2 –	Classes de solos presentes na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG.....	48
Tabela 3 –	Classes de uso e ocupação do solo presentes na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG.....	50
Tabela 4 –	Distribuição das classes de declividade presentes na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG.....	57
Tabela 5 –	Precipitação média anual na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG, pela média aritmética e método de Thiessen, 2018-2019.....	59
Tabela 6 –	Relação da vazão e precipitação acumulada 10 e 5 dias anteriores ao dia da amostragem.....	63
Tabela 7 –	Relação do balanço hídrico na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG, 2018-2019.....	65
Tabela 8 –	Resultados das análises físico-químicas das águas fluviais da bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG, 2018-2019.....	67
Tabela 9 –	Resultados das concentrações de nutrientes na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG, 2018-2019.....	68

Tabela 10 – Resultados das concentrações de sedimentos na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG, 2018-2019.....	70
Tabela 11 – Concentrações de fosfato, fósforo total em mg/l e $\mu\text{g/l}$ e Índice de estado trófico para fósforo total na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG, 2018-2019.....	71

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

°C	Graus Celsius
µg/l	Micrograma por litro
µS/cm	Microsiemens por centímetro
ANA	Agência Nacional de Águas
BHARP	Bacia Hidrográfica do Alto Rio Pardo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DAEE-SP	Departamento de Águas e Energia Elétrica do estado de São Paulo
<i>Dd</i>	Densidade de Drenagem
DME	Departamento Municipal de Eletricidade
GPS	Global Positioning System/ Sistema de Posicionamento Global
ha	Hectares
<i>Ic</i>	Índice de circularidade
IET	Índice de Estado Trófico
IET- PT	Índice de Estado Trófico para fósforo total
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
<i>I<sub>R</sub></i>	Índice de rugosidade
<i>K<sub>c</sub></i>	Coefficiente de compacidade
<i>K<sub>f</sub></i>	Fator de Forma
km/km <sup>2</sup>	Quilômetro por quilômetro quadrado
km <sup>2</sup>	Quilômetro quadrado
l	Litro
LED	Light Emitting Diode/ Diodo Emissor de Luz
m	Metro
m/s	Metro por segundo
m <sup>3</sup> /s	Metro cúbico por segundo
MDE	Modelo Digital de Elevação
mg	Miligrama
mg/l	Miligrama por litro
ml	Mililitro
mm	Milímetro

mV	Milivolts
N	Nitrogênio
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nitrato
NTU	Nephelometric Turbidity Unity/ Unidade Nefelométrica de Turbidez
OD	Oxigênio Dissolvido
ONG	Organização Não-Governamental
ORP	Oxidation Reduction Potential/ Potencial de Oxidação-Redução
P	Fósforo
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
pH	Potencial hidrogeniônico
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Fosfato
ppm	Partes por milhão
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Sulfato
SRTM	Shuttle Radar Topographic Mission
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
STS	Sólidos Totais em Suspensão
t	Tonelada
t/ano	Tonelada por ano
t/dia	Tonelada por dia
t/km <sup>2</sup> /ano	Tonelada por quilômetro quadrado por ano
UNIFAL	Universidade Federal de Alfenas

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>18</b>
<b>3.1</b>	<b>Caracterização fisiográfica e morfométrica</b> .....	<b>18</b>
<b>3.2</b>	<b>Processos hidrológicos</b> .....	<b>20</b>
<b>3.3</b>	<b>Qualidade da água</b> .....	<b>21</b>
<b>3.4</b>	<b>Estado trófico</b> .....	<b>23</b>
<b>3.5</b>	<b>Sedimentos e nutrientes</b> .....	<b>25</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>28</b>
<b>4.1</b>	<b>Área de estudo</b> .....	<b>28</b>
<b>4.2</b>	<b>Caracterização dos aspectos fisiográficos da bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo</b> .....	<b>31</b>
<b>4.3</b>	<b>Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo</b> .....	<b>34</b>
<b>4.4</b>	<b>Avaliação dos processos hidrológicos na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo</b> .....	<b>36</b>
<b>4.5</b>	<b>Avaliação da qualidade da água na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo</b> .....	<b>39</b>
<b>4.6</b>	<b>Avaliação do índice de estado trófico na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo</b> .....	<b>43</b>
<b>4.7</b>	<b>Avaliação do transporte de nutrientes e sedimentos na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo</b> .....	<b>45</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>46</b>
<b>5.1</b>	<b>Caracterização dos aspectos fisiográficos da bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo</b> .....	<b>46</b>
<b>5.2</b>	<b>Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo</b> .....	<b>53</b>
<b>5.3</b>	<b>Avaliação dos processos hidrológicos na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo</b> .....	<b>58</b>
<b>5.4</b>	<b>Avaliação da qualidade da água na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo</b> .....	<b>66</b>
<b>5.5</b>	<b>Avaliação do índice de estado trófico na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo</b> .....	<b>71</b>
<b>5.6</b>	<b>Avaliação do transporte de nutrientes e sedimentos na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo</b> .....	<b>72</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>75</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>77</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A modificação da paisagem para o desenvolvimento de atividades agrícolas e urbanas nas bacias hidrográficas têm gerado impacto sobre os recursos hídricos pela produção e transporte de nutrientes, processo este que tem se acelerado nos últimos 50 anos (RIVERS *et al.*, 2011). Um dos reflexos dessas modificações tem sido constatado por meio do excesso de nutrientes nos ecossistemas aquáticos, especialmente o nitrogênio e o fósforo, que se apresentam como os principais responsáveis pelo processo de eutrofização dos corpos d'água (LIMA *et al.*, 2016).

A química da água e o fluxo de nutrientes refletem os processos hidrológicos e biogeoquímicos que ocorrem na bacia hidrográfica e no interior dos canais (ANDRADE *et al.*, 2007). Ações antrópicas, como a alteração do uso da terra, podem intensificar o fluxo e a concentração de sedimentos e nutrientes na água dos rios (O'NEILL *et al.*, 1997; WIENS, 2002; PRESS *et al.*, 2006; DONATO *et al.*, 2008; LEE *et al.*, 2009; MOLISANI *et al.*, 2013).

Muitos estudos têm relacionado a qualidade da água superficial com a erosão do solo, mostrando que um dos principais mecanismos de perda de nutrientes dos ambientes ocorre por meio da erosão hídrica do solo, uma vez que eles são transportados pela enxurrada, podendo estar associados aos sedimentos ou dissolvidos na água (SHARPLEY *et al.*, 1981; SHARPLEY *et al.*, 1992; SHARPLEY, 1995; GBUREK; SHARPLEY, 1998; POTE *et al.*, 1999; CASSOL *et al.*, 2002).

Diante do exposto, faz-se necessário, além da avaliação do aporte de nutrientes, analisar a dinâmica da bacia hidrográfica por meio de estudos de suas características físicas, morfológicas e hidrológicas e de parâmetros de qualidade das águas superficiais. Além disto, deve-se avaliar os impactos dos diferentes usos do solo (CAOVILLA *et al.*, 2005; PINHEIRO *et al.*, 2009).

A bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo (BHARP) possui uma área de 2.451,13 km<sup>2</sup> e está localizada na mesorregião geográfica sul-sudoeste de Minas Gerais, abrangendo os municípios de Ipuúna, Santa Rita de Caldas, Caldas, Andradas, Poços de Caldas, Bandeira do Sul, Campestre e Botelhos, até desaguar no Reservatório de Caconde, estado de São Paulo. O Rio Pardo é o principal afluente do Reservatório de Caconde, utilizado como geração de energia elétrica, captação de água, pesca e lazer.

A qualidade da água é reflexo do uso e ocupação da terra, e, atividades agropecuárias, crescimento demográfico e adensamento populacional dos municípios que compõem a BHARP podem modificar as características naturais. Com isso, o presente trabalho tem como finalidade avaliar o transporte de nutrientes e sedimentos em suspensão na BHARP, à montante do Reservatório de Caconde, Caconde-SP. O Rio Pardo deve ser sítio de constante acompanhamento da qualidade das águas, visto que as modificações antrópicas produzidas ao longo da bacia podem se refletir a jusante, afetando de maneira significativa os usos múltiplos no reservatório.

Após um curso de cerca de 550 km pelos estados de Minas Gerais e São Paulo, o Rio Pardo dirige-se para o Rio Grande, sendo considerado seu maior afluente pela margem esquerda (COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARDO, 2010; SAMPAIO, 2012). Apesar de sua importância tanto do ponto de vista ecológico quanto econômico, foi muito pouco estudado em sua porção mineira. Alguns trabalhos utilizaram como metodologia de análise a geomorfopedologia, conforme Setzer (1956), Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (1992), Melo *et al.* (1993), Hiruma e Ponçano (1994); as análises morfométricas, conforme Celarino e Ladeira (2014), Celarino (2015) e a avaliação ambiental, conforme Sampaio (2012). Entretanto, nenhum dos trabalhos encontrados se utilizou da análise da BHARP em escala regional. Neste aspecto reside a originalidade da dissertação, o que ao mesmo tempo justifica certa dificuldade para encontrar literatura sobre o assunto, bem como a necessidade de fornecer subsídios para uma melhor compreensão da dinâmica sedimentológica da bacia.

## 2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo principal, avaliar o transporte de nutrientes e sedimentos em suspensão na BHARP. Para atingir este objetivo, as seguintes etapas foram realizadas:

- a) caracterizar os aspectos fisiográficos da BHARP;
- b) caracterizar os aspectos morfométricos da BHARP;
- c) levantar dados da vazão e da precipitação durante um ano hidrológico na BHARP;
- d) avaliar a qualidade da água durante um ano hidrológico na BHARP;
- e) avaliar o índice de estado trófico na BHARP;
- f) avaliar o transporte específico de nutrientes e de sedimentos na BHARP.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo será realizado um embasamento teórico para a discussão dos resultados deste trabalho.

#### 3.1 Caracterização fisiográfica e morfométrica

Nos estudos hidrológicos, é necessário inicialmente a delimitação da área que será analisada, abordando diferentes aspectos, tanto de ordem natural quanto antrópica. Este ambiente pode ser delimitado utilizando como base uma bacia hidrográfica, que segundo Silveira (2001), é uma área natural de captação da água de precipitação que dirige os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório. É derivada de bases geofisiográficas, onde seus limites e organização não coincidem com os limites geopolíticos dos estados brasileiros (TUNDISI, 2013). A área de drenagem, o comprimento do rio principal, declividade do rio e a declividade são as características principais da bacia hidrográfica (TUCCI, 2006).

A utilização de uma bacia hidrográfica como unidade de planejamento representa a integração das águas com o meio físico, o meio biótico e o meio social, econômico e cultural (YASSUDA, 1993). É sobre esse território que se desenvolvem todas as atividades humanas e onde se localizam as áreas urbanas, industriais, agrícolas e de preservação (PORTO; PORTO, 2008; ALBUQUERQUE, 2012). Em particular, todos os processos consequentes de ocupação do território e da utilização das águas são representados no exutório, pois é neste ponto de menor altitude onde se dá todo o escoamento superficial gerado no interior da bacia.

A bacia hidrográfica tem sido utilizada como uma unidade geomorfológica fundamental, devido ao fato de suas características governarem, no seu interior, todo o fluxo superficial da água (PISSARA, 1998; PISSARA *et al.*, 2004). A área da bacia tem influência sobre a quantidade de água produzida como deflúvio. A forma e o relevo atuam sobre a taxa ou sobre o regime dessa produção de água, assim como a taxa de sedimentação. O caráter e a extensão dos canais (padrão de drenagem) afetam a disponibilidade de sedimentos, bem como a taxa de formação do deflúvio. Deste modo, grande parte das características físicas são controladas ou influenciadas pela estrutura geológica da bacia (LIMA, 2008). Por conseguinte, as análises hidrológicas e geomorfológicas permitem compor um quadro significativo do comportamento físico deste sistema.

A caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica consiste na análise quantitativa de parâmetros fisiográficos. Este estudo permite um conhecimento das interações entre a fisiografia e a dinâmica hidrológica, bem como as relações existentes entre eles e os diversos componentes do meio físico e biótico de uma bacia (FARIA *et al.*, 2009). Dentre os diversos parâmetros morfométricos, cita-se as análises linear, areal e hipsométrica, propostos por Christofolletti (1980). De modo geral, as características morfométricas podem ser divididas em: características geométricas, características da rede de drenagem e características do relevo, conforme Tonello (2005) e Campanharo (2010), ou simplesmente características da área e da rede de drenagem, segundo IBGE (2009) ou características do padrão de drenagem e de relevo (PISSARA *et al.*, 2004).

Embora o comportamento hidrológico da bacia hidrográfica seja influenciado pelas características geomorfológicas (forma, relevo, área, geologia, rede de drenagem, solo, etc.) e pelo tipo da cobertura vegetal existente, há uma interferência significativa das atividades antrópicas no meio, uma vez que estas modificam as características naturais da bacia hidrográfica (LIMA, 2008).

Os fatores geológicos que influenciam na dinâmica de uma bacia de drenagem são representados pelo tipo de substrato rochoso e por alguns dos processos exógenos – relacionados à dinâmica superficial (climatização química, erosão, transporte e deposição), e por processos endógenos (relacionados ao padrão de drenagem) que se desenvolvem na superfície terrestre (LORANDI; CANÇADO, 2002). A espacialização das classes de solos apresenta-se ordenada nas paisagens com forte influência das variações morfométricas ao longo das vertentes, observando-se uma íntima ligação de causa e efeito entre a topografia e a distribuição dos solos (HERMUCHE *et al.*, 2003).

O clima possui extrema importância na análise das interações da bacia hidrográfica e do relevo, uma vez que as formas de relevo são moldadas, dentre outros, pela ação climática. Além disso, a estreita relação existente entre os aspectos climáticos e as atividades agrárias, urbanas e industriais atestam a importância do conhecimento das condições climáticas para o gerenciamento de tais atividades (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2002; AMORIM, 2014).

A cobertura vegetal desempenha importante papel na distribuição de energia e água na superfície. As modificações naturais e artificiais na vegetação produzem os mais variados impactos sobre o meio ambiente e a qualidade dos recursos hídricos, sendo que a remoção da cobertura vegetal influencia diretamente os processos de interceptação, infiltração,

escoamento superficial e erosão (TUCCI; CLARKE, 1997; BALBINOT *et al.*, 2008). Observa-se que o tipo e a porcentagem de cobertura vegetal influenciam na redução da remoção de sedimentos e dos efeitos erosivos naturais, podendo reduzir a energia cinética da chuva, minimizando o seu impacto sobre o solo e, conseqüentemente, diminuindo a formação de crostas sobre a sua superfície (LORANDI; CANÇADO, 2002).

### 3.2 Processos hidrológicos

Os processos hidrológicos que ocorrem na bacia hidrográfica possuem duas direções predominantes, sendo o fluxo vertical representado pela precipitação e evapotranspiração e o fluxo longitudinal representado pelo escoamento, tanto superficial quanto subterrâneo (TUCCI, 2002). O escoamento superficial corresponde a uma fração do ciclo hidrológico relacionado ao deslocamento da água sobre a superfície do solo. Esse processo ocorre somente quando a intensidade de precipitação excede a taxa de infiltração, ou quando a capacidade de acumulação de água no solo for ultrapassada. A água começará a escoar depois de esgotada a capacidade de retenção superficial (PRUSKI *et al.*, 2004). Esta parcela do escoamento é conhecida como precipitação efetiva ou deflúvio superficial. É regido por leis físicas e representado quantitativamente por variáveis como vazão, profundidade e velocidade (TUCCI, 2001). O escoamento de base ou subterrâneo é aquele produzido pela drenagem do aquífero subterrâneo, importante do ponto de vista ambiental, uma vez que refletirá a produção de água na bacia durante as estações secas (TUCCI, 2001).

A distribuição temporal e espacial da precipitação e evapotranspiração são variáveis de entrada na bacia. As variáveis de saída correspondem ao nível e vazão de um rio. A variabilidade dessas condições hidrológicas ocorre em decorrência da combinação de vários fatores como: condições climáticas de precipitação (distribuição, duração e intensidade), evapotranspiração, radiação solar, entre outros; condições físicas como relevo, geologia, geomorfologia e solos; cobertura vegetal e uso do solo; ações antrópicas sobre o sistema fluvial, entre outros (TUCCI, 2001; TUCCI, 2006).

Os dados pluviométricos fornecem estimativas precisas sobre a precipitação, uma das variáveis atmosféricas de maior influência na qualidade do meio ambiente. Podem ser obtidos por meio de estações pluviométricas através da análise de frequência diárias, anuais e séries históricas. A quantidade relativa de precipitação pluvial (volume), o regime sazonal ou diário (distribuição temporal) e a intensidade de chuvas individuais (volume/duração) são algumas

das características que afetam direta ou indiretamente a população, a economia e o meio ambiente (BRITTO *et al.*, 2006).

A vazão de um rio pode ser medida através de diversos métodos, sendo o mais tradicional a utilização do molinete hidrométrico, equipamento que relaciona rotações do hélice do molinete com a velocidade de escoamento do fluido, obtendo dados através da estimativa de variáveis como largura e profundidade do canal e velocidade do fluido (MALDONADO *et al.*, 2015). A vazão nos rios influencia a qualidade da água, sendo que quanto maior a vazão, maior será a capacidade de diluição dos corpos d'água. Na maioria dos sistemas hídricos as condições críticas de qualidade da água ocorrem durante as estiagens, quando a vazão nos rios decresce, diminuindo assim a capacidade de diluição das cargas urbanas e rurais (TUCCI, 2006).

A identificação de tendências sazonais e anuais de precipitação e vazão na escala regional contribui para a percepção das alterações climáticas globais e é essencial para o desenvolvimento de pesquisas hídricas, hidrogeológicas, recarga de aquíferos, para o setor agrícola e florestal, desenvolvimento de modelos hidrológicos, previsão hidrológica e planejamento e gestão de recursos hídricos para bacias (FRITZSONS *et al.*, 2011; JOSEPH *et al.*, 2013). Para a gestão eficiente dos recursos hídricos torna-se relevante o conhecimento do comportamento hidrológico da bacia, uma vez que a variabilidade climática pode afetar diretamente as atividades econômicas e sociais da população.

### **3.3 Qualidade da água**

As águas naturais apresentam uma composição química bastante complexa, devido à carga de elementos e substâncias presentes na atmosfera, ao grande número de íons dissolvidos, às substâncias orgânicas resultantes das condições naturais da bacia hidrográfica - geoquímica do solo e das rochas que constituem o substrato das bacias - e às atividades humanas (TUNDISI; TUNDISI, 2008).

Mudanças de temperatura fazem parte do regime climático normal e os corpos hídricos apresentam variações sazonais e diurnas, bem como estratificação vertical. A temperatura superficial é influenciada por fatores como latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2017). Segundo Vieira (2019), a temperatura é um fator que influencia quase todos os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem na água. Por isso, é necessária a

medição simultânea dos parâmetros pH, condutividade elétrica, DBO e oxigênio dissolvido juntamente com a temperatura.

Elevações da temperatura aumentam o percentual das reações físicas, químicas e biológicas (na faixa usual de temperatura), diminuem a solubilidade dos gases (ex: oxigênio dissolvido) e também aumentam a taxa de transferência de gases, o que pode gerar mau cheiro, no caso da liberação de gases com odores desagradáveis, além de causar a diminuição da densidade e da viscosidade da água, facilitando a sedimentação de materiais em suspensão (VON SPERLING, 2005; VIEIRA, 2019).

O Potencial Hidrogeniônico (pH) tem sua origem natural a partir da dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação de matéria orgânica e através da fotossíntese. A origem antrópica se dá através de efluentes domésticos e industriais. Em se tratando de corpos hídricos, valores elevados de pH podem estar relacionados com a proliferação de algas e valores elevados ou baixos podem indicar a presença de efluentes industriais (VON SPERLING, 2005). Água da chuva com pH ácido influencia a composição química da água que flui para rios e lagos a partir da bacia de drenagem (TUNDISI; TUNDISI, 2008).

Valores de pH na faixa de 6 a 9 são considerados compatíveis, a longo prazo, para a maioria dos organismos, valores acima ou abaixo destes limites são prejudiciais ou letais para a maioria dos organismos aquáticos, especialmente para os peixes, podendo resultar na inibição parcial ou completa dos processos metabólicos dos microrganismos envolvidos na estabilização da matéria orgânica, especialmente pelo processo anaeróbico (VIEIRA, 2019).

Segundo Pinto (2007), condutividade elétrica é uma medida da capacidade de uma água conduzir uma corrente elétrica devido à presença de íons. Essa propriedade varia com a concentração total de substâncias ionizadas dissolvidas na água, temperatura, mobilidade, valência e concentrações de íons. A medida da condutividade elétrica pode ser relacionada com a concentração de sólidos totais dissolvidos, parâmetro que pode indicar a presença de efluentes de forma direta, o que facilita avaliar a qualidade do corpo d'água (VIEIRA, 2019).

O oxigênio (O<sub>2</sub>) é um dos gases dissolvidos mais importantes na dinâmica e na caracterização de ecossistemas aquáticos. As principais fontes de oxigênio para a água são a atmosfera e a fotossíntese. A diminuição de oxigênio é devido ao consumo pela decomposição de matéria orgânica, perdas para a atmosfera, respiração de organismos aquáticos e oxidação de íons metálicos como, por exemplo, o ferro e o manganês (ESTEVEZ, 1998). A solubilidade do oxigênio na água depende da temperatura e pressão.



O oxigênio dissolvido é o principal parâmetro de determinação dos efeitos da poluição das águas por despejos orgânicos. Em corpos d'água eutrofizados, ocorre a produção de oxigênio pelos organismos fotossintetizantes (algas), resultando em valores de OD superiores à saturação. Valores inferiores à saturação indicam a presença de matéria orgânica que pode estar relacionada com o lançamento de esgotos (VON SPERLING, 2005).

O Potencial de oxidação-redução (ORP) é uma medida de perda ou ganho de elétrons. Na ausência de oxigênio, esses elétrons se acumulam ou reagem com outros íons para transmitir uma carga negativa, resultando em um ORP negativo (VERMA, 2006). Tais processos podem definir condições de deficiência de elétrons (meio redutor) ou transferência de elétrons (meio oxidante) (CETESB, 2017).

A turbidez pode ser definida como o grau de interferência à passagem da luz através da água. Naturalmente, é causada pela presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e detritos orgânicos, tais como algas e bactérias, plâncton em geral (VON SPERLING, 2005). Como origem antropogênica, pode-se citar os despejos industriais, domésticos e erosão acelerada por mau uso do solo (CETESB, 2017). Em regiões com solos erodíveis, as precipitações podem carrear partículas de argila, silte, areia, fragmentos de rocha e óxidos metálicos do solo, provocando elevações na turbidez da água (LIBÂNIO, 2010). Alta turbidez provoca redução da fotossíntese de vegetação enraizada submersa e algas, o que pode, por sua vez, suprimir a produtividade de peixes. Com isso, a turbidez pode influenciar nas comunidades biológicas aquáticas, além de afetar negativamente os usos doméstico, industrial e recreacional de uma água (CETESB, 2017).

### **3.4 Estado trófico**

Dentre as formas, ou frações de fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) disponíveis, o fosfato inorgânico dissolvido (ou ortofosfato, ou fosfato reativo, ou P-orto) é o mais importante por ser a principal forma de fósforo assimilada pelos vegetais aquáticos. De modo geral, o aporte externo de matéria orgânica e inorgânica, as precipitações e a capacidade de fixação do nitrogênio atmosférico por algumas algas, bactérias e cianobactérias retratam as fontes naturais de nitrogênio para os ecossistemas aquáticos (ESTEVES, 1998; VON SPERLING, 2005, LIBÂNIO, 2010). Assumindo importância significativa na produtividade do ecossistema, o íon sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) constitui a principal fonte de enxofre para os produtores

primários, sendo a forma mais frequente encontrada em corpos hídricos, juntamente com o gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S) (ESTEVES, 1998).

A aplicação de fertilizantes e defensivos nas lavouras, a irrigação e a criação intensiva de animais, associadas ao regime de precipitação local e a práticas não conservacionistas de manejo do solo contribuem para a poluição das águas superficiais por cargas difusas de nutrientes (MANSOR, 2005). Os esgotos domésticos, onde os compostos fosfatados inorgânicos originam-se, principalmente, dos detergentes e demais produtos químicos domésticos, e os compostos fosfatados orgânicos, que têm sua origem vinculada aos dejetos fisiológicos da população são os principais contribuintes para a carga pontual de nutrientes no rio (VON SPERLING, 2005).

A eutrofização é o aumento da concentração de nutrientes, especialmente fósforo (P) e nitrogênio (N) no meio aquático. Esse processo pode ocorrer naturalmente, de forma lenta, resultante dos nutrientes carreados pelas chuvas e pelas águas superficiais que erodem e lavam a superfície terrestre; e/ou por ação antrópica, causado pelo lançamento excessivo de nutrientes no ambiente, por meio de efluentes domésticos, industriais e/ou atividades agrícolas, entre outras (ESTEVES, 1998; LAMPARELLI, 2004; MARINHO; FONSECA; ESTEVES, 2016).

O Índice de Estado Trófico (IET) foi desenvolvido por Carlson (1977), com o objetivo de tornar mais claro os estudos envolvendo a eutrofização, ou seja, classificar os corpos d'água em diferentes graus de trofia, avaliando a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo de algas e zooplânctons (CETESB, 2016). O conceito de estado trófico é multidimensional, envolvendo aspectos de carga e transporte de nutrientes, concentração de nutrientes, produtividade e quantidade e qualidade da biota (FARAGE *et al.*, 2010).

Segundo Fia *et al.* (2009), o Índice de Estado Trófico funciona como um registro das atividades humanas nas bacias hidrográficas, oferecendo subsídios para formulação de planos de manejo e gestão de ecossistemas aquáticos, por meio de estratégias que garantam os usos múltiplos da água, em médio e longo prazo. Já para Cardoso *et al.* (2014), o IET fornece informações rápidas e essenciais dos recursos hídricos. Ao associar as informações geradas por esta ferramenta, pode-se determinar os impactos das ações humanas na dinâmica dos ecossistemas aquáticos.

### 3.5 Sedimentos e nutrientes

A entrada de sólidos na água pode ocorrer de forma natural, por meio de processos erosivos, organismos e detritos orgânicos, ou de forma antropogênica, através do lançamento de resíduos e efluentes (FUNASA, 2014). Todas as impurezas presentes na água contribuem para a carga de sólidos.

Diversos fatores influenciam na origem dos materiais contidos no fluxo dos rios, entre eles o regime pluvial, as diferentes estruturas geológicas, as condições topográficas e a cobertura vegetal (CHRISTOFOLETTI, 1981). No entanto, a maior parte dos sólidos é proveniente da ação erosiva das águas sobre as vertentes, sendo uma mistura de partículas de várias espécies, tamanhos e formas (KUERTEN, 2006). O fenômeno das chuvas desprende parte da superfície dos solos e as remove para outros locais, com menor altitude. Como consequência deste processo, as águas pluviais levam consigo grandes quantidades de solos para o interior dos rios que, por conseguinte, irão transportar esses detritos (VILLELA; MATTOS, 1975).

Os sólidos podem ser classificados de acordo com seu tamanho e características químicas. Quanto ao tamanho, basicamente são classificados em três grupos: materiais de fundo ou arraste, em suspensão e dissolvidos. Quanto às características químicas, podem ser classificados em voláteis e fixos (KUERTEN, 2006; PÁDUA; FERREIRA, 2006).

Os sedimentos de fundo ou arraste são partículas com maior granulometria, compostas principalmente por areias, seixos e cascalhos. Estas são transportadas pela força do fluxo, mediante diversas formas de deslocamento mais lento que o transporte em suspensão e de forma intermitente (CHRISTOFOLETTI, 1981). Estes sedimentos mais densos e com maior diâmetro se concentram nas paredes dos canais e no leito de fundo do rio.

Sólidos totais em suspensão são as partículas de granulometria reduzida como silte, argila e areias finas que conservam-se em suspensão na corrente através do fluxo turbulento (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Sólidos totais dissolvidos são constituídos por partículas de diâmetro inferior a  $10^{-3}$   $\mu\text{m}$  e que permanecem em solução mesmo após a filtração, diferente dos sólidos totais em suspensão, onde as partículas permanecem retidas nos processos de filtração (VON SPERLING, 2005).

Em rios, o transporte de sedimentos obedece aos parâmetros da hidrologia, da geomorfologia e da hidráulica fluvial, e é função de três grupos de propriedades: a) material

de leito (granulometria, densidade e forma do fundo), b) fluxo (vazão, profundidade, forma do canal, velocidade), c) taxa de transporte de sedimentos (granulometria, carga em suspensão e carga de fundo) (AGUIRRE *et al.*, 2004).

A construção de uma barragem e a formação do reservatório modifica as condições naturais do rio. O sedimento carregado perde a capacidade de transporte ao encontrar águas com menor velocidade, passando a ser depositado em remanso à montante do reservatório. As partículas mais pesadas, como pedregulhos e areias grossas, são as primeiras a se depositar, enquanto os sedimentos mais finos, como o silte, adentram ao reservatório, causando assoreamento e diminuição gradativa da capacidade de armazenamento, podendo até mesmo inviabilizar a operação do aproveitamento, além de ocasionar problemas ambientais de diversas naturezas (CARVALHO *et al.*, 2000; SILVA, 2007; MACÊDO, 2009).

A presença de fosfato na água está relacionada a processos naturais, como a dissolução de rochas pelo intemperismo. As fontes artificiais mais importantes são: esgotos domésticos e industriais, material particulado de origem industrial contido na atmosfera, detergentes, fertilizantes e lixiviação de criatórios de animais (ESTEVES, 1998; VON SPERLING, 2005; LIBÂNIO, 2010). Geralmente, concentrações na faixa de 0,01 mg/l de fosfato são suficientes para a manutenção do fitoplâncton, e concentrações na faixa de 0,03 a 0,1 mg/l (ou maiores) são suficientes para disparar o seu crescimento de maneira desenfreada (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2016).

O fósforo é considerado elemento essencial para o funcionamento e o crescimento das plantas aquáticas. Quando em elevadas concentrações, pode conduzir a um crescimento exagerado de algas, causando a eutrofização dos corpos hídricos (VON SPERLING, 2005). Em águas naturais não poluídas, as concentrações de fósforo situam-se na faixa de 0,01 mg/l a 0,05 mg/l (FUNASA, 2014). Já para Hermes e Silva (2004), em águas naturais a quantidade de fósforo varia de 0,005 mg/l a 0,020 mg/l.

Concentrações significativas de nitrogênio nos corpos hídricos originam-se de fontes antrópicas por meio de lançamentos domésticos (responsável por 40% de nitrogênio orgânico e 60% de amônia), industriais e de excrementos de animais, assim como dos fertilizantes (a partir de nitrato inorgânico) utilizados em solos agriculturáveis passíveis de serem lixiviados pelas chuvas (LIBÂNIO, 2010). Quando presente em baixas concentrações pode atuar como fator limitante na produção primária de ecossistemas aquáticos, e quando em altas concentrações pode estimular o crescimento excessivo de plantas aquáticas e do fitoplâncton, causando o fenômeno da eutrofização (ESTEVES, 1998).

As fontes de enxofre para os ambientes aquáticos são principalmente decomposição de rochas, chuvas (deposição atmosférica) e agricultura (por meio da aplicação de adubos contendo enxofre) (ESTEVES, 1998). Altas concentrações de sulfato em águas naturais são comuns associadas à presença dos minerais gipsita ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), anidrita ( $\text{CaSO}_4$ ), barita ( $\text{BaSO}_4$ ) entre outros (PARRON *et al.*, 2011). Conforme citado por Arruda *et al.*, (2012), em águas superficiais altas concentrações de sulfato podem ser consequência de despejos de efluentes domésticos (degradação de proteínas), assim como de efluentes industriais (indústrias químicas, farmacêuticas, de celulose e papel, etc.), ou ainda por pluviosidade fortemente acidificada, em razão de fortes emissões de gás sulfídrico por meio da queima de combustíveis fósseis em áreas urbanas e industriais.

Segundo Von Sperling (2005), a introdução de sedimentos, nutrientes e poluentes em ambientes aquáticos são resultantes de fenômenos naturais e da atuação do homem, em função do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica. Associado aos sedimentos ocorre o transporte de compostos químicos, matéria orgânica, sementes e defensivos agrícolas, que, além de causarem prejuízos diretos à produção agropecuária, provocam problemas de assoreamento e poluição dos corpos hídricos, diminuindo a seção de vazão dos leitos dos rios e aumentando os riscos de cheias, o que compromete a perenidade e a qualidade dos cursos d'água (PRUSKI *et al.*, 2004; SANTOS *et al.*, 2010).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Área de estudo

A bacia hidrográfica do Rio Grande está localizada no Sudeste do Brasil e encontra-se na Região Hidrográfica Paraná, uma das mais importantes do país, tanto do ponto de vista econômico, como do aproveitamento dos recursos hídricos. A área de drenagem tem cerca de 143.437,79 km<sup>2</sup>, dos quais 57.092,36 km<sup>2</sup> estão em território paulista e 86.345,43 km<sup>2</sup> em Minas Gerais (COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SAPUCAÍ, 2010).

A bacia hidrográfica dos Afluentes Mineiros dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo (GD6) possui área total de 5.964 km<sup>2</sup> e abrange 27 municípios, com uma população de cerca de 543 mil habitantes (INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS, 2010). No estado de Minas Gerais, os rios Mogi-Guaçu e Pardo vertem no sentido do estado de São Paulo, onde constituem a parte paulista da bacia do Rio Mogi-Guaçu (UGRHI 09) e da bacia do Rio Pardo (UGRHI 04).

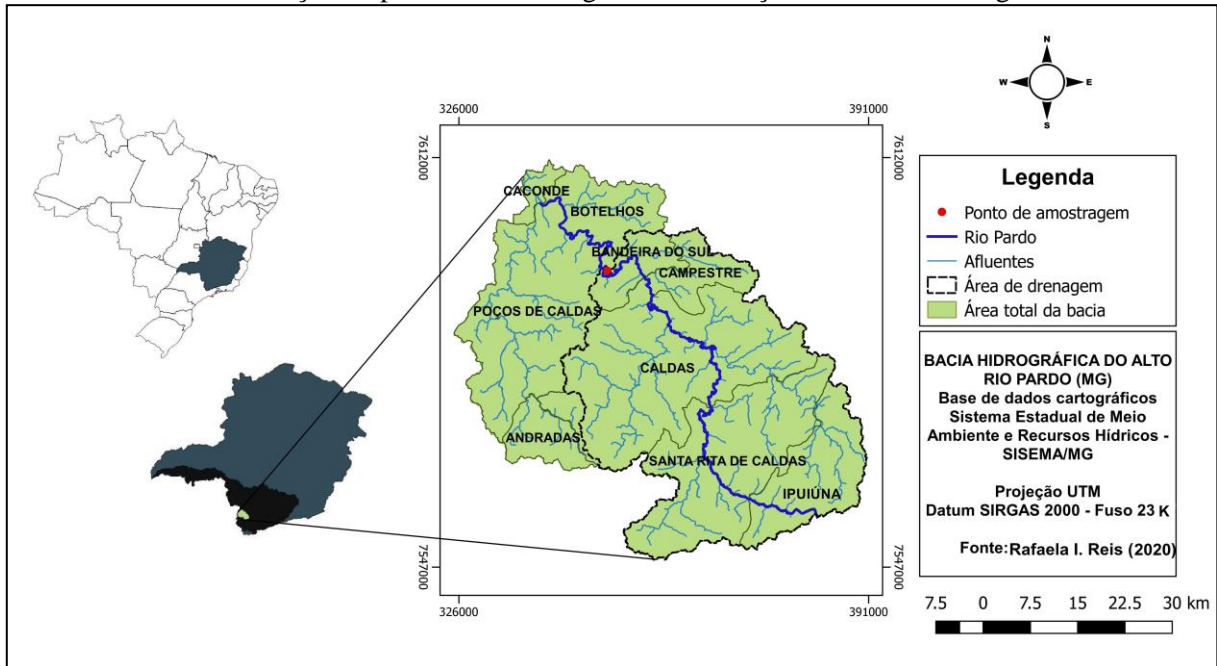
Conforme dados do Plano Diretor de Recursos Hídricos dos Afluentes Mineiros dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo, os principais usos dos recursos hídricos na bacia hidrográfica são para abastecimento de água e diluição de efluentes, irrigação, pecuária, mineração, geração de energia, proteção da comunidade aquática, pesca e aquicultura. O abastecimento urbano é responsável pela maior demanda hídrica, seguido pela irrigação, que consome cerca de 20,7% da vazão superficial total e 8,95% da vazão subterrânea (IGAM, 2010).

Sendo considerada uma bacia em industrialização, a bacia hidrográfica dos Afluentes Mineiros dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo sofre pressão e problemas ambientais decorrentes do desmatamento – inclusive de matas ciliares, da agricultura, pecuária, suinocultura, silvicultura, do lançamento de efluentes domésticos sem tratamento, lançamento de efluentes industriais (alimentos, bebidas, laticínio, adubos, fertilizantes e corretivos de solo), atividade minerária (areia, argila e cascalho), aplicação indiscriminada de agrotóxicos – principalmente nas culturas de batata e morango, e problemas decorrentes do uso inadequado do solo, como erosão e assoreamento (IGAM, 2010; IGAM, 2012).

O Rio Pardo nasce na Serra de Ipuíúna, município de Ipuíúna-MG, percorre uma distância de 144 km entre os municípios de Santa Rita de Caldas, Caldas, Campestre, Bandeira do Sul, Poços de Caldas e Botelhos, até desaguar no Reservatório de Caconde-SP (Mapa 1). Além de possuir importância econômica nas atividades de pesca e extração de

areia, empresas do setor elétrico estudam a implantação de duas PCHs ao longo de seu curso, a PCH Boa Vista, localizada na divisa de Poços de Caldas e Botelhos, e a PCH Marambaia, localizada na divisa de Poços de Caldas e Bandeira do Sul-MG.

Mapa 1 – Delimitação dos municípios que compõem a bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG, com a localização do ponto de amostragem e delimitação da área de drenagem



Fonte: Autora, 2020.

O reservatório (Fotografia 1) possui área de 31 km<sup>2</sup> e é aproveitado para geração de energia na Usina Hidrelétrica Caçonde. Começou suas operações em 1966, possui capacidade de acumular 555 bilhões de litros d'água e tem capacidade instalada de 80,4 MW (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2018). Também é utilizado como local de recreação (clubes aquáticos e esportes náuticos), captação de água e pesca.

Fotografia 1 – Vista panorâmica do Reservatório de Caconde, Caconde-SP



Fonte: Google imagens, 2019.

O clima do sul de Minas Gerais é tropical e tropical de altitude, caracterizados por temperaturas amenas com poucas variações, chuvas no verão e seca no inverno. O setor centro-sul é mais úmido e apresenta maior índice de pluviosidade, sendo que no verão a precipitação pode alcançar 900 mm, o que é cerca de 60% da precipitação total anual (REBOITA *et al.*, 2015).

Conforme Zoneamento Climático do Estado de Minas Gerais proposto por Sá Júnior (2009), de acordo com a classificação de Köppen, verifica-se na área de estudo o tipo climático Cwb (clima temperado úmido com inverno seco e verão moderadamente quente). Reboita *et al.* (2015), utilizando o método de classificação de Köppen-Geiger com base nos dados interpolados de temperatura média do ar e precipitação, classificou a região do sul de Minas como Cwa (clima temperado úmido com inverno seco e verão quente), por influência das regiões de altitude elevada e, inseridas nessas, menores regiões classificadas como Cwb.

O clima é afetado por precipitações de origem orográfica e ciclônica, tanto frentes frias de origem polar (sistema atmosférico frontal), com chuvas de longa duração e de baixa a média intensidade, quanto frentes quentes e úmidas oriundas da região equatorial (Amazônia), que caracteriza um sistema atmosférico não frontal (MOREIRA, 1999; VIANELLO; ALVES, 2000). A estação chuvosa tem influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul, da Monção Sul-Americana e do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (REBOITA *et al.*, 2015).



A bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo (BHARP) se encontra geologicamente numa região que envolve uma complexa associação de rochas cristalinas com idades de formação distintas e intensamente deformadas por eventos tectônicos. Grande parte da área de estudo se encontra no Complexo Varginha-Guaxupé, da era Neoproterozoica. A bacia se inclui também nos terrenos das unidades litoestratigráficas: Complexo Alcalino Poços de Caldas, Complexo Pinhal-Ipuiúna, Unidade Sienito Pedra Branca, Unidade Sienito Capituva e Granitoide Caconde (IGAM, 2010). Quanto à cobertura vegetal, constitui-se das Florestas Estacional Semidecidual e Ombrófila Mista, bem como Savana (Cerrado) Arbórea Aberta e Gramíneo-Lenhosa (RADAM, 1983).

A BHARP possui uma área total de 2.451,13 km<sup>2</sup>, entretanto, para estudo dos aspectos fisiográficos, caracterização morfométrica, processos hidrológicos e transporte específico de nutrientes e sedimentos, foi considerado apenas a área de drenagem até o ponto de amostragem, correspondente a 1.627,05 km<sup>2</sup>.

O ponto de amostragem foi determinado utilizando como referência mapas da bacia hidrográfica e trabalho de campo para definir o local de melhor acesso. As coletas e amostragens foram realizadas na ponte do Rio Pardo, Bairro Souza Lima, município de Poços de Caldas-MG, nas coordenadas 21°45'03"S e 46°27'18"W. O local foi escolhido devido à sua aproximação do exutório, localizado a 44 km à montante do Reservatório de Caconde.

As águas fluviais foram monitoradas uma vez por mês durante o período de maio de 2018 a abril de 2019, caracterizando as variações em um ano hidrológico completo, ou seja, abrangendo os períodos seco e chuvoso.

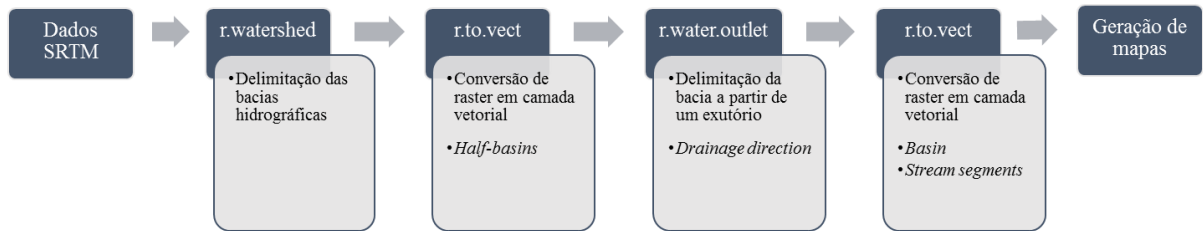
#### **4.2 Caracterização dos aspectos fisiográficos da bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo**

Com a finalidade de subsidiar a análise dos elementos fisiográficos necessários e espacializar as informações resultantes, foram realizadas pesquisas bibliográficas e inventário de dados, levantamento do material técnico, bibliográfico e cartográfico sobre a área de estudo, além de controle em campo, utilizando equipamento GPS (Global Positioning System) modelo Garmin (Map. 62S).

Para a extração automática da rede de drenagem e delimitação da BHARP, foi utilizado o software *Quantum GIS 2.18 with GRASS 7.0.5*. Utilizou-se o Modelo Digital de Elevação (MDE) do radar Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) -1 arcseg de resolução espacial de 30 metros disponível para download pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos

(USGS, 2019). As cenas escolhidas foram SRTM1S22W047V3 e SRTM1S23W047V3 (GeoTIFF 1 Arc-second 24.8 MB). Foi feito mosaico das cenas e posterior conversão do sistema de referência espacial em SIRGAS 2000/ UTM 23S. A Figura (1) mostra as principais etapas para delimitação da bacia hidrográfica.

Figura 1 – Principais etapas realizadas para delimitação da bacia hidrográfica a partir de dados SRTM



Fonte: Autora, 2020.

Em relação aos aspectos fisiográficos, foram levantados dados sobre a litologia, pedologia, hidrografia e de uso e ocupação do solo. Foram utilizados os softwares *ArcMap GIS 10.5*, *Quantum GIS 2.18 with GRASS 7.0.5* e *Google Earth Pro* para tratamento das imagens e geração de mapas. Visitas de campo foram realizadas com a finalidade de verificar, atualizar e validar as classes de relevo e usos do solo.

O mapa litológico da área de estudo foi gerado a partir de arquivos em formato shapefile (GIS), disponibilizados pela Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (2019), através do Portal da Geologia. Foi utilizado o Projeto “Fronteiras de Minas” para extração das folhas: Caldas – Poços de Caldas e Ouro Fino – Andradas, em escala 1:100.000, que continha os dados utilizados para compor o mapa litológico.

O mapa pedológico da área de estudo foi gerado a partir de arquivos disponibilizados pela Embrapa (2004), através do Portal GeoInfo. O mapa de solos do estado de Minas Gerais foi elaborado com base no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, disponibilizado em formato shapefile (GIS) em escala 1:1.000.000 (EMBRAPA, 1999).

O mapa hidrográfico da área de estudo foi gerado a partir de arquivos disponibilizados pelo Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (2019), através do Portal IDE-SISEMA. Foram utilizados dados da hidrografia ottocodificada do IGAM - drenagem da bacia hidrográfica do Rio Grande, disponibilizado em formato shapefile (GIS) em escala 1:50.000.

O mapa de uso e ocupação do solo da área de estudo foi gerado a partir da classificação supervisionada de imagem multiespectral do satélite Landsat 8, nas bandas OLI-

4 (Red), OLI-3 (Green), OLI-2 (Blue) e OLI-5 (Near Infrared), datada de 29 de maio de 2019, na órbita/ponto 219/75 que cobre toda a área de estudo, obtida no Catálogo de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2019), com resolução espacial de 30 metros. Foi produzida uma composição em falsa-cor (OLI-5 + OLI-4 + OLI-3), o que permitiu a distinção das classes de uso mapeadas: a) terra preparada, b) solo exposto, c) pastagem, d) campos de altitude, e) mata nativa e floresta plantada, f) culturas agrícolas, g) água, h) áreas urbanas e i) afloramento rochoso. A utilização da banda do infravermelho próximo foi útil na identificação da cultura, realçando o contraste entre cultura/solo e terra/água, sendo esta responsável pelo registro da energia refletida devido a porção da biomassa da vegetação presente na cena (JENSEN, 1996).

O mapeamento foi realizado no software *ArcMap GIS 10.5* (2015, 2016) e o classificador utilizado foi o de Máxima Verossimilhança (MAXVER). Esse algoritmo, a partir da aquisição de amostras de treinamento para delimitação de regiões homogêneas, calcula pixel-a-pixel as imagens, pressupondo a distribuição normal das classes, e então calcula a média e a matriz de covariância para determinar a probabilidade de pertencimento de cada pixel a uma determinada classe (CECHIM JÚNIOR *et al.*, 2017).

Os resultados da classificação do uso e ocupação do solo foram submetidos a testes de qualidade utilizando uma matriz de confusão e do coeficiente Kappa. A matriz de confusão compara os dados da verdade de campo com os da classificação, agrupando-os. Um subproduto da matriz de confusão que auxilia na avaliação do classificador é o coeficiente Kappa (CRUZ *et al.*, 2008).

A análise do Kappa é uma técnica multivariada discreta usada na avaliação da precisão temática que utiliza todos os elementos da matriz de confusão no seu cálculo. Assim, o coeficiente Kappa é uma medida da concordância real (indicado pelos elementos diagonais da matriz de confusão) menos a concordância por chance (indicado pelo produto total da linha e coluna, que não inclui entradas não reconhecidas), ou seja, é uma medida do quanto a classificação está de acordo com os dados de referência (CRUZ *et al.*, 2008).

A classificação do uso e ocupação do solo submetida a análise de acurácia com a aplicação do Coeficiente Kappa obteve valor de 86%, sendo este um bom resultado para a classificação supervisionada. Os procedimentos foram realizados usando a extensão AcATamA do software *QGIS 2.18*.

### 4.3 Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo

A BHARP foi caracterizada morfometricamente desde a nascente do Rio Pardo até o ponto de amostragem, com base nas seguintes análises: área total, perímetro total, comprimento do eixo principal, coeficiente de compacidade, fator de forma, índice de circularidade, índice de rugosidade, padrão de drenagem, densidade de drenagem, comprimento do curso d'água principal, comprimento total dos cursos d'água, altitude, amplitude altimétrica e declividade (Quadro 1).

Quadro 1 – Características morfométricas analisadas na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG

Características morfométricas	Tipos de análises
Características geométricas	Área total
	Perímetro total
	Comprimento do eixo principal
	Coeficiente de compacidade ( $K_c$ )
	Fator de forma ( $K_f$ )
	Índice de circularidade ( $I_c$ )
	Índice de rugosidade ( $I_R$ )
	Padrão de drenagem
	Densidade de drenagem ( $D_d$ )
	Comprimento do curso d'água principal
Características da rede de drenagem	Comprimento total dos cursos d'água
	Altitude mínima
	Altitude média
	Altitude máxima
	Amplitude altimétrica
Característica do relevo	Declividade mínima
	Declividade média
	Declividade máxima

Fonte: Adaptado de TONELLO (2005).

A área, o perímetro da bacia, o comprimento do curso d'água principal e o comprimento total dos cursos d'água foram gerados de modo automático no software *ArcView GIS 10.5*.

O Coeficiente de compacidade ( $K_c$ ) que é a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia, foi calculado a partir da Equação (1), proposta por Villela e Mattos (1975):

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

Onde:  $K_c$  = coeficiente de compacidade;  $P$  = perímetro (km);  $A$  = área de drenagem ( $\text{km}^2$ ).

O fator de forma ( $K_f$ ) relaciona a razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia (da foz ao ponto mais distante do divisor de água). Foi determinado segundo Cardoso *et al.* (2006), utilizando-se a seguinte Equação:

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad (2)$$

Onde:  $K_f$  = fator de forma;  $A$  = área de drenagem ( $\text{km}^2$ );  $L$  = comprimento do eixo da bacia (km).

Simultaneamente ao coeficiente de compacidade, o índice de circularidade ( $I_c$ ) tende para unidade à medida que a bacia aproxima-se a forma circular e diminui à medida que a forma torna alongada. Para o índice de circularidade, utilizou-se classificação proposta por Schumm (1956), calculado da seguinte forma:

$$I_c = 12,57 \frac{A}{P^2} \quad (3)$$

Onde:  $I_c$  = índice de circularidade;  $A$  = área de drenagem ( $\text{km}^2$ );  $P$  = perímetro (km).

A densidade de drenagem ( $D_d$ ) é o resultado da divisão entre o comprimento total dos cursos d'água pela área da bacia. Foi calculada a partir da Equação (4) segundo Villela e Mattos (1975):

$$D_d = \frac{L_t}{A} \quad (4)$$

Onde:  $D_d$  = densidade de drenagem ( $\text{km}/\text{km}^2$ );  $L_t$  = comprimento total dos cursos d'água (km);  $A$  = área de drenagem ( $\text{km}^2$ ).

O índice de rugosidade ( $I_R$ ) resulta do produto entre a densidade de drenagem ( $D_d$ ) e a amplitude altimétrica ( $\Delta H$ ), sendo esta correspondente à diferença entre a maior e menor altitude da área da bacia. O índice de rugosidade foi determinado segundo método proposto por Christofolletti (1980):

$$I_R = D_d \times \Delta H \quad (5)$$

Onde:  $I_R$  = índice de rugosidade;  $D_d$  = densidade de drenagem ( $\text{km}/\text{km}^2$ );  $\Delta H$  = amplitude altimétrica (km).

Os dados altimétricos foram obtidos através do Modelo Digital de Elevação (MDE) do radar *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) -1 arcseg de resolução espacial de 30 metros, disponível para download pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, 2019) e tratados no software *QGIS 2.18 with GRASS 7.0.5*.

As classes de declividade foram separadas em seis intervalos distintos, de acordo com Embrapa (1999), conforme expresso no Quadro (2).

Quadro 2 – Classes de relevo e declividade segundo Embrapa (1999)

Classes de relevo	Declividade (%)
Plano	0 – 3
Suave ondulado	3 – 8
Ondulado	8 – 20
Forte ondulado	20 – 45
Montanhoso	45 – 75
Escarpado	> 75

Fonte: EMBRAPA (1999).

#### 4.4 Avaliação dos processos hidrológicos na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo

Os dados da precipitação mensal durante o ano hidrológico compreendido entre maio de 2018 e abril de 2019 foram obtidos por meio de estações pluviométricas pertencentes ao Departamento Municipal de Eletricidade (DME) de Poços de Caldas-MG e à rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA) (Quadro 3).

Quadro 3 – Caracterização das estações pluviométricas selecionadas para estudo da precipitação mensal na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG, 2018-2019

Nome da estação	Município	Código	Latitude	Longitude	Altitude	Responsável
PCH Pedro Affonso Junqueira (Antas I - Barramento)	Poços de Caldas	02146111	S 21° 46' 4.30"	W 46° 36' 27.80"	1173.0 m	DME
PCH Walter Rossi (Antas II - Barragem do Cipó)	Poços de Caldas	02146112	S 21° 51' 10.48"	W 46° 36' 34.81"	1268.0 m	DME
Beira de Santa Rita	Santa Rita de Caldas	02246047	S 22° 1' 23.88"	W 46° 18' 14.04"	1140.0 m	ANA

Fonte: ANA; DME, 2019.

A partir dos dados pluviométricos mensais obtidos das estações, calculou-se a precipitação acumulada de 10 e 5 dias anteriores ao dia da amostragem, como subsídio para análise da vazão. Os cálculos foram obtidos através da média aritmética (Equação 6).

$$P_m = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \quad (6)$$

Onde:  $P_m$  = precipitação média na bacia (mm);  $P_i$  = precipitação no i-ésimo pluviômetro (mm);  $n$  = número total de pluviômetros.

Em decorrência da grande extensão da bacia, com vistas a comparar as médias pluviométricas durante o período de estudo, utilizou-se o método de Thiessen, indicado quando não existe uma distribuição uniforme de pluviômetros no interior da bacia (LIMA, 2008). O Método de Thiessen (1911) consiste em:

- a) unir as estações por trechos retilíneos;
- b) traçar linhas perpendiculares aos trechos retilíneos sobre a mediatriz da linha que liga as estações;
- c) alongar as linhas perpendiculares até encontrar outra mediatriz.

O polígono de Thiessen é formado pela interseção das linhas das mediatrizes, correspondendo à área de influência de cada estação. O cálculo foi realizado pela média ponderada entre a precipitação de cada estação e o peso a ela atribuído, que é a área de influência da precipitação em cada estação, conforme Equação (7).

$$P_m = \frac{\sum_{i=1}^n A_i P_i}{A} \quad (7)$$

Onde:  $P_m$  = precipitação média na bacia (mm);  $A_i$  = área de influência no i-ésimo pluviômetro (km<sup>2</sup>);  $P_i$  = precipitação no i-ésimo pluviômetro (mm);  $A$  = área total da bacia (km<sup>2</sup>).

Para a geração automatizada dos polígonos de Thiessen, foram consideradas as coordenadas geográficas das três estações pluviométricas localizadas na BHARP. Para a

obtenção da média de Thiessen e geração do mapa, foi utilizado o software *QGIS 2.18.0 with GRASS 7.0.5*, no qual foi calculada a área de influência dos pluviômetros.

Os dados de precipitação das séries históricas foram obtidos das estações pluviométricas em operação no Portal Hidroweb (ANA, 2019). Foi calculado a média da precipitação das estações pluviométricas pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas e do Departamento de Águas e Energia Elétrica do estado de São Paulo (Quadro 4). As séries históricas variaram de 11 a 37 anos de observações, abrangendo o período de 1942 a 2018. Ressalta-se que não foi adotado um período-base de estudos para todas as estações, pois, ao se analisar os dados disponíveis, verificou-se não haver períodos coincidentes. Assim, adotou-se, como critério, o uso de todo o período sem falhas disponível para cada estação.

Quadro 4 – Caracterização das estações pluviométricas selecionadas para estudo da série histórica na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG, 1942-2018

Estação	Município	Código	Latitude	Longitude	Altitude	Período	Nº de anos
Beira de Santa Rita	Santa Rita de Caldas	02246047	S 22° 1' 23.88"	W 46° 18' 14.04"	1140.0 m	2008-2018	11
Cachoeira do Carmo	Botelhos	02146028	S 21° 43' 21.00"	W 46° 26' 18.96"	875.0 m	1968-2004	37
Campestre	Campestre	02146023	S 21° 42' 0.00"	W 46° 15' 0.00"	980.0 m	1942-1956	15
Usina Graminha*	Caconde	02146043	S 21° 34' 0.12"	W 46° 37' 0.12"	880.0 m	1971-1997	27

Fonte: ANA, 2019

Nota: \*Estação pertencente ao DAEE-SP.

A vazão foi determinada utilizando-se uma régua limnimétrica graduada para medida de nível da água, trena de aço graduada para largura e micromolinete Flow Rate Sensor Vernier para velocidade (0,00 a 4,00 m/s  $\pm$  0,01 m/s). A vazão foi estimada de acordo com a Equação (8).

$$Q = V \cdot A \quad (8)$$

Onde:  $Q$  = vazão (m<sup>3</sup>/s);  $V$  = velocidade média de escoamento do curso d'água (m/s);  $A$  = área (m<sup>2</sup>).

A vazão específica é a relação entre a vazão e a área de influência do ponto de amostragem na BHARP, e, serve como um indicador que permite comparar o nível da produção de água entre diferentes bacias hidrográficas. A estimativa da vazão específica foi determinada através da Equação (9).



$$Q_e = \left( \frac{Q_m}{A_i} \right) \times 1000 \quad (9)$$

Onde:  $Q_e$  = vazão específica média (l/s/km<sup>2</sup>);  $Q_m$  = vazão média do ponto de amostragem (m<sup>3</sup>/s);  $A_i$  = área de influência do ponto de amostragem (km<sup>2</sup>).

Para a modelagem do balanço hídrico na BHARP, considerou-se a precipitação pluvial a única entrada de água e o deflúvio como a principal saída da bacia. O deflúvio foi calculado pela Equação (10), levando em conta a vazão medida nos dias de amostragem, os dias do mês e a área da bacia até o ponto de amostragem. Com isso, foi possível calcular o saldo do balanço hídrico pela Equação (11).

$$Defl. = \frac{Q \times dias}{A} \quad (10)$$

Onde:  $Defl.$  = deflúvio (mm);  $Q$  = vazão (m<sup>3</sup>/s); dias = segundos (s);  $A$  = área da bacia (m<sup>2</sup>).

$$Saldo = P - Defl. \quad (11)$$

Onde:  $Saldo$  = saldo (mm);  $P$  = precipitação (mm);  $Defl.$  = deflúvio (mm).

O saldo poderá assumir valores negativos ou positivos. Quando o saldo for positivo, houve armazenamento de água no sistema e, quando o saldo for negativo, significa que houve um déficit no sistema hidrológico.

#### 4.5 Avaliação da qualidade da água na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo

As águas fluviais foram monitoradas uma vez por mês durante o ano hidrológico compreendido entre maio de 2018 e abril de 2019 e caracterizadas físico-quimicamente em três pontos na calha do rio: margem esquerda, no eixo principal da corrente e margem direita (25% - 50% - 25%) e os resultados foram obtidos por meio da média aritmética.

Foi utilizado equipamento com eletrodos de leitura direta no próprio local de amostragem, com o medidor portátil U-50 Multiparameter Water Quality Checkers da Horiba, previamente calibrado, sendo analisadas as seguintes variáveis: temperatura (método termistor, de -10 a 55°C ± 0,3°C); pH (método de eletrodo de vidro, de 0,0 a 14,0 ± 0,1 pH); condutividade elétrica (método do eletrodo 4AC, de 0,0 a 100,0 µS/cm ± 0,1 %); oxigênio dissolvido (método polarográfico, de 0,0 a 50,0 mg/l ± 0,2 mg/l); potencial de oxidação-redução (método do eletrodo de platina, de -2000 a 2000 mV ± 15 mV); sólidos totais

dissolvidos (conversão de condutividade, de 0,0 a 100,0 g/l  $\pm$  5,0 g/l) e turbidez (fonte de luz LED, de 0,0 a 800,0 NTU  $\pm$  1,0 NTU) (Fotografia 2).

Fotografia 2 – Avaliação da qualidade da água no ponto de amostragem



Fonte: Arquivo pessoal, 2020

Legenda: a) medidor portátil U-50 Multiparameter Water Quality Checker da Horiba;  
b) anotações dos dados amostrados.

Para análise dos sólidos totais em suspensão e dos nutrientes nitrato, fosfato e sulfato, utilizou-se a garrafa do tipo *Van Dorn* 5 L horizontal de PVC, para coleta de amostras de água fluvial (Fotografia 3). Foram coletados aproximadamente 333 ml de água nos três pontos na calha do rio (25% - 50% - 25%), a uma profundidade de 0,5 m nas porções 25% (margens) e a 1 m na porção 50% (eixo principal). As amostras foram compostas em uma única alíquota ainda em campo, totalizando 1.000 ml, armazenada em vasilhame de polietileno opaco branco, acondicionada em caixa térmica contendo gelo, encaminhada ao Laboratório de Ecossistemas Aquáticos e Solos (LEAS) do Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de Alfenas (ICT/UNIFAL) e analisada até uma hora após a coleta, segundo as normas da NBR 9898:1987 (ABNT, 1987).

Fotografia 3 – Coleta de amostra de água fluvial no ponto de amostragem



Fonte: Arquivo pessoal, 2020

Legenda: a) manuseio da garrafa de *Van Dorn*;

b) armazenamento da amostra em garrafa de polietileno;

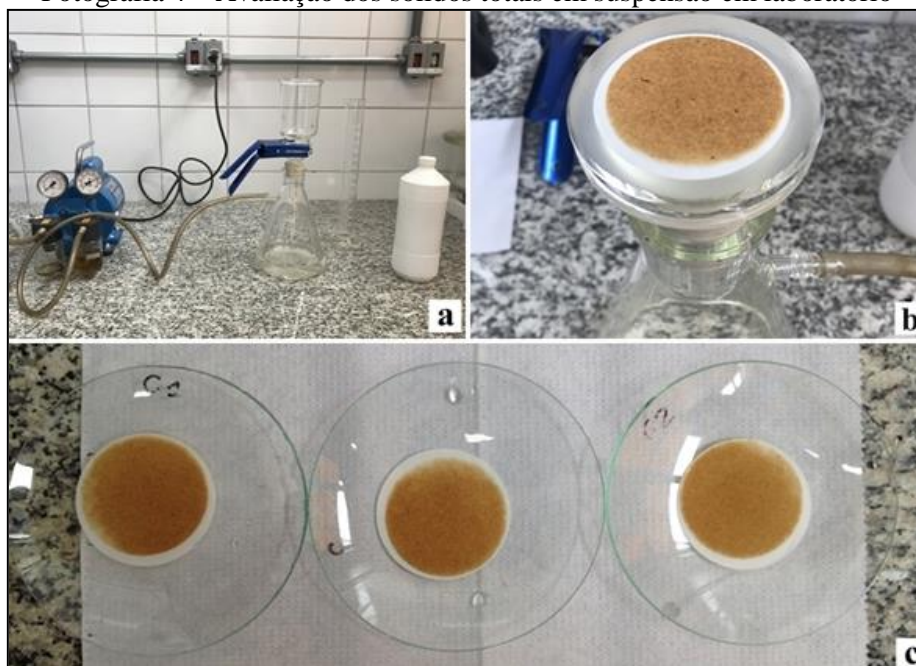
c) acondicionamento da amostra em caixa térmica contendo gelo.

No laboratório, a amostra foi agitada por 30 segundos para desprendimento e circulação do material em suspensão. Amostras de sólidos totais em suspensão foram realizadas em triplicata segundo metodologia gravimétrica (Equação 12), com volume de 250 ml cada. As alíquotas foram filtradas com membranas filtrantes de vidro de 1,2  $\mu\text{m}$ , secas por 1 hora em estufa a 105 °C, previamente pesadas e acopladas a um conjunto de filtração kitassato ligado a uma bomba de vácuo (Fotografia 4). Após filtração, as membranas foram colocadas em estufa para secagem e pesadas de acordo com Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 2012).

$$STS = \frac{P_1 - P_2}{v_{amostra}} \quad (12)$$

Onde:  $STS$  = concentração de sólidos totais em suspensão (mg/l);  $P_1$  = massa do filtro pesado com amostra (mg);  $P_2$  = massa do filtro pesado sem amostra (mg);  $v$  = volume da amostra de água filtrada (l).

Fotografia 4 – Avaliação dos sólidos totais em suspensão em laboratório



Fonte: Arquivo pessoal, 2020

Legenda: a) conjunto de filtração kitassato;

b) membrana filtrante ligada a bomba de vácuo;

c) filtros para determinação dos sólidos totais em suspensão.

Os teores dos íons nitrato  $\text{NO}_3^-$  (método de redução de cádmio, de 0 a  $30,0 \pm 0,3$  mg/l), fosfato  $\text{PO}_4^{3-}$  (método do ácido ascórbico, de 0,02 a  $2,5 \pm 0,01$  mg/l) e sulfato  $\text{SO}_4^{2-}$  (método sulfaver 4, de 0 a  $70 \pm 0,9$  mg/l) foram quantificados por espectrofotômetro modelo DR 890 da Hach Company (HACH, 2009) (Fotografia 5).

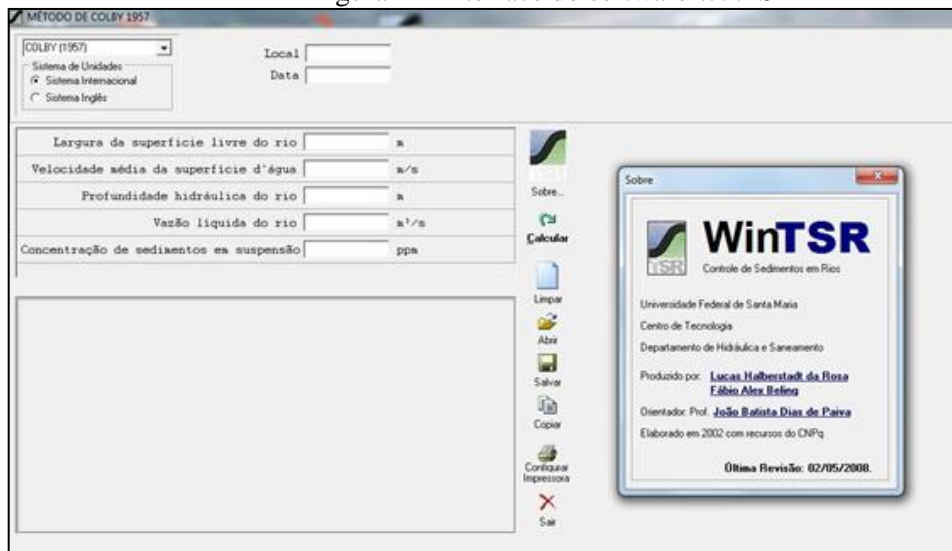
Fotografia 5 – Espectrofotômetro modelo DR 890 da Hach Company



Fonte: Arquivo pessoal, 2020.

Para o cálculo da quantidade de sedimento de fundo transportado utilizou-se o software *WinTSR* – Controle de sedimentos em rios, por meio do método de Colby (1957) (ROSA; BELING, 2002) (Figura 2). Os parâmetros utilizados foram: largura da superfície livre do rio (m), velocidade média da superfície da água (m/s), profundidade hidráulica do rio (m), vazão líquida (m<sup>3</sup>/s) e concentração de sedimentos em suspensão (ppm). Os resultados mensais foram quantificados em t/dia.

Figura 2 – Interface do software *WinTSR*



Fonte: Arquivo pessoal, 2020.

#### 4.6 Avaliação do índice de estado trófico na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo

Os resultados correspondentes a fósforo total (IET-PT) devem ser entendidos como uma medida do potencial de eutrofização, já que este nutriente atua como o agente causador do processo de eutrofização. As concentrações de fósforo total (P) foram determinadas por meio da concentração dos teores de fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) multiplicados por 0,3261 (porcentagem do peso molecular de P presente no íon  $\text{PO}_4^{3-}$  dividido por  $10^2$ ) (HACH, 2009). Com isso, o índice do estado trófico foi composto pelas concentrações de fósforo total (IET-PT), modificados por Lamparelli (2004), sendo estabelecidos para ambientes lóticos, segundo a Equação (13) e Quadro (5).

$$IET_{PT} = 10 \times \left[ 6 - \left( \frac{0,42 - 0,36 \times \ln PT}{\ln 2} \right) \right] - 20 \quad (13)$$

Onde: PT = concentração de fósforo total medida à superfície da água ( $\mu\text{g/l}$ ).

Quadro 5 – Classificação do estado trófico para rios segundo índice de Carlson (1977), modificado por Lamparelli (2004)

Estado trófico	Critério	PT ( $\mu\text{g/l}$ )
Ultraoligotrófico	$\text{IET} \leq 47$	$\text{P} \leq 13$
Oligotrófico	$47 < \text{IET} \leq 52$	$13 < \text{P} \leq 35$
Mesotrófico	$52 < \text{IET} \leq 59$	$35 < \text{P} \leq 137$
Eutrófico	$59 < \text{IET} \leq 63$	$137 < \text{P} \leq 296$
Supereutrófico	$63 < \text{IET} \leq 67$	$296 < \text{P} \leq 640$
Hipereutrófico	$\text{IET} > 67$	$640 < \text{P}$

Fonte: Adaptado de LAMPARELLI (2004).

A partir do cálculo do IET-PT, a BHARP pode ser classificada como (LAMPARELLI, 2004; CETESB, 2016):

- a) ultraoligotrófico, corpos d'água limpos, de produtividade muito baixa e concentrações insignificantes de nutrientes que não acarretam em prejuízos aos usos da água;
- b) oligotrófico, corpos d'água limpos, de baixa produtividade, em que não ocorrem interferências indesejáveis sobre os usos da água, decorrentes da presença de nutrientes;
- c) mesotrófico, corpos d'água com produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis, na maioria dos casos;
- d) eutrófico, corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, com redução da transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem alterações indesejáveis na qualidade da água decorrentes do aumento da concentração de nutrientes e interferências nos seus múltiplos usos;
- e) supereutrófico, corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, de baixa transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem com frequência alterações indesejáveis na qualidade da água, como a ocorrência de episódios florações de algas, e interferências nos seus múltiplos usos; e
- (f) hipereutrófico, corpos d'água afetados significativamente pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com comprometimento acentuado nos seus usos, associado a episódios florações de algas ou mortandades de peixes, com consequências indesejáveis para seus múltiplos usos, inclusive sobre as atividades pecuárias nas regiões ribeirinhas.

#### 4.7 Avaliação do transporte de nutrientes e sedimentos na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo

A fim de comparar os resultados obtidos nas águas fluviais neste trabalho, foi calculado o transporte anual para os nutrientes fosfato, nitrato e sulfato e para os sedimentos em suspensão, dissolvidos e de fundo. Para se conhecer o transporte nas águas fluviais na BHARP, foi necessário relacionar a concentração média ponderada para cada parâmetro com a vazão média do rio durante o período de amostragem, ou seja, foi estimada a quantidade total evacuada pelo rio em t/ano. A concentração média ponderada do parâmetro ( $C_{mp}$ ) foi obtida pela Equação (14).

$$C_{mp} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \cdot Q_i}{\sum_{i=1}^n Q_i} \quad (14)$$

Onde:  $C_{mp}$  = concentração média ponderada do parâmetro nas águas fluviais (mg/l);  $C_i$  = concentração do parâmetro na i-ésima amostra (mg/l);  $Q_i$  = vazão do rio durante a coleta da i-ésima amostra ( $m^3/s$ ).

O transporte anual de nutrientes e sedimentos foi calculado de acordo com a Equação (15).

$$T_{anual} = 31,536 \times Q_{vazão} \times (C_{mp}) \quad (15)$$

Onde:  $T_{anual}$  = transporte de material anual (t/ano); 31,536 = quantidade de segundos em um ano, multiplicado por  $10^6$ ;  $Q_{vazão}$  = vazão média total ( $m^3/s$ );  $C_{mp}$  = concentração média ponderada total (mg/l).

Na avaliação do transporte específico (t/ $km^2$ /ano) foi empregado os dados de vazão (descarga líquida) e a concentração média ponderada de nutrientes e sedimentos a partir da Equação (16).

$$\frac{T_{anual}}{Área} = 31,536 \times Q_{vazão} \times (C_{mp}) \quad (16)$$

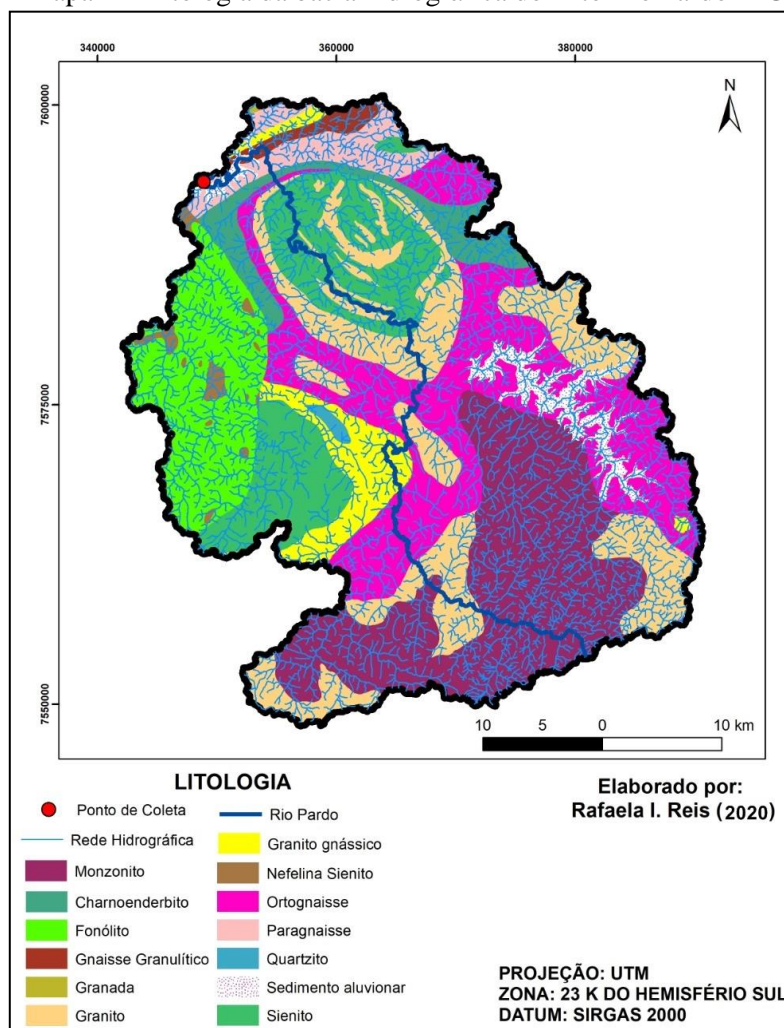
Onde:  $T_{anual}$  = transporte de material anual (t/ $km^2$ /ano); 31,536 = quantidade de segundos em um ano, multiplicado por  $10^6$ ;  $Q_{vazão}$  = vazão média total ( $m^3/s$ );  $C_{mp}$  = concentração média ponderada total (mg/l);  $Área$  = área da bacia hidrográfica ( $km^2$ ).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Caracterização dos aspectos fisiográficos da bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo

O Mapa (2) e a Tabela (1) apresentam a caracterização litológica da BHARP.

Mapa 2 – Litologia da bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG



Fonte: Autora, 2020.

A área de estudo apresentou predominância de rochas do tipo monzonito e ortognaisse, correspondendo a 21,33% e 19,88% da área, respectivamente. Com base no mapa pedológico (Mapa 3), observa-se na área de estudo o predomínio do solo Argissolo Vermelho-Amarelo, seguido de Cambissolo Háplico, correspondendo a 43,46% e 37,12% da área, respectivamente (Tabela 2).

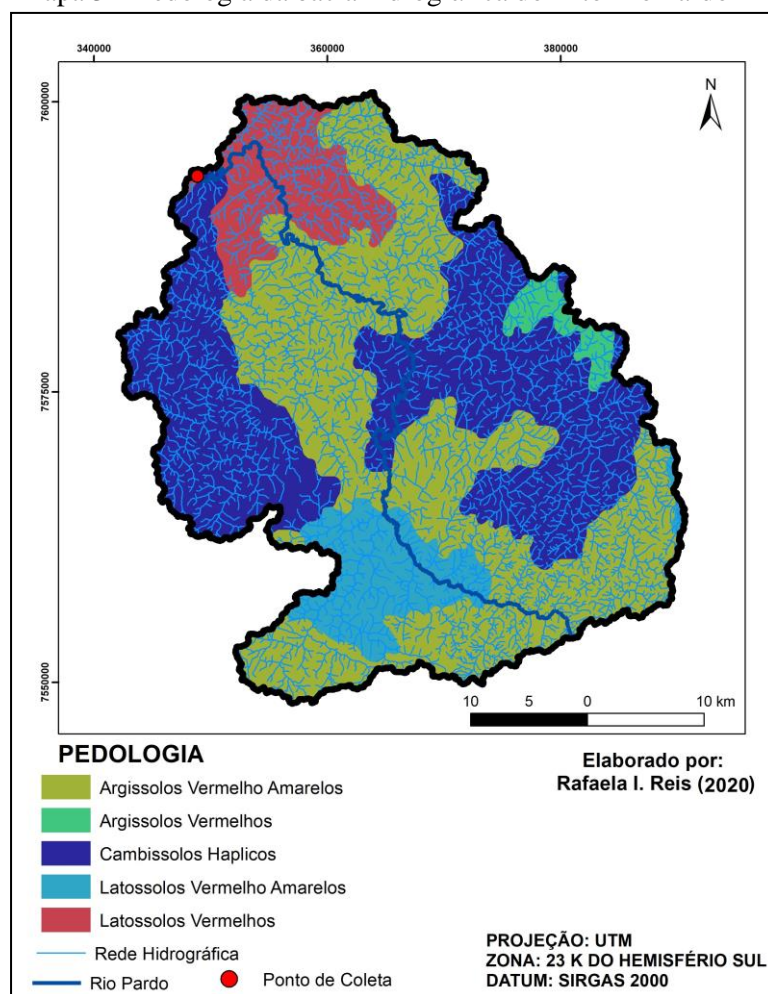


Tabela 1 – Classes de rochas presentes na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG

Classes de rochas	Área	
	(km <sup>2</sup> )	(%)
Monzonito	347,00	21,33
Ortognaisse	323,50	19,88
Granito	289,00	17,76
Sienito	206,00	12,66
Fenólito	174,00	10,70
Granito Gnássico	75,20	4,62
Charnoenderbito	64,05	3,94
Sedimento aluvionar	56,00	3,44
Paragnaisse	55,00	3,38
Gnaiss Granulítico	16,00	0,99
Nefelina Sienito	14,50	0,89
Quartzito	4,50	0,28
Granada	2,30	0,13
<b>Total</b>	<b>1.627,05</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Autora, 2020.

Mapa 3 – Pedologia da bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG



Fonte: Autora, 2020.

Tabela 2 – Classes de solos presentes na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG

Classes de solos	Área	
	(km <sup>2</sup> )	(%)
Argissolo Vermelho Amarelo	707,03	43,46
Cambissolo Háptico	604,00	37,12
Latossolo Vermelho	145,00	8,91
Latossolo Vermelho-Amarelo	135,00	8,30
Argissolo Vermelho	36,02	2,21
<b>Total</b>	<b>1.627,05</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Autora, 2020.

Os solos Argissolos são de profundidade variável, quanto a drenagem variam de moderado a bem drenado e a textura média/argilosa ou argilosa, e são típicos de relevos movimentados. A classe Argissolo Vermelho-Amarelo possui implicações ao uso agrícola, devido à baixa fertilidade natural (solos álicos ou distróficos) e, em alguns solos, a ocorrência de fase cascalhenta (EMBRAPA, 2004). Conforme mostra o Mapa (3), a classe Argissolo Vermelho-Amarelo distribui-se por toda a bacia, em áreas com predomínio de culturas agrícolas e pastagens. A classe Argissolo Vermelho apresenta bom potencial produtivo e está concentrada na porção leste do município de Caldas.

Os solos Cambissolos são mal a acentuadamente drenados, apresentando em muitos casos fase cascalhenta, pedregosa e/ou rochosa e baixa fertilidade natural (excetuando os eutróficos) (EMBRAPA, 2004). Na área de estudo, é encontrado na porção leste, em uma área litológica de sedimento aluvionar, onde geralmente se desenvolve solos deste tipo (EMBRAPA, 2018). Nesta área observa-se a predominância de terra preparada com sistemas de plantio direto, uma prática conservacionista de manejo do solo que resulta, dentre outros, no controle da erosão, na reciclagem de nutrientes e na redução de perdas do solo (SILVA; DE MARIA, 2011; OLIVEIRA *et al.*, 2012).

A classe Cambissolo Háptico também é encontrada na porção oeste da área de estudo, onde há predominância de rochas do tipo fonólito e sienito. As rochas sieníticas presentes no sul do município de Caldas ocorrem sob a forma de um grande e compacto maciço rochoso, com poucas fraturas, o que proporciona uma boa estabilidade para o método de lavra em bancadas com taludes na vertical, sendo exploradas economicamente por empreendimentos de extração de granito-sienito (SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE REGULARIZAÇÃO AMBIENTAL, 2012). Moraes (2007), em estudo do zoneamento geoambiental do planalto de Poços de Caldas, cita que nas áreas constituídas de Cambissolo Háptico associado ao embasamento sienito, formadas por planaltos alto e muito alto e seus taludes, que apresentam

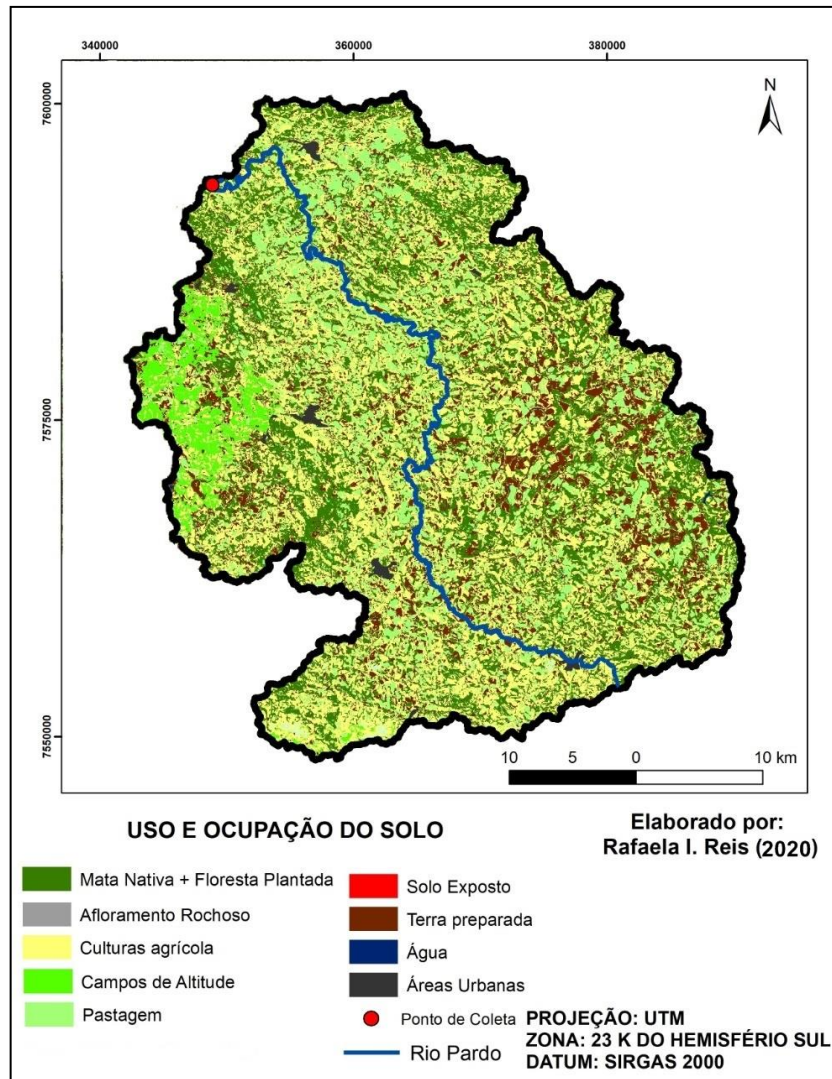
dissecação moderada a forte, possui grande potencial erosivo, principalmente nas áreas de taludes com maiores declividades, como o Planalto da Pedra Branca em Caldas. Além disso, apresentam restrições ao uso agrícola da terra e representam áreas importantes do ponto de vista de recarga dos aquíferos por situarem-se em alto estrutural alto topográfico.

Dentre as variadas atividades agrícolas desenvolvidas no estado de Minas Gerais, a cafeicultura e a pecuária leiteira tem destaque no sul do estado, região considerada a maior produtora de café arábica do país (CURI *et al.*, 1992; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ, 2016). Com base no mapeamento de uso e ocupação do solo realizado na área de estudo (Mapa 4), constatou-se a predominância de culturas agrícolas, ocupando uma área de 39,40% da bacia. Dentre os produtos agrícolas mais produzidos na bacia, destaca-se o café, com cerca de 149,44 km<sup>2</sup> de área plantada nos municípios de Campestre (130,97 km<sup>2</sup>), Caldas (13,11 km<sup>2</sup>), Bandeira do Sul (3,41 km<sup>2</sup>) e Santa Rita de Caldas (1,95 km<sup>2</sup>); milho (67,2 km<sup>2</sup>); batata-inglesa (23,55 km<sup>2</sup>); feijão (16,17 km<sup>2</sup>) e soja (12,8 km<sup>2</sup>) (IBGE, 2018; EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL DO ESTADO DE MINAS GERAIS, 2020).

As culturas anuais, quando comparadas com pastagens, representam alta vulnerabilidade à erosão, pois afetam de modo expressivo a estrutura física do solo (RIBEIRO; CAMPOS, 2007). Em relação aos tipos de preparo do solo, aqueles em que envolvem maior revolvimento tendem a apresentar maiores perdas de sedimento, nutrientes e atributos físicos (estabilidade dos agregados, densidade, porosidade, etc.). As perdas de solo são ainda maiores durante o período de estabelecimento da cultura, período este mais crítico, tendo em vista a menor cobertura do solo (LEITE, 2007).

Na área de estudo, as culturas de soja, milho e feijão quando preparadas por meio de métodos convencionais com cultivos mecanizados pode levar à compactação do solo, ocasionado pelo tráfego de máquinas e equipamentos, prejudicando a infiltração e o movimento da água e a disponibilidade de nutrientes no solo (RALISCH; TAVARES FILHO, 2002; STONE *et al.*, 2002; BEUTLER *et al.*, 2003). Em consequência, ocorre maior escoamento superficial, carreando partículas de solo, fertilizantes e defensivos, assoreando e poluindo os cursos d'água. Na área de estudo, a cafeicultura é realizada a partir de métodos convencionais em áreas de topografia geralmente inclinada, com cultivos pouco mecanizados ou não mecanizados, devido às limitações topográficas da região (EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS, 2010).

Mapa 4 – Mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG



Fonte: Autora, 2020.

Tabela 3 – Classes de uso e ocupação do solo presentes na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG

Classes de uso (*86%)	Área	
	(km <sup>2</sup> )	(%)
Culturas agrícolas	641,00	39,40
Mata nativa + floresta plantada	306,00	18,81
Terra preparada	262,03	16,10
Pastagem	261,00	16,04
Campos de altitude	110,02	6,76
Áreas urbanas	24,00	1,48
Solo exposto	21,00	1,29
Água	1,00	0,06
Afloramento rochoso	1,00	0,06
<b>Total</b>	<b>1.627,05</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Autora, 2020

Nota: \*Valor do Coeficiente Kappa.

As pastagens, que ocupam cerca de 16,04% da área de estudo (Tabela 3), utilizadas em sua maioria para criação de bovinos de corte e leiteiros, caracterizadas pelo manejo com baixo nível tecnológico associado ao pastejo excessivo e as condições de relevo acidentado têm resultado na degradação dos solos (OLIVEIRA *et al.*, 2015). As pressões exercidas sobre o solo através do pisoteio dos animais iniciam o processo de compactação, tendo como consequências a redução da porosidade e das taxas de infiltração de água e aumento na densidade do solo, intensificando os processos erosivos (MOREIRA *et al.*, 2014; TORRES *et al.*, 2014). Ademais, o excremento dos rebanhos pode afetar a qualidade da água por meio da lixiviação e o incremento de nutrientes como nitrato e fosfato no meio aquático pode causar a eutrofização dos mananciais.

As áreas ocupadas por mata nativa e floresta plantada representam 18,81% do total. A área de estudo está inserida dentro do bioma Mata Atlântica, em área de domínio da Floresta Estacional Semidecidual Montana, Floresta Ombrófila Densa Alto-Montana e Floresta Ombrófila Mista (INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS, 2008). A vegetação nativa ocorre na forma de fragmentos florestais isolados, com formações mais densas localizadas em áreas de relevo fortemente ondulado a montanhoso, principalmente em topos de morros. As florestas plantadas correspondem à plantações de *Pinus* spp. (Pinus) e *Eucalyptus* spp. (Eucalipto) explorados para fins comerciais, de relevante importância econômica, em especial para as indústrias de carvão e às ligadas ao beneficiamento de madeira e produção de papel e celulose.

O município de Caldas abriga uma parcela significativa de remanescente florestal, que corresponde à Área de Proteção Ambiental Municipal “Santuário Ecológico da Pedra Branca” (11.955,433 ha), onde estão inseridos a Reserva Particular do Patrimônio Natural Pedra Branca (15 ha), a Reserva Biológica Municipal Pedra do Coração e a Reserva Particular do Patrimônio Natural Morro Grande (363,58 ha), esta pertencente à CBA (Companhia Brasileira de Alumínio) (SUPRAM, 2012; IEF, 2019; PREFEITURA MUNICIPAL DE CALDAS, 2020).

O remanescente florestal da APA Pedra Branca é caracterizado como Campo de Altitude, com formações florestais densas e formações florestais em campos litólicos, com rochas expostas onde se desenvolvem vegetações características do local (SUPRAM, 2012). A região está entre as 112 áreas mais importantes para a conservação da biodiversidade no estado de Minas Gerais, possuindo importância biológica extrema, sendo recomendada a investigação científica em forma de inventários, devido à presença de espécies endêmicas da

fauna e flora (DRUMMOND, 2005). Apesar da importância, a região é afetada pela devastação do gado, pelo turismo desordenado e principalmente por mineradoras de granito, que são objeto de conflitos entre ambientalistas, ONGs, órgãos ambientais e empresas minerárias.

Ao comparar as condições das Áreas de Preservação Permanentes (APP) do Rio Pardo com as determinações do Código Florestal (BRASIL, 2012), nota-se que não são respeitados os limites estabelecidos pela legislação. No ponto de amostragem, a largura do rio foi de 28 metros (média anual). A legislação considera uma faixa de proteção de 50 metros para os cursos d'água que tenham de 10 a 50 metros de largura. Entretanto, as áreas no entorno do rio possuem pouca ou nenhuma faixa de APP, estando ocupadas por culturas agrícolas, pecuária ou imóveis residenciais (Figura 3). Corroborando com este fato Sampaio (2012), que em estudo da Avaliação Ambiental do Rio Pardo desde a nascente até a foz no Rio Grande, cita que apenas na nascente em Ipuíúna-MG as margens estavam totalmente preservadas, verificando intensa modificação nas APPs ao longo de todo o percurso do rio, como ocupação das margens por culturas agrícolas, pecuária, pastagens e áreas residenciais.

Figura 3 – Alterações antrópicas nas margens do Rio Pardo próximo ao ponto de amostragem



Fonte: Google Earth, 2020

Legenda: P) Ponto de amostragem;

- 1) Área com remoção total de APP;
- 2) Área loteada (chácaras);
- 3) Área de pastagem;
- 4) Área de culturas agrícolas;
- 5) Área residencial.

As APPs assumem importância fundamental na preservação dos recursos hídricos, uma vez que garantem a estabilização das margens dos cursos d'água, evitando que o solo seja levado diretamente para o leito, atuando como um sistema-tampão e, ao mesmo tempo, evitando o assoreamento dos rios (TUNDISI *et al.*, 2006). A remoção da mata ciliar contribui para o aumento na velocidade e na quantidade do escoamento superficial, carreando grandes quantidades de matéria em suspensão, comprometendo a qualidade da água.

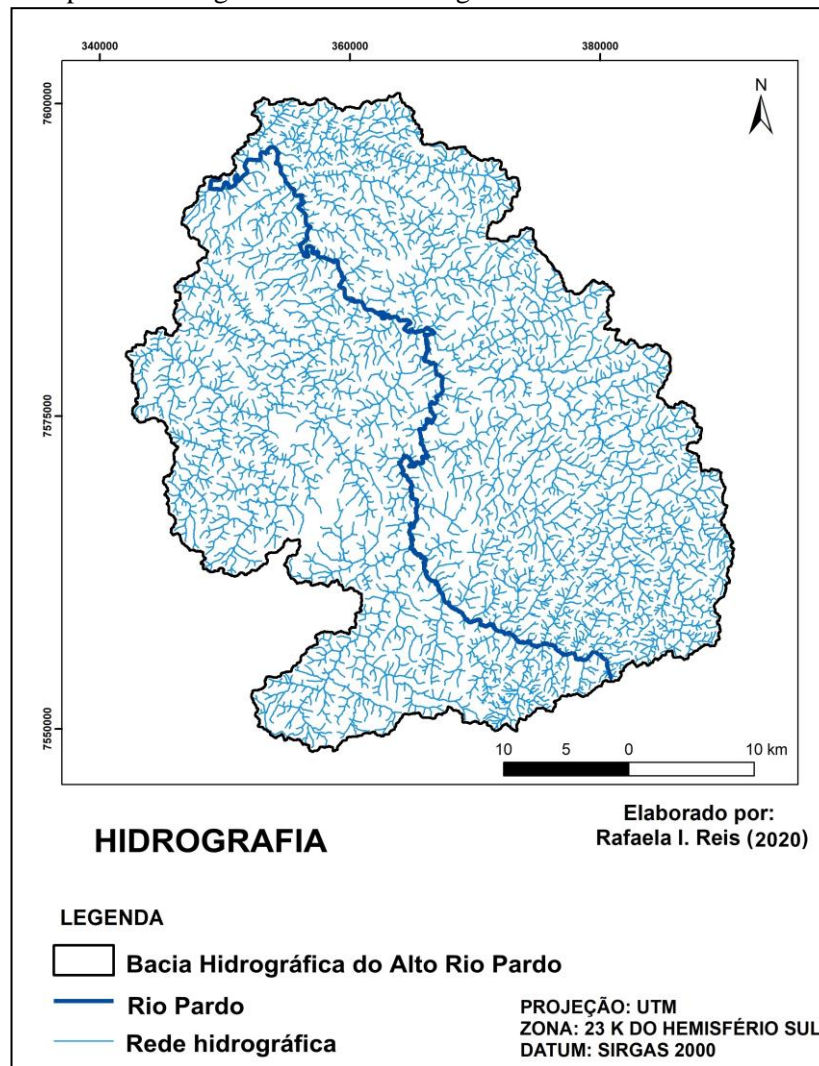
## 5.2 Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo

Os resultados da caracterização morfométrica da BHARP estão apresentados no Quadro (6). Para os cálculos morfométricos foi considerado a área de drenagem desde a nascente até o ponto de amostragem, correspondendo a área de 1.627,05 km<sup>2</sup> e perímetro 269,24 km. O Rio Pardo possui comprimento de 100,34 km desde a nascente até o ponto de amostragem.

A BHARP apresentou coeficiente de compacidade  $Kc = 1,86$ ; fator de forma  $Kf = 0,50$  e índice de circularidade  $Ic = 0,28$ . Schumm (1956) descreve que valores de  $Ic$  menores que 0,51 indicam que a bacia tende a ser mais alongada, o que contribui para o processo de escoamento. Cardoso *et al.* (2006) em estudo na bacia hidrográfica do Rio Debossan-RJ, encontraram valores de  $Kc = 1,58$ ;  $Kf = 0,32$  e  $Ic = 0,39$ , indicando um formato alongado da bacia. A declividade média da área de estudo foi de 15%, representada pelo relevo ondulado (8 a 20%), indicando uma maior tendência ao escoamento superficial em relação à infiltração.

A BHARP, com um comprimento total dos cursos d'água  $L = 3.229$  km, apresenta densidade de drenagem igual a 1,98 km de cursos d'água por km<sup>2</sup> de área. De acordo com Villela e Mattos (1975), esse índice pode variar de 0,5 km/km<sup>2</sup> em bacias com drenagem pobre a 3,5 km/km<sup>2</sup>, ou mais, em bacias bem drenadas, indicando, assim, que a bacia em estudo apresenta boa capacidade de drenagem. O padrão de drenagem é do tipo dendrítica, que se caracteriza pelas formas arborescentes e ocorre em áreas com predomínio de rochas cristalinas e sedimentares. A hidrografia da BHARP está representada no Mapa (5).

Mapa 5 – Hidrografia da bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG



Fonte: Autora, 2020

Silva *et al.* (2009) citam que a densidade de drenagem está relacionada ao substrato rochoso, declividade do terreno e principalmente, ao grau de permeabilidade das formações superficiais que estruturam a paisagem da área. Celarino (2015), em estudo da densidade de drenagem na bacia do Rio Pardo-MG/SP, observou valores com anomalias superiores – cujo valor está acima da média + desvio padrão (1,813) – localizados na porção sul da bacia, no Alto Pardo, e cita que tais valores estão correlacionados à geologia regional e também à alta declividade, que favorece o escoamento superficial.

O índice de rugosidade relaciona a disponibilidade do escoamento hídrico superficial com seu potencial erosivo, expresso pela declividade média. Quanto maior for esse índice, maior será o risco de degradação da bacia quando as vertentes são íngremes e longas (TRAJANO *et al.*, 2012). O índice de rugosidade de 1,74 foi pouco representativo e é



considerado um valor baixo, o que define menor risco de degradação da bacia. Entretanto, pode acontecer que áreas com alta densidade de drenagem e baixo valor de amplitude altimétrica – como foi o caso da bacia em estudo –, são tão rugosas quanto áreas com baixa  $Dd$  e elevado valor de  $\Delta H$  (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Quadro 6 – Resumo da caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG

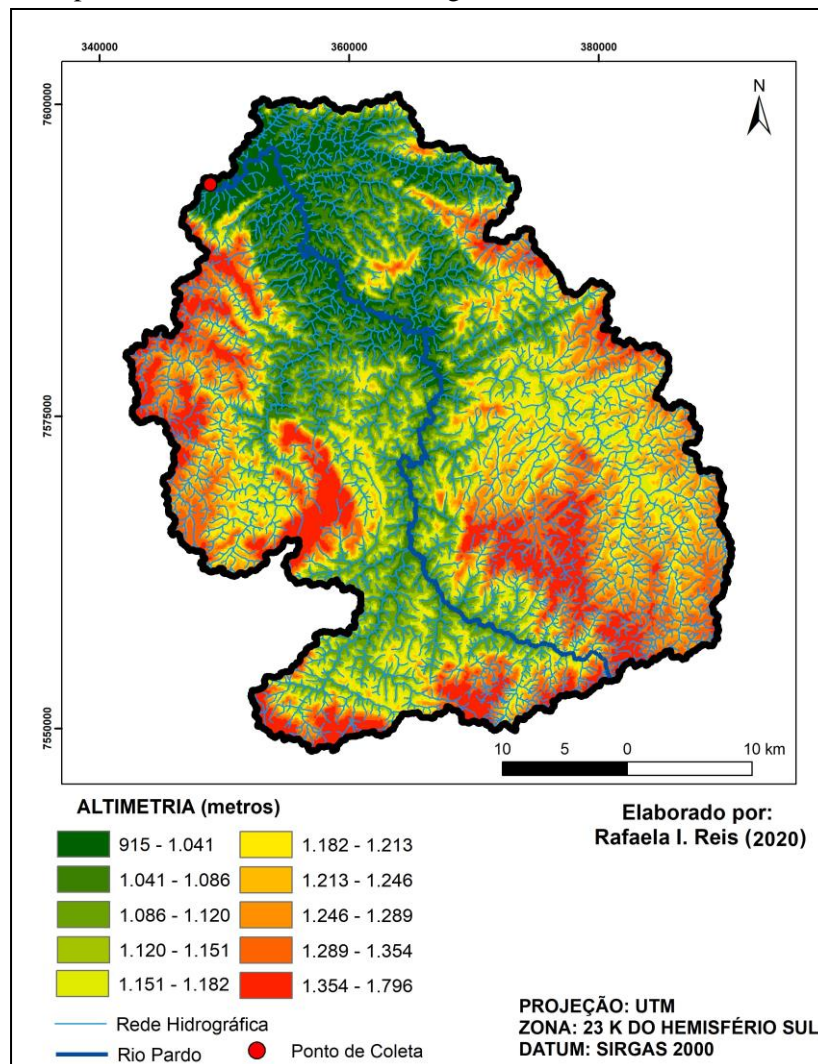
Tipos de análises	Resultados
Área total (km <sup>2</sup> )	1.627,05
Perímetro total (km)	269,24
Comprimento do eixo principal (km)	56,60
Coefficiente de compacidade ( $Kc$ )	1,86
Fator de forma ( $Kf$ )	0,50
Índice de circularidade ( $Ic$ )	0,28
Densidade de drenagem (km/km <sup>2</sup> )	1,98
Comprimento do curso d'água principal (km)	100,34
Comprimento total dos cursos d'água (km)	3.229
Índice de rugosidade ( $I_R$ )	1,74
Padrão de drenagem	dendrítica
Altitude mínima (m)	915
Altitude média (m)	1.188
Altitude máxima (m)	1.796
Amplitude altimétrica (m)	881
Declividade mínima (%)	0
Declividade média (%)	15
Declividade máxima (%)	86

Fonte: Autora, 2020.

A BHARP possui amplitude altimétrica de 881 m, apresentando altitude mínima de 915 m, máxima de 1.796 m e média de 1.188 m, conforme ilustrado no Mapa (6). Tais dados possibilitam concluir que a distribuição da altitude apresenta alta variação.

As variações de altitude e de elevação da bacia são importantes devido ao fato de influenciarem a precipitação, as perdas de água por evaporação e transpiração e, conseqüentemente, sobre o deflúvio médio. Variações significativas de altitude resultam em diferenças consideráveis de temperatura média, a qual acarreta variações na evapotranspiração. Além disso, pode ocasionar variações na precipitação anual (TONELLO, 2005).

Mapa 6 – Altimetria da bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG



Fonte: Autora, 2020.

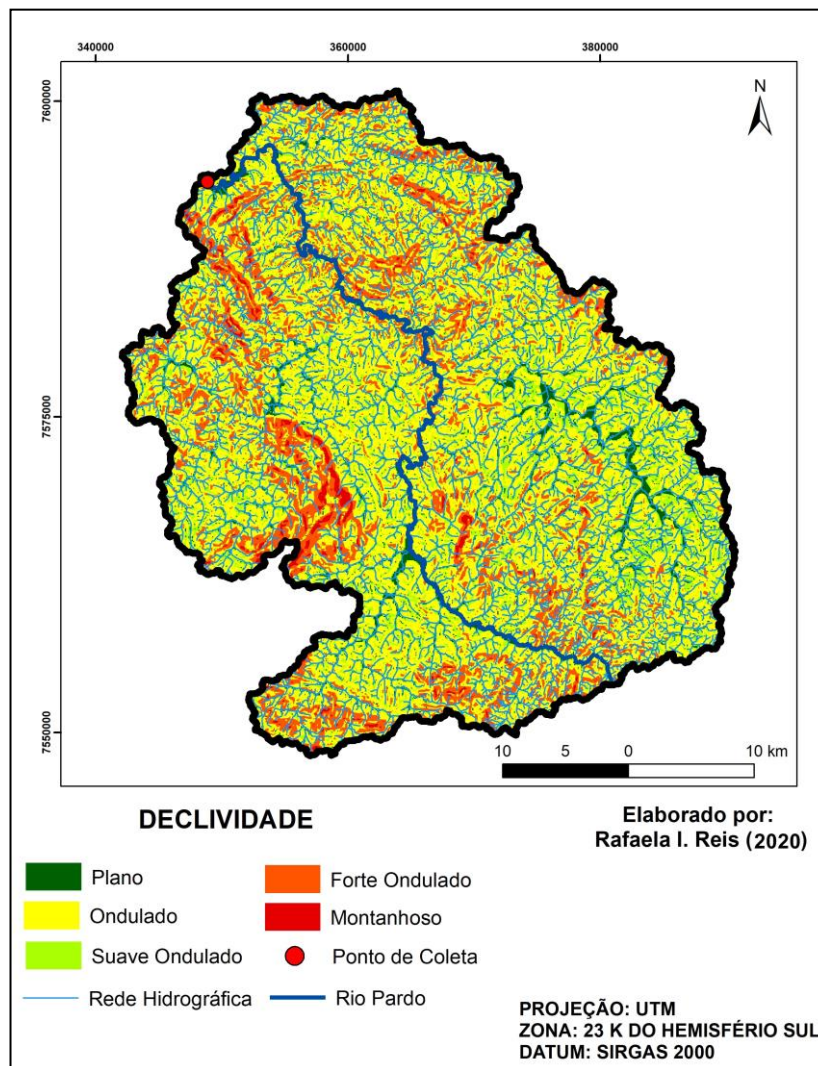
A área de estudo apresentou declividade média de 15%, sendo esse valor condizente com o relevo ondulado da região. A Tabela (4) apresenta o resultado da distribuição das cinco classes de declividade, conforme Embrapa (1999). Observa-se que grande parte do relevo da bacia corresponde ao ondulado (faixa de declividade de 8–20%), representando 57,41% da área total. O Mapa (7) mostra a declividade da área de estudo e a Fotografia (6) mostra o relevo ondulado da região próxima ao ponto de amostragem, no bairro Souza Lima, Poços de Caldas.

Tabela 4 – Distribuição das classes de declividade presentes na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG

Declividade (%)	Classes de relevo	Área	
		km <sup>2</sup>	%
0 – 3	Plano	91,01	5,59
3 – 8	Suave ondulado	273,02	16,78
8 – 20	Ondulado	934,00	57,41
20 – 45	Forte ondulado	303,00	18,62
45 – 75	Montanhoso	26,02	1,60
<b>Total</b>		<b>1.627,05</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Autora, 2020.

Mapa 7 – Declividade da bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG



Fonte: Autora, 2020.

Fotografia 6 – Representação do relevo ondulado na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG



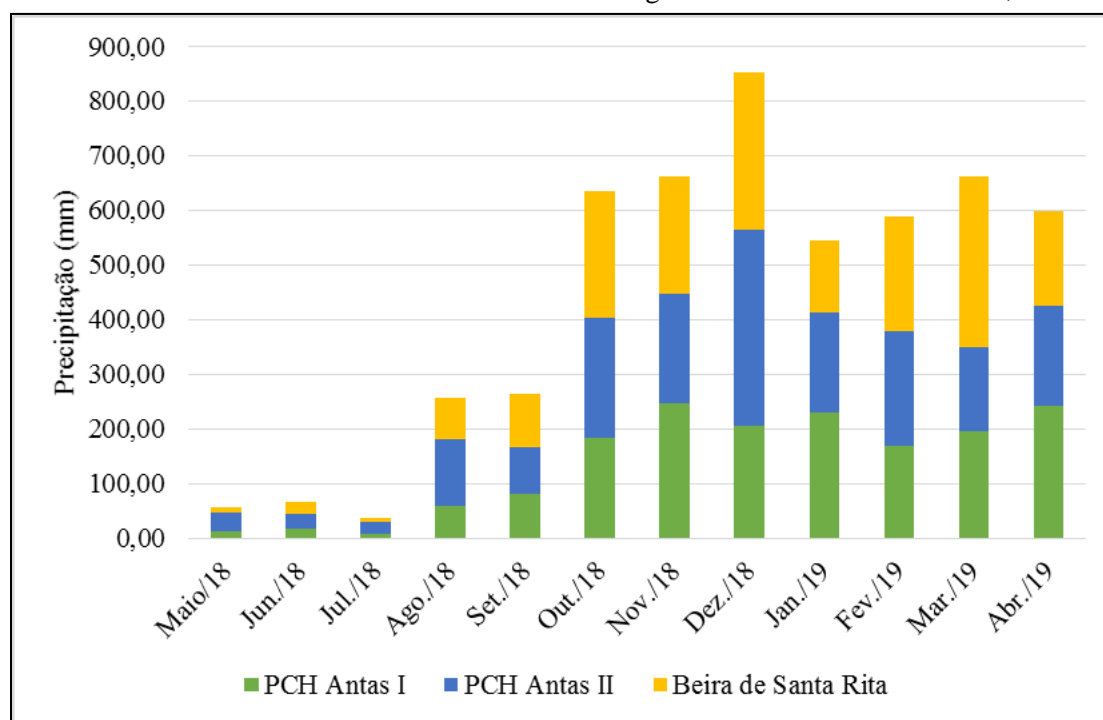
Fonte: Arquivo pessoal, 2020.

A declividade média de uma bacia possui importante papel na distribuição da água entre o escoamento superficial e subterrâneo, dentre outros processos. A ausência de cobertura vegetal, a classe de solo e a intensidade de chuvas, dentre outros, associada à maior declividade, conduzirá à maior velocidade de escoamento, à menor quantidade de água armazenada no solo e resultará em enchentes mais acentuadas, sujeitando a bacia à degradação (TONELLO *et al.*, 2006).

### **5.3 Avaliação dos processos hidrológicos na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo**

No Gráfico (1) está representado as variações pluviométricas mensais durante o período de estudo (maio/18 a abril/19). Observou-se períodos de baixa pluviosidade nos meses de maio/18 a setembro/18, com variações de 12,33 mm (julho/18) a 87,67 mm (setembro/18), sendo o mês de julho considerado o mais crítico. Períodos de alta precipitação ocorreram entre os meses de outubro/18 e abril/19, variando de 181,43 mm (janeiro/19) a 284,07 mm (dezembro/18).

Gráfico 1 – Pluviosidade média mensal na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG, 2018-2019



Fonte: Autora, 2020.

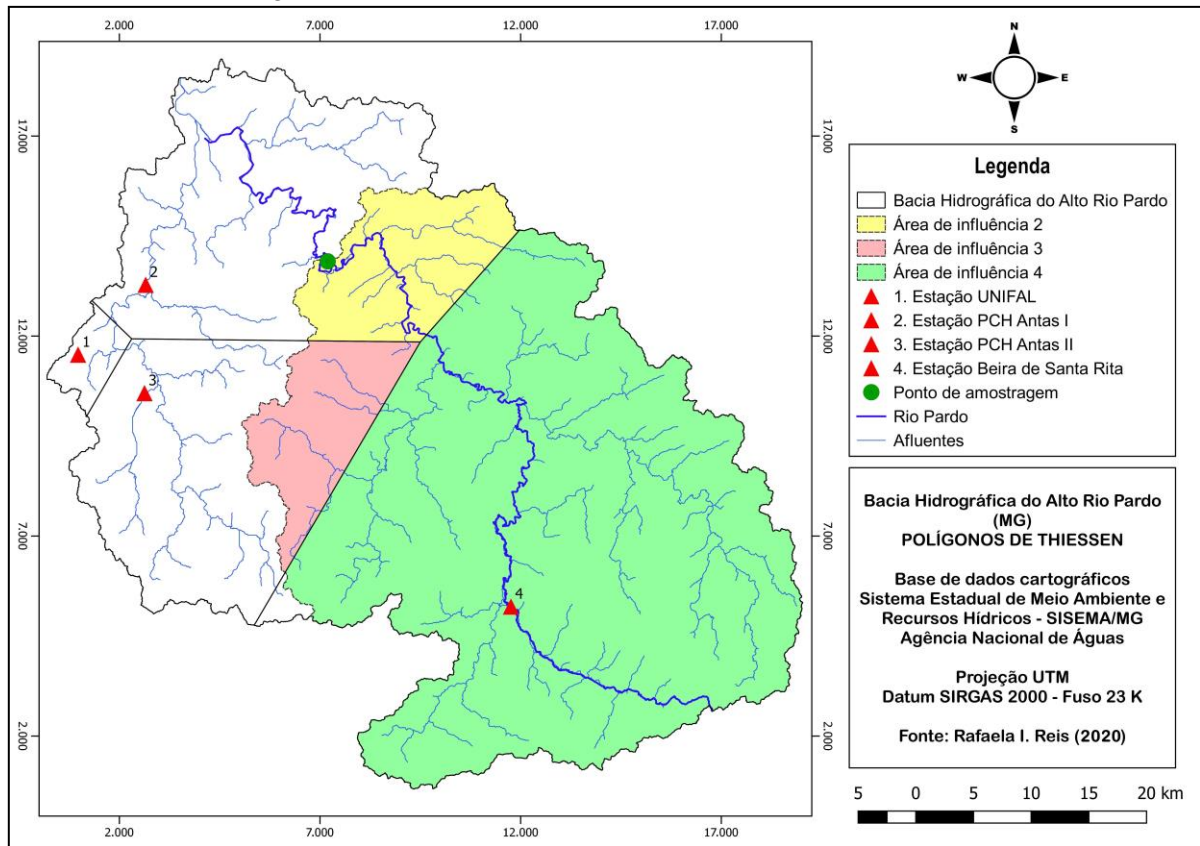
Para o período de maio/18 a abril/19, a precipitação anual segundo a média aritmética e o método de Thiessen foram de 1.740,94 mm e 1.763,47 mm, respectivamente (Tabela 5). Ao se comparar as médias da precipitação considerando ambos os valores obtidos, percebe-se que as diferenças foram pequenas, sendo que o método de Thiessen apresentou valor maior, assim como no estudo de Macêdo *et al.* (2013) na bacia do Riozinho do Rôla-AM, que encontraram valores de precipitações médias para os métodos da média aritmética 1.428 mm e o método de Thiessen 1.450 mm nos anos de 2007 e 2008. As áreas de influência de cada uma das estações de monitoramento estão mostradas no Mapa (8).

Tabela 5 – Precipitação média anual na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG, pela média aritmética e método de Thiessen, 2018-2019

Ponto	Estação	Localidade	Precipitação anual	Área	% em relação ao total da área	Fator peso	Precipitação ponderada
			(mm)	(km <sup>2</sup> )			(mm)
2	PCH Antas I	Poços de Caldas	1.649,26	173,39	10,66	0,11	175,76
3	PCH Antas II	Poços de Caldas	1.798,75	138,61	8,52	0,09	153,24
4	Beira de Santa Rita	Santa Rita de Caldas	1.774,80	1.315,05	80,82	0,81	1.434,47
<b>Total</b>			<b>1.740,94</b>	<b>1.627,05</b>	<b>100</b>		
							<b>1.763,47</b>

Fonte: Autora, 2020.

Mapa 8 – Polígonos de Thiessen com área de influência das estações pluviométricas localizados na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG

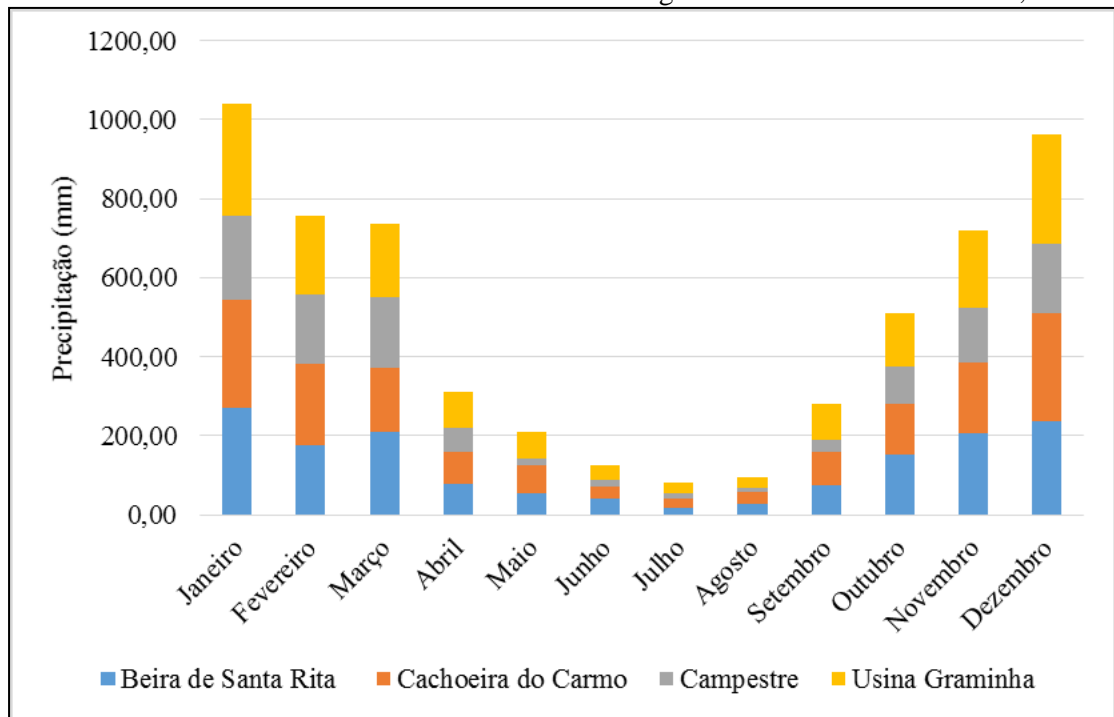


Fonte: Autora, 2020.

Para o estudo da precipitação média anual na BHARP, inicialmente foram selecionadas quatro estações pluviométricas espalhadas pela bacia, conforme mostra o Mapa (8). Entretanto, ao criar os Polígonos de Thiessen, observou-se que a estação pluviométrica UNIFAL não possui influência na área de estudo, portanto, foi descartada para estudo da pluviosidade.

A média pluviométrica anual para o período de 1942 a 2018 foi de 1.457,78 mm. Houve maiores precipitações nos meses de janeiro (260,16 mm), fevereiro (189,09 mm) e dezembro (240,99 mm), enquanto que junho (31,08 mm), julho (20,44 mm) e agosto (23,59 mm) foram os meses menos chuvosos, como se pode observar no Gráfico (2). Essa distribuição das chuvas é característica de clima tropical, caracterizado por duas estações muito bem definidas: a seca no inverno e a chuvosa no verão (REBOITA *et al.*, 2010).

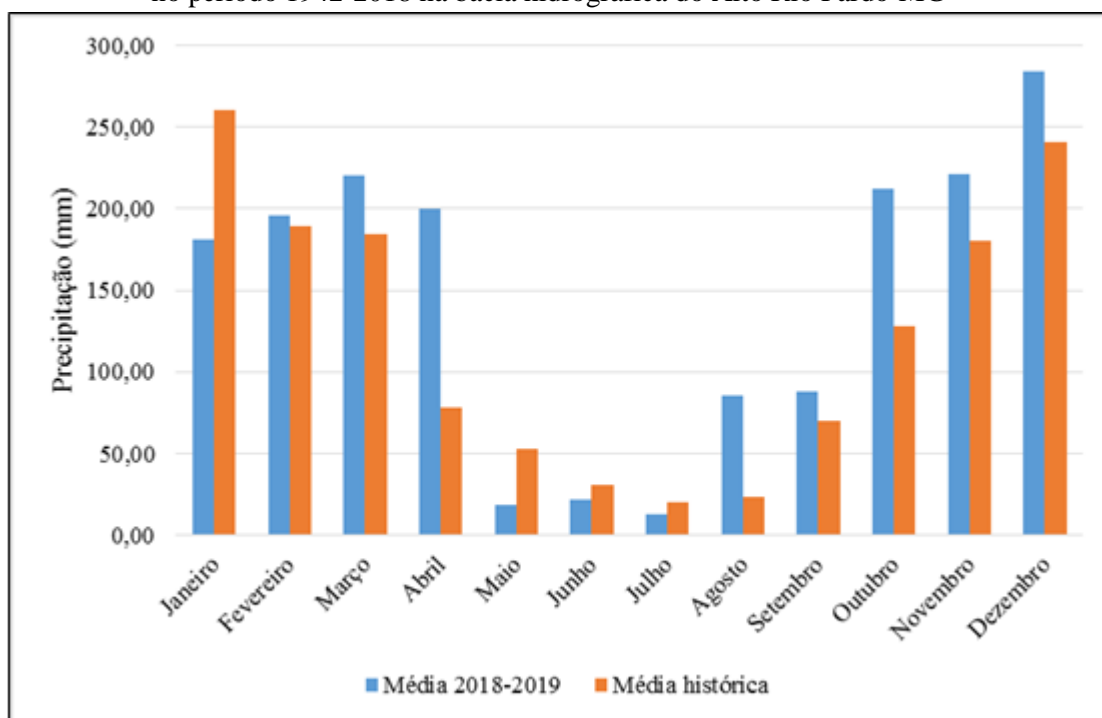
Gráfico 2 – Pluviosidade média histórica na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG, 1942-2018



Fonte: Autora, 2020.

Analisando a média pluviométrica anual do período de maio/18 a abril/19, nota-se que esta foi maior que a média histórica (Gráfico 3). Somente nos meses de janeiro, maio, junho e julho que a média histórica esteve superior à do período de estudo. Reboita *et al.* (2015), em estudo da precipitação média histórica de Minas Gerais no período de 1998 a 2012 citam que a precipitação média anual na região centro-sul foi de 1.600 mm, sendo a mais chuvosa do estado. Já Cavalcanti *et al.* (2016) mencionam que a região possuiu pluviosidade média anual em torno de 1.500 a 1.700 mm no período de 1961 a 1990.

Gráfico 3 – Comparação da pluviosidade média mensal no período 2018-2019 e média histórica no período 1942-2018 na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG



Fonte: Autora, 2020.

A vazão mensal mínima correspondeu ao mês de setembro/18, com  $9,07 \text{ m}^3/\text{s}$ , enquanto que a vazão mensal máxima correspondeu ao mês de janeiro/19, com um valor de  $66 \text{ m}^3/\text{s}$ , conforme Tabela (6) e Gráfico (4). A média anual foi de  $33,97 \text{ m}^3/\text{s}$ . Os menores e maiores valores de vazão registrados nos meses secos e chuvosos indicam a influência sazonal deste parâmetro.

O Gráfico (5) mostra a representação da calha do Rio Pardo durante o período de estudo. Os gráficos demonstram a variação da vazão, com baixa entre o período de maio/18 e setembro/18 e alta entre o período de outubro/18 e abril/19. Segundo Aguirre *et al.* (2004), a vazão nos rios varia em função de parâmetros hidrológicos da bacia, sendo que o aumento da vazão pode alterar tanto o curso do rio, quanto sua seção transversal característica, o que pode ser observado no mês de dezembro/18. A chuva pode ter contribuído para o carreamento de sedimentos que provavelmente acumularam-se no lado esquerdo, causando grande deformidade na calha do rio. De um modo geral, o formato elíptico observado no Rio Pardo pode contribuir para a diminuição da velocidade da corrente fluvial, devido às enxurradas serem distribuídas, acarretando em uma menor magnitude da vazão (MELLO; SILVA, 2013).

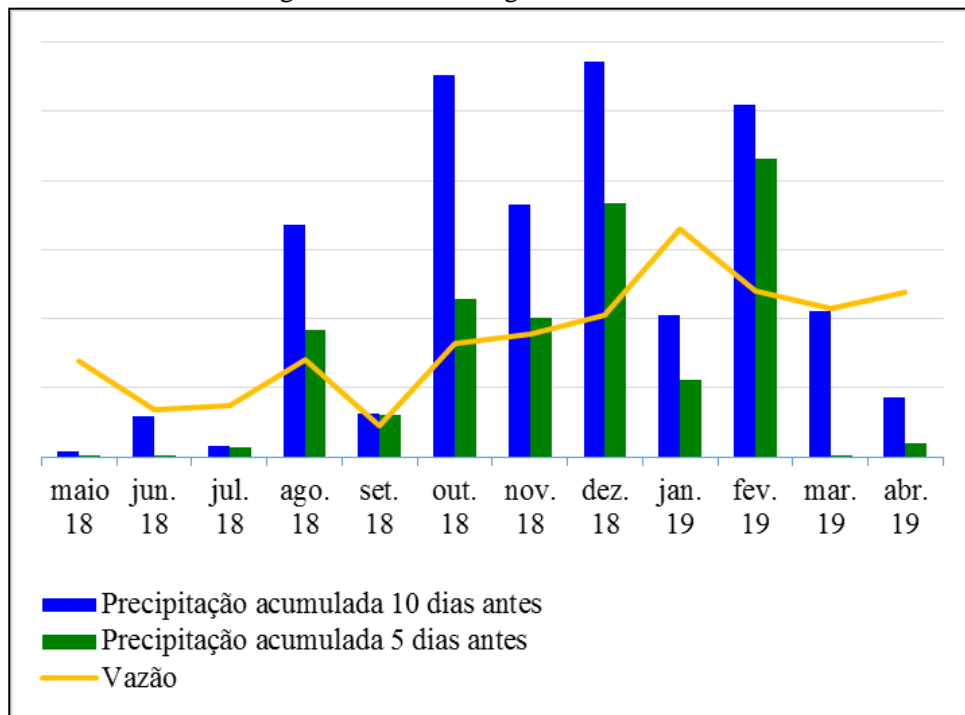


Tabela 6 – Relação da vazão e precipitação acumulada 10 e 5 dias anteriores ao dia da amostragem

Data	Precipitação acumulada 10 dias antes	Precipitação acumulada 5 dias antes	Vazão
03/05/18	1,50	0,25	27,97
14/06/18	11,68	0,37	13,68
12/07/18	3,33	3,02	14,86
09/08/18	67,33	36,69	28,14
14/09/18	12,75	12,06	9,07
18/10/18	110,55	45,60	32,76
23/11/18	73,00	40,30	35,41
21/12/18	114,20	73,45	41,13
24/01/19	40,90	22,20	66,00
21/02/19	101,75	86,35	48,09
29/03/19	42,10	0,25	42,94
26/04/19	17,30	4,20	47,59

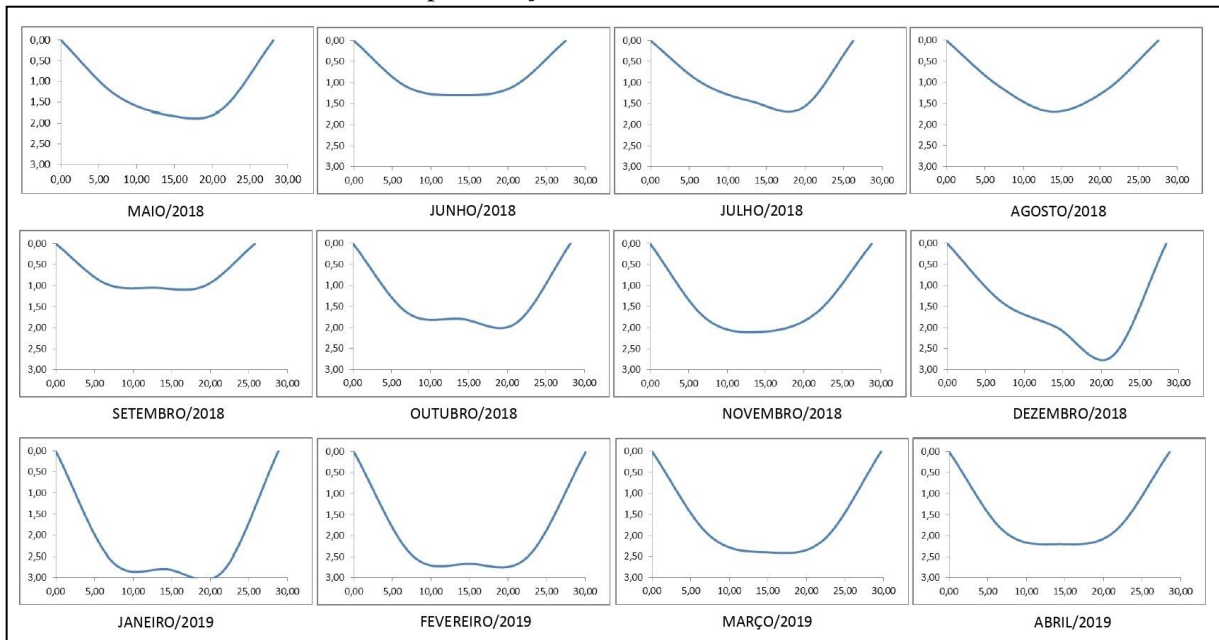
Fonte: ANA; DME, 2019.

Gráfico 4 – Relação entre vazão e precipitação em 10 e 5 dias anteriores às datas de amostragem na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG



Fonte: Autora, 2020.

Gráfico 5 – Representação da calha do Rio Pardo, 2018-2019



Fonte: Autora, 2020.

A Fotografia (7) apresenta as variações de vazão no Rio Pardo durante o período seco (setembro/18) e chuvoso (abril/19). É possível também observar a alteração da cor e da turbidez provocados pela entrada de sólidos dissolvidos na água, que ocorre em maior escala nos períodos de alta precipitação pela erosão laminar.

Fotografia 7 – Variações de vazão no ponto de amostragem



Fonte: Arquivo pessoal, 2020.

Legenda: a) calha do Rio Pardo em setembro/2018;  
b) calha do Rio Pardo em abril/2019.

Os resultados do balanço hídrico da BHARP estão apresentados na Tabela (7).

Tabela 7 – Relação do balanço hídrico na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG, 2018-2019

Mês	Dias	Precipitação	Vazão	Vazão específica	Deflúvio	Saldo
		(mm)	(m <sup>3</sup> /s)	(l/s/km <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)
maio/18	31	18,67	27,97	17,19	46,04	-27,37
jun./18	30	21,95	13,68	8,41	21,79	0,16
jul./18	31	12,33	14,86	9,13	24,46	-12,13
ago./18	31	85,28	28,14	17,30	46,32	38,96
set./18	30	87,67	9,07	5,57	14,45	73,22
out./18	31	212,00	32,76	20,13	53,93	158,07
nov./18	30	220,97	35,41	21,76	56,41	164,56
dez./18	31	284,07	41,13	25,28	67,71	216,36
jan./19	31	181,43	66,00	40,56	108,65	72,79
fev./19	28	196,17	48,09	29,56	71,50	124,66
mar./19	31	220,70	42,94	26,39	70,69	150,01
abr./19	30	199,70	47,59	29,25	75,81	123,89
<b>Total</b>	<b>365</b>	<b>1.740,94</b>	<b>407,64</b>	<b>250,53</b>	<b>657,76</b>	<b>1083,18</b>
<b>Média</b>	<b>30</b>	<b>145,08</b>	<b>33,97</b>	<b>20,88</b>	<b>54,81</b>	<b>90,26</b>

Fonte: Autora, 2020.

Nos meses de maio/18 e julho/18 em que a precipitação esteve abaixo de 20 mm, verificou-se um saldo hídrico negativo de -27,37 mm e -12,13 mm, respectivamente, onde provavelmente o escoamento superficial do Rio Pardo é alimentado pelo escoamento de base (escoamento subterrâneo). Nos meses de agosto/18 e setembro/18, apesar do significativo aumento do volume da precipitação comparado com os meses anteriores, o saldo hídrico ainda esteve abaixo da média anual, provavelmente devido ao processo de recarga das águas subterrâneas que alimentaram a água superficial durante o período de estiagem. O processo de recarga do lençol freático alcançou o pico no mês de setembro/18, em que o deflúvio e a vazão atingiram o menor nível anual, com 14,45 mm e 9,07 m<sup>3</sup>/s, respectivamente. O aumento da precipitação na estação chuvosa, de outubro/18 a abril/19, influenciam positivamente o balanço hídrico da BHARP, alcançando um saldo de 216,36 mm em dezembro/18, o mês mais chuvoso do ano (284,07 mm). No mês de janeiro/19, o deflúvio e a vazão alcançam seu nível máximo anual, com 108,65 mm e 66 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, provavelmente pela chuva acumulada do mês anterior. No geral, o sistema hidrológico da área estudada apresentou déficits no período seco e superávit na estação chuvosa. A produção de água no período das chuvas representou cerca de 93,27 % do balanço hídrico na BHARP, demonstrando que há predomínio do escoamento superficial na alimentação das águas fluviais do Rio Pardo. O

balanço hídrico realizado mostrou que a área estudada é bastante representativa, do ponto de vista da recarga de aquíferos regionais.

#### **5.4 Avaliação da qualidade da água na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo**

Os resultados das análises físico-químicas das águas fluviais da BHARP estão apresentados na Tabela (8). Em relação à temperatura, o menor valor foi registrado no mês de julho/18 (13,1°C) e o valor máximo no mês de janeiro/19 (23,8°C), com média anual de 20,6°C, podendo assim observar uma variação de aproximadamente 10,7°C na temperatura da água entre o verão e o inverno. Rabelo e Danna (2014) em estudo da qualidade da água na bacia do rio Tamandutê e da bacia do Parque do Pedroso em Santo André-SP encontraram valores semelhantes, variando de 23,1°C a 24,8°C no mês de março.

Com relação ao pH, as variações mínimas foram de 5,1 e máximas de 7,1 nos meses de junho/18 e novembro/18, respectivamente, com média anual de 6,4. Os resultados indicam que as águas do Rio Pardo se encontram próximas da neutralidade, dentro da faixa de 6 a 9 recomendada pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces (BRASIL, 2005), exceto nos meses de junho/18 (5,1) e abril/19 (5,4).

O Potencial de oxidação-redução (ORP) apresentou valor mínimo de 191,7 mV no mês de agosto/18 e valor máximo de 296,7 mV no mês de outubro/18, com média anual de 253,3 mV. Neste trabalho, observou-se relação entre ORP e as cargas de nitrato e fosfato, que também apresentaram altos valores no mês de outubro/18. Corroborar com este resultado estudos realizados por Libanio (2019) no rio Muzambo, tributário do reservatório de Furnas-MG que encontrou correlações positivas entre potencial de oxirredução com os nutrientes nitrato e fosfato.

Em relação à condutividade elétrica, o valor mínimo foi de 25,7  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no mês de março/19 e valor máximo de 58  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no mês de abril/19, com média anual de 34,4  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Neste trabalho, a condutividade esteve relacionada com a carga de sólidos totais dissolvidos, que também tiveram valores mínimos e máximos nos meses de março e abril/19. Fonseca e Salvador (2005) em estudo na bacia do rio Bonito em Descalvado-SP também encontraram resultados que evidenciam a relação entre a condutividade e a carga de sólidos dissolvidos, que pode ser explicado pela carga de poluição difusa advinda da água das primeiras chuvas. Os autores também citam que a vazão dos rios exerce efeito sobre a condutividade, provocando maior ou menor diluição das cargas poluidoras. No mês de março/19, em que a

vazão esteve maior que a média anual, a condutividade e a carga de sólidos dissolvidos atingiram valores mínimos, provavelmente pelo efeito diluidor das águas superficiais.

Tabela 8 – Resultados das análises físico-químicas das águas fluviais da bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG, 2018-2019

Mês	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Temp. (°C)	pH	ORP (mV)	Cond. (µS/cm)	Turb. (NTU)	OD (mg/l)
maio/18	28,0	19,5	6,5	228,0	38,0	1,9	3,0
jun./18	13,7	18,1	5,1	274,7	34,0	0,9	6,0
jul./18	14,9	13,1	6,8	265,0	33,7	3,0	8,5
ago./18	28,1	17,4	7,0	191,7	37,3	6,1	5,3
set./18	9,1	20,8	6,8	259,7	33,7	19,0	4,6
out./18	32,8	21,9	6,0	296,7	35,3	75,7	7,2
nov./18	35,4	21,5	7,1	218,7	27,3	42,2	7,9
dez./18	41,1	23,7	6,1	243,7	29,0	100,6	8,5
jan./19	66,0	23,8	6,5	265,0	32,0	46,4	5,2
fev./19	48,1	22,9	7,0	248,7	29,3	55,3	6,3
mar./19	42,9	21,9	6,5	278,0	25,7	48,0	6,7
abr./19	47,6	22,1	5,4	270,3	58,0	28,6	5,0
<b>média</b>	<b>34,0</b>	<b>20,6</b>	<b>6,4</b>	<b>253,3</b>	<b>34,4</b>	<b>35,6</b>	<b>6,2</b>

Fonte: Autora, 2020

Legenda: Temp. = temperatura; pH = potencial hidrogeniônico; ORP = potencial de oxidação-redução; Cond.= condutividade; Turb.= turbidez; OD = oxigênio dissolvido.

Quanto à turbidez, houve grande variação entre o período seco e úmido, apresentando valor mínimo de 0,9 NTU em junho/18 e valor máximo de 100,6 NTU em dezembro/18, próximo do limite de 100 NTU estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para rios de classe 2. A média anual foi de 35,6 NTU. A turbidez tem intrínseca relação com a vazão, indicando presença mais expressiva de materiais finos em suspensão na água, o que caracteriza a ação exercida pelo arraste superficial (FRITZSONS *et al.*, 2003; TAVARES, 2006). Luiz *et al.* (2012) em estudo na bacia hidrográfica do rio Taquaral, em São Mateus do Sul-PR encontraram turbidez elevada (141 NTU) nos dias em que ocorreu chuva de 30 mm, e turbidez baixa (5,27 NTU) no dia sem chuva ou < 25 mm, fato que pode ser explicado, segundo os autores, pelo uso do solo para agricultura temporária e mecanizada nas áreas de maior declividade da bacia.

Os resultados de oxigênio dissolvido demonstraram variações de 3 mg/l em maio/18 a 8,5 mg/l em julho e dezembro/18, com média anual de 6,2 mg/l. O mínimo de OD exigido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para rios de classe 2 é de 5 mg/l, ficando os meses de maio (3 mg/l) e setembro/18 (4,6 mg/l) abaixo deste limite. Os baixos índices de OD podem indicar a presença de matéria orgânica na água, que acaba por consumir o oxigênio dissolvido

para oxidação dos compostos orgânicos. Maranhão *et al.* (2017) em estudo da qualidade da água do ribeirão Samambaia, em São Pedro-SP encontraram valores de OD com média de 5,14 mg/l à jusante da cidade de São Pedro, e citaram que o baixo valor de OD está relacionado a descarga de efluentes domésticos provenientes da cidade, ocasionando diminuição da concentração desse parâmetro por meio do consumo da matéria orgânica pela fauna bacteriana.

Os resultados das concentrações de nutrientes das águas fluviais da BHARP estão apresentados na Tabela (9). As concentrações do íon nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) apresentaram grande variação entre o período seco e chuvoso, com registro mínimo de 0,4 mg/l em maio/18 e máximo de 6,7 mg/l em novembro/18. A média ponderada anual foi de 2,8 mg/l. Os resultados foram inferiores ao limite de 10,0 mg/l estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para rios de classe 2. Gonçalves *et al.* (2016) em estudo na bacia do Rio Siriri, em Sergipe-AL encontraram valores médios de nitrato variando de 0,57 mg/l a 1,56 mg/l. Valores considerados baixos, visto que a bacia apresenta usos do solo com intensa atividade antrópica. Capoane *et al.* (2014) em estudo na bacia do Arroio Caldeirão, Palmitinho-RS, considerada predominantemente agrícola, encontraram concentrações de nitrato variando de 0,1 a 5,6 mg/l no médio curso e de 0,1 a 4,2 mg/l no exutório.

Tabela 9 – Resultados das concentrações de nutrientes na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG, 2018-2019

Mês	Vazão	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{P Total}$
	( $\text{m}^3/\text{s}$ )	(mg/l)			
maio/18	28,0	0,4	0,0	0,1	0,05
jun./18	13,7	2,4	0,0	0,2	0,07
jul./18	14,9	2,2	0,0	0,3	0,09
ago./18	28,1	1,5	1,0	0,2	0,08
set./18	9,1	1,3	2,0	0,2	0,06
out./18	32,8	4,3	8,0	0,9	0,28
nov./18	35,4	6,7	5,0	0,5	0,16
dez./18	41,1	2,8	9,0	0,6	0,19
jan./19	66,0	2,8	9,0	0,5	0,16
fev./19	48,1	2,9	7,0	0,5	0,17
mar./19	42,9	1,6	5,0	0,4	0,14
abr./19	47,6	2,6	3,0	0,4	0,12
<b>média</b>	<b>34,0</b>	<b>2,6</b>	<b>4,1</b>	<b>0,4</b>	<b>0,13</b>
<b>M. P.</b>		<b>2,8</b>	<b>5,3</b>	<b>0,4</b>	<b>0,15</b>

Fonte: Autora, 2020

Legenda:  $\text{NO}_3^-$ = nitrato;  $\text{SO}_4^{2-}$ = sulfato;  $\text{PO}_4^{3-}$ = fosfato;  $\text{P total}$ = fósforo total; M.P.= média ponderada pela vazão.

Quanto ao íon sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), não foi detectado nas amostras nos meses maio, junho e julho, enquanto que nos meses de dezembro/18 e janeiro/19 as concentrações atingiram 9 mg/l, com média ponderada anual de 5,3 mg/l. Este resultado demonstra a interferência da precipitação no aporte deste íon na água. Campanha *et al.* (2010) em estudo nos rios Turvo, Preto e Grande em São Paulo, também encontraram resultados de sulfato em maiores concentrações no período chuvoso, como indicativo da presença de fontes difusas para este composto. Os valores encontrados para o parâmetro sulfato estão todos de acordo com os valores admissíveis pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para rios de classe 2 (250 mg/l).

Em relação a concentração do íon fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) houve variação de 0,1 mg/l no período seco a 0,9 mg/l no período chuvoso, com média ponderada anual de 0,4 mg/l. Para o fósforo total, no período seco as concentrações estiveram baixas, variado de 0,05 a 0,09 mg/l. Entretanto, no período chuvoso os resultados indicaram valores superiores ao estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (0,10 mg/l), variando de 0,12 mg/l a 0,28 mg/l. Queiroz *et al.* (2010) encontraram valores satisfatórios de fósforo total em estudo na microbacia Sanga Mandarin, em Cascavel-PR, onde em 60% das amostras não foi detectado a presença deste íon, e um pico de 0,36 mg/l foi detectado após um dia de intensa precipitação. Os autores atribuíram o bom resultado ao manejo adequado do solo, com práticas de plantio direto e sistema de terraço existentes na área agricultável, o que proporciona a contenção e infiltração da água da chuva, evitando o arraste de sedimentos e nutrientes para dentro do rio. Conceição e Bonotto (2002) em estudo na bacia do Rio Corumbataí, em São Paulo encontraram concentração média ponderada de fosfato igual a 1,31 mg/l, sugerindo que a utilização de fertilizantes na agricultura seja responsável por 40% do aporte antropogênico desse íon em épocas de chuva.

Os valores obtidos da concentração de sólidos totais dissolvidos (STD), sólidos totais em suspensão (STS) e sedimento de fundo das águas fluviais da BHARP estão apresentados na Tabela (10). A concentração de sólidos totais dissolvidos apresentou variações de 16,3 mg/l em março/19 a 37,7 mg/l em abril/19, com média ponderada anual de 22,4 mg/l. As menores concentrações de STD estão relacionadas com o período chuvoso, provavelmente pelo poder de diluição das águas superficiais. Sardinha *et al.* (2018) em estudo na Bacia do Córrego Aririnha, Poços de Caldas-MG, encontraram variações de STD 21,0 mg/l (dez./14) a 37,0 mg/l (out./14). Victal (2018) em estudo na sub-bacia do Córrego das Amoras, Poços de Caldas-MG, encontrou variação de 12 mg/l (nov./16) a 26 mg/l (set./16) de STD.

Em relação aos sólidos totais em suspensão, observou-se que houve grande variação nas concentrações ao longo do ano, sendo que o menor registro ocorreu em julho/18, no período seco e o maior registro em fevereiro/19, no período chuvoso, com variações de 0,7 mg/l a 103,5 mg/l e média ponderada anual de 39,1 mg/l. Souza e Souza (2015) em estudo na bacia do Ribeirão dos Poços, Poços de Caldas-MG encontraram valores médios de STS entre 4,72 mg/l no inverno/2013 e 46,83 mg/l no verão/2013. Souza e Gastaldini (2014) em estudo de sub-bacias com diferentes usos e ocupação do solo do Rio Vacacaí-Mirim em Santa Maria-RS observaram que as maiores produções de sedimentos foram observadas nas bacias de características rurais devido às práticas agrícolas caracterizadas pelo plantio próximo ao leito do rio e pela devastação da mata nativa, práticas que aumentam o poder de erosão e perda de solo.

Tabela 10 – Resultados das concentrações de sedimentos na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG, 2018-2019

Mês	Vazão	STD	STS	S. fundo
	(m <sup>3</sup> /s)	(mg/l)	(mg/l)	(t/dia)
maio/18	28,0	25,0	5,0	95,5
jun./18	13,7	22,0	2,0	20,9
jul./18	14,9	22,0	0,7	11,8
ago./18	28,1	24,3	4,1	123,1
set./18	9,1	22,0	3,2	15,5
out./18	32,8	22,3	58,9	470,3
nov./18	35,4	17,7	27,9	315,2
dez./18	41,1	19,0	42,7	492,9
jan./19	66,0	20,7	55,2	929,5
fev./19	48,1	19,3	103,5	1.106,3
mar./19	42,9	16,3	26,3	340,6
abr./19	47,6	37,7	24,9	487,3
<b>média</b>	<b>34,0</b>	<b>22,4</b>	<b>29,5</b>	<b>367,4</b>
<b>M. P.</b>		<b>22,4</b>	<b>39,1</b>	<b>505,2</b>

Fonte: Autora, 2020

Legenda: STD = sólidos totais dissolvidos; STS = sólidos totais em suspensão; S. fundo = sedimento de fundo; M.P.= média ponderada pela vazão.

Quanto às concentrações de sedimento de fundo calculadas, observou-se grande variação entre o período seco e úmido, apresentando menor valor em julho/18 (11,8 t/dia) e maior valor em fevereiro/19 (1.106,3 t/dia), com média ponderada anual de 505,2 t/dia. É de esperar-se que os sedimentos mais grossos ocorram em momentos de vazões mais altas, com maior capacidade de arraste (CRISPIM *et al.*, 2015). Souza (2011) encontrou baixos valores



de sedimento de fundo em estudo na bacia do rio Capibaribe, na região metropolitana de Recife-PE, variando de 0,20 t/dia (período não-chuvoso) a 3,41 t/dia (período chuvoso), atribuindo o déficit do sedimento aluvial aos barramentos existentes ao longo da calha do rio Capibaribe.

### 5.5 Avaliação do índice de estado trófico na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo

Os valores de IET-PT indicam que as águas da bacia apresentaram qualidade da água limpa e de baixa produtividade (mesotrófico), com alta produtividade em relação às condições naturais (eutrófico e supereutrófico) nos quais podem ocorrer com frequência alterações indesejáveis na qualidade da água, como a ocorrência de florações de algas, e interferências nos seus múltiplos usos (Tabela 11).

As diferenças identificadas nas amostras durante o período de estudo podem, segundo Soares e Schröder (2015), estar relacionadas com o início da primavera e aumento da temperatura da água, maior disponibilidade de nutrientes e condições propícias de penetração de luz na água, sendo comum observar um incremento do processo de eutrofização, diferente do período de inverno, que se mostra menos intenso.

Tabela 11 – Concentrações de fosfato, fósforo total em mg/l e  $\mu\text{g/l}$  e Índice de estado trófico para fósforo total na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG, 2018-2019

Mês	Vazão	( $\text{PO}_4^{3-}$ )	P <sub>Total</sub>		Critério (IET-PT)	IET- PT	Estado Trófico
	( $\text{m}^3/\text{s}$ )	( $\text{mg/l}$ )	( $\text{mg/l}$ )	( $\mu\text{g/l}$ )			
maio/18	28,0	0,1	0,05	45,65	$52 < \text{IET} \leq 59$	53,79	Mesotrófico
jun./18	13,7	0,2	0,07	68,48	$52 < \text{IET} \leq 59$	55,89	Mesotrófico
jul./18	14,9	0,3	0,09	94,57	$52 < \text{IET} \leq 59$	57,57	Mesotrófico
ago./18	28,1	0,2	0,08	75,00	$52 < \text{IET} \leq 59$	56,36	Mesotrófico
set./18	9,1	0,2	0,06	61,96	$52 < \text{IET} \leq 59$	55,37	Mesotrófico
out./18	32,8	0,9	0,28	277,19	$63 < \text{IET} \leq 67$	63,15	Supereutrófico
nov./18	35,4	0,5	0,16	159,79	$59 < \text{IET} \leq 63$	60,29	Eutrófico
dez./18	41,1	0,6	0,19	185,88	$59 < \text{IET} \leq 63$	61,08	Eutrófico
jan./19	66,0	0,5	0,16	163,05	$59 < \text{IET} \leq 63$	60,40	Eutrófico
fev./19	48,1	0,5	0,17	169,57	$59 < \text{IET} \leq 63$	60,60	Eutrófico
mar./19	42,9	0,4	0,14	136,96	$59 < \text{IET} \leq 63$	59,49	Eutrófico
abr./19	47,6	0,4	0,12	120,66	$52 < \text{IET} \leq 59$	58,83	Mesotrófico

Fonte: Autora, 2020

Legenda:  $\text{PO}_4^{3-}$  = fosfato; P<sub>Total</sub> = fósforo total; IET-PT = Índice de estado trófico para fósforo total.

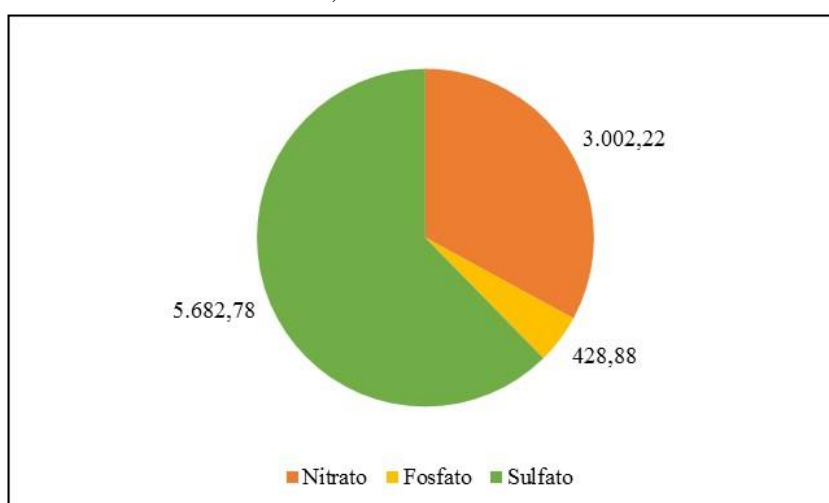
Além disso, estas diferenças também podem estar associadas a influências geogênicas, com o fosfato sendo liberado das rochas e carregado pelas águas de escoamento superficial,

alcançando os corpos hídricos. Por outro lado, influências antropogênicas como lançamento de efluentes domésticos ou industriais, práticas agrícolas com utilização de fertilizantes fosfatados e resíduos agrossilvopastoris podem contribuir para o aumento dos valores de IET-PT.

### 5.6 Avaliação do transporte de nutrientes e sedimentos na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo

Em relação ao transporte de nutrientes e sedimentos na BHARP, a média ponderada foi estimada de acordo com a Equação (14) e o transporte anual foi calculado de acordo com a Equação (15). Para o íon nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), o transporte anual foi de 3.002,22 t. Quanto ao íon fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), o transporte anual foi de 428,88 t. Em relação ao íon sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), o transporte anual foi de 5.682,78 t. O gráfico do transporte anual de nutrientes está representado abaixo.

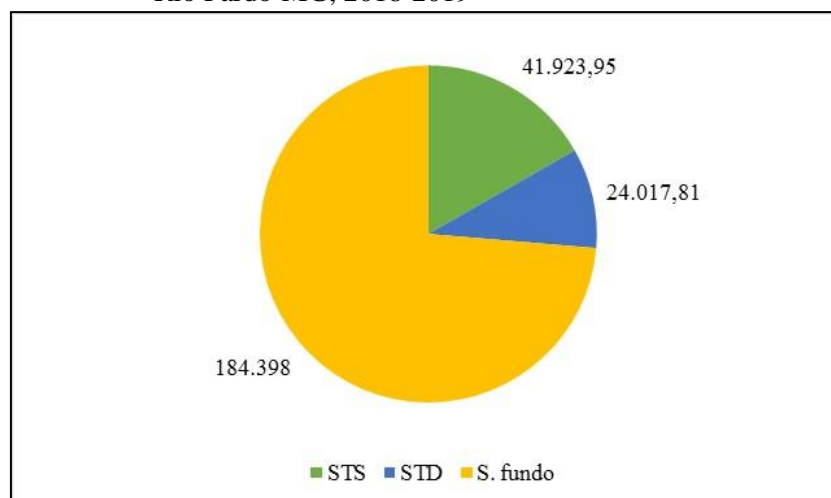
Gráfico 6 – Transporte anual de nutrientes na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG, 2018-2019



Fonte: Autora, 2020.

A carga de sólidos em suspensão transportada foi de 41.923,95 t/ano. A carga de sólidos dissolvidos transportada foi de 24.017,81 t/ano. A carga de sedimentos de fundo transportada foi de 184.398,00 t/ano. O gráfico do transporte anual de sedimentos está representado abaixo.

Gráfico 7 – Transporte anual de sedimentos na bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo-MG, 2018-2019



Fonte: Autora, 2020.

O transporte específico anual ( $t/km^2/ano$ ) de nutrientes e sedimentos na BHARP foi calculado de acordo com a Equação (16), considerando a média ponderada de cada elemento analisado, a vazão média ( $34,0 m^3/s$ ) e a área de drenagem até o ponto de amostragem de  $1.627,05 km^2$ . Quando estes valores e as concentrações médias ponderadas são utilizadas, então, é possível estimar as taxas por unidade de área e tempo.

Em relação ao íon nitrato ( $NO_3^-$ ), o transporte específico foi  $1,84 t/km^2/ano$ . Quanto ao íon fosfato ( $PO_4^{3-}$ ), o transporte específico foi de  $0,26 t/km^2/ano$ . Para o íon sulfato ( $SO_4^{2-}$ ), o transporte específico foi de  $3,49 t/km^2/ano$ . A carga específica de sólidos em suspensão transportada foi de  $25,76 t/km^2/ano$ . A carga específica de sólidos dissolvidos transportada foi de  $14,76 t/km^2/ano$ . A carga específica de sedimentos de fundo transportada foi de  $113,33 t/km^2/ano$ .

Assim, vários fatores podem estar afetando os resultados de transporte específico obtidos neste trabalho. O crescimento urbano, sem planejamento, o uso de fertilizantes e queimadas por parte das propriedades agrícolas que podem ocasionar a liberação de grandes quantidades de macronutrientes, possíveis cargas difusas devido ao cultivo agrícola, pastagens e solos expostos para o carreamento de sedimentos, além de influências geogênicas, ocasionados pela fisiografia da paisagem (geomorfologia, relevo, litologia, solo, etc.) descritos neste estudo.

Outro fator importante que também deve ser observado é o fluxo destes elementos ao Reservatório de Caconde, pois, trata-se de um ambiente lântico com alto tempo de detenção hidráulica, o que pode levar à deposição de íons e sólidos durante o percurso no reservatório e

à reação química dos mesmos na represa. Segundo Tundisi *et al.* (2006), lagos funcionam como sistemas tampão, com a eliminação de nitrogênio (por desnitrificação) e complexação/retenção de metais pesados e fósforo (por incorporação na biomassa).

Durante o período frio, o aumento dos ventos e a diminuição das radiações solares promovem uma circulação vertical da massa de água no reservatório, o que conduz a uma maior remobilização de materiais que se encontram nos sedimentos de fundo, diminuindo os valores de pH e OD durante esse período (TUNDISI *et al.*, 2004). Por outro lado, condições de pH elevado frequentes durante períodos de intensa fotossíntese favorecem a presença de amônia na forma livre (NH<sub>3</sub>). Já as cargas de material dissolvido e em suspensão afluentes ao reservatório podem, segundo Tundisi *et al.* (2006), interferir no funcionamento da comunidade aquática, pois, reduzem a zona eufótica e a produtividade primária planctônica.

Moraes e Jiménez-Rueda (2008), analisando a planície representada pelo Reservatório de Caconde, em que o principal contribuinte a leste é o Rio Pardo e a oeste, o Rio Lambari, citam que na bacia do Rio Pardo ocorre erosão mais intensa pela alta concentração de sólidos em suspensão, em comparação com a bacia do Rio Lambari. Segundo dados do Guia de Avaliação de Assoreamento de Reservatórios, baseado em informações coletadas por Carvalho em 1994 e 1998, no Brasil, 47 reservatórios encontravam-se total ou parcialmente assoreados, dentre eles, o Reservatório de Caconde (CARVALHO *et al.*, 2000). Como os dados apresentados pela literatura são muito desatualizados, aproximadamente 25 anos, o presente estudo pode contribuir com a atualização destas informações, importantes para o gerenciamento adequado do Reservatório de Caconde.

## 6 CONCLUSÕES

Com uma altitude média de 1.188 m e predomínio do relevo ondulado, a área de estudo apresentou predominância de rochas do tipo monzonito e ortognaisse, solos do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo, seguido de Cambissolo Háplico com culturas agrícolas, seguido de mata nativa e floresta plantada. Sendo assim, a bacia apresenta rochas e solos que contribuem com o escoamento superficial e possibilita a formação de canais. Conseqüentemente, apresenta uma superfície com altos índices de dissecação, com eficiência em transportar sedimentos pela erosão laminar, devido as altas precipitações no período de verão chuvoso influenciando nas vazões em seu curso principal.

O coeficiente de compacidade (1,86), o fator de forma (0,50), o índice de circularidade (0,28) e o índice de rugosidade (1,74) demonstraram que a BHARP apresenta um formato alongado, e isso contribui para o processo de escoamento e para a baixa suscetibilidade à ocorrência de enchentes.

Para o período de estudo, as precipitações médias segundo os métodos da média aritmética e de Thiessen foram de 1.740,94 mm e 1.763,47 mm, respectivamente, acima da média pluviométrica anual para o período de 1942 a 2018 de 1.457,78 mm. Os menores e maiores valores de vazão foram registrados nos meses secos (setembro/18 = 9,07 m<sup>3</sup>/s) e chuvosos (janeiro/19 = 66,00 m<sup>3</sup>/s), com baixa entre o período de maio/18 e setembro/18 e alta entre o período de outubro/18 e abril/19, indicando a influência sazonal deste parâmetro. Estes valores podem ter uma influência direta para o carreamento de sedimentos, causando deformidade na calha, alteração da cor e da turbidez (junho/18 = 0,9 NTU e janeiro/19 = 100,6 NTU) do rio no ponto estudado.

O sistema hidrológico da área estudada apresentou déficits no período seco e superávit na estação chuvosa. A produção de água no período das chuvas representou cerca de 93,27 % do balanço hídrico na BHARP, demonstrando que há predomínio do escoamento superficial na alimentação das águas fluviais do Rio Pardo. O balanço hídrico realizado mostrou que a área estudada é bastante representativa, do ponto de vista da recarga de aquíferos regionais.

Em relação à temperatura, o menor valor foi registrado no mês de julho/18 (13,1°C) e o valor máximo no mês de janeiro/19 (23,8°C), variação de aproximadamente 10,7°C na temperatura da água entre o verão e o inverno. Com relação ao pH, as variações mínimas foram de 5,1 e máximas de 7,1 nos meses de junho/18 e novembro/18, respectivamente, com média anual de 6,4. Os resultados de oxigênio dissolvido também demonstraram variações

durante o estudo, com uma média anual de 6,2 mg/l. A condutividade (média = 34,4  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) esteve relacionada com a carga de sólidos totais dissolvidos, que também tiveram valores mínimos e máximos nos meses de março/19 (16,3 mg/l) e abril/19 (37,7 mg/l), diferente do observado para sólidos totais em suspensão com menor registro no período seco (julho/18 = 0,7 mg/l) e maior no período chuvoso (fevereiro/19 = 103,5 mg/l) corroborando com a hipótese do aumento da erosão linear durante o período chuvoso. O mesmo foi verificado nas simulações para o cálculo de sedimentos de fundo, maior capacidade de arraste em momentos de vazões mais altas (fevereiro/19 = 1.106,3 t/dia). De um modo geral, os valores de temperatura, pH, turbidez, OD, nitrato e sulfato estiveram dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para rios de classe 2.

Os nutrientes nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) e fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) apresentaram grande variação entre o período de estudo, com média ponderada pela vazão de 2,8 mg/l, 5,3 mg/l e 0,4 mg/l, respectivamente. Através do nutriente fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) foi possível calcular as concentrações de fósforo total e conseqüentemente do índice de estado trófico, indicando que as águas da bacia, no ponto estudado, apresentam baixa (mesotrófico) a alta produtividade em relação às condições naturais (eutrófico e supereutrófico) nos quais podem ocorrer com frequência alterações na qualidade da água (florações de algas).

Em relação ao transporte anual, através dos parâmetros analisados, foi observado durante o período de estudo um total afluente ao Reservatório de Caconde de 259.453,64 toneladas, distribuídos em 3.002,22 toneladas de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), 428,88 toneladas de fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), 5.682,78 toneladas de sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), 41.923,95 toneladas de sólidos em suspensão, 24.017,81 toneladas de sólidos dissolvidos e 184.398,00 de sedimentos de fundo e/ou arraste. Estes elementos quando adentram em um ambiente lântico (Reservatório de Caconde), podem ocasionar efeitos deletérios na qualidade do recurso hídrico. Com isso, além do estudo poder contribuir com a gestão dos recursos hídricos do Reservatório de Caconde, sugere-se que novos estudos possam ser realizados e com maior periodicidade, a fim de determinar a dinâmica nos recursos hídricos dessa importante bacia hidrográfica localizada na região Sul do Estado de Minas Gerais.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Notícias**. 2018. Disponível em: <http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/noticias/hidreletricas-de-caconde-e-limoeiro-deverao-reduzir-liberacao-de-agua-ate-30-de-abril>. Acesso em: 24 abr. 2018.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. **Portal HidroWeb**. 2019. Disponível em: [http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes\\_historicas\\_abas.jsf](http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf). Acesso em: 06 jun. 2019.
- AGUIRRE-PE, J.; MONCADA, A. T.; OLIVERO, M. L. Transporte de sedimentos em rios y canales. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA, 21., 2004, São Pedro. **Anais** [...] São Pedro: IAHR, 2004. 10 p.
- ALBUQUERQUE, A. R. C. Bacia hidrográfica: unidade de planejamento ambiental. **Rev. Geonorte**, Manaus, v. 4, n. 4, p. 201- 209, 2012. Edição especial.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22. ed. Washington, 2012. 1935 p.
- AMORIM, L. N. **O efeito da escala na análise geomorfométrica da sub-bacia hidrográfica do Rio Duas Bocas, tributário da bacia hidrográfica do Rio Santa Maria da Vitória - ES**. 2014. 65f. Monografia (Graduação em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.
- ANDRADE, E. M. *et al.* Seleção dos indicadores da qualidade das águas superficiais pelo emprego da análise multivariada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 683-690, 2007.
- ARRUDA, G. B. *et al.* Contaminações em sulfato e cloretos em águas de superfície e subsuperfície na região de Araripina-PE. **Rev. Estudos Geológicos**, Recife, v. 22, n. 2, p. 149- 171, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ (ABIC). **Estatísticas; Produção Agrícola 2002 a 2016**. 2016. Disponível em: <https://www.abic.com.br/estatisticas/producao-agricola-2/>. Acesso em: 15 abr. 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9898: preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores**. Rio de Janeiro, 1987.
- BALBINOT, R. *et al.* O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. Guarapuava: **Ambiência**, v. 4, n. 1, p.131-149, jan./abr. 2008.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 7. ed. São Paulo: Ícone, 2010. 355 p.

- BEUTLER, A. N. *et al.* Influência da compactação e do cultivo de soja nos atributos físicos e na condutividade hidráulica em Latossolo Vermelho. **Irriga**, Botucatu, v. 8, n. 3, p. 242-249, set./dez. 2003.
- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2012.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2005.
- BRITTO, F. P.; BORLETTA, R.; MENDONÇA, M. Regionalização sazonal e mensal da precipitação pluvial máxima no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 2, p. 35-51, dez. 2006.
- CAMPANHA, M. B. *et al.* Variabilidade espacial e temporal de parâmetros físico-químicos nos rios Turvo, Preto e Grande no estado de São Paulo, Brasil. **Quím. Nova**, v. 33, n. 9, 1831-1836, jul./set. 2010.
- CAMPANHARO, W. A. **Diagnóstico físico da bacia do rio Santa Maria do Doce-ES**. 2010. 66f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2010.
- CAOVILLA, F. A. *et al.* Lixiviação de nutrientes provenientes de águas residuárias em colunas de solo cultivado com soja. **Rev. Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, p. 283-287, 2005.
- CAPOANE, V. *et al.* Transferência de nitrogênio e fósforo para águas superficiais em uma bacia hidrográfica com agricultura e produção pecuária intensiva no Sul do Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 4, p. 647-650, 2014.
- CARDOSO, C. A. *et al.* Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v. 30, n. 2, p. 241-248, 2006.
- CARDOSO, I. L. *et al.* Índice de Estado Trófico (IET) e Biological Monitoring Working Party (BMWP): uma análise comparativa para avaliação da qualidade da água. **Rev. Eletrônica de Biologia**, Sorocaba, v. 7, n. 3, p. 342-356, 2014.
- CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes. **Limnology and Oceanography**, v. 22, p. 361-369, 1977.
- CARVALHO, N. O. *et al.* **Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2000. 109 p.
- CASSOL, E. A. *et al.* Perdas de nutrientes por erosão em diferentes métodos de melhoramento de pastagem nativa no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, n. 26, p. 705-712, 2002.



CAVALCANTI, I. F. A. *et al.* **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de textos, 2016. 464 p.

CECHIM JÚNIOR, C; JOHANN, J. A; ANTUNES, J. F. G. Mapping of sugarcane crop area in the Paraná State using Landsat/TM/OLI and IRS/LISS-3 images. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 6, p. 427-432, 2017.

CELARINO, A. L. S. **O Quaternário na bacia do Rio Pardo (MG e SP): Análises morfométricas e evidências paleoambientais preservadas em solos de planícies fluviais**. 2015. 219f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.

CELARINO, A. L. S.; LADEIRA, F. S. B. Análise morfométrica da bacia do Rio Pardo (MG e SP). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 15, n. 3, p. 471-491, jul./set. 2014.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1980. 188 p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Edgar Blucher, 1981. 313 p.

COLBY, B. R. Relationship of unmeasured sediment discharge to mean velocity. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, v. 38, n. 5, p. 708-717, 1957.

COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARDO. **Relatório da situação dos recursos hídricos 2010: ano base 2009**. Grupo de Trabalho Permanente do Relatório Anual de Situação dos Recursos Hídricos e Plano de Bacia. Ribeirão Preto: CBH-Pardo, 2010. 88 p.

COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SAPUCAÍ. **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí: resumo executivo**. Belo Horizonte: Vida Meio Ambiente, 2010. 275 p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Apêndice D - Índices de Qualidade das Águas**. 2016. Disponível em: <http://cetesb.sp.gov.br/aguasinteriores/wpcontent/uploads/sites/12/2017/11/Ap%C3%AAndice-D-%C3%8Dndices-de-Qualidade-das-%C3%81guas.pdf>. Acesso em: 30 maio 2018.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Apêndice E - Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade**. 2017. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguasinteriores/wpcontent/uploads/sites/12/2018/06/Ap%C3%AAndice-E-Significado-Ambiental-dasVari%C3%A1veis-de-Qualidade.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2019.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS GERAIS (CODEMIG). Portal da geologia. **Projeto Fronteiras de Minas**. Belo Horizonte, 2019. Disponível em: <http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/>. Acesso em: 22 maio 2019.

CONCEIÇÃO, F. T.; BONOTTO, D. M. Relações hidroquímicas aplicadas na avaliação da qualidade da água e diagnóstico ambiental na bacia do Rio Corumbataí (SP). **Geochimica Brasiliensis**, v. 16, n. 1, p. 1-21, 2002.

- CRISPIM, D. L. *et al.* Transporte e caracterização de sedimentos de fundo no rio Piranhas em uma seção de controle próximo à sede do município de Pombal-PB. **Holos**, v. 3, p. 93-101, 2015.
- CRUZ, E.S. *et al.* Comparação de classificadores de imagens digitais na determinação da cobertura do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 237-244, 2008.
- CURI, N. *et al.* Problemas relativos ao uso, manejo e conservação do solo em Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 16, n. 176, p. 5-16, 1992.
- DONATO, C. F. *et al.* Balanço de massa em microbacia experimental com mata Atlântica, na serra do mar, Cunha, SP. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 20, n. 1, p.1-11, jun. 2008.
- DRUMMOND, G. M. *et al.* **Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para sua conservação**. 2. ed. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2005. 222 p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, 1999. 412 p.
- EMBRAPA. Mapeamento de solos e aptidão agrícola das terras do estado de Minas Gerais. AMARAL, F. C. S. *et al.* (Org.). **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento n. 63**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 95 p.
- EMBRAPA. Portal GeoInfo. **Mapa de solos do estado de Minas Gerais**. Brasília, 2004. Disponível em:  
[http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Alev\\_mg\\_estado\\_solos\\_lat\\_long\\_wgs84\\_vt#category-more](http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Alev_mg_estado_solos_lat_long_wgs84_vt#category-more). Acesso em: 22 maio 2019.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. ampl. Brasília, 2018. 356 p.
- EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL DO ESTADO DE MINAS GERAIS (EMATER). Portal do café de Minas. **Projeto Observatório da Agricultura de Minas Gerais**. 2020. Disponível em:  
<http://portaldocafedeminas.emater.mg.gov.br/Mapas>. Acesso em: 15 abr. 2020.
- EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS (EPAMIG). **Diagnóstico da cafeicultura mineira - regiões tradicionais: Sul/ Sudoeste de Minas, Zona da Mata, Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2010. 56 p.
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI). 2016. **ARCGIS Professional GIS for the desktop version 10.5**. Redlands, Califórnia, EUA, Software.
- ESTEVES, F.A. **Fundamentos de limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602 p.
- FARAGE, J. A. P. *et al.* Determinação do Índice de Estado Trófico para fósforo em pontos do rio Pomba. **Rev. Reveng – Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 18, n. 4, p. 322-329, jul./ago. 2010.

FARIA, A. P. Os Processos erosivos e as suas variações nas escalas temporal e espacial: revisão e análise. **Rev. Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 58, n. 1/4, p. 37-54, jan./dez. 1996.

FARIA, M. M.; ZACCHI, R. C.; FERREIRA, E. S. Caracterização morfométrica e biológica da Bacia Hidrográfica do Córrego Serafim, Sub-Bacia do Rio Paraibuna, Juiz de Fora MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13., 2009, Viçosa, MG. **Anais [...]** Viçosa, MG: Editora da Universidade Federal de Viçosa, 2009.

FIA, R. *et al.* Estado trófico da água na bacia hidrográfica da Lagoa Mirim, RS, Brasil. **Rev. Ambi-Agua**, Taubaté, v. 4, n. 1, p. 132-141, 2009.

FONSECA, H. S.; SALVADOR, N. N. B. Estudo integrado da qualidade das águas da bacia hidrográfica do rio Bonito em Descalvado – SP. **Rev. Inst. Adolfo Lutz**, p. 179-185, 2005.

FRITZSONS, E. *et al.* Análise da pluviometria para definição de zonas homogêneas no Estado do Paraná. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 23, 2011.

FRITZSONS, E. *et al.* As alterações da qualidade da água do rio Capivari com o deflúvio: um instrumento de diagnóstico de qualidade ambiental. **Rev. Eng. Sanit. Ambient.**, v. 8, n. 4, p. 239-248, out./dez. 2003.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília, 2014. 112 p.

GBUREK, W.J.; SHARPLEY, A.L. Hydrologic controls on phosphorus loss from upland agricultural watersheds. **Journal of Environmental Quality**, Madison, Wis., v.27, p.267-277, 1998.

GONÇALVES, A. A. *et al.* Concentrações de nitrato e nitrogênio total no Rio Siriri em Sergipe em período seco: resultados preliminares. In: Encontro de Recursos Hídricos de Sergipe, 8., 2015, Sergipe. **Anais [...]** Sergipe: Embrapa, 2016. p. 76-79.

GOOGLE. **Google Earth Pro**. Maxar Technologies. 2020. Disponível em: <http://www.earth.google.com>. Acesso em: 14 fev. 2020.

GOOGLE. Google Imagens. **Reservatório de Caconde**. 2019. Disponível em: <https://www.portalternurafm.com.br/noticias/regional/moradores-de-caconde-fazem-manifestacao-para-pedir-a-estabilizacao-do-nivel-da-represa/51001>. Acesso em: 18 out. 2019.

HACH. DR/820, DR/850 and DR/890. **Portable Datalogging Colorimeter Instrument Manual**. 2. ed. Loveland, Colorado, U.S.A: Hach Company, 2009. 68 p.

HERMES, L. C.; SILVA, A. S. **Avaliação da qualidade das águas: manual prático**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 55 p.

HERMUCHE, P. M. *et al.* Processamento digital de imagens morfométricas para subsidiar o mapeamento pedológico. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais [...]** Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 123-130.

HIRUMA, S. T.; PONÇANO, W. L. Densidade de drenagem e sua relação com fatores geomorfopedológicos na área do alto rio Pardo, SP e MG. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 15, n. 1/2, p. 49-57, jan./dez. 1994.

IBGE. **Cidades**. Produção agrícola. 2018. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/pesquisas>. Acesso em: 15 abr. 2020.

IBGE. Coordenação de recursos naturais e estudos ambientais. **Manual técnico de geomorfologia**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2009. 182 p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Sismotectônica e dinâmica superficial na área do alto rio Pardo (SP e MG)**. São Paulo, 1992.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS (IEF). **Diário Executivo**. 2019. Disponível em: [http://jornal.iof.mg.gov.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/216987/caderno1\\_2019-03-30%2025.pdf?sequence=1](http://jornal.iof.mg.gov.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/216987/caderno1_2019-03-30%2025.pdf?sequence=1). Acesso em: 20 abr. 2020.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS (IEF). **Inventário florestal de Minas Gerais: monitoramento da flora nativa: 2005-2007**. Lavras: UFLA, 2008. 357 p.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM); Alago – Fupai. **Relatório Parcial 2: Prognóstico das demandas hídricas**. Belo Horizonte, 2013. 130 p.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM); Fundação Educacional de Ensino de Técnicas Agrícolas, Veterinárias e de Turismo Rural-Fundação ROGE. **Plano diretor da bacia hidrográfica dos afluentes mineiros dos rios Mogi-Guaçu e Pardo (Unidade de Gestão GD6): Relatório Executivo Final**. Delfim Moreira, 2010. 280 p.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM); Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais. **1º Relatório de Gestão e Situação dos Recursos Hídricos de Minas Gerais - 2012**. Belo Horizonte, 2012. 274 p.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Imagem Geosistemas**. SGI 2.5. São José dos Campos, 2019.

JENSEN, J. R. **Introductory digital image processing: a remote sensing perspective**. 2. ed. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 1996, 318 p.

JOSEPH, J. F.; FALCON, H. E.; SHARIF, H. O. Hydrologic Trends and Correlations in South Texas River Basins: 1950-2009. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 18, n. 2, p.1653-1662, 2013.

KUERTEN, S. **Variação longitudinal das características sedimentares e hidrológicas do rio Ivaí-PR em seu curso inferior**. 2006. 76f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2006.

LAMPARELLI, M.C. **Graus de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. 2004. 237f. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LEE, S.W. *et al.* Landscape ecological approach to the relationships of land use patterns in watersheds to water quality characteristics. **Lands. Urban Plan.**, v. 92, p. 80-89, 2009.

LEITE, M. H. S. **Avaliação das perdas de solo, água e nutrientes em diferentes sistemas de preparo num Latossolo Vermelho-Amarelo ácrico típico sob chuva natural**. 2007. 90f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2007.

LIBANIO, C. R. **Estado trófico do Rio Muzambo, tributário do reservatório da Usina Hidrelétrica de Furnas, Sudoeste de Minas Gerais**. 2019. 59f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, 2019.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3. ed. Campinas: Editora Átomo, 2010. 494 p.

LIMA, R. N. S. *et al.* Estudo da poluição pontual e difusa na bacia de contribuição do reservatório da usina hidrelétrica de Funil utilizando modelagem espacialmente distribuída em Sistema de Informação Geográfica. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 21, n. 1, p. 139-150, jan./mar. 2016.

LIMA, W. P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba: ESALQ. USP, 2008. 253 p.

LORANDI, R.; CANÇADO, C. J. Parâmetros físicos para gerenciamento de bacias hidrográficas. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A.F.M. (Ed). **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus: Editus, 2002. p. 37-65.

LUÍZ, A. M. E.; PINTO, C. M. L.; SCHEFFER, E. W. O. Parâmetros de cor e turbidez como indicadores de impactos resultantes do uso do solo, na Bacia Hidrográfica do Rio Taquaral, São Mateus do Sul-PR. **Rev. Ra'ega**, Curitiba, p. 290-310, 2012.

MACÊDO, I. L. **Estudo de modelos em ambiente de geoprocessamento para a previsão de erosão e assoreamento de reservatórios: o caso da Bacia do Rio Indaiá – UHE Três Marias, MG**. 2009. 312f. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

MACÊDO, M. N. C. *et al.* Precipitação pluviométrica e vazão da bacia hidrográfica do Riozinho do Rôla, Amazônia Ocidental. **Rev. Ambiente e Água**, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 206-221, 2013.

MALDONADO L. H.; WENDLAND, E. C.; PORTO, R. M. Avaliação de métodos de baixo custo para medição de vazão em córregos. **Rev. Ambiente e Água**, Taubaté, v. 10, n. 2, abr./jun. 2015.

MANSOR, M. T. C. **Potencial de poluição de águas superficiais por fontes não pontuais de fósforo na bacia hidrográfica do Ribeirão do Pinhal, Limeira-SP.** 2005. 171f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

MARANHO, L. A. *et al.* Avaliação da qualidade da água do Ribeirão Samambaia (São Pedro, São Paulo, Brasil) através de parâmetros físicos e químicos, índice de estado trófico e teste de toxicidade com *Daphnia magna*. **Rev. Eng. Sanit. Ambient.**, v. 22, n. 1, p. 195-201, jan./fev. 2017.

MARINHO, C. C.; FONSECA, A. L. S.; ESTEVES, F. A. Impactos antrópicos nas lagoas costeiras do norte do estado do Rio de Janeiro: uma revisão sobre a eutrofização artificial e gases de efeito estufa. **Rev. Brasileira de Pós- Graduação**, Brasília, v. 13, n. 32, p. 703-728, set./dez. 2016.

MELLO C. R.; SILVA A. M. **Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas.** Lavras: Editora UFLA, 2013. 455 p.

MELO, M. S. *et al.* Neotectônica da área do alto rio Pardo (SP e MG). **Revista do Instituto Geológico**, v. 14, n. 2, p. 27-38, jul./dez. 1993.

MENDONÇA, F. D. A.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. Dinâmica atmosférica e tipos climáticos predominantes da bacia do rio Tibagi. In: MEDRI, M. E.; BIANCHINI, E.; SHIBATA, O. A.; PIMENTA, J. A. (Ed.). **A bacia do rio Tibagi**. Londrina: Medri, 2002. p. 63-66.

MOLISANI, M. M; ESTEVES, F. A; DRUDE, L. Emissões naturais e antrópicas de nitrogênio, fósforo e metais para a bacia do rio Macaé (Macaé, RJ, Brasil) sob influência das atividades de exploração de petróleo e gás na bacia de campos. **Quím. Nova**, v. 36, n. 1, p.27-33, 2013.

MORAES, F. T. **Zoneamento geoambiental do planalto de Poços de Caldas, MG/SP a partir de análise fisiográfica e pedoestratigráfica.** 2007. 173f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2007.

MORAES, F. T.; JIMÉNEZ-RUEDA, J. R. Fisiografia da região do planalto de Poços de Caldas, MG/SP. **Rev. Brasileira de Geociências**, v. 38, p. 196-208, 2008.

MOREIRA, A. A. M. **A influência da circulação de macro escala sobre o clima de Belo Horizonte: estudo sobre as possíveis influências do fenômeno El Niño sobre o clima local.** 1999. 186f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1999.

MOREIRA, W. H. *et al.* Influência da altura de pastejo de azevém e aveia, em atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico, após sete anos sob integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 4, p. 1315-1326, 2014.

OLIVEIRA, G. G. *et al.* Indicadores de qualidade física para Argissolos sob pastagens nas regiões leste e sul de Minas Gerais. **Rev. Ciencia Agrária**, v. 58, n. 4, p. 388-395, out./dez. 2015.

OLIVEIRA, J. G. R. *et al.* Erosão no plantio direto: perda de solo, água e nutrientes. **Bol. Geogr.**, Maringá, v. 30, n. 3, p. 91-98, 2012.

O'NEILL, R.V. *et al.* Monitoring environmental quality at the landscape scale. **BioScience**, v. 47, p. 513-519, 1997.

PÁDUA, V. L.; FERREIRA, A. C. S. Qualidade da água para consumo humano. In: HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. cap. 4, p. 153-221.

PARRON, L. M.; MUNIZ, D. H. F.; PEREIRA, C. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. [S. l.]: Embrapa Florestas, 2011. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/43042/1/Doc219.pdf>. Acesso em: 31 jan. 2019.

PINHEIRO, A.; TEIXEIRA, L. P.; KAUFMANN, V. Capacidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola. **Rev. Ambiente e Água**, v. 4, p.188-199, 2009.

PINTO, M. C. F. **Manual medição in loco**. 2007. Disponível em: [http://www.cprm.gov.br/pgagem/manual\\_medicoes\\_T\\_%20pH\\_OD.pdf](http://www.cprm.gov.br/pgagem/manual_medicoes_T_%20pH_OD.pdf). Acesso em: 21 jan. 2019.

PISSARA, T. C. T.; POLITANO, W.; FERRAUDO, A. S. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do córrego Rico, Jaboticabal (SP). **Rev. Bras. Ciências do Solo**, Viçosa, n. 28, p. 297-305, 2004.

PISSARRA, T. C. T. **Avaliação quantitativa das características geomorfológicas de microbacias hidrográficas 1º ordem de magnitude em quatro posições do sistema natural de drenagem**. 1998. 124f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1998.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de Bacias Hidrográficas. **Rev. Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008.

POTE, D. H. *et al.* Relationship between phosphorus levels in three ultisols and phosphorus concentrations in runoff. **Journal of Environmental Quality**, Madison, Wis., n. 28, p. 170-175, 1999.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CALDAS. **Pontos turísticos**. Caldas, 2020. Disponível em: <https://caldas.mg.gov.br/caldas-entre-montanhas-um-coracao-mineiro/>. Acesso em: 20 abr. 2020.

PRESS, F. *et al.* **Para entender a terra**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 656 p.

PRUSKI, F. F.; BRANDÃO, V. S.; SILVA, D. D. **Escoamento superficial**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2004. 87 p.

QUEIROZ, M. M. F. *et al.* Influência do uso do solo na qualidade da água de uma microbacia hidrográfica rural. **Revista Verde**, Mossoró, v. 5, n. 4, p. 200-210, out./dez. 2010.

RABELO, M. C.; DANNA, L. Avaliação da qualidade da água: parâmetros químicos e físicos da sub-bacia do rio Tamanduteí e da micro-bacia hidrográfica Parque do Pedroso. **ABAS**, São Paulo, 2014.

RADAMBRASIL. Secretaria Geral. Ministério de Minas e Energia. **Folhas SF 23/24, Rio de Janeiro/Vitória, geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra.** Levantamento de Recursos Naturais. v. 32. Rio de Janeiro: Projeto RADAMBRASIL, 1983. 780 p.

RALISCH, R.; TAVARES FILHO, J. Compactação: uma preocupação pertinente. **A Granja**, Porto Alegre, v. 646, p.55-57, 2002.

REBOITA, M. S. *et al.* Aspectos climáticos do estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, 2015.

REBOITA, M. S. *et al.* Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010.

RIBEIRO, F. L.; CAMPOS, S. Vulnerabilidade à erosão do solo da região do Alto Rio Pardo, Pardinho, SP. **Rev. Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 6, Campina Grande, p. 628-636, nov./dez. 2007.

RIVERS, M. R. *et al.* Estimating future scenarios for farm-watershed nutrient fluxes using dynamic simulation modeling. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 36, p. 420-423, 2011.

ROSA, L. H.; BELING, F. A. **Software WinTSR – Controle de sedimentos em rios.** Centro de Tecnologia. Departamento de Hidráulica e Saneamento – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2002.

SÁ JÚNIOR, A. **Aplicação da Classificação de Köppen para o Zoneamento Climático do Estado de Minas Gerais.** 2009. 101f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

SAMPAIO, C. F. **Avaliação ambiental do rio Pardo, Brasil: ênfase para Áreas de Preservação Permanente, ecossistemas aquáticos superficiais e condições físico-químicas da água.** 2012. 101f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa Enfermagem em Saúde Pública, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2012.

SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Rev. Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 2, p. 115–123, 2010.

SARDINHA, D. S. *et al.* Geoquímica fluvial e balanço de denudação em Tinguaiços de Poços de Caldas, Minas Gerais. **Geol. USP, Sér. cient.**, São Paulo, v. 18, n. 1, p. 259-272, fev./mar. 2018.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. **Geological Society of America Bulletin**, n. 67, p. 597-646, 1956.



SETZER, J. A natureza e as possibilidades do solo no vale do rio Pardo entre os municípios de Caconde, SP, e Poços de Caldas, MG. **Rev. Brasileira de Geografia**, n. 3, p. 3-37, 1956.

SHARPLEY, A. N. *et al.* The Sorption of Soluble Phosphorus by Soil Material during Transport in Runoff from Cropped and Grassed Watersheds. **Journal of Environmental Quality**, Madison, Wis., v. 10, n. 2, p. 211-215, 1981.

SHARPLEY, A. N. *et al.* The transport of bioavailable phosphorus in agricultural runoff. **Journal of Environmental Quality**, Madison, Wis., v. 21, n. 1, p. 30-35, 1992.

SHARPLEY, A. N. Soil phosphorus dynamics: agronomic and environmental impacts. **Ecological Engineering**, v. 5, n. 2-3, p. 261-279, 1995.

SILVA, D. G.; MELO, R. F. T. A influência da densidade de drenagem na interpretação da evolução geomorfológica do complexo de Tanques do município de Brejo da Madre de Deus – Pernambuco, nordeste do Brasil. **Revista de Geografia**, Recife, v. 26, n. 3, jun./ago. 2009.

SILVA, R. L.; DE MARIA, I. C. Erosão em sistema plantio direto: Influência do comprimento de rampa e da direção de semeadura. **Rev. Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.6, p. 554-561, 2011.

SILVA, S. A. **Avaliação do assoreamento do Lago Bonsucesso, Jataí-GO**. 2007. 96f. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

SILVEIRA, A. I. L. Ciclo hidrológico e Bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 2001. cap. 2, p. 35-51.

SISTEMA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS (SISEMA). **Infraestrutura de dados espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos**. Belo Horizonte, 2019. Disponível em: [idesisema.meioambiente.mg.gov.br](http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br). Acesso em: 14 jan. 2019.

SOARES, G.; SCHRÖDER, N. T. Análise do estado trófico de uma bacia de acumulação em um complexo industrial. **Rev. de Iniciação Científica da Ulbra**, Canoas, n. 13, p. 218-231, 2015.

SOUZA, A. D. G.; SOUZA, A. H. A influência da área urbana sobre a qualidade da água na bacia hidrográfica do Ribeirão dos Poços (Poços de Caldas, MG). **Holos Environment**, v. 15, n. 2, p. 139-151, 2015.

SOUZA, M. M.; GASTALDINI, M. C. C. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. **Rev. Eng Sanit Ambient**, v. 19, n. 3, p. 263-274, jul./set. 2014.

SOUZA, W. L. S. **Produção de sedimentos da bacia hidrográfica do rio Capibaribe para zona costeira da região metropolitana do Recife**. 2011. 136f. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo) – Departamento de Agronomia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Rev. Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 207-212, 2002.

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE REGULARIZAÇÃO AMBIENTAL (SUPRAM) - Sul de Minas Gerais. **Parecer Único - SUPRAM SM Protocolo N° 0895401/2012**. Varginha, 2012.

TAVARES, A. R. **Monitoramento da qualidade das águas do rio Paraíba do Sul e diagnóstico de conservação**. 2006. 201f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós Graduação em Infraestrutura Aeronáutica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2006.

THIESSEN, A. H. Precipitation averages for large areas. **Monthly Weather Review**, v. 39, n.7, p. 1082-1089, 1911.

TONELLO, K. C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhães, MG**. 2005. 69f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

TONELLO, K. C. *et al.* Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães-MG. **Revista Árvore**, v. 30, n. 5, p. 849-857, 2006.

TORRES, L. C.; BARROS, K. R. M.; LIMA, H. V. Alterações na qualidade física de um Latossolo Amarelo sob pastagem. **Acta Amazônica**, v. 44, n. 4, p. 419-426, 2014.

TRAJANO, S. R. R. S. *et al.* **Análise morfométrica de bacia hidrográfica: subsídio à Gestão Territorial. Estudo de caso no Alto e Médio Mamanguape**. Campinas: Embrapa Gestão Territorial-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 2012. 33 p.

TUCCI, C. E. M. Avaliação Ambiental Integrada. In: TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. **Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 2001. 943 p.

TUCCI, C. E. M. **Impactos da variabilidade climática e uso do solo sobre os recursos hídricos**. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2002.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. **Rev. Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 2, n. 1, p. 135-152, jan./jun. 1997.

TUNDISI, J. G. *et al.* (Ed.). **Eutrofização na América do Sul: causas, tecnologias de gerenciamento e controle**. [S. l.]: IIE, Iiega, IAP, Ianas, ABC, 2006. 531p.

TUNDISI, J. G. *et al.* Limnologia de águas interiores: conservação e recuperação de ecossistemas aquáticos. In: Rebouças, A. C.; Braga, J. B.; Tundisi, J. G. (Org.). **Águas doces**

**no Brasil: capital ecológico uso e conservação.** 3. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2006. p. 203-240.

TUNDISI, J. G. *et al.* The response of Carlos Botelho (Lobo, Broa) reservoir to the passage of cold fronts as reflected by physical, chemical, and biological variables. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 64, n.1, 2004.

TUNDISI, J. G. Governança da água. **Rev. UFMG**, Belo Horizonte, v. 20, n. 2, p. 222-235, jul./dez. 2013.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de textos, 2008. 632 p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **National Strategy for the Development of Regional Nutrient Criteria Factsheet**. 2016. Disponível em: <https://www.epa.gov/nutrient-policy-data/national-strategy-development-regional-nutrient-criteria-factsheet>. Acesso em: 30 nov. 2016.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **EarthExplorer**. 2019. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em 14 jan. 2019.

VERMA, K. C. **Oxidation Reduction Potential (ORP) based wastewater treatment process**. U.S. Patent No. 7,141,175 B2. Unidade States, 28 nov. 2006.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: Editora UFV, 2000. 448 p.

VICTAL, F. A. C. A. **Avaliação do transporte de sedimentos em uma sub-bacia hidrográfica no planalto de Poços de Caldas – MG**. 2018. 52f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, 2018.

VIEIRA, M. R. **Os principais parâmetros monitorados pelas sondas multiparâmetros são: pH, condutividade, temperatura, turbidez, clorofila ou cianobactérias e oxigênio dissolvido**. 2019. Disponível em: [https://www.agsolve.com.br/news\\_upload/file/Parametros%20da%20Qualidade%20da%20Agua.pdf](https://www.agsolve.com.br/news_upload/file/Parametros%20da%20Qualidade%20da%20Agua.pdf). Acesso em: 21 jan. 2019.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.

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

WIENS, J. A. Riverine landscapes: taking landscape ecology into the water. **Freshwater Biology**, v. 47, p. 501-515, 2002.

YASSUDA, E. R. Gestão de recursos hídricos: fundamentos e aspectos institucionais. **Rev. Adm. Pública**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 2, p. 5-18, abr./jun.1993.