



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

IZABELA APARECIDA DA SILVA MENDES

**POTENCIAIS DO MEIO FÍSICO NO ALTO CURSO DA BACIA DO RIO DAS
VELHAS: perspectivas das transições para diferentes usos**

BELO HORIZONTE
2022

IZABELA APARECIDA DA SILVA MENDES

**POTENCIAIS DO MEIO FÍSICO NO ALTO CURSO DA BACIA DO RIO DAS
VELHAS: perspectivas das transições para diferentes usos**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Geografia.

Área de concentração: Análise Ambiental

Orientadora: Prof. Dra. Adriana Monteiro da Costa

BELO HORIZONTE
2022

M538p 2022 Mendes, Izabela Aparecida da Silva.
Potenciais do meio físico no alto curso da bacia do Rio das Velhas [manuscrito]: perspectivas das transições para diferentes usos / Izabela Aparecida da Silva Mendes. – 2022.
113 f., enc.: il. (principalmente color.)

Orientadora: Adriana Monteiro da Costa.
Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2022.
Área de concentração: Análise Ambiental.
Inclui bibliografias.

1. Ciência do solo – Teses. 2. Solo – Uso – Velhas, Rio das (MG) – Teses. 3. Bacias hidrográficas – Administração – Teses. 4. Impacto ambiental – Teses. I. Costa, Adriana Monteiro da. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. III. Título.

CDU: 631.4(815.1)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
COLEGIADO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

FOLHA DE APROVAÇÃO

**POTENCIAIS DO MEIO FÍSICO NO ALTO CURSO DA BACIA DO RIO DAS VELHAS: PERSPECTIVAS DAS
TRANSIÇÕES PARA DIFERENTES USOS**

IZABELA APARECIDA DA SILVA MENDES

Tese de Doutorado defendida e aprovada, no dia **19 de agosto de 2022**, pela Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais constituída pelos seguintes professores:

João Herbert Moreira Viana

EMBRAPA

Teresa Cristina Tarlé Pissarra

UNESP

Fábio Soares de Oliveira

IGC/UFMG

Cristiane Valéria de Oliveira

IGC/UFMG

Adriana Monteiro da Costa - Orientadora

IGC/UFMG

Belo Horizonte, 19 de agosto de 2022.



Documento assinado eletronicamente por **Adriana Monteiro da Costa, Professora do Magistério Superior**, em 19/08/2022, às 14:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fabio Soares de Oliveira, Professor do Magistério Superior**, em 19/08/2022, às 14:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Cristiane Valeria de Oliveira, Professora do Magistério Superior**, em 19/08/2022, às 14:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **João Herbert Moreira Viana, Usuário Externo**, em 25/08/2022, às 18:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Teresa Cristina Tarlé Pissarra, Usuário Externo**, em 31/08/2022, às 11:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1670302** e o código CRC **5EE7CA5D**.

Aos amores da minha vida...
Paula minha estrela guia.
Gael, meu filho, que vem compreendendo desde a
barriga as ausências da mamãe.

AGRADECIMENTOS

À Prof. Dra. Adriana Monteiro, primeiramente pela confiança em mim depositada, por ter acreditado em mim e no meu trabalho, segundo pela orientação, colaboração e paciência, especialmente em tempos difíceis de pandemia e isolamento social, tudo isso foi fundamental para a realização deste trabalho.

À minha mãe, Solange, que sempre mostrou para seus filhos que os problemas precisam ser enfrentados de cabeça erguida e que se estivermos com medo é para ir com medo mesmo. Obrigada por sempre me guiar, rezar e se fazer presente em todos os momentos, mesmo que a presença tenha sido à distância. Ao meu pai, Paulo, por ser calmo e dizer que tudo sempre dá certo. Vocês dois sempre apoiaram meus sonhos, mesmo quando tudo parecia ser incerto.

À minha irmã, Paula, minha estrelinha. Sei que está orgulhosa por mais esta etapa na minha vida.

Ao meu irmão, Guilherme, por toda força e por sempre cuidar dos meus equipamentos eletrônicos e ter cuidado em organizar e salvar todos os meus arquivos.

Ao Júnior, companheiro e marido, que segurou minha mão nesta caminhada e se mostrou presente, principalmente na cobrança de escrita deste trabalho. Obrigada pelo carinho nestes anos, pelo ombro para chorar e por sempre me incentivar.

Ao meu filho Gael, que mesmo ainda na barriga compreendeu minha ausência. A mamãe ainda vai te explicar que o doutorado sempre foi um sonho tão grande quanto à sua chegada.

À Elizêne, por toda amizade, por se preocupar comigo como uma segunda mãe, pelos conselhos, puxões de orelha e por sempre incentivar meu desenvolvimento no meio acadêmico.

Aos amigos que cultivei no IGC e estiveram ao meu lado ao longo desta caminhada, Débora, Max, Maíse, Paula, Bárbara, Victor, Amanda, Isadora. Obrigada pelas conversas, momentos de descontração e ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

A todos que por um descuido eu não mencionei o nome, mas que de alguma forma contribuíram para que eu alcançasse este objetivo.

A Deus por me permitir viver mais uma etapa da minha vida acadêmica.

Muito Obrigada!

“Quase tudo que acontece, acontece em algum lugar. Portanto, saber onde as coisas acontecem é de fundamental importância”.
(LONGLY, 2001).

RESUMO

A bacia hidrográfica do Alto Rio das Velhas é um dos mais importantes afluentes da margem direita, tanto em volume de água quanto em impactos relacionados à poluição, pertencente à Bacia do Rio São Francisco. Isso torna a região palco de estudo e pesquisas, visto que a área é uma das mais críticas no estado de Minas Gerais em relação às pressões de uso e exploração sobre seus recursos. Do ponto de vista da gestão, do uso da terra e das políticas públicas, a compreensão de todo este panorama pode contribuir para melhor gestão do meio ambiente, considerando o uso atual e a conservação ambiental. Para o monitoramento, gerenciamento e conservação de diferentes atividades e recursos, o uso de geotecnologias vem se tornando uma alternativa viável para melhor compreensão e gestão do espaço favorecendo a elaboração de planejamentos. A pesquisa, então, se justifica pelo cenário de conflitos de uso cobertura da terra na Região do Alto Velhas e, também, pela importância da análise integrada da paisagem, considerando a discussão de temas como uso e cobertura da terra, potencial físico, preservação e impacto ambiental. Assim, este trabalho teve como objetivos identificar a relação/interação entre o Potencial de Uso Conservacionista (PUC) e a dinâmica de uso e cobertura da terra e, identificar e analisar os conflitos de uso provindos dessa relação/interação na região da bacia. O método PUC concilia a interpretação do meio físico com propósitos cartográficos contemplando neste trabalho à análise espacial da bacia hidrográfica do Alto Rio das Velhas, considerando os potenciais de uso agropecuário, recarga hídrica e resistência aos processos erosivos. O PUC se expressa através da álgebra de mapas e avaliações zonais a partir da ponderação de valores dados às classes de declividade, solos e litologia. Os resultados mostram um panorama das principais mudanças temporais no uso e cobertura da terra na Bacia do Alto Rio das Velhas para os anos de 1985, 2000, 2010 e 2019 e os principais problemas e consequências para a qualidade ambiental da bacia levando em consideração os usos e cobertura da terra. Dentre os usos antrópicos, os que mais se expandiram foram infraestrutura urbana (aumento de 46,57%), mineração (aumento de 36,62%) e floresta plantada (aumento de 299,30%). Destaca-se que em virtude do intenso processo de urbanização e dos tipos de uso e cobertura na bacia, a mesma apresenta pressões ambientais nas áreas de preservação e nos mananciais que impactam tanto os solos quanto a sua disponibilidade hídrica. A partir da análise integrada entre o PUC e uso e cobertura da terra foi possível apontar áreas de fragilidade ambiental, além de discutir o método como ferramenta de gestão territorial e seu potencial para orientar políticas públicas. Dentre os resultados observados, pode-se destacar que as áreas de PUC Muito Baixo e Baixo ocupam juntas 63,65% da área total da bacia. As feições de relevo variam de forte ondulado a montanhoso/escarpado com declividade acentuada. Os solos predominantes, Cambissolos e Neossolos, sofrem influência do material de origem. Estão concentradas nessas áreas, exploração mineral, infraestrutura urbana e a presença de matas de galeria nas cabeceiras de drenagem, onde se observa fragilidade para atividades agropecuárias. As regiões que apresentam PUC Médio, Alto e Muito Alto ocupam juntas 36,35% da área total de estudo. A declividade não ultrapassa 20%, as feições do relevo variam de plano a moderadamente ondulado. Os solos predominantes são os Cambissolos e Latossolos, mas também são encontradas pequenas manchas de Argissolos. As características de relevo, litologia e dos solos conferem uma maior estabilidade e, portanto, PUC mais alto, conferindo maior resistência contra os processos erosivos. Essas são áreas com maior propensão para uso agrícola, além da viabilidade para destinação à preservação de recursos naturais. A bacia em questão apresenta baixo potencial de uso nas regiões do alto curso, além das pressões ambientais e de exploração na área, levando em consideração a exploração mineral e os mananciais de captação de água e áreas de recarga. Sendo assim, essas áreas merecem atenção e são um desafio na gestão do território.

Palavras-Chave: Potencial de Uso Conservacionista. Uso e ocupação da terra. Impactos ambientais. Gestão de bacia hidrográfica.

ABSTRACT

The Alto Rio das Velhas watershed is one of the most important right bank tributaries belonging to the São Francisco River Basin, both in terms of water volume and pollution-related impacts. This makes the region a stage for study and research, since the area is one of the most critical in the state of Minas Gerais in relation to the pressures of use and exploitation of its resources. From the point of view of management, land use and public policies, the understanding of this whole scenario can favor better management of the environment, considering current use and environmental conservation. For the monitoring, management and conservation of different activities and resources, the use of geotechnologies has become a viable alternative for a better understanding and management of space and favoring the elaboration of plans. The research is then justified by the scenario of land use and occupation conflicts in the Alto Velhas Region and also by the importance of an integrated analysis of the landscape considering the discussion of topics such as land use and occupation, physical potential, preservation and environmental impact. Thus, this study aimed to identify the relationship/interaction between the Conservative Use Potential (PUC) and the dynamics of land use and land cover and to identify and analyze the conflicts of use arising from this relationship/interaction in the basin region. The PUC method reconciles the interpretation of the physical environment with cartographic purposes, contemplating in this work the spatial analysis of the Alto Rio das Velhas watershed, considering the potential for agricultural use, water recharge and resistance to erosive processes. The PUC is expressed through the algebra of maps and zonal assessments from the weighting of values given to slope classes, soils and lithology. The results show an overview of the main temporal changes in land use and land cover in the Alto Rio das Velhas Basin for the years 1985, 2000, 2010 and 2019 and the main problems and consequences for the environmental quality of the basin taking into account the land use and land cover. Among the anthropic uses, the ones that expanded most were urban infrastructure (increase of 46.57%), mining (increase of 36.62%) and planted forest (increase of 299.30%). It is noteworthy that due to the intense urbanization process and the types of use and occupation in the basin, it presents environmental pressures in the preservation areas and in the springs that impact both the soil and its water availability. Based on the integrated analysis between the PUC and land use and cover, it was possible to point out areas of environmental fragility, in addition to discussing the method as a territorial management tool and its potential to guide public policies. Among the results observed, it can be highlighted that the PUC Very Low and Low areas together occupy 63.65% of the total area of the basin. Relief features vary from strongly undulating to mountainous/craggy with steep slopes. The predominant soils, "Cambissolos" and "Neossolos" (Brazilian soil classification system's class), are influenced by the source material. Mineral exploration, urban infrastructure and the presence of gallery forests in the drainage headwaters are concentrated in these areas, where fragility for agricultural activities is observed. The regions with Medium, High and Very High PUC together occupy 36.35% of the total study area. The declivity does not exceed 20%, the relief features vary from flat to moderately undulating. The predominant soils are "Cambissolos" and "Latosolos", but small patches of "Argissolos" (Brazilian soil classification system's class) are also found. The relief, lithology and soil characteristics provide greater stability and, therefore, a higher PUC favors greater resistance to erosive processes. These are areas with greater propensity for agricultural use, in addition to the feasibility of destination for the preservation of natural resources. The basin in question has low potential for use in the upper reaches, in addition to environmental and exploration pressures in the area, taking into account mineral exploration and sources of water capitation and recharge areas. Therefore, these areas deserve attention and are a challenge in the management of the territory.

Keywords: Conservative Use Potential. Land use and occupation. Environmental impacts. Watershed management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma de atividades.	19
Figura 2 – Mapa do contexto Regional da área de estudo.....	21
Figura 3 – Mapa do contexto hidrográfico na área de estudo em Minas Gerais.	23
Figura 4 - Unidades Climáticas locais na área de estudo.	24
Figura 5 – Mapa da litologia e solo na área de estudo.....	26
Figura 6 - Mapa da altitude, declividade e unidades geomorfológicas na área de estudo.	27
Figura 7 - Mapa de Uso da Terra, no ano de 2019, na área de estudo.....	28
Figura 8 – Mapa das fases dos processos minerários na área de estudo	31
Figura 9 – Barragens de mineração na PNSB na Bacia do Alto Rio das Velhas	32
Figura 10 - Contexto Hidrográfico da Bacia do Alto Velhas	44
Figura 11 - Fluxograma das etapas da metodologia de aquisição e processamento das informações.....	47
Figura 12 - Mudança temporal da cobertura e uso da terra da Bacia do Alto Rio das Velhas	50
Figura 13 – Mapa do Contexto hidrográfico da bacia do Alto Rio das Velhas em relação ao estado de Minas Gerais.....	70
Figura 14 – Fluxograma das etapas da metodologia de aquisição e processamento das informações.....	71
Figura 15 – Organograma das variáveis do PUC.....	75
Figura 16 - Mapa do Potencial de Uso Conservacionista da Bacia do Alto Rio das Velhas.	80
Figura 17 - Mudança temporal da cobertura e uso da terra nos anos de 1985 e 2019 na Bacia do Alto Rio das Velhas	82
Figura 18 - Paisagem de ocorrência de Neossolos Litólicos e Cambissolo Háplicos nas áreas de PUC muito baixo e baixo.	84
Figura 19 - Vista geral do relevo no P7.....	85
Figura 20 - Processos erosivos iniciados em áreas de PUC muito baixo.	86
Figura 21 - Vista dos pontos P8, P9 e P10.	87
Figura 22 - Recorte temporal da expansão de uma mineradora entre os anos de 1985 a 2021.	90
Figura 23 - Proximidade do manancial de Bela Fama de mineradoras.....	91

Figura 24 - Vista geral dos pontos de amostragem P1 e P2.	92
Figura 25 - Vista geral do Ponto P3.	93
Figura 26 - Vista dos pontos P4 e P5.	94
Figura 27 - Processos erosivos em área de PUC médio.	95
Figura 28 - Vista do Ponto P6.	95
Figura 29 - Área que caracteriza PUC alto.	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – População residente estimada na bacia do Rio das Velhas por região (2010).....	22
Tabela 2 - Uso e Cobertura da Terra na Bacia do Alto Velhas em 2019.....	29
Tabela 3 - População residente nos municípios que interceptam a bacia do Alto Rio das Velhas.....	45
Tabela 4 - Informações socioeconômicas dos municípios inseridos na bacia do Alto Velhas.	46
Tabela 5 – Bases de dados espaciais utilizadas.....	48
Tabela 6 - Evolução do uso da terra na Bacia do Alto Velhas.....	49
Tabela 7 – Bases de dados espaciais.....	71
Tabela 8 – Pesos atribuídos às classes de declividade para área de estudo	73
Tabela 9 – Pesos atribuídos às classes de solos para a área de estudo.....	73
Tabela 10 – Pesos atribuídos às litologias para a área de estudo	74
Tabela 11 – Intervalos de abrangência e cores das classes para representação do PUC.....	75
Tabela 12 - Descrição dos pontos de amostragem.....	77
Tabela 13 - Variáveis ambientais para a bacia do Alto Rio das Velhas, MG.....	79
Tabela 14 - Classes do PUC e suas respectivas porcentagens de áreas para a bacia do Alto Rio das Velhas - MG.	81
Tabela 15 - Evolução do uso da terra nos anos de 1985 e 2019 na Bacia do Alto Velhas.	82
Tabela 16 - Matriz PUC.....	83

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

AIA	Análise de Impacto Ambiental
APA-SUL	Área de Proteção Ambiental Sul
CBH-VELHAS	Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas
CFEM	Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais
GPS	Global Positioning System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MDE	Modelo Digital de Elevação
ODM	Objetivos de Desenvolvimento do Milênio
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PDRH	Plano Diretor de Recursos Hídricos
PIB	Produto Interno Bruto
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PNSB	Política Nacional de Segurança de Barragens
PSA	Pagamento por Serviços Ambientais
PUC	Potencial de Uso Conservacionista
QF	Quadrilátero Ferrífero
RMBH	Região Metropolitana de Belo Horizonte
SCBH	Subcomitê de Bacia Hidrográfica
SIGs	Sistemas de Informações Geográficas
SNGRH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SNISB	Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens
UC	Unidade de Conservação
UTE	Unidade Territorial Estratégica
ZAP	Zoneamento Ambiental Produtivo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	15
2. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO NA REGIÃO .	21
REFERÊNCIAS.....	34
3. CAPÍTULO I: Mudança temporal no uso e cobertura da terra na Bacia do Alto Rio das Velhas.....	40
1. INTRODUÇÃO.....	41
2. MATERIAIS E MÉTODOS	44
2.1 Área de estudo	44
2.2 Coleta e processamento dos dados.....	47
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
REFERÊNCIAS.....	58
4. CAPÍTULO II: Potencial de Uso Conservacionista (PUC) e Uso e Cobertura atual da terra: reflexões e apontamentos de alternativas para recuperação e restauração de áreas prioritárias na região da Bacia Hidrográfica do Alto Rio das Velhas.....	65
1. INTRODUÇÃO.....	67
1.1 Área de Estudo	69
2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	70
2.1 Uso e Cobertura da terra	72
2.2 Potencial de Uso Conservacionista	72
2.3 Trabalho de Campo	76
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	78
3.1 Do Potencial Físico da área ao histórico de uso e cobertura da terra na Bacia do Alto Rio das Velhas – MG.....	78
3.2 Considerações sobre o potencial do PUC em orientar a gestão territorial, desafios e perspectivas.	97

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	102
REFERÊNCIAS.....	104
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	112

1. INTRODUÇÃO GERAL

As relações econômicas, sociais e formas de ocupação da terra são o retrato da maneira como a sociedade ocupa e se desenvolve na superfície terrestre. Dessa forma, as alterações de uso e cobertura da terra são consideradas como as principais fontes de modificações na superfície terrestre e influenciam na degradação da qualidade da água de diferentes formas. Assim, é possível considerar que, de um modo geral, a qualidade da água se relaciona de forma diretamente proporcional ao uso da terra (PACHECO, 2020; FERNANDES et al., 2021).

Reconhecer, dispor e saber empregar as características físicas de uma área é indispensável para a compreensão de impactos de mudança e uso da terra e para o planejamento e gestão adequada do território (VIOLA et al., 2014; OUDIN et al., 2018; MARTINS et al., 2021). A análise física do ambiente deve considerar o equilíbrio ambiental, o bem estar humano e as relações de uso e ocupação do espaço para o estabelecimento dos critérios de uso e ocupação de uma área. Por isso, pode-se considerar que conhecer o território faz parte das necessidades da sociedade.

A utilização inadequada da superfície, sem a adoção de práticas de manejo e conservação da água e solo, pode trazer sérios problemas e gerar desequilíbrios com conseqüente degradação ambiental, provocando assim o desencadeamento e aumento de processos erosivos, impactos na biologia do solo, redução da produtividade agrícola, assoreamento e contaminação dos cursos de água, aumento da turbidez, comprometimento da fauna e biodiversidade local e, conseqüentemente, redução da quantidade e qualidade de água disponível à população (ANDRADE; FREITAS; LANDERS, 2010; MENDES, 2012; COSTA et al., 2019a). Esses impactos, associados à demanda por terras, alteram o ciclo hidrológico, as propriedades do solo e propiciam a degradação ambiental (NUGROHO et al. 2013; MARTINS et al., 2021).

As preocupações ambientais e a conservação da biodiversidade estão sempre atreladas às formas de uso e ocupação da terra. Do ponto de vista da gestão, do uso da terra e das políticas públicas, a compreensão de todo esse panorama pode melhorar a gestão do meio ambiente, considerando o uso atual e a conservação ambiental. Para tanto, é preciso refletir sobre a gestão, os usos, as

potencialidades e as fragilidades das áreas, como as bacias hidrográficas, frente às alterações humanas na superfície.

A bacia hidrográfica é definida pela Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) (Lei nº 9.433/97) como unidade territorial de planejamento (BRASIL, 1997) sendo que, para desempenhar esse papel, é imprescindível que ela possua um modelo de gestão e governança hídrica que considere as particularidades socioambientais que se expressam em seu interior (COSTA et al., 2017a).

Na gestão das bacias hidrográficas, as particularidades ambientais e sociopolíticas são um grande desafio, uma vez que a sua delimitação natural e seu interior apresentam múltiplos atores que, mesmo inseridos em um contexto de uso coletivo da água, possuem interesses específicos (COSTA et al., 2017b). Sendo assim, compreender e conhecer as características de uma bacia hidrográfica deveria ser condição fundamental para uma gestão eficiente.

Para o monitoramento, gerenciamento e conservação de diferentes atividades e recursos, o uso de geotecnologias vem se tornando uma alternativa viável para melhor compreensão e gestão do espaço. Além da redução de tempo e custos, os dados e informações espaciais podem fornecer informações mais precisas e confiáveis, favorecendo na elaboração de planejamentos ambientais e gestão do território.

Considerando que o Estado de Minas Gerais foi um dos precursores no desenvolvimento de análises integradas do espaço e no estabelecimento de uma política estadual de recursos hídricos e, ainda, que as demandas em geotecnologias, especialmente no estado, estão associadas à gestão e organização do espaço, faz-se necessário ressaltar a importância do zoneamento ambiental como um elemento importante na execução de planos de uso e ocupação de terras (LIMA & CESTARO, 2010).

O zoneamento ambiental constitui uma ferramenta de planejamento que expõe o potencial adequado para os usos em uma determinada área. Com o propósito de promover a gestão ambiental, o zoneamento ambiental está incluído nas políticas públicas institucionalizadas no Brasil (BRASIL, 1981). Dessa forma, pode-se considerar que o zoneamento é um avaliador do território com integração de informações ambientais (SILVA & SANTOS, 2004; SANTOS & RANIERI, 2013).

O zoneamento ambiental, portanto, associado às pesquisas de cunho espacial, é de extrema importância para a análise integrada da paisagem para a

Geografia (SANTOS; OLIVEIRA JÚNIOR; BORGES, 2021). Para tanto, metodologias baseadas na análise de multicritérios buscam, através da abordagem integrada da paisagem, a compreensão do ambiente natural e suas dinâmicas, bem como o entendimento dos diferentes contextos que envolvem as atividades antrópicas (ROSS, 1994). A análise de multicritérios tem sido uma eficiente técnica de geoprocessamento para selecionar e integrar as principais variáveis ambientais que representam uma realidade (ROCHA et al., 2018).

Ferramentas como o Potencial de Uso Conservacionista (PUC), que apresentam o método baseado em análise de multicritério, têm grande importância para melhor compreensão e gestão do espaço (COSTA et al., 2017a; COSTA et al., 2019a; COSTA et al., 2019b; AQUINO et al., 2020; TENENWURCEL et al., 2020; FREITAS et al., 2022).

A metodologia PUC, a partir da álgebra de mapas, busca apresentar as potencialidades e limitações do meio físico, considerando como variáveis físicas o solo, litologia e declividade (COSTA et al., 2017b; COSTA et al., 2019a). O PUC ainda permite como interpretação, a análise integrada ao diagnóstico de uso e ocupação da terra, identificando áreas com maior ou menor potencial para recarga hídrica, desenvolvimento de atividades agropecuárias e resistência à erosão. Essa interpretação permite apontar se o uso atual está em conformidade com o potencial de uso da área, a fim de garantir sua maior sustentabilidade (COSTA et al., 2017a; COSTA et al., 2019a; COSTA et al., 2019b).

Diante do exposto, a área de estudo, região da bacia do Alto Velhas, inserida na bacia do São Francisco, apresenta importância fundamental para o abastecimento da cidade de Belo Horizonte e de outros municípios na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH). Ela está localizada na região do Quadrilátero Ferrífero, uma das principais reservas de ouro e ferro do mundo (DORR, 1969), que constitui um dos setores econômicos mais significativos no estado de Minas Gerais.

Além da demanda hídrica, observam-se, na região, focos de poluição hídrica provenientes de esgotos domésticos e industriais não tratados, além da exploração mineral. Isso torna a região palco de estudo e pesquisas, visto que a área é uma das mais críticas no estado de Minas Gerais em relação às pressões de uso e exploração de seus recursos (LOPES; CARVALHO; MAGALÃES JÚNIOR, 2011; CBHVELHAS, 2015; LEMOS, 2018; CALISTO; MORENO; MACEDO, 2019; COTA et

al., 2019; PINTO; CALAZANS; OLIVEIRA, 2019; LEMOS & MAGALHÃES JÚNIOR, 2019; LEMOS et al., 2019).

Esta pesquisa se justifica pelo cenário de conflitos de uso e ocupação da terra na Região do Alto Velhas e, também, pela importância da análise integrada da paisagem considerando a discussão de temas como uso e ocupação da terra, potencial físico, preservação e impacto ambiental. A carência de pesquisas que contribuem para esta análise integrada da paisagem é outro fator importante para o desenvolvimento deste trabalho, visto que esta pesquisa poderá subsidiar projetos e análises, servindo para direcionar esforços para recuperação ou adequação do uso na bacia, orientando o planejamento e gestão da mesma.

Fica, portanto, o questionamento que serviu de fundo para a pesquisa aqui apresentada: diante do cenário atual desse trecho da bacia, como se comportam as mudanças dos usos da terra, frente aos potenciais (no método PUC), enquanto pressões geradas na área?

OBJETIVOS

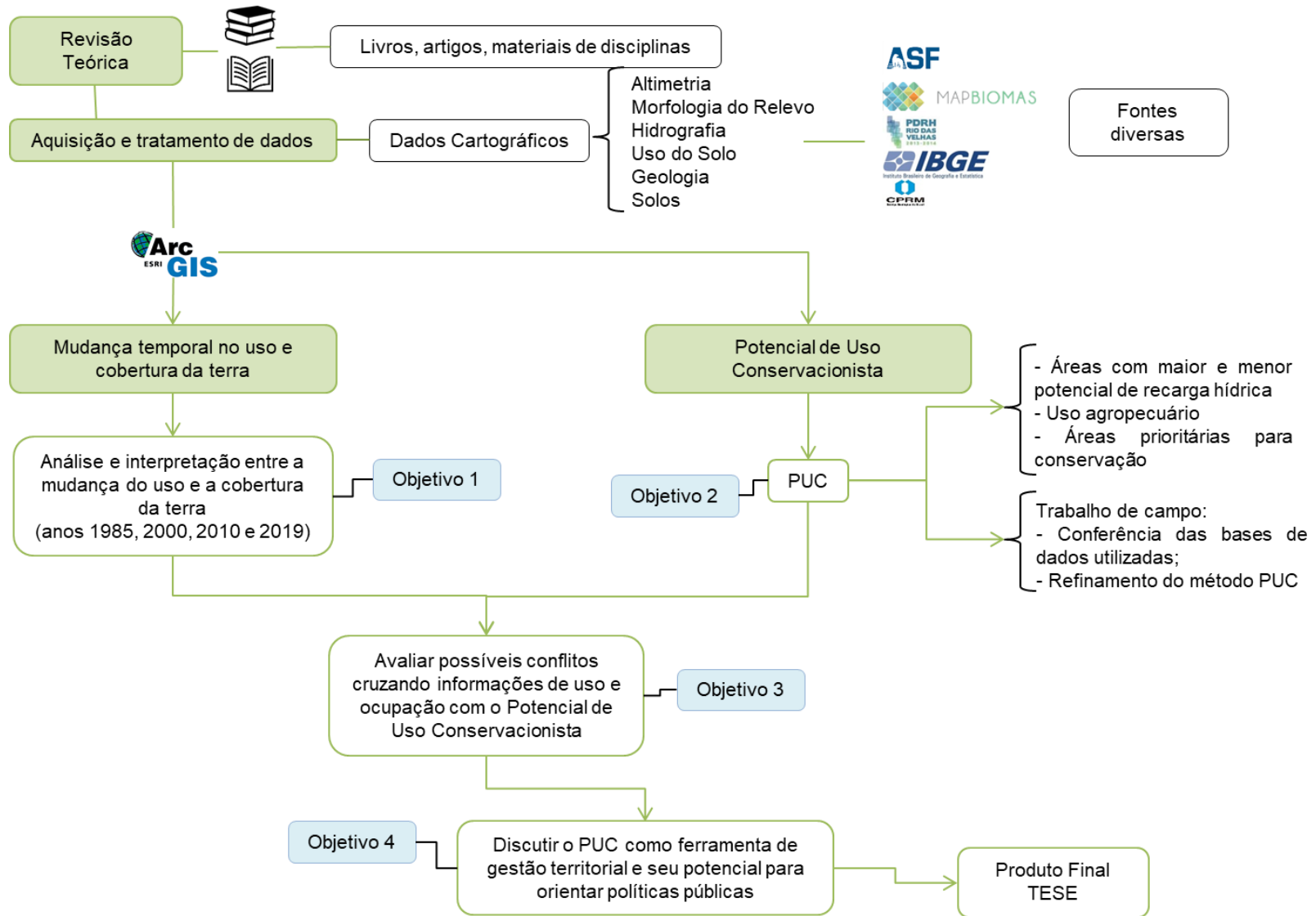
Este trabalho tem como objetivo geral identificar a relação/interação entre a dinâmica de uso e cobertura da terra e o Potencial de Uso Conservacionista (PUC) e identificar e analisar os conflitos de uso provindos dessa relação/interação na região da bacia do Alto Rio das Velhas.

Especificamente, pretende-se:

1. Avaliar as mudanças temporais no uso e na cobertura da terra na região no período de 1985, 2000, 2010 e 2019.
2. Analisar o potencial de uso conservacionista (PUC) da área de estudo, identificando as áreas de maior e menor potencial para recarga hídrica, uso agropecuário e resistência a processos erosivos.
3. Avaliar possíveis conflitos de uso, cruzando-se as informações de uso e ocupação atual com o potencial de uso conservacionista da área.
4. Discutir o PUC como ferramenta de gestão territorial e seu potencial para orientar políticas públicas.

O esboço metodológico para o desenvolvimento deste trabalho pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma de atividades.



Fonte: Elaborado pela autora.

A tese aqui apresentada está estruturada em capítulos. Além desta introdução, este trabalho inclui a apresentação da área de estudo, outros dois capítulos e as considerações finais.

Na primeira parte, é realizada a caracterização da área de estudo, apresentando o contexto regional em que a Bacia está inserida considerando seus aspectos geográficos e históricos.

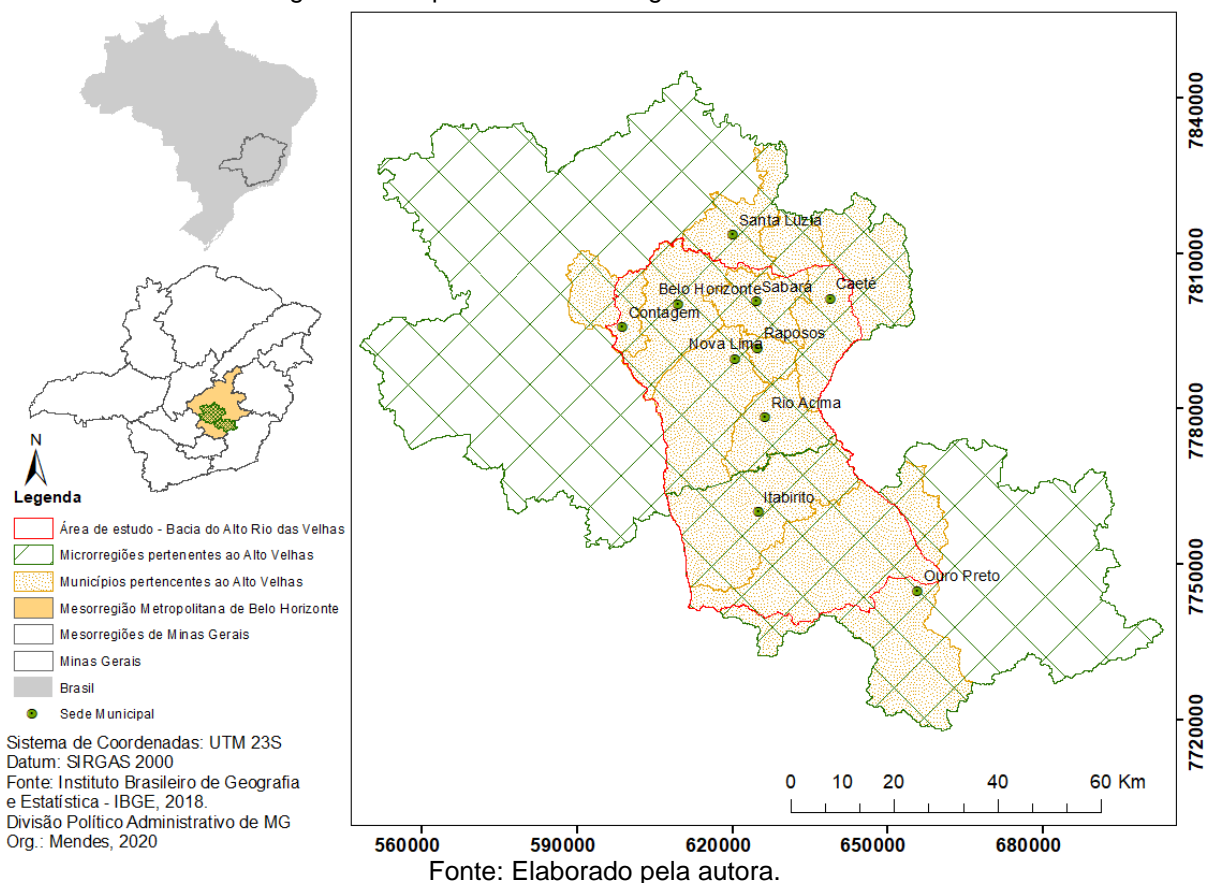
No capítulo I, são apresentadas as mudanças no uso e cobertura do solo na região da bacia do Alto Rio das Velhas a partir da utilização da base de dados do MapBiomas para os anos de 1985, 2000, 2010 e 2019. Assim, foi feito um levantamento histórico do uso da terra na região e uma análise das implicações dos usos inadequados em áreas de preservação, bem como da pressão pela demanda hídrica versus o uso da terra, por meio das mudanças observadas nos anos retratados.

O capítulo II trata da utilização do método Potencial de Uso Conservacionista (PUC) na bacia em estudo, que identifica áreas com maior e menor potencial para recarga hídrica, uso agropecuário, resistência a processos erosivos e áreas prioritárias para conservação. Nele, são avaliados os possíveis conflitos de uso, cruzando-se as informações de uso e ocupação atual com o potencial de uso conservacionista da área. Dessa forma, é possível avaliar as potencialidades e limitações da bacia e verificar se a sua gestão se faz de forma eficiente. Por fim, é realizado um levantamento de como o PUC pode contribuir para direcionar esforços para a recuperação ou adequação do uso da terra na bacia em estudo.

2. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO NA REGIÃO

A área de estudo, bacia do Alto Rio das Velhas, constitui 9,8% do total da bacia do Rio das Velhas, abrangendo uma área de 2.739,74 km². Ela se localiza entre as microrregiões de Ouro Preto e Belo Horizonte. Está inserida na mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte e localizada na região do Quadrilátero Ferrífero. A região é composta por dez municípios. Os municípios completamente inseridos na área são Belo Horizonte, Nova Lima, Itabirito, Raposos, Rio Acima e, em maior ou menor parcela os municípios de Ouro Preto, Caeté, Contagem, Santa Luzia e Sabará (Figura 2).

Figura 2 – Mapa do contexto Regional da área de estudo



O município de Ouro Preto se encontra no limite sul da região, além de abrigar a nascente principal da bacia, no Parque Natural Municipal das Andorinhas. Já no limite norte da região, estão os municípios de Belo Horizonte, Contagem e Sabará. A porção do município de Caeté, pertencente ao Alto Rio das Velhas, tem a

Serra da Piedade como limite leste. Na porção oeste da bacia, encontra-se a Serra da Moeda e os municípios de Itabirito e Nova Lima (CBHVELHAS, 2015).

O Alto Rio das Velhas, especialmente a porção noroeste, apresenta o maior contingente populacional, comparada com toda a bacia do Rio das Velhas (Tabela 1). A região apresenta expressiva atividade econômica, concentrada, principalmente, na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) e, conseqüentemente, melhor infraestrutura decorrente do desenvolvimento econômico, em função das atividades desenvolvidas e concentradas principalmente na RMBH.

Tabela 1 – População residente estimada na bacia do Rio das Velhas por região (2010).

Região	Urbana		Rural		Total	
	Pessoas	%	Pessoas	%	Pessoas	%
Alto Velhas	3.113.707	72,5	12.573	11,2	3.126.289	70,9
Médio Alto Velhas	1.010.257	23,5	51.670	45,9	1.061.910	24,1
Médio Baixo Velhas	123.959	2,9	35.281	31,3	159.249	3,6
Baixo Velhas	49.301	1,1	13.148	11,7	62.448	1,4
Bacia do Rio das Velhas	4.297.224	100,0	112.672	100,00	4.409896	100,0

Fonte: Adaptado de “Plano Diretor de Recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio das Velhas”, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE – Censo Demográfico, 2010. – Estimativa proporcional à área dos setores censitários na bacia, 2015.

Elaborado pela autora.

De acordo com o censo demográfico de 2010, a região do Alto Velhas concentra 70,9% da população estimada da bacia e 72,5% da população urbana estimada da bacia. Os dados mostram que a taxa de urbanização no Alto Velhas é de 99,6%. Um dos grandes problemas enfrentados para a expansão da urbanização no Alto Velhas, em especial envolvendo a RMBH, é a retirada de vegetação para implantação de grandes condomínios, abrangendo, inclusive, áreas de preservação ambiental (CBHVELHAS, 2015).

Atualmente, com o intenso processo de urbanização, a pressão sobre os diferentes usos na bacia é grande. A utilização da água para abastecimento de grande parte da RMBH, por vezes, é comprometida pelos usos constituídos na região, sejam eles advindos da mineração ou de outros usos agrícolas e/ou urbanos (LEMOS et al., 2019).

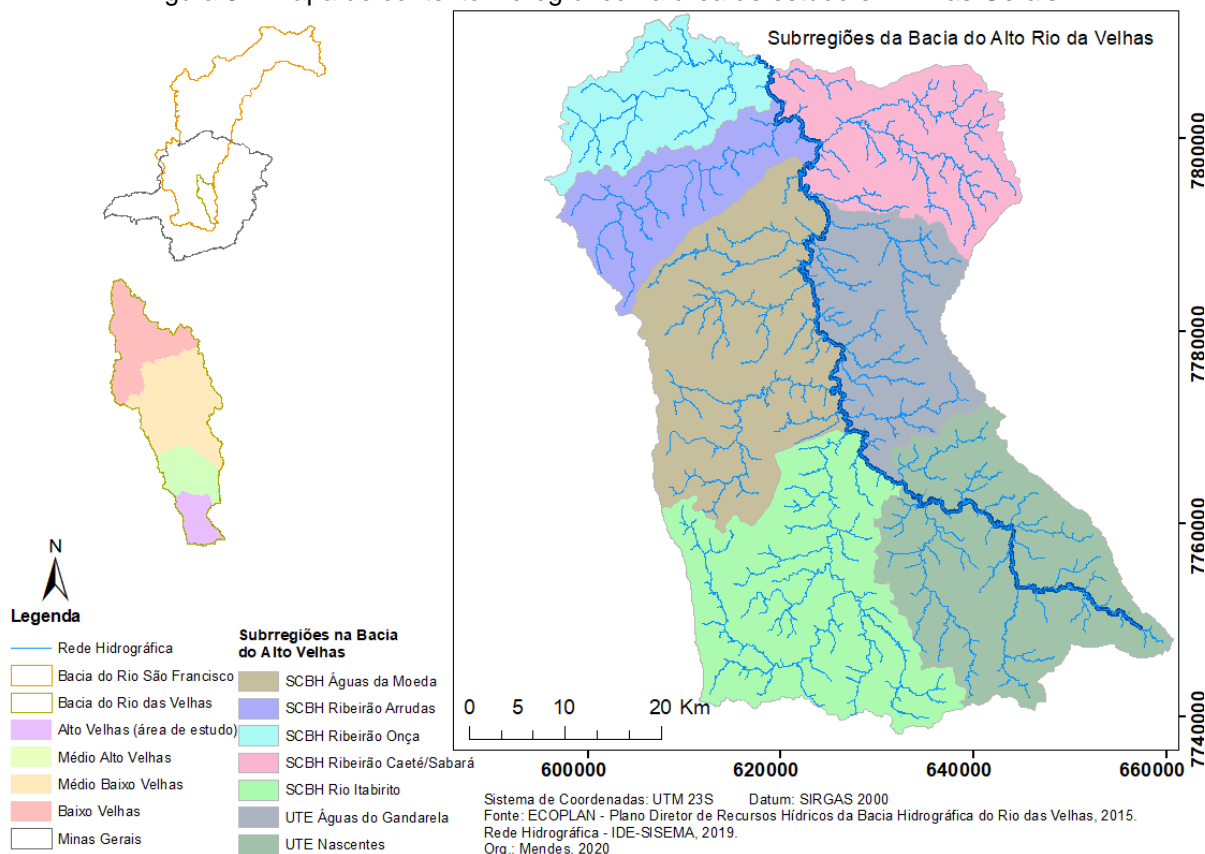
Nessa região, estão presentes os maiores focos de poluição hídrica de toda a bacia, provenientes de esgotos domésticos, industriais não tratados e efluentes gerados pelas atividades minerárias clandestinas que atuam nessa porção da bacia

(CBHVELHAS, 2015). Isso torna a área uma das mais críticas do estado em relação às pressões pelo uso e exploração dos recursos hídricos.

Do ponto de vista hidrográfico (Figura 3), a área está inserida na Bacia do Rio das Velhas que, por sua vez, pertence à bacia hidrográfica do Rio São Francisco. A Bacia do Rio das Velhas pode ser dividida em quatro regiões de planejamento: Alto Velhas, Médio Alto Velhas, Médio Baixo Velhas e Baixo Velhas.

As Unidades Territoriais Estratégicas (UTES) possuem características muito variadas, porém, há aspectos que permitem a identificação de regiões homogêneas. A região aqui estudada, o Alto Velhas, compreende 07 UTES, sendo elas: UTE Nascentes, SCBH (Subcomitê de Bacia Hidrográfica) Rio Itabirito, UTE Águas do Gandarela, SCBH Água da Moeda, SCBH Ribeirão Caeté/Sabará, SCBH Ribeirão Arrudas e SCBH Ribeirão Onça.

Figura 3 – Mapa do contexto hidrográfico na área de estudo em Minas Gerais.



Fonte: Elaborado pela autora.

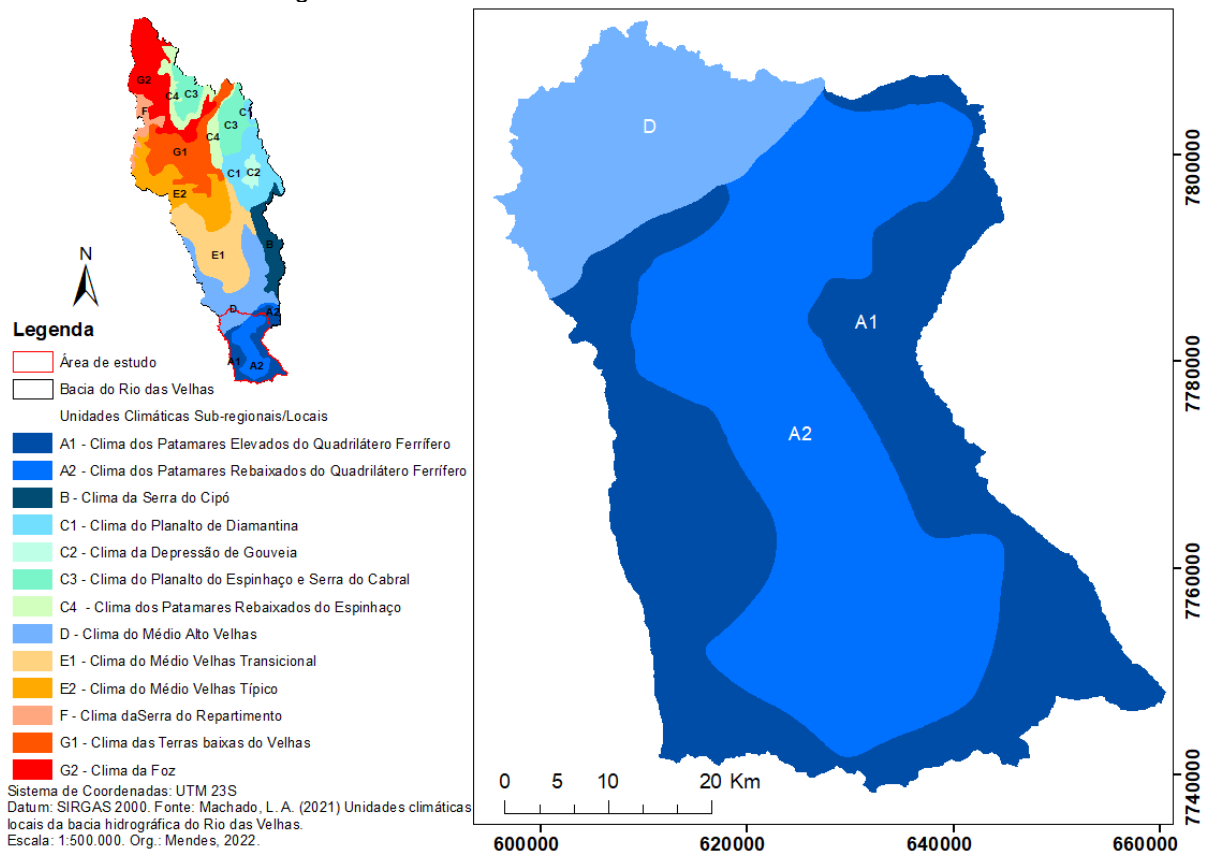
Encontra-se, nessa região, o sistema de abastecimento integrado Rio das Velhas com captação no rio, abastecendo 74% da cidade de Belo Horizonte, além das cidades de Sabará, Santa Luzia, Raposos e Nova Lima. O Comitê da Bacia

Hidrográfica do Rio das Velhas (CBH-Velhas) alerta para o risco de problemas futuros em função da exploração concentrada e da vulnerabilidade com relação ao abastecimento da população, especialmente durante os períodos de estiagem em que a vazão do rio fica comprometida (OLIVEIRA, 2018).

Cabe ressaltar que o Rio das Velhas é um dos afluentes da margem direita mais importante no trecho do alto da bacia do São Francisco, tanto em volume de água quanto em impactos relacionados à poluição (CBHVELHAS, 2015). Segundo o CBH-Velhas (2015), algumas estações de amostragem de qualidade da água na região do Quadrilátero Ferrífero apresentam sólidos em suspensão e concentração de metais como: manganês, níquel e cobre, decorrentes da exploração mineral na região.

O clima da região sofre influência da altitude, do modelado do relevo e, na RMBH, o uso e ocupação da terra influenciam na elevação das temperaturas mínimas locais, principalmente em função da impermeabilização do solo (Figura 4).

Figura 4 - Unidades Climáticas locais na área de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora.

A unidade climática regional que caracteriza a área de estudo é a tropical de altitude. Os climas locais A1 e A2 estão localizados no Quadrilátero Ferrífero e uma das diferenças entre eles é a altitude (A1 com altitudes acima de 1000 m e A2 com altitudes variando entre 751 m e 1050 m). Essa diferença na altitude promove uma variação significativa na temperatura, enquanto A1 apresenta temperaturas que variam entre 16,1°C a 18,1°C, A2 varia entre 18,2°C a 20,2 °C. Já o clima local D, encontra-se em uma transição para o Clima Tropical Típico, apresentando uma temperatura média de 20,3°C (MACHADO, 2021).

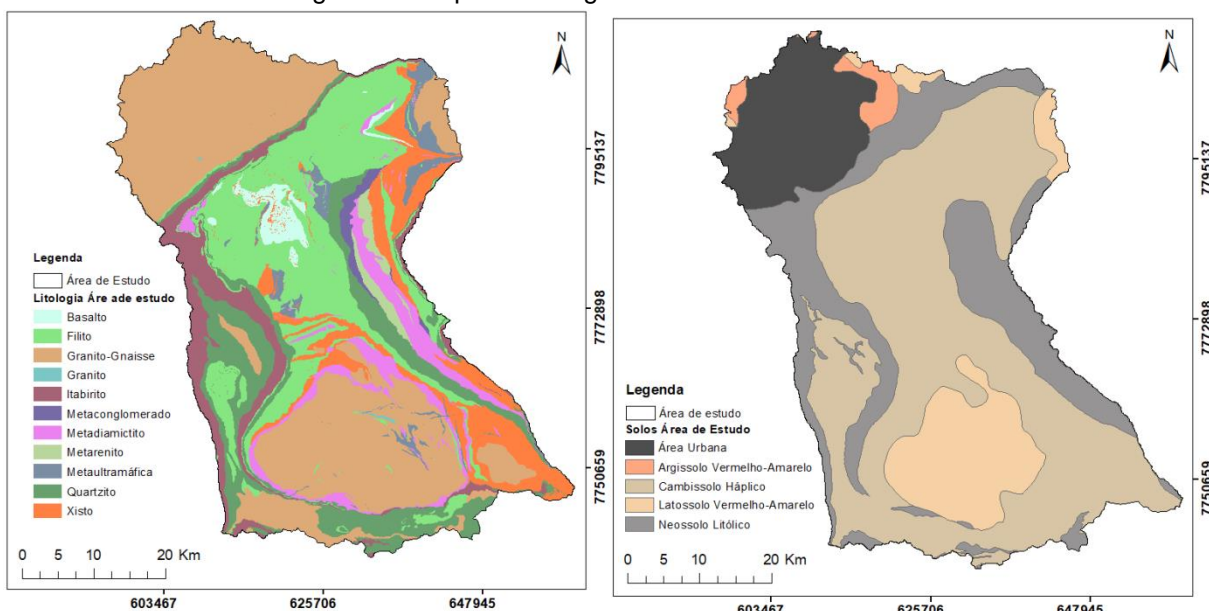
O grande grupo geológico que compõe a região do Alto Velhas é o Quadrilátero Ferrífero (QF), uma paisagem montanhosa particular, marcada por forte condicionamento litológico, estrutural e tectônico, que carrega esse nome em função da ocorrência abundante da formação de ferro e minério de ferro (DORR, 1969). Seus interflúvios são os complexos serranos sustentados pelas formações ferríferas bandadas (BIF – *banded iron formations*): Serras do Curral e da Piedade, ao norte; Serra de Ouro Branco, ao sul; Serras da Água Limpa e da Gandarela, a leste; e Serras da Moeda de Itabirito, a oeste (CHEREM, MAGALHÃES JR & FARIA, 2011).

O QF apresenta topografia elevada, com altitudes que podem chegar a 1500 metros. A formação compreende as unidades geológicas mais antigas (arqueanas e paleoproterozóicas) e de evolução mais complexa de toda a bacia do Rio das Velhas. A geologia do QF pode ser sintetizada pelo Embasamento Cristalino (de idade arqueana composta por granitos, gnaisses e migmatitos), Supergrupo Rio das Velhas (de idade arqueana composta basicamente por xistos e filitos), Supergrupo Minas que apresenta os litotipos mais resistentes (de idade paleoproterozóica composta basicamente por quartzitos e itabiritos) e o Grupo Itacolomi (de idade proterozóica composta basicamente por quartzitos) (MARENT & SALGADO, 2010).

A formação da estrutura geológica do QF tem grande importância na evolução das formas do relevo. Marent e Salgado (2010) observaram que nas porções mais elevadas do relevo são encontrados litotipos mais resistentes, nas porções mais rebaixadas predominam os litotipos mais friáveis e os cursos fluviais são controlados por lineamentos de falhas. Dessa forma, observa-se que a bacia do Alto Rio das Velhas é composta por três patamares de resistência frente aos processos denudacionais. As terras altas são moldadas sobre substrato quartzítico e itabirítico; as terras médias com substrato de xisto e filitos; e as terras baixas sobre granito e gnaisses (CHEREM, MAGALHÃES JR & FARIA, 2011).

No QF, é possível distinguir dois setores bem individualizados que refletem os condicionantes geológicos e os processos erosivos que atuaram na evolução da topografia atual (CBHVELHAS, 2015). As características dos solos nesta região sofrem influência direta do material de origem (Figura 5).

Figura 5 – Mapa da litologia e solo na área de estudo.



Sistema de Coordenadas: UTM 23S - Datum: SIRGAS 2000

Fonte:

Litologia: Estratigrafia e Arcabouço Estrutural do Quadrilátero Ferrífero: Nota Explicativa do Mapa Geológico do Quadrilátero Ferrífero, MG, Brasil, Escala 1:150.000.

Departamento de Geologia, Escola de Minas - UFOP, Centro de Estudos Avançados do Quadrilátero Ferrífero. Disponível em: www.qfe2050.ufop.br

Nota explicativa: foram consideradas litologias equivalentes encontradas em trabalhos que apresentaram pesos para o método PUC.

Solos: Fonte: UFV et al., Mapa de solos do Estado de Minas Gerais, Escala 1:650.000, 2010.

O sistema de classificação de cores obedeceu a padronização das cores das classes de 1° e 2° níveis categóricos para uso em mapas de solos extraído de SIBCS - SANTOS et al., 2018.

Nota explicativa: foram realizadas adaptações no mapa de solos (UFV et al., 2010) com base em estudos locais que apresentaram a classificação de solo predominante, ou seja, aquela que melhor representava a área (PROJETO APA SUL RMBH, 2005; SCALCO, 2009).

Org.: Mendes, 2022.

Fonte: Elaborado pela autora.

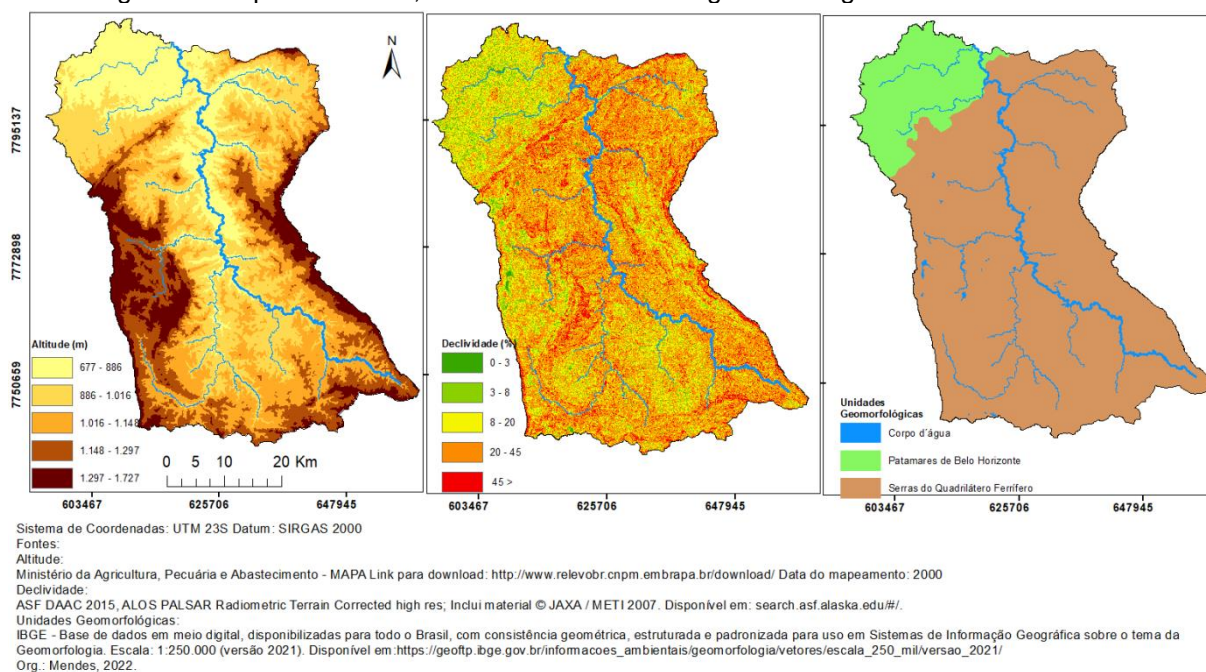
Os solos que apresentam grande expressividade na área são Cambissolos (ocupando 50,65% da bacia), Neossolos (ocupando 22,32% da bacia) e Latossolos (ocupando 12,74% da bacia). Nos divisores de água, porção que apresenta o relevo mais acidentado da bacia (Serras do Curral, Piedade, Itabirito, Moeda e Gandarela), desenvolvem-se Neossolos Litólicos (RL) sobre itabiritos, quartzitos e filitos. Por estarem associados às áreas de relevo mais acidentado apresentam maiores restrições de uso, carecem de atenção com relação ao planejamento ambiental, uma vez que são suscetíveis a processos erosivos em função das suas características morfológicas, visto que processos erosivos provenientes destas áreas interferem em atividades desenvolvidas a jusante.

Nas altitudes médias e baixas são encontrados, principalmente, Cambissolos Háplicos (CX). A formação desses solos está associada à litologia, principalmente de

filitos, xistos e gnaisses. Nas áreas mais baixas de relevo mais suave, observa-se a presença de Latossolos sobre gnaisses (FIGUEIREDO et al., 2004).

A geomorfologia do QF é caracterizada por um forte controle lito-estrutural e fortes contrastes de resistência litológica que refletem no modelado de dissecação acentuado, importantes variações de altitudes e ocorrência de serras e cristas cortadas por vales epigênicos (MAGALHÃES JR & SAADI, 1994). O ponto mais alto da bacia está localizado no Parque Nacional da Serra do Gandarela (1.727 m de altitude). De acordo com a classificação do IBGE (2017), as unidades geomorfológicas que abrangem a área são as Serras do Quadrilátero Ferrífero, que ocupam quase toda a área da bacia, e os Patamares de Belo Horizonte (Figura 6).

Figura 6 - Mapa da altitude, declividade e unidades geomorfológicas na área de estudo.

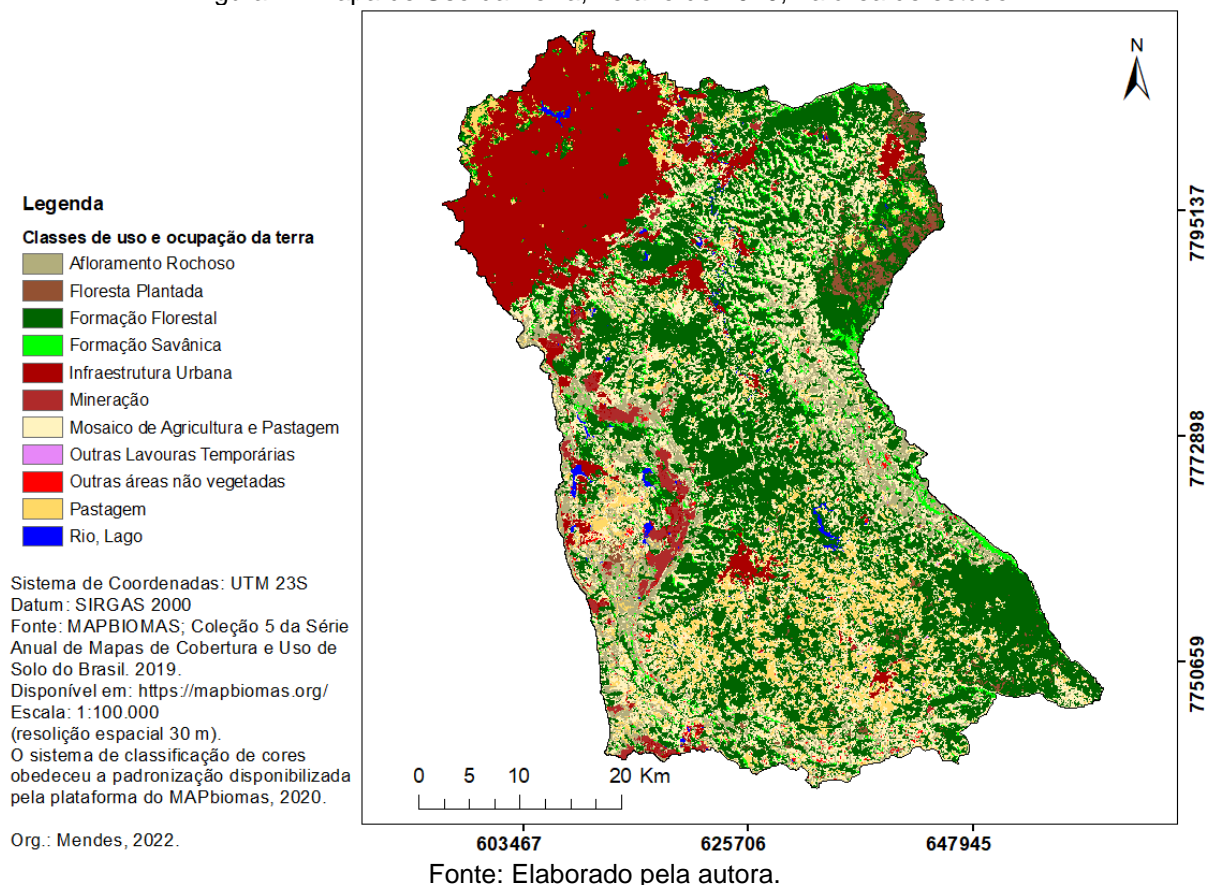


Fonte: Elaborado pela autora.

O vetor sul da RMBH e a Área de Proteção Ambiental (APA Sul) estão inseridos no contexto geoambiental do QF. Estas áreas apresentam uma topografia caracterizada por depressões, vertentes íngremes, vales encaixados, extensões de mata densa, concentração de reservas minerais, áreas de nascentes e, concomitantemente, os melhores mananciais de abastecimento de água da RMBH. Assim, essas áreas expõem um interesse ambiental e econômico relevante (SOUZA, 2006).

A presença de áreas não vegetadas marcadas por afloramentos rochosos e áreas de mineração ocupam juntas 9,97% da área (o equivalente a 27.316,37 ha). A formação Florestal¹ ocupa maior extensão na bacia 39,58% (equivalente a 10.8429,46 ha) e está distribuída de forma descontínua, entre áreas de pastagem, afloramento de rocha e infraestrutura urbana (Figura 7).

Figura 7 - Mapa de Uso da Terra, no ano de 2019, na área de estudo.



As áreas de Pastagem² e Agricultura e Pastagem estão distribuídas de forma irregular na bacia, ocupando juntas 29,70% da área (equivalente a 81.371,78 ha) (Tabela 2).

¹ Formação Florestal: tipo de vegetação composta por árvores altas com predomínio de dossel contínuo podendo ser estacional, ombrófila, semidecidual ou decidual (MapBiomas, 2020).

² Pastagem: são caracterizadas por áreas de pastagens, plantadas ou naturais, vinculadas à atividade agropecuária (MapBiomas, 2020).

Tabela 2 - Uso e Cobertura da Terra na Bacia do Alto Velhas em 2019.

Classes de Uso e Ocupação da terra	2019	
	Área (ha)	%
Afloramento Rochoso	21.540,67	7,86
Floresta Plantada	4.577,33	1,67
Formação Florestal	10.8429,46	39,58
Formação Savânica	7.941,38	2,90
Infraestrutura Urbana	42.735,92	15,60
Mineração	4.327,36	1,58
Mosaico de Agricultura e Pastagem	58.661,49	21,41
Outras Áreas Não Vegetadas	1.448,34	0,53
Outras Lavouras Temporárias	262,00	0,10
Pastagem	22.710,29	8,29
Rio, Lago	1.340,62	0,49

Elaborado pela autora.

Na unidade geomorfológica Patamares de Belo Horizonte, que apresenta altitudes variando entre 677 m a 886 m (Figura 6), encontra-se a maior parte da infraestrutura urbana, ocupando 15,60% da área (o equivalente a 42.735,92 ha). A formação Savânica³ e Floresta Plantada⁴ se concentram na porção leste da bacia (Figura 7) e ocupam juntas 4,57% da área (equivalente a 12.518,71 ha – Tabela 2).

A partir dos usos atuais na bacia, é possível fazer uma reflexão sobre o processo de ocupação da região do Alto Velhas, que está intimamente ligado à formação do estado de Minas Gerais, que tem como uma das atividades mais marcantes a mineração. As grandes ocorrências de minerais, como ouro e ferro, favoreceram a exploração mineral na região desde o período colonial, fato que remonta ao início da exploração aurífera no Brasil, em meados do século XVII (SOBREIRA, 2014).

As atividades como pecuária e agricultura se estabeleceram na região, inicialmente, para atender as necessidades de alimentação e vestuário da população. O colapso no ciclo do ouro favoreceu o desenvolvimento desses setores, e a construção da capital Belo Horizonte trouxe, para a região, a concentração demográfica e econômica. Esse processo teve como consequência a melhoria da infraestrutura para a região, mas também grandes conflitos socioambientais.

A bacia do Alto Rio das Velhas está sob uma gama de conflitos, entre eles: demanda de água para a população, pressões ambientais, poluentes despejados de

³ Formação Savânica: vegetação composta por árvores de pequeno porte e estrato arbustivo-herbáceo (MapBiomias, 2020).

⁴ Floresta Plantada: caracterizada por espécies plantadas para fins comerciais (MapBiomias, 2020).

forma esporádica ou contínua, eventos hidrológicos extremos, dentre outros que exercem impactos sobre a qualidade e quantidade de água disponível.

O uso e a ocupação da terra têm relação direta com os recursos hídricos. Na área de estudo isso não é diferente. As diferentes formas de ocupação do território geram, como consequências, diferentes níveis de pressões ambientais, que podem ser observadas e medidas de múltiplas formas (LEMOS, 2018).

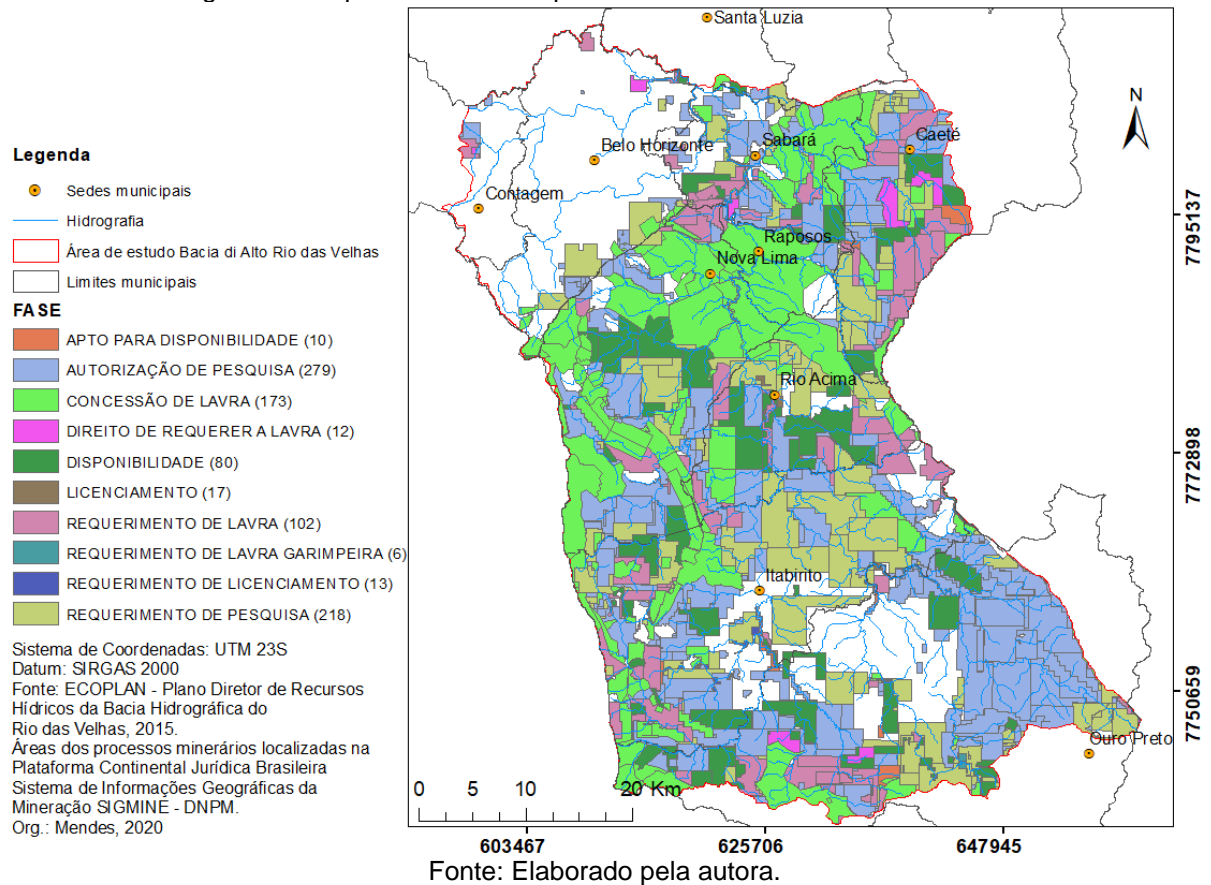
A grande ocorrência de ouro e itabirito favorece, desde o período colonial, a exploração mineral na região. A exploração do ouro de aluvião e das gemas preciosas tornou o estado de Minas Gerais atrativo para os imigrantes, o que fez com que ele começasse a receber uma quantidade de pessoas muito grande.

Com o esgotamento e o fim do ciclo do ouro, as atividades de exploração mineral não tinham a mesma importância que possuíam anteriormente. Isso fez com que a população se dispersasse para outros setores econômicos como a agricultura e pecuária.

A construção da nova capital de Minas, Belo Horizonte, inaugurada em 1897, trouxe para o estado a concentração econômica e demográfica. Paralelamente, naquele período, o incentivo ao desenvolvimento industrial criou significativos polos de atração na região do Alto Rio das Velhas, principalmente pela consolidação de atividades siderúrgicas e de mineração de ferro (LEMOS, 2018).

O lugar de destaque que a mineração ocupa atualmente no contexto de uso e ocupação da terra na região é um fato que remonta ao início da exploração aurífera no Brasil. Com relação à espacialização da exploração mineral na região, observa-se uma grande concentração dos processos minerários em andamento na bacia (Figura 8), o que mostra a expansão dessa atividade.

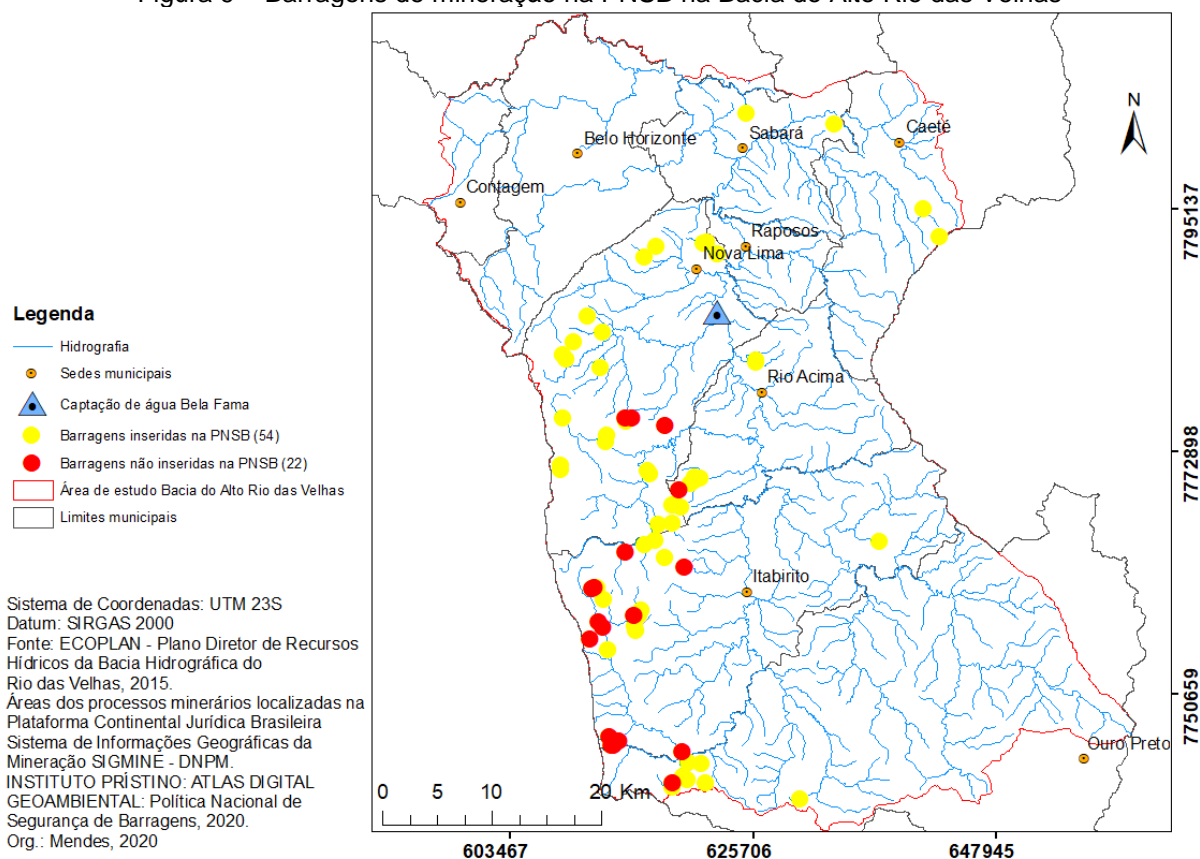
Figura 8 – Mapa das fases dos processos minerários na área de estudo



A Figura 8 mostra que somente as regiões do Complexo do Baçõ (centro-sul da bacia) e a mancha urbana de Belo Horizonte (noroeste da bacia) não apresentam atividade minerária. Tal fato decorre da presença do próprio tecido urbano e da ocorrência de minerais de baixo ou sem valor comercial significativo (COTA et al., 2019).

A região do Alto Velhas concentra um total de 76 barragens de rejeito de mineração, distribuídas de forma concentrada em decorrência da existência de províncias minerais para exploração (Figura 9).

Figura 9 – Barragens de mineração na PNSB na Bacia do Alto Rio das Velhas



Fonte: Elaborado pela autora.

Considerando que a construção de barramentos destinados à acumulação de água para quaisquer usos envolve riscos relativos à estabilidade da estrutura, foi publicada a Lei Federal nº 12.334, de 20 de Setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) – destinada à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais – e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB) (BRASIL, 2010).

Quando se analisa o cenário da Figura 9, observa-se que existe um grande número de barragens localizadas diretamente a jusante uma da outra. Considerando-se que as barragens não inseridas na PNSB não são legalmente obrigadas a elaborar um plano de ação emergencial, vê-se o efeito dominó que o rompimento dessas barragens pode provocar a jusante da sua área.

Assim, observa-se que a diversidade de usos na bacia influencia diretamente nos impactos nela observados. A poluição proveniente da mineração; as cargas difusas; esgotos domésticos; efluentes industriais; expansão urbana; assoreamento

e suscetibilidade à erosão são exemplos de problemas originários dos múltiplos usos existentes na região do Alto Velhas.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, A. G. de; FREITAS, P. L. de; LANDERS, J. Aspectos gerais do manejo e conservação do solo e da água e as mudanças ambientais. In: PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; ANDRADE, A. G (org.). **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010. p. 25-40.

AQUINO, J. N.; SALIS, H. H. C.; GAMEIRO, S.; OLIVEIRA, M. A.; RODIGHERI, G.; MENDES, A. P. S. F.; SFREDO, G. A. Zoneamento do Potencial de Uso Conservacionista na Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos–RS. **Anuário do Instituto de Geociências UFRJ**. ISSN 0101-9759 e-ISSN 1982-3908 - Vol. 43 - 3 / p. 292-302, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.11137/2020_3_292_302

ASF DAAC 2015, ALOS PALSAR Radiometric Terrain Corrected high res; Inclui material © JAXA / METI 2007. Disponível em: search.asf.alaska.edu/#/.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm

_____. Lei nº 9.433/97. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 9 jan. 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm

_____. Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4º da Lei no 9.984, de 17 de julho de 2000. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12334.htm. Acesso: 09 mar. 2021.

CALLISTO, M.; MORENO, P.; MACEDO, D. R. Biomonitoramento e pressões da urbanização: Uma abordagem integrada entre Ecologia e Geografia na bacia do rio das Velhas. **Revista Espinhaço | UFVJM**, [S.l.], p. 2-12, jul. 2019. ISSN 2317-0611. Disponível em: <http://www.revistaespinhaco.com/index.php/journal/article/view/242>. Acesso: 28 dez. 2020. doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3345093>.

CBHVELHAS – Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas - Plano Diretor de Recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio das Velhas. - Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas, 1273 p. 2015.

CHEREM, L. F. S.; MAGALHÃES JR, A. P.; FARIA, S. D. Análise e compartimentação morfométrica da bacia hidrográfica do Alto Rio das Velhas – Região Central de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.12, n.1, p.11-21, 2011. Disponível em: <http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/214> . Acesso: abr. 2020.

COSTA, A. M.; VIANA, J. H. M.; EVANGELISTA, L. P.; CARVALHO, D. C. F.; PEDRAS, K. C.; HORT, I. M. F.; SALIS, H. H. C.; PEREIRA, M. P. R.; SAMPAIO, J. L. D. Ponderação de variáveis ambientais para a determinação do Potencial de Uso Conservacionista para o Estado de Minas Gerais. **Geografias**, Belo Horizonte, v. 14, nº1, p. 118-133, junho, 2017a.

COSTA, A. M.; SALIS, H. H. C.; VIANA, J. H. M.; AQUINO, J. N.; FERREIRA, M. P. R. Zoneamento Ambiental e Produtivo: uso da modelagem para identificação de potencialidades e limitações no uso do solo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 38, nº 300, p. 80-90, 2017b.

COSTA, A. M.; SALIS, H. H. C. ; ARAUJO, B. J. R. S. ; MOURA, M. S. ; SILVA, V. C. ; OLIVEIRA, A. R. ; PEREIRA, M. P. R. ; VIANA, J. H. M. Potencial de uso conservacionista em bacias hidrográficas: estudo de caso para a bacia hidrográfica do rio Gualaxo do Norte-MG. **Revista GEOgrafias**, v. 27, p. 127-147, 2019a.

COSTA, A. M.; SILVA, L. H.; SILVA, V. C.; MOURA, M. S.; MOTA, P. K.; ARAUJO, B. J. R. S. Potencial de Uso Conservacionista (PUC) e Uso e Cobertura do Solo na Bacia Hidrográfica do Córrego Guavirá, PR. **Revista Perspectiva Geográfica-Campus Marechal Cândido Rondon**, v. 14, nº 20, p. 107-122, jul./dez., 2019b.

COTA, G. E. M.; ROSA, N. M. G.; ROMEIRO, C. E.; MENDES, I. A. S.; MAGALHÃES JR, A. P. Aspectos legais da segurança de barragens de rejeito de minério: implicações para a qualidade ambiental e usos múltiplos da água no Alto Rio das Velhas (MG). **Geographia**, Niteroi, Universidade Federal Fluminense, v. 21 n. 45, p. 33-46, jan./abr., 2019.

DORR, John Van N. Physiographic, stratigraphic, and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. Washington, DC. 2ª ed. 117 f, 1969.

ECOPLAN Engenharia Ltda., Skill Engenharia LTDA (2015) Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas. Porto Alegre: Ecoplan. Disponível em: <https://siga.cbhvelhas.org.br/portal/siplan.zul>. Acesso: Jun. 2020.

FERNANDES, A. C. P.; MARTINS, L. M. O.; PACHECO, F. A. L.; FERNANDES, L. F. S. The consequences for stream water quality of long-term changes in landscape patterns: Implications for land use management and policies, **Land Use Policy**, Volume 109, 2021, 105679, ISSN 0264-8377, <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105679>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837721004026>

FIGUEIREDO, M.A., VARAJÃO, A.F.F.C., FABRIS, J.D. and LOUTFI, I.S. Alteração superficial e pedogeomorfologia no sul do Complexo Bação - Quadrilátero Ferrífero (MG). **Revista**

Brasileira de Ciências do Solo, v.28, p.713-729, 2004. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832004000400012&script=sci_abstract&tlng=pt . Acesso: abr. 2020.

FREITAS, L. D.; MORAES, J. F. L.; COSTA, A. M.; MARTINS, L. L.; SILVA, B. M.; AVANZI, J. C.; UEZU, A. How Far Can Nature-Based Solutions Increase Water Supply Resilience to Climate Change in One of the Most Important Brazilian Watersheds? **Earth**, 3, p. 748-767, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/earth3030042>

IBGE - Base de dados em meio digital, disponibilizadas para todo o Brasil, com consistência geométrica, estruturada e padronizada para uso em Sistemas de Informação Geográfica sobre o tema da Geomorfologia. 2017 Escala: 1:250.000 (versão 2021). Disponível em: https://geofpt.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geomorfologia/vetores/escala_250_mil/versao_2021/

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2018) Divisão Político - Administrativa – Microrregiões do Brasil (base digital georreferenciada). Rio de Janeiro, Brasil: IBGE. Adaptado por Centro de Sensoriamento Remoto – CSR/UFGM. Disponível em: ftp://geofpt.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_municim_uni/municipio_2018/Brasil/BR/2018. Acesso: Jun. 2020.

IDE-SISEMA. Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Belo Horizonte: IDE-Sisema, 2019. Disponível em: <idesisema.meioambiente.mg.gov.br>. Acesso: 23 set. 2020.

INSTITUTO PRÍSTINO: ATLAS DIGITAL GEOAMBIENTAL. Sistema WebGis de livre acesso ao banco de dados ambiental. Política Nacional de Segurança de Barragens – DNPM, dados baixados em 27 de maio de 2020. Disponível em: <https://institutopristino.org.br/atlas/>. Acesso: 09 de mar. 2021.

LEMOS, R. S. A integração da gestão territorial a partir da política das águas. Orientador: Dr. Antônio Pereira Magalhaes Junior. 2018. 259 f. Tese (doutorado) – Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

LEMOS, R.S.; MAGALHÃES JUNIOR, A. P. Dinâmicas territoriais, transformações ambientais e implicações hidrelétricas não administrativas de abastecimento público da Região Metropolitana de Belo Horizonte-baciaográfica do alto Rio das Velhas, Minas Gerais. **GeoTextos**, [S. l.], v. 15, n. 1, 2019. DOI: 10.9771/geo.v15i1.28766. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/geotextos/article/view/28766>.

LEMOS, R. S.; COTA, G. E. M.; ALCÂNTARA, J.; MAGALHÃES JR, A. P. Pressões ambientais e alterações de uso e ocupação do solo na bacia do Alto Rio das Velhas, Região de Belo Horizonte – MG. XVIII – **Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, p. 1-12, 2019.

LIMA, F. J.; CESTARO, L. A. Considerações sobre zoneamentos como instrumentos de gestão do território. **Revista de Geografia**, Recife, v. 27, n. 3, p. 155-168, 2010. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/viewFile/228791/23204>

LOPES, F. W. A.; CARVALHO, A.; MAGALHÃES JR, A.P. Levantamento e avaliação dos impactos ambientais em áreas de uso recreacional das águas na bacia do alto rio das Velhas. **Caderno Virtual de Turismo**. Rio de Janeiro, v. 11, n. 2, p.177-190 ago. 2011.

MACHADO, L. A. Análise das relações superfície-atmosfera na bacia hidrográfica do Rio das Velhas em uma perspectiva multiescalar. Orientador: Dr. Wellington Lopes Assis. 2021. 218 f. Tese (doutorado) – Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/42920>

MAGALHÃES JÚNIOR, A.; SAADI, A. Ritmos da dinâmica fluvial Neo-cenozóica controlados por soerguimento regional e falhamento: o vale do Rio das Velhas na região de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. **Geonomos**, v. 2 n. 1: 42-54, 1994. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/revistageonomos/article/view/11537>. Acesso: abr. 2020.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – altitude (Data do mapeamento: 2000) Link para download: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/>

MAPBIOMAS. Coleção 5 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. 2019. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Escala: 1:100.000, (resolução espacial 30 m). 2020.

MARENT, B. R.; SALGADO, A. A. R. Mapeamento das unidades do relevo da porção nordeste do Quadrilátero Ferrífero - MG. **Revista Geografias**, [S. l.], p. 118–139, 2010. DOI: 10.35699/2237-549X.13287. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/13287>.

MARTINS, M. S. D. M.; VALERA, C. A.; ZANATA, M.; SANTOS, R. M. B.; ABDALA, V. L.; PACHECO, F. A. L.; FERNANDES, L. F. S.; PISSARRA, T. C. T. Potential Impacts of Land Use Changes on Water Resources in a Tropical Headwater Catchment. **Water**, 2021, 13, 3249. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w13223249>

MENDES, I. A. S. A qualidade da água na bacia do Córrego Tripuí, Ouro Preto – MG: relações com o uso e ocupação do solo. Monografia (Graduação). Licenciatura em Geografia. Instituto Federal Minas Gerais, Campus Ouro Preto. 102f. 2012.

NUGROHO, P.; MARSONO, D.; SUDIRA, P.; SURYATMOJO, H. Impact of Land-use Changes on Water Balance. **Procedia Environmental Sciences**. 2013, 17, 256–262. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2013.02.036>

OLIVEIRA, J. Comitê do rio das velhas teme colapso no uso da água que abastece BH e região. *Jornal Estado de Minas*, Belo Horizonte, 2018. Disponível em: https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2018/11/28/interna_gerais,1008643/comite-do-rio-das-velhas-teme-colapso-no-uso-da-agua-que-abastece-bh.shtml

LOUDIN, L.; SALAVATI, B.; FURUSHO-PERCOT, C.; RIBSTEIN, P.; SAADI, M. Hydrological impacts of urbanization at the catchment scale. *Journal of Hydrology*. 2018, 559, 774–786. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.02.064>

PACHECO, F. A. L. Sustainable Use of Soils and Water: The Role of Environmental Land Use Conflicts. *Sustainability*. 2020, 12 (3): 1163. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su12031163>

PINTO, C.C.; CALAZANS, G.M.; OLIVEIRA, S.C. Assessment of spatial variations in the surface water quality of the Velhas River Basin, Brazil, using multivariate statistical analysis and nonparametric statistics. *Environmental Monitoring Assessment*, 191, 164, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7281-y>.

ROCHA, N. A., CASAGRANDE, P., & MOURA, A. C. M. Análise combinatória e pesos de evidência na produção de Análise de Multicritérios em modelos de avaliação. *GeoSIG - Revista Geografía y Sistemas de Información Geográfica*, Luján, Ano 10, Número especial, p. 49-74. 2018. Disponível em: https://docs.wixstatic.com/ugd/79758e_4d6e3e3aa4394cb99da67962a23aa240.pdf

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. *Revista do Departamento de Geografia - USP*, p. 63–74, 1994. Disponível em: <https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/365/o/Ross.pdf>

SANTOS, M. R. R. dos; RANIERI, V. E. L. Critérios para análise do zoneamento ambiental como instrumento de planejamento e ordenamento territorial. *Ambiente & Sociedade*, São Paulo, v. 16, n. 4, p. 43-60, Dec. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2013000400004>.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. Á. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356p.

SANTOS, N. A.; OLIVEIRA JUNIOR, I. de; BORGES, E. F. ANÁLISE INTEGRADA DA PAISAGEM: SUBSÍDIOS PARA O ZONEAMENTO AMBIENTAL EM CANUDOS-BA. *Caderno Prudentino de Geografia*, [S. l.], v. 3, n. 43, p. 178–200, 2021. Disponível em: <https://200.145.6.156/index.php/cpg/article/view/7814>.

SILVA, J. S. V.; SANTOS, R. F. Zoneamento para planejamento ambiental: vantagens e restrições de métodos e técnicas. *Cadernos de Ciência e Tecnologia*. V. 21, n. 2, p. 221-263, mai./ago., 2004. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.35977/0104-1096.cct2004.v21.8710>

SOBREIRA, F. Mineração do ouro no período colonial: alterações paisagísticas antrópicas na serra de Ouro Preto, Minas Gerais. *Quaternary and Environmental*

Geosciences, [S.l.], v. 5, n. 1, sep. 2014. ISSN 2176-6142. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/abequa/article/view/34432/23233>.doi:<http://dx.doi.org/10.5380/abequa.v5i1.34432>. Acesso em: 08 de outubro de 2020.

SOUZA, C. G. Caracterização de solos nos arredores da Serra Três Irmão e da Serra da Moeda – Quadrilátero Ferrífero/MG. Orientadora: Dra. Cristiane Valéria de Oliveira. 2006. 110 f. Dissertação (mestrado) – Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/MPBB-789FLX>

TENENWURCEL, M. A.; MOURA, M. S.; COSTA, A. M.; MOTA, P. K.; VIANA, J. H. M.; FERNANDES, L. F. S.; PACHECO, F. A. L. An improved model for the evaluation of groundwater recharge based on the concept of conservative use potential: A study in the river Pandeiros Watershed, Minas Gerais, Brazil. **Water** (Switzerland), v. 12, n. 4, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12041001>

UFOP, UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO. Estratigrafia e Arcabouço Estrutural do Quadrilátero Ferrífero: Nota Explicativa do Mapa Geológico do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Escala 1:150.000. Departamento de Geologia, Escola de Minas – UFOP –Centro de Estudos Avançados do Quadrilátero Ferrífero. Disponível em: www.qfe2050.ufop.br.

UFV - UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA; FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS; UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS; FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Mapa de solos do Estado de Minas Gerais - escala 1:650.000. 2010. Disponível em: <http://www.feam.br/noticias/1/949-mapas-de-solo-do-estado-de-minas-gerais>. Acesso: abr. 2020.

VIOLA, M.R.; MELLO, C.R.; BESKOW, S.; NORTON, L.D. Impacts of Land-use Changes on the Hydrology of the Grande River Basin Headwaters, Southeastern Brazil. **Water Resources Management**. 2014, 28, 4537–4550. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0749-1>

3. CAPÍTULO I: Mudança temporal no uso e cobertura da terra na Bacia do Alto Rio das Velhas⁵

RESUMO

Mudanças no uso e nas formas de ocupação da terra são consideradas como as principais causas de alterações na superfície terrestre e uma das maneiras mais eficazes para assinalar pressões ambientais em bacias hidrográficas. Considerando a importância da Bacia do Alto Rio das Velhas em termos ambientais, sociais e econômicos, vê-se necessário realizar estudos que abordem os aspectos de mudanças temporais no uso e na cobertura da terra, fomentando reflexões acerca das implicações dos atuais usos da terra. Objetivou-se apresentar um panorama das principais mudanças temporais no uso e cobertura do solo na Bacia do Alto Rio das Velhas para os anos de 1985, 2000, 2010 e 2019. Foram utilizadas técnicas de cartografia e geoprocessamento para construção de mapas e espacialização dos usos e ocupação do solo com auxílio da plataforma MapBiomias. Os usos antrópicos que mais se expandiram foram infraestrutura urbana (aumento de 46,57%), mineração (aumento de 36,62%) e floresta plantada (aumento de 299,30%). Destaca-se que em virtude do intenso processo de urbanização e dos tipos de uso e ocupação na bacia, a mesma apresenta pressões ambientais nas áreas de preservação e nos mananciais que impactam tanto os solos quanto a sua disponibilidade hídrica. Levando em consideração que a prioridade de uso da água em uma bacia hidrográfica é o abastecimento humano, preservar áreas de recarga hídrica é fundamental para evitar um colapso no abastecimento.

Palavras-chave: Conservação do solo e água. Impactos ambientais. Gestão de bacia hidrográfica

ABSTRACT

Changes in land use and forms of occupation are considered to be the main causes of changes in the land surface and are one of the most effective ways to signal environmental pressures in watersheds. Considering the importance of the Alto Rio das Velhas Basin in environmental, social and economic terms, it is necessary to carry out studies that address the aspects of temporal changes in land use and land cover, encouraging reflections on the implications of current land uses. The objective was to present an overview of the main temporal changes in land use and land cover in the Alto Rio das Velhas Basin for the years 1985, 2000, 2010 and 2019. Cartography and geoprocessing techniques were used to build maps and spatialization of land use and occupation with the aid of the MapBiomias platform. The anthropic uses that expanded the most were urban infrastructure (increase of 46.57%), mining (increase of 36.62%) and planted forest (increase of 299.30%). It is noteworthy that due to the intense urbanization process and the types of use and occupation in the basin, it presents environmental pressures in preservation areas

⁵ Capítulo submetido e aceito na revista RaeGa em 04/07/2022, publicado na revista em Dez. 2022: RA'EGA, Curitiba, PR, V.55, p. 154–175, 12/2022, DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v55i0.82190> .

and springs that impact both the soil and its water availability. Taking into account that the priority of water use in a hydrographic basin is human supply, preserving water recharge areas is essential to avoid a supply collapse.

Keywords: Soil and water conservation. Environmental impacts. Watershed management.

1. INTRODUÇÃO

As mudanças de uso e cobertura da terra são consideradas como as principais causas de alterações na superfície terrestre e são reconhecidas como principal fator de degradação da qualidade da água, afetando-a de maneiras diferentes. Assim, é perceptível que as questões voltadas às preocupações ambientais e à conservação da biodiversidade estão cada vez mais presentes, levando-se em consideração as diferentes formas de intervenções antrópicas na superfície (FUJACO et al., 2010; BARBOSA et al., 2016; MELLO et al., 2020).

Compreender os parâmetros de uso e ocupação da terra em um determinado local por um período permite analisar como esse espaço era ocupado e como era a relação com o ambiente. Assim, é possível observar e analisar as alterações ocorridas na região e avaliar as mudanças que trouxeram melhorias, prejuízos e riscos para a população e para o meio ambiente.

A produção agropecuária, expansão urbana, atividades industriais e de mineração são exemplos de usos que cresceram ao longo dos anos e carecem de atenção. As consequências dessas mudanças no ambiente associadas à falta de planejamento e gestão podem trazer consequências negativas. A redução da cobertura vegetal de forma descontrolada pode trazer, por exemplo, mudanças no microclima, impactos sobre o solo e a água, extinção de espécies animais e vegetais e, conseqüentemente, atingir de forma direta a população e as suas atividades econômicas (PIROLI & LEVYMAN, 2020).

As percepções sobre as formas de uso e ocupação da terra começaram a mudar com o aumento do desmatamento, assoreamento dos corpos hídricos e aumento de áreas degradadas, assim como a relevância da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão (ANDRADE; FREITAS; LANDERS, 2010). Pela Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/97), a bacia hidrográfica é definida como unidade territorial de planejamento (Brasil, 1997). Assim, a bacia é

caracterizada como um sistema natural bem definido geograficamente em que “os resultados da interação da inter-relação das atividades antrópicas com o meio podem ser quantificados e analisados de forma integradas” (COSTA et al., 2021 p. 4119).

Cabe ressaltar que apesar das características favoráveis para se considerar a bacia como objeto de análise, ela apresenta grandes desafios e particularidades ambientais e sociopolíticas, uma vez que a sua delimitação natural e seu interior apresentam múltiplos atores que, mesmo inseridos em um contexto de uso coletivo, possuem interesses individuais (COSTA et al., 2017). Dessa forma, compreender os padrões de uso e de ocupação e seu comportamento de alteração temporal é considerado fundamental para o desenvolvimento de ações de planejamento, gestão, monitoramento e conservação da paisagem.

O estudo de forma espacial e temporal de uma determinada área integrando ciências distintas é crucial para compreender a sua dinâmica. Cada vez mais, a utilização de geotecnologias tem contribuído para o desenvolvimento de pesquisas, processos de gestão e manejo, e em tantos outros aspectos relacionados à análise do espaço (FITZ, 2008).

As geotecnologias são caracterizadas por equipamentos e métodos de processamento matemático e computacional (PIROLI, 2010; PIROLI & LEVYMAN, 2020). Um dos objetivos principais consiste em tratar e analisar dados geográficos, oferecendo alternativas para compreensão da ocupação e utilização do ambiente no tempo e no espaço (MENDES, 2019).

Para um país de extensão territorial como o Brasil, a utilização de geotecnologias auxilia de forma positiva, por exemplo, nas demandas de problemas ambientais, auxilia na gestão, no planejamento e supervisão, otimiza diagnósticos e contribui para o monitoramento de diferentes áreas (DIAS; MARTINS & BARROS, 2020). Além da carência de informações em função da nossa extensão territorial, as geotecnologias apresentam um enorme potencial para geração de dados com custo relativamente baixo se comparadas às metodologias tradicionais para obtenção de informações geográficas (MAS et al., 2019; MENDES, 2019).

A importância da utilização dessas ferramentas é crucial para geração de mapas e informações em relatórios. Elas são também relevantes para fornecer e sintetizar informações em qualquer estudo ambiental (SÁNCHEZ, 2008; SOBRAL et al., 2017).

O Projeto de mapeamento anual da cobertura e uso da terra do Brasil (MapBiomass) é um exemplo dessas tecnologias que foi desenvolvido com a finalidade de produzir uma série histórica de mapas de uso e cobertura da terra para todo o território nacional. O MapBiomass é uma ferramenta desenvolvida a partir de uma iniciativa de rede colaborativa de instituições públicas, privadas e ONGs, cuja finalidade é a produção de mapas de uso e cobertura de maneira significativamente mais rápida, barata e atualizada quando comparado com os métodos e práticas atuais (CAPANEMA; SANCHES & ESCADA, 2019). A iniciativa já está na quinta coleção de mapas anuais de uso e cobertura da terra para todo o país, com dados de 1985 a 2019 (SOUZA & AZEVEDO, 2017; ROSA; SHIMBO & AZEVEDO, 2019), e é muito utilizada em estudos de análise do uso e cobertura da terra (MAS et al., 2019; MELLO et al., 2020; ROSAN et al., 2021).

Tendo em vista que o aumento da expansão urbana, o desmatamento, a exploração mineral e expansão agrícola são exemplos de usos que influenciam de forma direta na qualidade da água, o conhecimento das modificações nesses usos tem fundamental importância para gestão da disponibilidade hídrica em quantidade e qualidade. Assim, o monitoramento da cobertura e uso da terra por meio de tecnologias de observação é extremamente útil, especialmente em regiões que apresentam diferentes contextos físico-geográficos, como a região da Bacia do Alto Rio das Velhas.

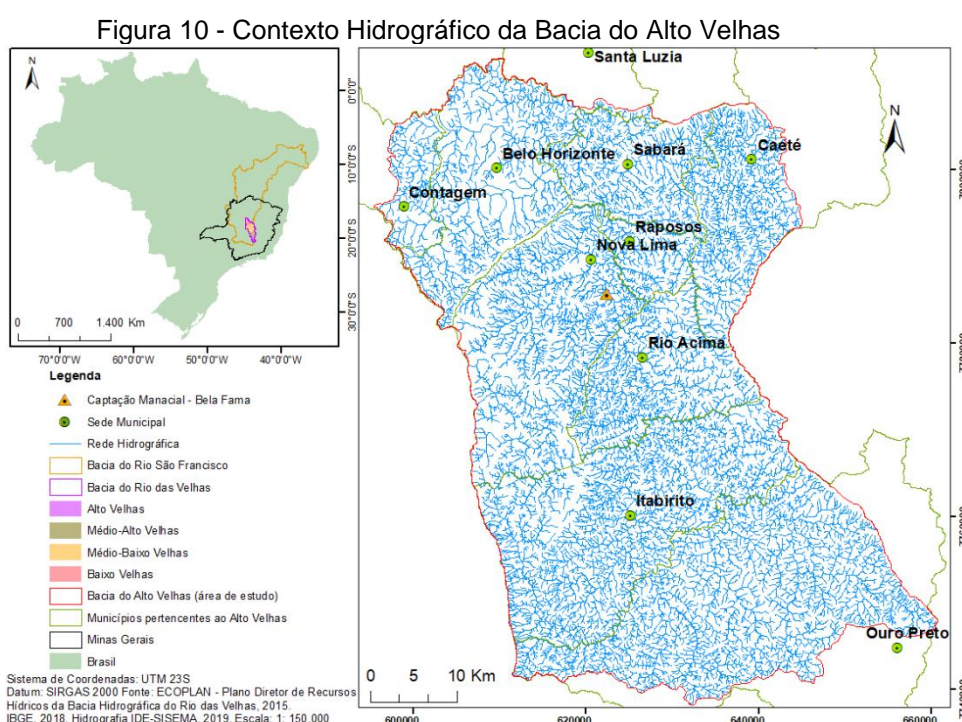
Essa região, além de ser extremamente importante em termos ambientais, sociais e econômicos, é também palco de diversos conflitos e pressões ambientais. A realização de estudos que abordem os aspectos de mudanças temporais na cobertura e uso da terra fomenta reflexões acerca das implicações dos atuais usos do solo na região e é fundamental como subsídio à gestão desse território.

Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi apresentar um panorama das principais mudanças temporais no uso e cobertura da terra na Bacia do Alto Rio das Velhas para os anos de 1985, 2000, 2010 e 2019. Por fim, discute-se sobre o cenário atual do uso e ocupação do solo no Alto Rio das Velhas, apontando os principais problemas e consequências para a qualidade ambiental da bacia, levando em consideração os usos e cobertura da terra.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A Bacia do Alto Rio das Velhas está inserida na bacia do Rio das Velhas, importante afluente da margem direita do Rio São Francisco. De acordo com o Plano Diretor de Recursos Hídricos (PDRH) da bacia do Rio das Velhas seu território de gestão foi dividido em quatro regiões hidrográficas (Figura 10), sendo elas: Alto Rio das Velhas, Médio-Alto Rio das Velhas, Médio-Baixo Rio das Velhas e Baixo Rio das Velhas (CBHVELHAS, 2015).



(Fonte: Elaborado pelos autores).

A região do Alto Velhas é composta por dez municípios: Belo Horizonte, Contagem, Santa Luzia, Nova Lima, Itabirito, Ouro Preto, Sabará, Raposos, Caeté e Rio Acima. Ela está inserida em sua totalidade na região do Quadrilátero Ferrífero.

Localiza-se sob diferentes contextos de pressão ambiental e possui variados usos e ocupações da terra, especialmente a partir de um elevado grau de impermeabilização do solo associado a usos urbanos e a diferentes atividades econômicas (MATOS et al., 2017). A região é responsável pelo abastecimento integrado Rio das Velhas, onde se encontra a captação de Bela Fama, situado no

município de Nova Lima, que é a fonte principal de abastecimento da capital de Minas Gerais e dos municípios de Raposos, Nova Lima, Ribeirão das Neves, Sabará e Santa Luzia, pertencentes à Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) (COPASA, 2016).

De acordo com o censo demográfico de 2010, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Alto Velhas é a região de maior concentração populacional comparada com toda a bacia do Rio das Velhas (CBHVELHAS, 2015). Os censos realizados pelo IBGE entre os anos de 1991, 2000 e 2010 permitem observar o crescimento da população dos municípios que interceptam o Alto Velhas a partir da estimativa proporcional à área dos setores censitários (Tabela 3).

Tabela 3 - População residente nos municípios que interceptam a bacia do Alto Rio das Velhas.

Município	1991			2000			2010		
	Urbana	Rural	Total	Urbana	Rural	Total	Urbana	Rural	Total
Belo Horizonte	2.020.161	0	2.020.161	2.238.526	0	2.238.526	2.375.151	0	2.375.151
Caeté	29.115	4.136	33.251	31.656	4.643	36.299	35.436	5.314	40.750
Contagem	315.667	0	315.667	377.755	0	377.755	423.692	0	423.692
Itabirito	28.678	3.413	32.091	35.245	2.656	37.901	43.566	1.883	45.449
Nova Lima	44.038	8.362	52.400	63.035	1.352	64.387	79.232	1.766	80.998
Ouro Preto	8.699	7.630	16.329	12.426	5.304	17.312	13.492	4.866	18.358
Raposos	13.317	925	14.242	13.455	834	14.289	14.552	790	15.342
Rio Acima	5.641	1.425	7.066	6.576	1.082	7.658	7.944	1.146	9.090
Sabará	74.757	14.983	89.740	112.694	2.658	115.352	123.084	3.185	126.269
Santa Luzia	130.186	7.639	137.825	184.208	695	184.903	202.378	564	202.942

Fonte: Censo Demográfico – Estimativa proporcional à área dos setores censitários na bacia do Alto Rio das Velhas. Adaptado de Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas (2014). Elaborado pelos autores.

A bacia do Alto Velhas apresenta maior densidade populacional e atividade econômica expressiva (Tabela 4), se comparada a toda bacia do Rio das Velhas. Na região do Alto Velhas são encontrados grandes focos de poluição, ocasionados principalmente por esgotos industriais e domésticos lançados no leito dos córregos, como Arrudas e Onça, localizados na região metropolitana de Belo Horizonte.

Tabela 4 - Informações socioeconômicas dos municípios inseridos na bacia do Alto Velhas.

Município	Área total (km ²)	Área do município inserida na bacia (%)	IDHM (2010)	PIB (R\$ - 2018)
Belo Horizonte	331,4	100	0,810	36.759,66
Caeté	542,6	42	0,728	13.417,84
Contagem	195,3	42	0,756	42.077,02
Itabirito	542,6	100	0,730	97.711,87
Nova Lima	429,1	100	0,813	111.562,61
Ouro Preto	1.245,90	50	0,741	92.319,75
Raposos	72,2	100	0,73	11.291,86
Rio Acima	229,8	100	0,673	18.719,75
Sabará	302,20	63	0,731	21.561,12
Santa Luzia ⁶	235,30	4	0,715	18.272,10

Fonte: Estimativa proporcional à área dos setores censitários na bacia do Alto Rio das Velhas. Adaptado de Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas (2014) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2020). Elaborado pelos autores.

Dentre os múltiplos usos da terra na região, a atividade minerária é expressiva e remonta ao início da exploração aurífera no Brasil, sendo que cerca de 44% das barragens do país se localizam no estado de Minas Gerais (COTA et al., 2019). Levando em conta esse quantitativo e apesar da extensão do território do estado, cabe ressaltar que a distribuição das barragens se dá de forma concentrada, em função das províncias minerárias de exploração, sobretudo na região do Quadrilátero Ferrífero, em que parte desse território está inserido na porção do Alto Velhas.

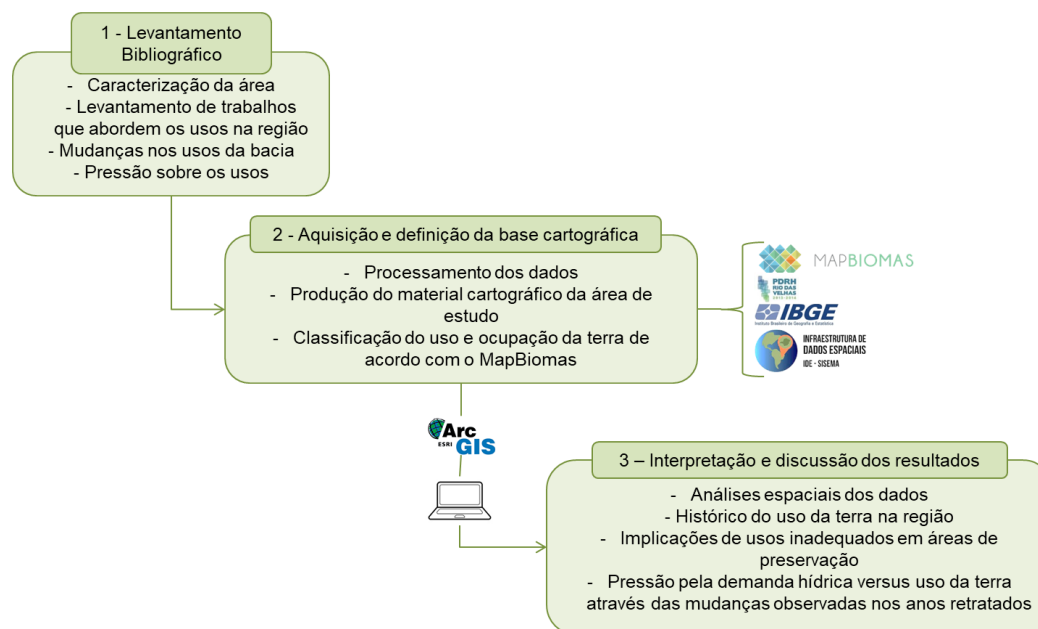
Assim, as intensas mudanças de uso e ocupação da terra na região, associadas às demandas múltiplas pelo uso da água, têm gerado grandes desafios à governança desse território, sobretudo quanto aos impactos socioeconômicos e ambientais advindos dessas mudanças. Portanto, conhecer esses padrões de mudança no uso e ocupação da terra é de fundamental importância como subsídio à gestão territorial e a proposições de planos de adequação da bacia hidrográfica.

⁶ De acordo com o Plano Diretor da Bacia do Rio das Velhas de 2005, nove municípios pertenciam à região do Alto Rio das Velhas. Já no Plano Diretor de 2014, 4% do município de Santa Luzia passou a integrar a região do Alto Velhas, passando de nove para dez municípios.

2.2 Coleta e processamento dos dados

As etapas dos procedimentos metodológicos estão representadas na Figura 11.

Figura 11 - Fluxograma das etapas da metodologia de aquisição e processamento das informações.



(Fonte: Elaborado pelos autores).

Inicialmente, realizou-se uma revisão bibliográfica sobre o histórico do uso e da ocupação da terra na bacia do Alto Velhas com enfoque nas mudanças presentes na área ao longo dos anos. A partir dessa revisão e da avaliação do crescimento populacional na região da bacia, segundo os dados dos censos demográficos dos anos de 1991 a 2010 (Tabela 3) e da disponibilidade de informações da plataforma do MapBiomas, selecionaram-se os anos de 1985, 2000, 2010 e 2019 para avaliação das mudanças temporais de uso e cobertura da terra.

O ano de 1985 representa a análise inicial, sendo a primeira imagem disponibilizada pelo MapBiomas. A escolha pelo ano de 2000 se deu em função da intensa mudança no crescimento urbano e no setor de autopeças (GARCIA & ANDRADE, 2007). O ano de 2010 foi utilizado para observação e comparação dos usos e ocupação da terra uma década depois. E 2019 retrata o uso mais atual da terra de acordo com o MapBiomas. Assim, foram realizadas quatro classificações de uso e ocupação da terra na bacia do Alto Rio das Velhas, nos anos de 1985, 2000, 2010 e 2019 (34 anos de diferença entre os anos inicial e final aqui analisados).

As bases de dados digitais utilizadas (formatos: vetorial do tipo shapefile e matricial do tipo raster) para a elaboração dos mapas temáticos foram extraídas de diferentes plataformas de acesso livre (Tabela 5) e, a partir desses, foram confeccionados os materiais cartográficos finais. Foram utilizadas técnicas de cartografia e geoprocessamento para construção de mapas e espacialização dos usos e da ocupação da terra na área de estudo, por último, os dados foram analisados e, assim, realizada a discussão acerca das mudanças observadas buscando contribuir para compreensão da dinâmica territorial da bacia.

Tabela 5 – Bases de dados espaciais utilizadas

Bases	Fontes	Escalas numéricas
Limite estadual MG		
Sedes Municipais	IBGE, 2018.	1: 250.000
Limites Municipais		
Limite bacias hidrográficas	Consórcio ECOPLAN Engenharia Ltda. – Skill Engenharia LTDA, 2015.	Não informado
Rede hidrográfica	IDE-SISEMA, 2019.	1:150.000
Captação Manancial – Bela Fama	CBHVELHAS, 2015.	
Mapa de uso e ocupação da terra (anos 1985 – 2000 – 2010 – 2019)	MapBiomass, 2019.	1:100.000 (resolução espacial 30 m).

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para a produção cartográfica temporal dos mapas de uso e de ocupação da terra, foram utilizados mapas do projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso da Terra Brasil (SOUZA & AZEVEDO, 2017; Projeto MapBiomass, 2020; SOUZA et al., 2020), que na versão 5 mapeou as diferentes formas de uso e ocupação de todo o Brasil. O projeto MapBiomass tem uma resolução espacial de 30 metros e o método e explicação do processo de validação está em Souza et al. (2020). A área de estudo abrange os biomas Cerrado e Mata Atlântica, que foram recortados utilizando-se o limite da bacia do Alto Rio das Velhas (ECOPLAN, 2015).

Foi gerada também uma tabela a partir da ferramenta ‘tabulate area’⁷ disponível no Software ArcGIS (versão 10.6.1), com o valor em hectare e porcentagem da área referente aos usos observados no mapa de cobertura e uso da terra. O processamento dos dados se deu através do Software ArcGIS, versão 10.6.1, para desktop (ESRI, 2018) através da aplicação da ferramenta ArcMap.

⁷ A ferramenta ‘tabulate area’ calcula áreas tabuladas cruzadas entre dois conjuntos de dados e gera uma tabela, esta ferramenta considera o centro de célula dentro do polígono da área de estudo. ArcGIS Pro (disponível em: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/tabulate-area.htm>)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Panorama temporal da cobertura e uso da terra na Bacia do Alto Rio das Velhas entre os anos de 1985 a 2019

Os resultados referentes à evolução do uso e ocupação da terra na bacia do Alto Velhas são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Evolução do uso da terra na Bacia do Alto Velhas.

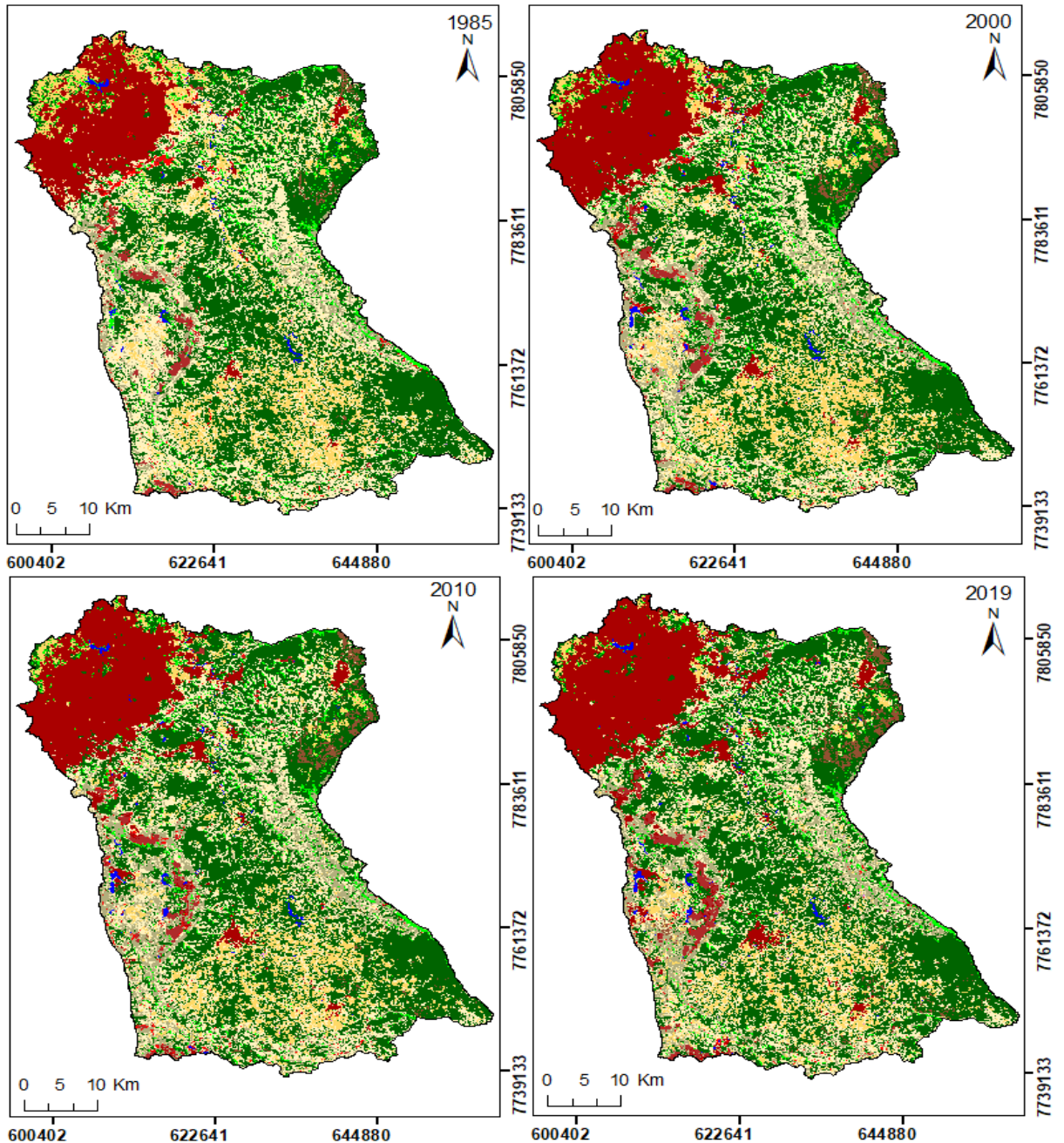
Classes de Uso e Ocupação da terra	1985		2000		2010		2019	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Afloramento Rochoso	12.981,64	4,74	20.490,70	7,48	23.373,05	8,53	21.540,67	7,86
Floresta Plantada	1.146,34	0,42	2.512,12	0,92	3.361,57	1,23	4.577,33	1,67
Formação Campestre	3,92	0,00	0,26	0,00	_* ⁸	_*	_*	_*
Formação Florestal	106.995,54	39,05	104.638,21	38,19	105.976,10	38,68	10.8429,46	39,58
Formação Savânica	9.272,36	3,38	9.289,59	3,39	9.210,01	3,36	7.941,38	2,90
Infraestrutura Urbana	29.158,04	10,64	37.336,51	13,63	40.292,80	14,71	42.735,92	15,60
Mineração	3.167,54	1,16	3.134,96	1,14	2.878,76	1,05	4.327,36	1,58
Mosaico de Agricultura e Pastagem	75.687,85	27,63	61.417,52	22,42	59.973,62	21,89	58.661,49	21,41
Outras Áreas não Vegetadas	2.438,77	0,89	1.770,81	0,65	1.807,39	0,66	1.448,34	0,53
Outras Lavouras Temporárias	38,63	0,01	22,35	0,01	51,17	0,02	262,00	0,10
Pastagem	32.113,05	11,72	32.133,69	11,73	25.690,46	9,38	22.710,29	8,29
Rio, Lago	971,16	0,35	1228,13	0,45	1.359,89	0,50	1.340,62	0,49

Fonte: Elaborado pelos autores.

A evolução temporal espacial do uso e ocupação da terra na Bacia do Alto Rio das Velhas, entre os anos de 1985, 2000, 2010 e 2019, pode ser observada na Figura 12.

⁸ * A classe Formação Campestre não foi observada na área de estudo para os anos de 2010 e 2019. Este uso foi suprimido em decorrência do crescimento do uso infraestrutura urbana na porção noroeste da bacia.

Figura 12 - Mudança temporal da cobertura e uso da terra da Bacia do Alto Rio das Velhas



Legenda

Sistema de Coordenadas: UTM 23S

Datum: SIRGAS 2000 Fonte: MAPBiomass, 2020. ECOPLAN - Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas, 2015.

(Fonte: Elaborado pelos autores).

A maior concentração de remanescente de formação florestal nos anos analisados pode ser observada na margem direita (sudeste) da bacia. Verifica-se também na margem direita (nordeste – região do município de Caeté) um aumento de 299,30% na classe Floresta Plantada, passando de 1.146,34 ha em 1985 para

4.577,33 ha em 2019. Esse crescimento está relacionado à plantação de espécies de árvores destinadas a fins comerciais, como o eucalipto que é muito utilizado para fins energéticos no setor de siderurgia para substituição de madeiras nativas.

No Brasil as principais causas para o crescimento do reflorestamento foram “a política econômica de expansão do setor de celulose e papel, da siderurgia a carvão mineral, o programa de substituição energética e o programa de concessão de incentivos fiscais aos reflorestamentos” (BACHA, 1991, p. 145). De 1960 até o fim da década de 1980 houve uma grande expansão das áreas reflorestadas em função dos incentivos fiscais no país (HORA, 2015). Salgado e Magalhães Júnior (2006) retrataram os impactos da silvicultura de eucalipto nos mananciais de abastecimento público em Caeté e observaram que as taxas de turbidez e erosão hídrica aumentaram durante o período de corte das árvores, o que contribuiu para o assoreamento dos cursos fluviais locais.

Em contrapartida, o uso Formação Florestal apresentou uma pequena queda nos anos de 2000 e 2010 quando comparados com o ano de 1985. A supressão da cobertura vegetal no decorrer do tempo, principalmente do Cerrado e Mata Atlântica, resultou em quedas consideráveis da vegetação nativa. A longo prazo, esse desmatamento aliado à extensa urbanização é responsável pela maior parte da degradação da qualidade da água observada nos riachos desses biomas (RIBEIRO et al., 2009; MELLO et al., 2020).

Entretanto, no ano de 2019 esse uso apresentou um aumento quando comparado com os anos anteriores analisados. A Lei nº 20.922/2013 que dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade no estado de Minas Gerais prevê no Artigo 75 que todo empreendimento minerário que dependa de supressão de vegetação nativa fica condicionado à adoção de medida compensatória florestal que inclua a regularização fundiária e a implantação de Unidade de Conservação (UC) de Proteção Integral, independente das demais compensações previstas em Lei (BRASIL, 2013). Assim, a atual configuração do Código Florestal pode justificar a manutenção e preservação do uso Formação Florestal, tendo em vista a questão polêmica do perdão concedido aos que desmataram de forma ilegal até julho de 2008 (BRASIL, 2008; BRASIL, 2012).

A redução também pode ser observada para as classes de Formação Campestre, com redução de 3,92 ha em 1985 para 0,26 ha em 2000 (nos anos seguintes analisados esse uso foi suprimido em decorrência do crescimento do uso

Infraestrutura Urbana na porção noroeste da bacia), já o uso Formação Savânica, com redução de 3,38% para 2,90%, respectivamente dos anos de 1985 para 2019, foi reduzido devido ao crescimento da infraestrutura urbana, agricultura e pastagem.

O uso Mosaico de Agricultura e Pastagem apresentou uma redução de 22,50% ao longo dos quatro períodos analisados. Isso pode estar relacionado ao processo de urbanização, à grande especulação imobiliária na região e às demandas das empresas, sobretudo da mineração e empresas associadas por mão-de-obra e fornecimento de condições de salários mais atrativas do que o oferecido na atividade agropecuária.

Os grandes avanços da infraestrutura urbana e da exploração mineral se concentraram, ao longo dos anos, na margem esquerda (noroeste) da bacia. O processo de expansão urbana se deu principalmente em substituição das áreas de vegetação arbórea, inclusive envolvendo áreas de preservação ambiental, especialmente abrangendo parte da RMBH (CBHVELHAS, 2015).

A infraestrutura urbana foi um dos usos que mais se expandiu, com um aumento de 46,57%, passando de 29.158,04 ha em 1985 para 42.735,92 ha em 2019. O processo de ocupação remonta o período colonial e foi motivado principalmente pela mineração com os caminhos que ligavam o Quadrilátero Ferrífero e a Serra do Espinhaço com o litoral (CASAGRANDE et al., 2020). Atualmente, esse aumento de infraestrutura está ligado às demandas das empresas que se estabelecem na região e que, conseqüentemente, tem grande impacto nesse processo de urbanização. No ano de 2000 foi observada uma intensa mudança em função do crescimento urbano (com ampliação do êxodo rural) e crescimento do setor de autopeças (GARCIA & ANDRADE, 2007).

Associada à expansão urbana, a elevada taxa de impermeabilização dos solos é um problema que dificulta/impede a infiltração da água, contribuindo para a acentuação de problemas como erosão urbana e aumentando os picos de cheia (BISPO & LEVINO, 2011). Reis et al. (2012) mostraram que a elevada ocorrência de inundações no município de Belo Horizonte está relacionada à elevadas taxas de impermeabilização dos solos, além de fatores como a intensidade do escoamento superficial, geologia, curvatura e declividade dos terrenos.

A elevada especulação imobiliária também é outro ponto que merece atenção. A expansão urbana verticalizada avança de forma acelerada próximo às serras do Curral e da Moeda que apresentam elevado risco geológico devido

principalmente ao contexto topográfico da área e às declividades acentuadas (CASAGRANDE et al., 2020). A expansão urbana sem critérios de planejamento no município de Nova Lima suprime e modifica a paisagem local, favorece a degradação de recursos naturais e desencadeando a ocorrência de processos erosivos (ERCOLI et al., 2020).

O aumento de 38,04% do espelho de água, principalmente na margem esquerda (noroeste) da bacia, pode ser explicado pelo lançamento dos rejeitos da exploração mineral em lagos de decantação, construídos durante os processos de assentamento da infraestrutura e lavra (JUNIOR, SOUZA & ELERES, 2016).

A mineração apresentou um aumento de 36,62%, passando de 3.167,54 ha para 4.327,36 ha em 2019. Embora a mineração ocupe uma área menor, o impacto e a pressão ambiental exercidos por essa atividade podem ser intensos. Sua distribuição é explicada pela formação geológica, concentrada na porção sul da bacia (MOREIRA, 2006), e seu avanço se deu sobre as áreas de campo rupestre, associadas às formações superficiais ferruginosas (LEMOS et al., 2019). A região apresenta uma paisagem montanhosa particular, marcada por forte condicionamento litológico, estrutural e tectônico e tem esse nome em função da ocorrência abundante da formação de ferro e minério de ferro (DORR, 1969).

Somente as regiões do Complexo do Baçõ, em Itabirito e Ouro Preto (porção centro-sul da bacia) e a mancha urbana de Belo Horizonte (noroeste da bacia) não apresentam atividade minerária. Tal fato decorre da presença do próprio tecido urbano e da ocorrência de minerais de baixo ou sem valor comercial significativo (COTA et al., 2019).

O acesso da China ao mercado mineral a partir de 1990 contribuiu para o excesso de oferta e acentuou a tendência de queda generalizada dos preços dos minérios e metais e isso acelerou a sua produção (CABRAL JUNIOR et al., 2008; REZENDE, 2016). É preciso evidenciar que para instalação da exploração mineral é necessária a retirada da cobertura vegetal e remoção dos solos o que favorece o desencadeamento de processos erosivos que atingem os corpos hídricos provocando contaminação e assoreamento.

É inegável a importância econômica que a exploração minerária exerce, uma vez que ela gera empregos e supre necessidades relacionadas com o bem estar e desenvolvimento das sociedades. Existem relações de poder que envolvem o setor minerário e o Estado, a arrecadação da Compensação Financeira pela Exploração

de Recursos Minerais (CFEM⁹) é um exemplo. A dependência econômica da mineração, em especial por parte dos municípios, está diretamente envolvida nos processos de decisão na instalação e exploração das mineradoras. De acordo com o Boletim do Setor Mineral (SGM, 2020), o município de Nova Lima esteve entre os dez com maior arrecadação de CFEM no ano de 2020. Devido à arrecadação da CFEM, percebe-se que os municípios se tornam economicamente dependentes da mineração. Outros municípios pertencentes à bacia, como Itabirito e Ouro Preto, também estão no ranking de maiores arrecadadores (ANM, 2021).

Quando analisamos a área de mineração, ela está dentro ou muito próxima de unidades de conservação, especialmente na área do Quadrilátero Ferrífero, em que existe uma forte pressão das mineradoras. Como exemplo, podemos citar a expansão da mineração na APA SUL entre os anos de 2000 e 2011, que pode estar relacionada à atuação da APA consentindo com as explorações de forma sustentável (DINIZ et al., 2014; REZENDE, 2016).

Mesmo com a grande expansão da mineração, algumas áreas se encontram em condições de notável conservação ou sofrem pressões de outros usos. A Serra do Gandarela, localizada entre Rio Acima, Santa Bárbara, Caeté e Ouro Preto, é um exemplo. Ela sofreu pressão entre a mineração e a criação de um parque em função da sua biodiversidade e da quantidade de mananciais que abastecem a região metropolitana (REZENDE, 2016). Regiões como a Serra do Gandarela também sofrem pressão da expansão urbana e da especulação imobiliária.

Essas áreas, além de uma grande riqueza minerária, apresentam também grande riqueza de biodiversidade, como nas áreas de cangas e de mananciais hídricos. As cangas¹⁰ são elementos importantes nas zonas de recarga de aquíferos, uma vez que, mesmo sendo formações concrecionadas e com elevada rigidez e dureza, elas apresentam uma significativa permeabilidade. Seus sistemas fraturados e suas cavidades facilitam a percolação e infiltração das águas, que refletem no abastecimento dos níveis freáticos, das nascentes e dos cursos de água (LEMOS et al., 2019), além de contribuírem para manutenção de ecossistemas e para o abastecimento público. Dessa maneira, quando essas áreas são ocupadas, a ação

⁹ A CFEM é uma contraprestação pela utilização econômica dos recursos minerais em seus respectivos territórios. Ou seja, ela é uma compensação da empresa exploradora aos municípios, estados e União pela exploração dos minerais (CNM, 2012).

¹⁰ Cangas é o termo comumente utilizado para descrever os ecossistemas encontrados em afloramentos ferruginosos.

de degradação pode proporcionar efeitos adversos à biota e contaminação de aquíferos.

Os itabiritos apresentam boa capacidade de armazenamento, podendo conter camadas de cangas que parcialmente o recubram. Verifica-se que as maiores reservas de água “estão nos metassedimentos itabiríticos e carbonáticos, geralmente associados às grandes reservas de minério de ferro” (BEATO, MONSORES, BERTACHINI, 2017 p. 19) e para minimizar as pressões ambientais provenientes dos impactos da expansão urbana, atividades industriais e minerárias é imprescindível a manutenção e monitoramento desses aquíferos.

Levando em consideração a importância da formação geológica presente na bacia para recarga hídrica e considerando o manancial de Bela Fama, que abastece cerca de 2,1 milhões de pessoas na RMBH (COPASA, 2016), cabe destacar que parte expressiva das barragens de rejeito encontra-se na margem esquerda (noroeste) da bacia e à montante da captação. Um possível rompimento promoveria um cenário de destruição e degradação significativo, colocando em risco toda a segurança hídrica da região (COTA et al., 2019).

No Alto Velhas ocorreram dois grandes rompimentos de barragens¹¹, em 2001 e em 2014. Em 22 junho de 2001, ocorreu o rompimento da barragem da Mineração Rio Verde, na região de Macacos, município de Nova Lima, que matou cinco operários, soterrou parte do município de São Sebastião das Águas Claras. Além disso, cerca de 600 mil m³ de rejeitos alcançaram o córrego Taquaras, devastando 79 ha de Mata Atlântica. Em 10 de setembro de 2014, na bacia do Rio Itabirito, a barragem da mineração Herculano se rompeu, ocasionando a morte de três operários, sendo que o colapso da barragem foi responsável pelo assoreamento de um córrego e parte do rejeito foi contido por outra barragem (LEMOS, 2018; LIMA, 2016).

Desastres ambientais provenientes de rompimentos de barragens podem impactar de forma econômica o abastecimento hídrico, visto que os processos e custos para o tratamento da água encarecem em função do aumento de partículas

¹¹ Nesse contexto, vale lembrar dois rompimentos de barragens ocorridos no estado de Minas Gerais: 1º - Rompimento da barragem de Fundão, no distrito de Bento Rodrigues (Mariana), na Bacia hidrográfica do Rio Doce, em 05/11/2015, que gerou vários níveis de impacto na bacia (como estudos referentes ao Rompimento da barragem de Fundão considera-se importante: AIRES et al., 2018) e; 2º - Rompimento da barragem da Mina Córrego do Feijão, no município de Brumadinho, na Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba, em 25/01/2019, considerado o maior acidente de trabalho no Brasil em perdas de vidas humanas e um dos maiores desastres ambientais da mineração no país, depois do rompimento da barragem em Bento Rodrigues.

coloidais e sedimentos em suspensão, que exigem técnicas mais refinadas para alcançar os padrões de potabilidade essenciais para abastecimento.

O estado de Minas Gerais contempla nascentes de quatro Regiões Hidrográficas¹²: São Francisco, Atlântico Leste, Sudeste e Paraná. O seu contexto fisiográfico do estado favoreceu para a instalação de uma rede de drenagem densa e complexa que não apenas fornece água, mas faz com que o estado seja uma área que abastece diversas regiões do Brasil. Assim, Minas se destaca no cenário hídrico nacional, uma vez que abriga nascentes de várias bacias hidrográficas nacionais. Desta forma, além de apresentar relevância no cenário nacional traz ao mesmo tempo na gestão dos recursos hídricos porque traz também uma responsabilidade para o estado na gestão dos recursos hídricos em âmbito nacional, pois essa disponibilidade hídrica tanto em quantidade quanto em qualidade nas áreas de nascentes pode ter impacto no cenário de disponibilidade hídrica no Brasil.

A degradação ambiental é influenciada por múltiplos fatores nas bacias hidrográficas (CAMPOS et al, 2021). Atividades antrópicas como desmatamento, expansão urbana, canalização dos cursos de água, impermeabilização dos solos e rebaixamento do nível freático proveniente de atividades de mineração são alguns exemplos dessa degradação. A compreensão desses fatores é fundamental para o planejamento, gestão e conservação da terra e da água (ZHANG et al., 2017).

Os resultados aqui encontrados corroboram o trabalho desenvolvido por Lemos (2018) na mesma área de estudo em que, a partir da análise da evolução do uso da terra pela interpretação de imagens Landsat, o autor também observou crescimento na infraestrutura urbana ao longo dos anos, aumento das atividades minerárias e dos corpos de água e redução nos usos de pastagem e agricultura.

¹² A Divisão hidrográfica Nacional, instituída pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), estabeleceu 12 regiões hidrográficas brasileiras. Essas regiões são bacias, grupo de bacias ou sub-bacias próximas, com características naturais, sociais e econômicas similares. Esse critério de divisão foi feito para orientar o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos em todo o país. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/panorama-das-aguas/regioes-hidrograficas>

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As alterações na mudança de uso e ocupação da terra observadas na área de estudo apontam uma necessidade de proteção e preservação de áreas prioritárias de recarga como a Serra do Gandarela, a Serra do Rola Moça e a Serra do Curral, que vêm sendo invadidas tanto pela especulação imobiliária quanto pela exploração mineral. Levando em consideração que a prioridade de uso da água em uma bacia hidrográfica é o abastecimento humano, preservar áreas de recarga hídrica é fundamental para evitar um colapso no abastecimento.

O mapeamento final deste trabalho está sujeito aos dados na escala disponível. A utilização de bases de dados digitais de diferentes plataformas de acesso livre se mostrou eficiente em relação ao objetivo proposto. Isso mostra que mesmo com as limitações encontradas nas bases de dados, em função das diferentes escalas, a metodologia cumpre com o objetivo aqui proposto, destacando a importância de iniciativas como a desenvolvida pelo Mapbiomas, que tem como um dos objetivos a melhora da base de dados de informações para refinamento de trabalhos, monitoramentos e análises de uso e cobertura da terra.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio com a concessão de bolsa de estudos e ao Laboratório de Solos e Meio Ambiente da Universidade Federal de Minas Gerais pelo suporte para realização deste estudo.

REFERÊNCIAS

AIRES, U. R. V.; SANTOS, B. S. M.; COELHO, C. D.; SILVA, D. D.; CALIJURI, M. L. Changes in land use and land cover as a result of the failure of a mining tailings dam in Mariana, MG, Brazil. **Land Use Policy**, Volume 70, 2018, P. 63-70, ISSN 0264-8377, <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.10.026>. Acesso em: 05 de Agosto de 2020.

ANDRADE, A. G. de; FREITAS, P. L. de; LANDERS, J. Aspectos gerais do manejo e conservação do solo e da água e as mudanças ambientais. In: PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; ANDRADE, A. G (org.). **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010. p. 25-40.

ANM – Agência Nacional de Mineração. Maiores arrecadadores CFEM (2004-2021). Disponível em: https://sistemas.anm.gov.br/arrecadacao/extra/Relatorios/cfem/maiores_arrecadadores.aspx Acesso em: 24 de julho de 2021.

BACHA, C. J. C. A expansão da silvicultura no Brasil. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro, 45 (1) p. 145-168. Jan/mar. 1991. Disponível em: <http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rbe/article/view/509/7641> Acesso em: 01 de julho de 2021.

BARBOSA, E. H. B.; SAKAMOTO, A. Y.; BACANI, V. M. **Proposta de Zoneamento Ambiental para a bacia transfronteiriça do rio Apa**. Interações (Campo Grande), Campo Grande, v. 17, n. 2, p. 210-222, junho, 2016.

BEATO, D. A. C.; MONSORES, A. M.; BERTACHINI, A. C. Potencial aquífero nos metassedimentos do quadrilátero ferrífero – região da APA Sul RMBH – MG. **XIV Congresso Brasileiro de Geologia**. In.: XIV Congresso Brasileiro de Geologia. p. 1-20. 2017.

BISPO, T. C; LEVINO, N. A. Impactos ambientais decorrentes do uso e ocupação desordenada do solo: um estudo da região da periferia de Maceió/AL. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 31, 2011, Belo Horizonte. Anais eletrônicos... Belo Horizonte: ABEPRO, 2011. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2011_tn_sto_143_901_18402.pdf Acesso em: 01 de julho de 2021.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 9 jan. 1997.

_____. **Decreto nº 6.514, de 22 de julho de 2008**. Dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, estabelece o processo administrativo

federal para apuração destas infrações, e dá outras providências. República Federativa do Brasil, Brasília, 22 de julho de 2008. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/decreto/d6514.htm. Acesso em: 03 de março de 2021.

_____. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. República Federativa do Brasil, Brasília, de 25 de maio de 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 03 de março de 2021.

_____. **Lei nº 20.922, de 17 de outubro de 2013.** Dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade no Estado. Publicação – Diário do Executivo – “Minas Gerais” 17 outubro de 2013. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=30375>. Acesso em: 03 de março de 2021.

CABRAL JUNIOR, M.; SUSLICK, S. B.; OBATA, O. R.; SINTONI, A. A mineração no estado de São Paulo: situação atual, perspectivas e desafios para o aproveitamento dos recursos minerais. **Geociências**, v.27, n.2, pp. 171-192. 2008. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/3358/2808> Acesso em: 02 de julho de 2021.

CAMPOS, J. A.; SILVA, D. D.; MOREIRA, M. C.; MENEZES FILHO, F. C. M. Environmental fragility and land use capacity as instruments of environmental planning, Caratinga River basin, Brazil. **Environmental Earth Sciences**, 80, 264, p. 1-13. 2021. DOI: <https://doi-org.ez27.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s12665-021-09553-2> Acesso em: 28 de julho de 2021.

CAPANEMA, V. N. P.; SANCHES, I. D. A.; ESCADA, M. I. S. Comparação entre os produtos temáticos de uso e cobertura da terra do TerraClass Amazônia e MapBiomass: teste de aderência entre classes. INPE – Santos, SP. In: Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. ISBN: 978-85-17-00097-3. 14 a 17 de abril de 2019. p. 724-727. 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/343211586_COMPARACAO_ENTRE_OS_PRODUPRO_TEMATICOS_DE_USO_E_COBERTURA_DA_TERRA_DO_TERRACLASS_AMAZONAM_E_MAPBIOMASS_TESTE_DE_ADERENCIA_ENTRE_CLASSE_S Acesso em: 02 de junho de 2021.

CASAGRANDE, P. B.; PARISI, M. G.; MOURA, A. C. M. SENA, I. S.; GARCIA, P. M. B. Índice de risco geológico utilizado como apoio ao planejamento urbano e territorial: estudo de caso no município de Nova Lima, MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 3-16, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v21i1.1662> Acesso em: 28 de julho de 2021.

CBHVELHAS – Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas (2005) – **Plano Diretor de Recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio das Velhas.** - Belo

Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas, 1273 p. 2015.

CNM – Confederação Nacional de Municípios. Entenda a CFEM (Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais). Estudos Técnicos – Volume 5 p. 179-188, julho de 2012. Disponível em: https://www.cnm.org.br/cms/biblioteca_antiga/ET%20Vol%205%20-%2014.%20Entenda%20a%20CFEM.pdf Acesso em: 24 de julho de 2021.

COPASA, **Procedimento de manifestação de interesse**. 001/2016. Out.2016. Disponível em: http://www.copasa.com.br/wps/wcm/connect/95f3923e-b4d7-4081-b2d1-72f716e19aa8/PMI_01_Anexoll.pdf?MOD=AJPERES. Acesso em: 15 de maio de 2018.

COTA, G. E. M.; ROSA, N. M. G.; ROMEIRO, C. E.; MENDES, I. A. S.; MAGALHÃES JR, A. P. Aspectos legais da segurança de barragens de rejeito de minério: implicações para a qualidade ambiental e usos múltiplos da água no Alto Rio das Velhas (MG). **Geographia**, Niterói, Universidade Federal Fluminense, v. 21 n. 45, p. 33-46, jan./abr., 2019.

COSTA, A. M.; SALIS, H. H. C.; VIANA, J. H. M.; AQUINO, J. N.; FERREIRA, M. P. R. Zoneamento Ambiental e Produtivo: uso da modelagem para identificação de potencialidades e limitações no uso do solo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 38, nº 300, p. 80-90, 2017.

COSTA, S. P.; MARTINS, R. A.; SANTOS, E. V.; SOUSA, A. T.; NOGUEIRA, P. H. S.; OLIVEIRA, R. S.; SILVA, H. M. M.; BRITO, J. M. G. Análise da dinâmica do uso da terra nas Áreas de Preservação Permanente na microbacia do Ribeirão da Serra no Município de Morrinhos – GO. **Braslian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 4117-4131, jan. 2021. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/23000/18480> Acesso em: 26 de junho de 2021.

DIAS, N. O.; MARTINS, F. C. M.; BARROS, K. O. Geotechnology applied to environmental diagnosis: Pinheiro Grosso Biological Reserve, Barbacena – Minas Gerais – Brazil. **Sociedade & Natureza**. Uberlândia, MG. v.32, p.116-129. 2020. ISSN 1982-4513. DOI: 10.14393/SN-v32-2020-45716 Acesso em: 05 de agosto de 2020.

DINIZ, J. M. F.; REIS, A. A.; ACERBI JUNIOR, F. W.; GOMIDE, L. R. Detecção da expansão da área minerada no quadrilátero ferrífero, minas gerais, no período de 1985 a 2011 através de técnicas de sensoriamento remoto. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v.20, n.3, pp.683-700, jul-set, 2014. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702014000300039>

DORR, J. V. N. **Physiographic, stratigraphic, and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil**. Washington, DC. 2ª ed. 117 f, 1969. ECOPLAN Engenharia Ltda., Skill Engenharia LTDA. **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas**. Porto Alegre: Ecoplan. 2015.

Disponível em: <https://siga.cbhvelhas.org.br/portal/siplan.zul>. Acesso em: 01 de junho de 2020.

Environmental Systems Research Institute - ESRI. **ArcGIS Desktop: Release 10.6.1**, Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, Inc., 2018.

ERCOLI, R. F.; MATIAS, V. R. S.; ZAGO, V. C. P. Urban Expansion and Erosion Processes in an Area of Environmental Protection in Nova Lima, Minas Gerais State, Brazil. **Frontiers in Environmental Science**, V. 8, P. 1-16, junho, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00052> Acesso em: 28 de junho de 2021.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de texto. 160 p. 2008.

FUJACO, M. A.G.; LEITE, M. G. P.; MESSIAS, M. C. T. B. Análise multitemporal das mudanças no uso e ocupação do Parque Estadual do Itacolomi (MG) através de técnicas de geoprocessamento. REM: **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, 63(4): 695-701, out. dez. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0370-44672010000400016>

GARCIA, J. R.; ANDRADE, D. C. Panorama geral da industrialização de Minas Gerais (1970-2000). **Leituras de Economia Política**, Campinas, (12): 155-182, jan. 2006/dez. 2007. Disponível em: <https://www.eco.unicamp.br/images/arquivos/artigos/LEP/L12/LEP127GarciaAndrade.pdf> Acesso em: 20 de julho de 2021.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Base Cartográfica Contínua do Brasil**, escala 1:250.000 – BC250 (base digital georreferenciada). Rio de Janeiro, Brasil: IBGE. 2018. Disponível em: ftp://geofp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bc250/versv_e2019/shapefile/. Acesso em: 01 de junho de 2020.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE cidades. 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/panorama> Acesso em: 21 de julho de 2021.

HORA, A. B. Análise da formação da base florestal plantada para fins industriais no Brasil sob uma perspectiva histórica. **BNDES Setorial**, n.42, p. 383-426, set. 2015. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/9615> Acesso em: 01 de julho de 2021.

JUNIOR, A. P.; SOUZA, M. N. D. O.; & ELERES, T. C. S. Valoração Dos Impactos Ambientais Na Exploração Mineral Do Ferro: O Caso De Uma Mineradora Em Floresta Do Araguaia–Pa. **Revista Engenharia Ambiental** - Espírito Santo do Pinhal, 13(2), 128-138. 2016.

LEMOS, R. S. A integração da gestão territorial a partir da política das águas. Orientador: Dr. Antônio Pereira Magalhaes Junior. 2018. 259 f. **Tese** (doutorado) – Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

LEMOS, R. S.; COTA, G. E. M.; ALCÂNTARA, J.; MAGALHÃES JR, A. P. Pressões ambientais e alterações de uso e ocupação do solo na bacia do Alto Rio das Velhas, Região de Belo Horizonte – MG. **XVIII – Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, p. 1-12, 2019.

LIMA, S. R. S. Caracterização e análise dos acidentes com barragens de rejeito de mineração no estado de Minas Gerais. Orientador: Dr. Paulo Pontes Araújo. 2016. 88 f. **TCC** (Especialização) – Pós Graduação Lato Sensu à distância em Geologia de Minas e Técnicas de Lavra a Céu aberto, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, Pará, 2016.

MAPBIOMAS. Coleção 5 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. 2019. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Escala: 1:100.000, (resolução espacial 30 m). 2020.

MAS J-F.; NOGUEIRA DE VASCONCELOS R.; FRANCA-ROCHA W. Analysis of High Temporal Resolution Land Use/Land Cover Trajectories. **Land**. 8 (2):30, p. 1-19. 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/land8020030> Acesso em: 28 de julho de 2021.

MATOS, A. C. S.; LEMOS, R. S.; SILVA, T. F. G.; ELEUTÉRIO, J. C.; NASCIMENTO, N. O. Evolução do uso e ocupação do solo em mananciais de abastecimento metropolitano na região metropolitana de Belo Horizonte, estado de Minas Gerais. **XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Florianópolis – Santa Catarina, p. 1-8, 2017.

MELLO, K.; TANIWAKI, R. H.; PAULA, F. R.; VALENTE, R. A.; RANDHIR, T. O.; MACEDO, D. R.; LEAL, C. G.; RODRIGUES, C. B.; HUGHES, R. M. Multiscale land use impacts on water quality: Assessment, planning, and future perspectives in Brazil, **Journal of Environmental Management**, V. 270, 2020, 110879, ISSN 0301-4797. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110879>. Acesso em: 03 de março de 2021.

MENDES, I. A. S. O USO DE GEOTECNOLOGIAS NA ORGANIZAÇÃO DO ESPAÇO. **Cadernos do Leste – Artigos Científicos**. Belo Horizonte, Jan-Dez. Vol.19 nº 19, p. 35-50, 2019.

MOREIRA, E. A. A ocupação da Bacia do Rio das Velhas relacionada aos tipos de solo e processos erosivos. **Dissertação** (mestrado). Pós Graduação em Geografia. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 149f. 2006.

PIROLI, E. L. **Introdução ao geoprocessamento**. Ourinhos: Unesp/Campus Experimental de Ourinhos, 2010. Disponível em: http://vampira.ourinhos.unesp.br:8080/cediap/material/livro_introducao_ao_geoprocessamento.pdf Acesso em: 24 de junho de 2021.

PIROLI, E. L.; LEVYMAN, L. A. Mudanças no uso da terra em microbacias hidrográficas urbanas com geotecnologias. **GEOGRAFÍA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**, v. 17, p. 1-15, 2020. ISSN 1852-8031. Disponível em: <https://87538a9a-4129-4498-961e->

1bc765cd62c3.filesusr.com/ugd/79758e_6fa58dbb56974b42b2fe6364bffaab53.pdf
Acesso em: 24 de junho de 2021.

Projeto MapBiomas – **Coleção 5 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**. Disponível em: https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR. Acesso em 08 de outubro de 2020.

REIS, P. E.; PARIZZI, M. G.; MAGALHÃES, D. M.; MOURA, A. C. M. O escoamento superficial como condicionante de inundações em Belo Horizonte, MG: Estudo de caso da Sub-bacia córrego Leitão, Bacia do Ribeirão Arrudas. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 31, n.1, p.3 - 46, 2012. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/5974/4467> Acesso em: 01 de julho de 2021.

REZENDE, V. L. A mineração em Minas Gerais: uma análise de sua expansão e os impactos ambientais e sociais causados por décadas de exploração. Soc. & Nat., Uberlândia, 28 (3): 375-384, set/dez/2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1982-451320160304> Acesso em: 02 de julho de 2021.

RIBEIRO, M. C., METZGER, J. P., MARTENSEN, A. C., PONZONI, F. J., & HIROTA, M. M. The brazilian atlantic forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? implications for conservation. **Biological Conservation**, 142(6), 1141-1153. 2009. doi:10.1016/j.biocon.2009.02.02. Disponível em: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-63349103172&origin=inward&txGid=a9441faba3ee5569c2a26fdfab28b9c0>. Acesso em: 03 de março de 2021.

ROSA, M.; SHIMBO, J. Z.; AZEVEDO, T. MapBiomas - Mapeando as transformações do território brasileiro nas últimas três décadas. p. 95-100, 2019. In: Desafios do processo frente à crise ambiental: **VIII Simpósio de Restauração ecológica** / Luiz Mauro Barbosa. São Paulo: Instituto de Botânica, 278p. 2019.

ROSAN, T. M.; GOLDEWIJK, K. K.; GANSZENMÜLLER, R.; O'SULLIVAN, M.; PONGRATZ, J.; MERCADO, L. M.; ARAGAO, L. E. O. C.; HEINRICH, V.; RANDOW, C. V.; WILTSHIRE, A.; TUBIELLO, F. N.; BASTOS, A.; FRIEDLINGSTEIN, P.; SITCH, S. A multi-data assessment of land use and land cover emissions from Brazil during 2000–2019. **Environmental Research Letters**, 16, p. 1-12. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac08c3> Acesso em: 28 de julho de 2021.

SALGADO, A. A. R.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. Impactos da silvicultura de eucalipto no aumento das taxas de turbidez das águas fluviais: o caso de mananciais de abastecimento público de Caeté/MG. **Geografias**. Belo Horizonte: 02(1) p. 47-57 janeiro-junho, 2006. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/13194/10428> Acesso em: 23 de julho de 2021.

SÁNCHEZ, L.E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos. 445p, 2008.

SGM - SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL. Boletim do Setor Mineral 2020 (Julho). 36p. Disponível em: <http://antigo.mme.gov.br/documents/36108/1006289/Boletim+do+Setor+Mineral+-+julho+2020/abfdb81f-e8e6-dd16-243f-87e97f23f418> Acesso em: 02 de julho de 2021.

SOBRAL, M. do C.; LOPES, H.; CANDEIAS, A. L.; MELO, G.; GUNKEL, G. Geotecnologias na gestão de reservatórios: uma revisão e uma proposta de integração. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 5, p. 841-852, Out. 2017.

SOUZA, C. M.; AZEVEDO, T. **MapBiomass General "Handbook"**. 2ª versão, dezembro, 2017. 23 p. 2017. Doi: 10.13140/RG.2.2.31958.88644. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/345239707_MapBiomass_General_Handbook Acesso em: 28 de agosto de 2020.

SOUZA, C. M. JR.; Z. SHIMBO, J.; ROSA, M. R.; PARENTE, L. L.; ALENCAR, A. A.; et al. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine - **Remote Sensing**, Volume 12, Issue 17, 10.3390/rs12172735, 27p. 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/17/2735/htm>. Acesso em: 28 de Agosto de 2020.

ZHANG, S.; FAN, W.; LI, Y.; YI, Y. The influence of changes in land use and landscape patterns on soil erosion in a watershed. **Science of The Total Environment**, v. 574, p. 34-45, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.024>. Acesso em: 28 de julho de 2021.

4. CAPÍTULO II: Potencial de Uso Conservacionista (PUC) e Uso e Cobertura atual da terra: reflexões e apontamentos de alternativas para recuperação e restauração de áreas prioritárias na região da Bacia Hidrográfica do Alto Rio das Velhas

RESUMO

Para auxiliar na gestão, gerenciamento e conservação dos recursos numa bacia hidrográfica, pesquisadores e empresas usufruem dos estudos integrados e metodologias que utilizam a geotecnologia na pesquisa como uma alternativa viável a redução de tempo e custos na compreensão e gestão do espaço. Levando em consideração a importância da Bacia do Alto Rio das Velhas e como a adoção de práticas de manejo de conservação da terra e da água inadequadas trazem sérios problemas para a sua gestão, este trabalho tem como objetivo principal a realização de um estudo integrado do PUC e análise atual do uso e cobertura da terra na Bacia do Alto Rio das Velhas. Para tal, foram utilizadas técnicas de cartografia e geoprocessamento para construção de mapas e espacialização do PUC e dos usos e cobertura da terra na área de estudo. O método PUC concilia a interpretação do meio físico com propósitos cartográficos contemplando neste trabalho a análise espacial da bacia hidrográfica do Alto Rio das Velhas, considerando os potenciais de uso agropecuário, recarga hídrica e resistência aos processos erosivos. O PUC se expressa através da álgebra de mapas e avaliações zonais a partir da ponderação de valores dados às classes de declividade, solos e litologia. A partir da análise integrada entre o PUC e uso e cobertura da terra, foi possível apontar áreas de fragilidade ambiental, além de discutir o método como ferramenta de gestão territorial e seu potencial para orientar políticas públicas. Dentre os resultados observados pode-se destacar que as áreas de PUC Muito Baixo e Baixo ocupam juntas 63,65% da área total da bacia. As feições de relevo variam de forte ondulado a montanhoso/escarpado com declividade acentuada. Os solos predominantes na área são Cambissolos e Neossolos. Estão concentrados, nessas áreas, usos como exploração mineral, infraestrutura urbana e, a presença de matas de galeria nas cabeceiras de drenagem onde se observa fragilidade para atividades agropecuárias. As regiões que apresentam PUC Médio, Alto e Muito Alto ocupam juntas 36,35% da área total de estudo. A declividade não ultrapassa 20%, as feições do relevo variam de plano a moderadamente ondulado. Os solos predominantes são os Cambissolos e Latossolos, mas também são encontradas pequenas manchas de Argissolos. As características de relevo, litologia e dos solos conferem uma maior estabilidade e, portanto, PUC mais alto, conferindo maior resistência contra os processos erosivos. Essas são áreas com maior propensão para uso agrícola, além da viabilidade para destinação à preservação de recursos naturais. A bacia em questão apresenta baixo potencial de uso nas regiões do alto curso, além das pressões ambientais e de exploração na área, levando em consideração a exploração mineral e os mananciais de captação de água e áreas de recarga. Sendo assim, essas áreas merecem atenção e são um desafio na gestão do território.

Palavras-Chave: Conservação da terra e água. Gestão de bacias hidrográficas. Fragilidade ambiental.

ABSTRACT

Knowledge of the physical environment is essential for understanding environmental relationships and for planning and managing land use in watersheds. To assist in the management, management and conservation of resources in a basin, researchers and companies take advantage of integrated studies and methodologies that use geotechnology in research as a viable alternative to reduce time and costs in the understanding and management of space. The Conservative Use Potential (PUC) methodology seeks to understand environmental relationships for land use planning, helping decision-making. Taking into account the importance of the Alto Rio das Velhas Basin and as the adoption of inadequate land and water conservation management practices bring serious problems to its management, this work has as main objective the realization of an integrated study of the PUC and current analysis of land use and land cover in the Upper Rio das Velhas Basin. To this end, cartography and geoprocessing techniques were used to build maps and spatialize the PUC and land uses and occupation in the study area. The PUC method reconciles the interpretation of the physical environment with cartographic purposes, contemplating in this work the spatial analysis of the Alto Rio das Velhas watershed, considering the potential for agricultural use, water recharge and resistance to erosive processes. The PUC is expressed through the algebra of maps and zonal assessments from the weighting of values given to slope classes, soils and lithology. Based on the integrated analysis between the PUC and land use and cover, it was possible to point out areas of environmental fragility, in addition to discussing the method as a territorial management tool and its potential to guide public policies. Among the results observed, it can be highlighted that the PUC Very Low and Low areas together occupy 63.65% of the total area of the basin. Relief features vary from strongly undulating to mountainous/craggy with steep slopes. The predominant soils, "Cambissolos" and "Neossolos" (Brazilian soil classification system's class), are influenced by the source material. Mineral exploration, urban infrastructure and the presence of gallery forests in the drainage headwaters are concentrated in these areas, where fragility for agricultural activities is observed. The regions with Medium, High and Very High PUC together occupy 36.35% of the total study area. The declivity does not exceed 20%, the relief features vary from flat to moderately undulating. The predominant soils are "Cambissolos" and "Latosolos", but small patches of "Argissolos" (Brazilian soil classification system's class) are also found. The relief, lithology and soil characteristics provide greater stability and, therefore, a higher PUC favors greater resistance to erosive processes. These are areas with greater propensity for agricultural use, in addition to the feasibility of destination for the preservation of natural resources. The basin in question has low potential for use in the upper reaches, in addition to environmental and exploration pressures in the area, taking into account mineral exploration and sources of water capitation and recharge areas. Therefore, these areas deserve attention and are a challenge in the management of the territory.

Keywords: Conservation of land and water. Watershed management. Environmental fragility.

1. INTRODUÇÃO

A superfície terrestre é o palco no qual acontecem todas as atividades econômicas e relações sociais humanas (NASCIMENTO & SOUZA, 2013). Muitas vezes, as formas de ocupação da superfície terrestre geram desequilíbrios com consequente degradação ambiental. Esses desequilíbrios podem ser provocados pelo homem, que tem a capacidade de alterar a vegetação, as formas de erosão, modificar os solos e as condições hidrográficas, o que influencia diretamente na qualidade de vida da população.

Saber aproveitar as informações e utilizar as características físicas de uma determinada área é fundamental para planejamento de uso e manejo adequado. Analisar o ambiente de forma física torna-se essencial para compreensão das relações de uso e ocupação do espaço e, também, para o estabelecimento dos critérios de uso e ocupação da área. No Brasil, as discussões relacionadas à temática da análise ambiental estão muito entrelaçadas ao tema “recursos hídricos” (COSTA et al., 2017b).

A bacia hidrográfica é uma unidade territorial com limites naturais de escoamento e drenagem de um rio principal e seus afluentes. A Lei Federal nº 9.433, de janeiro de 1997, institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH) e classifica a bacia hidrográfica como unidade territorial para implementação da PNRH e atuação do SNGRH, determinando que a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada, contando com a participação dos usuários, das comunidades e do Poder Público (BRASIL, 1997).

Para que a bacia seja uma unidade territorial de planejamento, é preciso, necessariamente, que ela possua um modelo de gestão e governança que leve em consideração as particularidades existentes no seu interior. Para que seja utilizada como unidade de análise ambiental, é necessário que todos os seus componentes físicos e bióticos sejam igualmente levados em consideração, além dos aspectos políticos, sociais e econômicos (SILVA & PAES, 2018).

É preciso destacar, ainda, que a variabilidade de características ambientais e sociopolíticas nas bacias hidrográficas constitui um dos grandes desafios na sua gestão. Isso porque, apesar de sua delimitação ser natural, seu interior apresenta

múltiplos atores e esses, mesmo inseridos num contexto coletivo de utilização de água, possuem interesses individuais que se divergem (COSTA et al., 2017a).

O estado de Minas Gerais intensificou a criação, atuação e fortalecimento dos comitês de bacias hidrográficas (a partir do estabelecimento da política estadual de recursos hídricos) para nortear e propor ações de gerenciamento dos seus recursos, levando em consideração o contexto coletivo e os interesses individuais de cada integrante na bacia.

Para auxiliar na gestão, gerenciamento e conservação dos recursos numa bacia hidrográfica, pesquisadores e empresas usufruem de estudos integrados e metodologias que utilizam a geotecnologia na pesquisa como uma alternativa viável para redução de tempo e custos na compreensão e gestão do espaço. Tais estudos proporcionam o entendimento do comportamento do ambiente natural e suas dinâmicas como um todo (ROSS, 1994).

Nesse contexto, pensando nas demandas em geotecnologia, em especial para o estado de Minas Gerais, foram desenvolvidos alguns instrumentos metodológicos para análise da organização do espaço que contribuem para sua gestão. Esses instrumentos influenciam na agilidade para fiscalização e, conseqüentemente, cumprimento de leis pertinentes (LUPPI et al., 2015).

O Zoneamento Ambiental Produtivo (ZAP) é uma dessas metodologias oficializadas em Minas Gerais, a partir do Decreto Estadual nº 46.650/ 2014 (MINAS GERAIS, 2014), que possibilita a realização de uma análise integrada da gestão dos recursos de uma bacia. A aplicação dessa metodologia é desenvolvida em quatro etapas, sendo elas: seleção da área de estudo; definição das unidades de paisagem; avaliação da pressão hídrica e levantamento do uso e ocupação da terra (FEAM/SEAPA, 2020).

Com finalidade de apresentar critérios de ponderação de um método alternativo para a etapa de definição das unidades de paisagem, Costa et al. (2017b) propuseram o método denominado Potencial de Uso Conservacionista (PUC). O PUC busca, a partir de critérios técnicos e objetivos, levantar as potencialidades e limitações do meio físico como subsídio ao planejamento e ordenamento territorial do uso da terra em bacias hidrográficas, considerando diferentes variáveis físicas (solo, litologia e declividade) (COSTA et al., 2017b; 2019a).

Destaca-se a possibilidade de realizar uma análise integrada ao diagnóstico do uso e ocupação do solo como uma das formas de interpretação do PUC. Essa

interpretação mensura qual a sua configuração em áreas com maior ou menor potencial para resistência à erosão, recarga hídrica e atividades agropecuárias. “Isso permite identificar, por exemplo, se o uso atual está em conformidade com o potencial de uso da área, de forma a garantir maior sustentabilidade da mesma” (COSTA et al., 2019b, p. 109). Ferramentas como o PUC são necessárias para melhor compreensão e gestão do espaço (COSTA et al., 2017a; COSTA et al., 2019a; COSTA et al., 2019b; AQUINO et al., 2020; TENENWURCEL et al., 2020; FREITAS et al., 2022; MUCIDA et al., 2023).

O uso e práticas de manejo inadequados do solo podem aumentar os processos erosivos, reduzir a produtividade agrícola, contaminar e assorear os cursos de água e, como consequência, reduzir a qualidade e quantidade de água disponível para a população. Pensando na importância da Bacia do Alto Rio das Velhas e em como a adoção de práticas de manejo de conservação do solo e da água inadequados trazem sérios problemas para sua gestão, vê-se necessária a realização de estudos integrados como o método do Potencial de Uso Conservacionista (PUC), associado ao uso e cobertura da terra na bacia para subsidiar a sua gestão adequada.

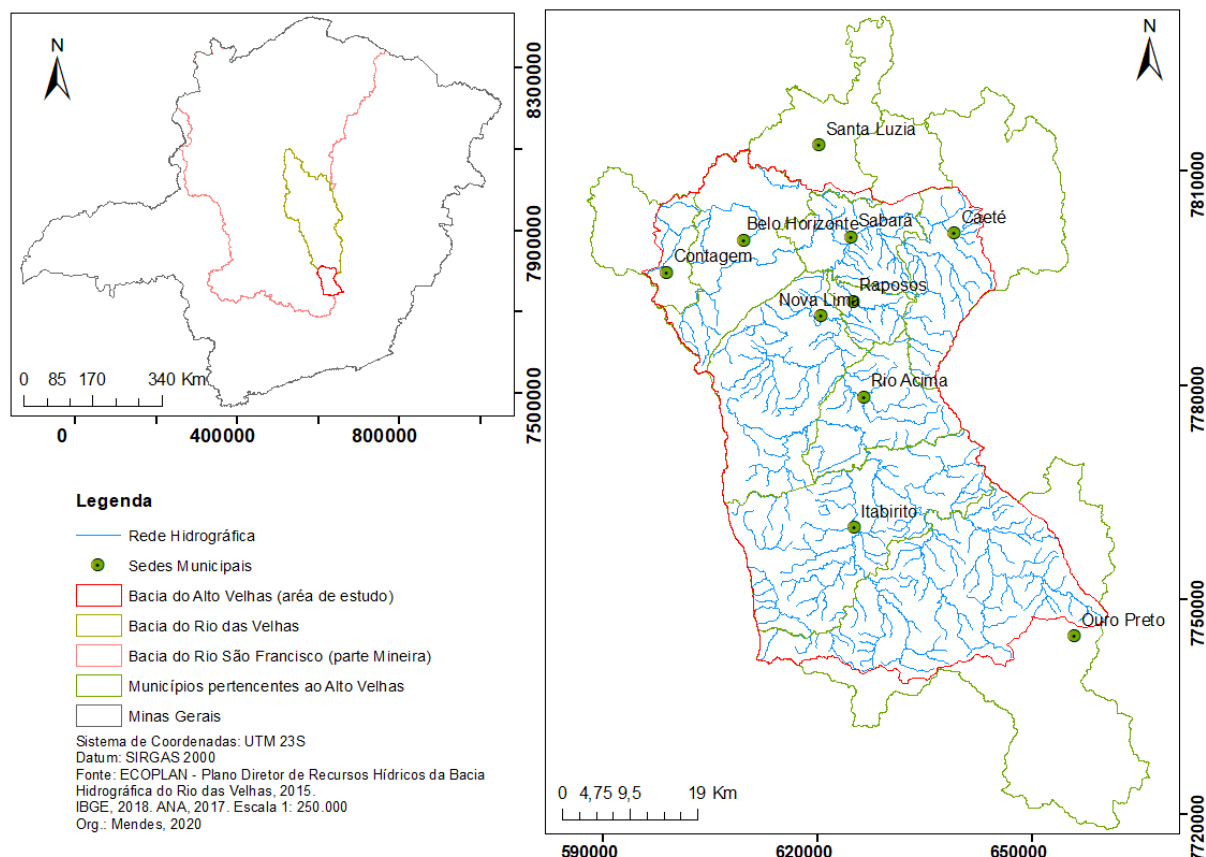
Dentro desse contexto, este trabalho tem como objetivo principal a realização de um estudo integrado do PUC e análise do uso e cobertura da terra na Bacia do Alto Rio das Velhas (anos de 1985 e 2019), com o propósito de apontar áreas de fragilidade ambiental, identificando aquelas de maior e menor potencial para recarga hídrica, uso agropecuário e resistência a processos erosivos. Foram realizadas também análises das conexões entre o uso e ocupação e o potencial de uso conservacionista na bacia, a sua dinâmica ambiental e discutir o PUC como ferramenta de gestão territorial e seu potencial para orientar políticas públicas.

1.1 Área de Estudo

A bacia hidrográfica do Rio das Velhas está localizada na porção central do estado de Minas Gerais (Figura 13). O Rio das Velhas apresenta uma área de 27.850 km², possui uma extensão de 806,84 km, nascendo no município de Ouro Preto e desaguando no Rio São Francisco em Barra do Guaicuí, distrito de Várzea da Palma (CBHVELHAS, 2015). Em seu alto curso (área de estudo), o Rio das

Velhas atravessa os municípios de Nova Lima, Itabirito, Belo Horizonte, Raposos, Rio Acima, Contagem, Santa Luzia, Ouro Preto, Caeté e Sabará.

Figura 13 – Mapa do Contexto hidrográfico da bacia do Alto Rio das Velhas em relação ao estado de Minas Gerais.



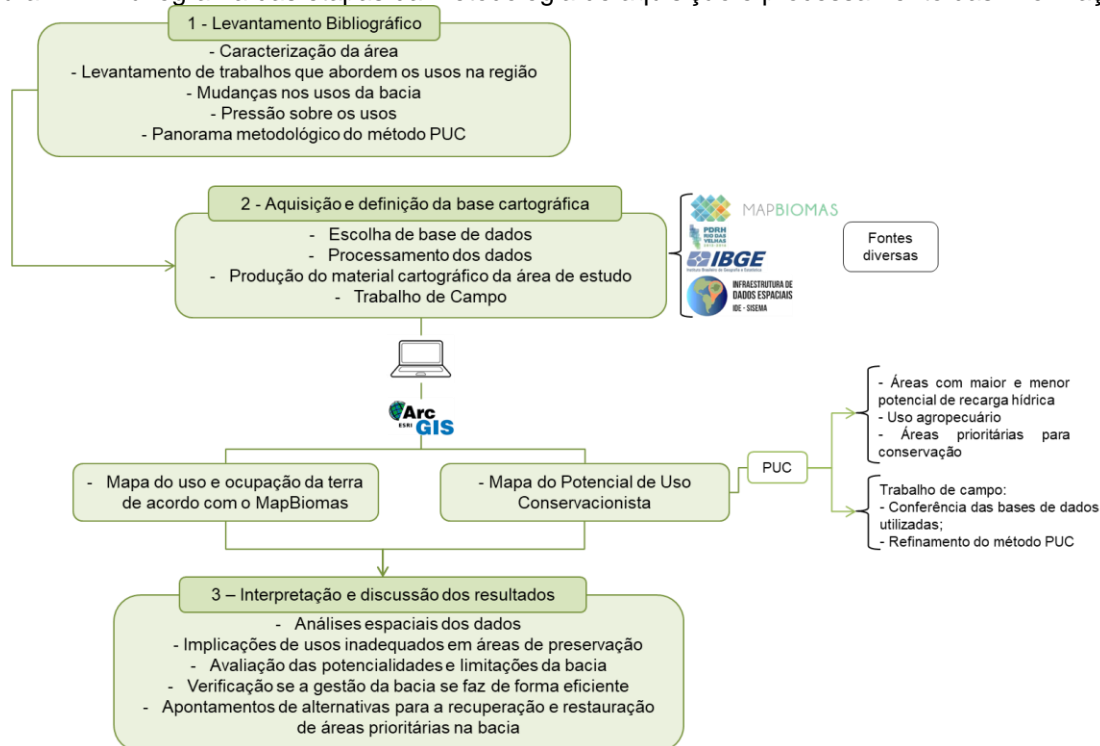
A área de estudo está sob o domínio do grande grupo geológico Quadrilátero Ferrífero, que é sustentado por quartzitos e itabiritos, rochas resistentes do Supergrupo Minas, que concentram uma quantidade significativa de nascentes de cursos de água. No entanto, esse grupo geológico é marcado pela intensa exploração mineral em decorrência das jazidas minerárias na região, nas quais a extração vem há décadas influenciando e impactando a qualidade ambiental da bacia do Rio das Velhas (LOPES; CARVALHO & MAGALHÃES JR, 2011).

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

De acordo com o objetivo da pesquisa, a escolha do modelo metodológico fundamentou-se em determinar as potencialidades e limitações da área de estudo como subsídio ao ordenamento e planejamento do uso da terra na bacia.

Para o desenvolvimento deste estudo, foi realizada uma revisão sobre o histórico do uso e ocupação do solo na bacia do Alto Rio das Velhas. Em seguida, aliadas ao trabalho de gabinete utilizaram-se técnicas cartográficas para confecção de mapas temáticos, que foram utilizados como recurso para identificação das potencialidades e vulnerabilidades ambientais da área de estudo (Figura 14).

Figura 14 – Fluxograma das etapas da metodologia de aquisição e processamento das informações.



Fonte: Elaborado pela autora.

As bases de dados espaciais utilizadas neste estudo foram compostas de planos temáticos de informação geográfica no formato vetorial do tipo shapefile (hidrografia, solos, litologia, limite estadual e bacias) e matricial (declividade e raster), extraídos de diferentes plataformas de acesso livre, conforme Tabela 7.

Tabela 7 – Bases de dados espaciais

Bases	Fontes	Escalas numéricas
Limite estadual MG	IBGE, 2018.	Não informado
Limite bacias hidrográficas	Consórcio ECOPLAN Engenharia Ltda. – Skill Engenharia LTDA, 2015.	Não informado
Rede hidrográfica	ANA, 2017.	1:250.000
Mapa de solos área de estudo	UFV et al., 2010.	1:650.000
Mapa geológico da área de estudo	UFOP, 2019.	1:150.000

Modelo Digital de Elevação (MDE) ALOS Palsar	ASF, 2015.	Resolução espacial de 12,5 metros
Mapa de uso e ocupação da terra (anos 1985 e 2019)	MapBiomass, 2019.	1:100.000 (resolução espacial 30 m).

Fonte: Elaborado pela autora.

Considerando a base de solos disponível (UFV et al., 2010), foram realizadas adaptações no mapa da FEAM (UFV et al., 2010) com base em estudos locais que apresentaram a classificação de solo predominante, ou seja, aquela que melhor representava a área (PROJETO APA SUL RMBH, 2005; SCALCO, 2009). No que se refere à base de litologia (UFOP, 2019), algumas classes não apresentaram pesos para o método PUC, conforme descrito por Costa et al. (2017b). Sendo assim, a partir de revisão bibliográfica, a definição do peso dessas classes considerou litologias equivalentes encontradas em trabalhos desenvolvidos na mesma área de estudo. Por exemplo, para metaperidotito foi considerado metaultramáfica (FONSECA & EVANGELISTA, 2013); para metamargas foi considerado xisto (FREITAS, 2019) e para metabasalto foi considerado basalto (ZUCCHETTI, 1998).

Devido à inexistência de levantamento pedológico para a área urbana representada na base de solos, optou-se por não a considerar durante o processamento do modelo para não comprometer os resultados de valores de PUC.

O processamento dos dados, geoprocessamento e composição cartográfica das bases se deu através da aplicação da ferramenta ArcMap, disponível no Software ArcGIS (versão 10.6.1) para *desktop* (ESRI, 2018).

2.1 Uso e Cobertura da terra

Para produção do mapa de uso e cobertura da terra atual da área de estudo, foi utilizado o projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso da Terra do Brasil, o MapBiomass (Projeto MapBiomass, 2020), que, na versão 5, mapeou as diferentes formas de uso e cobertura de todo o Brasil. Para este trabalho foram utilizados os biomas Cerrado e Mata Atlântica, com o recorte da bacia do Alto Rio das Velhas para os anos de 1985 e 2019.

2.2 Potencial de Uso Conservacionista

O método Potencial de Uso Conservacionista (PUC) foi aplicado conforme proposta de Costa et al. (2017b; 2019a; 2019b). A metodologia do PUC foi utilizada por ser uma ferramenta oficial reconhecida pelo estado de Minas Gerais através da deliberação nº 12 de 01 de agosto de 2018, conforme proposto no Zoneamento Ambiental Produtivo (ZAP) do Rio Manso (UFMG/IGC-Laboratório de Solos e Meio Ambiente, 2017).

Para aplicação do método PUC foram obedecidas as seguintes etapas:

- i. Processamento das bases cartográficas, que consistiu na padronização dos sistemas de coordenadas dos dados vetoriais e matriciais, convertendo todas as bases para a projeção plana Universal Transversa de Mercator (UTM), fuso 23S e *datum* SIRGAS2000, permitindo cálculos de áreas com maior confiabilidade.
- ii. Atribuição de pesos às variáveis ambientais (declividade, solos e litologias) para aplicação do método PUC, conforme proposto por Costa et al. (2017b). De acordo com esses autores, os critérios de ponderação para escolha das variáveis ambientais levaram em consideração os atributos dessas variáveis que influenciam nos processos de recarga hídrica, resistência aos processos erosivos e uso agropecuário. Os pesos para as classes de declividade, solos e litologias foram atribuídos conforme Tabela 8, Tabela 9 e Tabela 10, respectivamente.

Tabela 8 – Pesos atribuídos às classes de declividade para área de estudo

Declividade (%)	Fases do relevo	Peso PUC
0 a 3	Plano	5
3 a 8	Suave Ondulado	4
8 a 20	Moderadamente Ondulado a Ondulado	3
20 a 45	Forte Ondulado	2
> 45	Montanhoso a escarpado	1

Fonte: Adaptado de Costa et al. (2017b).
Elaborado pela autora.

Tabela 9 – Pesos atribuídos às classes de solos para a área de estudo

Classes de solos	Peso PUC
Área urbana	0
Neossolo	1,2
Cambissolo	2,6
Argissolo	4,0
Latossolo	4,7

Fonte: Adaptado de Costa et al. (2017b).
Elaborado pela autora.

Tabela 10 – Pesos atribuídos às litologias para a área de estudo

Litologias	Peso PUC
Quartzito	1
Itabirito	1,2
Metadiamicrito	1,2
Metarenito	1,2
Xisto	1,3
Filito	1,4
Granito	1,5
Metaconglomerado	1,5
Gnaisse	1,7
Metaultramáfica	2,5
Basalto	3,1

Fonte: Adaptado de Costa et al. (2017b).
Elaborado pela autora.

- iii. Execução da álgebra de mapas, com o peso de cada variável (Figura 15); e definição das classes do PUC, como descrito por Costa et al. (2017b; 2019a; 2019b), conforme a Equação 1:

$$PUC = (DECLIVIDADE \times 0,50) + (SOLOS \times 0,39) + (LITOLOGIA \times 0,11) \text{ Equação (1)}$$

Na equação PUC, o valor de ponderação 0,50 representa que aproximadamente 50% do PUC pode ser explicado pela variável declividade, visto que representa a forma do terreno e o grau de acesso à área, além de determinar o fluxo de escoamento. O valor de ponderação 0,39 representa que aproximadamente 39% do PUC pode ser explicado pela variável solos, tendo em vista que ela determina a capacidade de armazenamento de água na camada efetiva do solo, o grau de fertilidade natural e a resistência ou a vulnerabilidade aos processos erosivos. Já o valor de ponderação 0,11, representa que aproximadamente 11% do PUC pode ser explicado pela variável litologia, que relaciona a composição química e mineralógica das rochas com a resistência à denudação (COSTA et al., 2019a).

Em seguida, o raster foi novamente reclassificado de acordo com intervalos obtidos a partir da equação 1, em ordem crescente, pelos números inteiros de 1 a 5 (UFMG/IGC-Laboratório de Solos e Meio Ambiente, 2017; COSTA et al., 2019a; COSTA et al., 2019b). Para cada classe do PUC foi atribuída uma simbologia representativa, em cores, a fim de padronizar os resultados na produção cartográfica (Tabela 11).

Tabela 11 – Intervalos de abrangência e cores das classes para representação do PUC

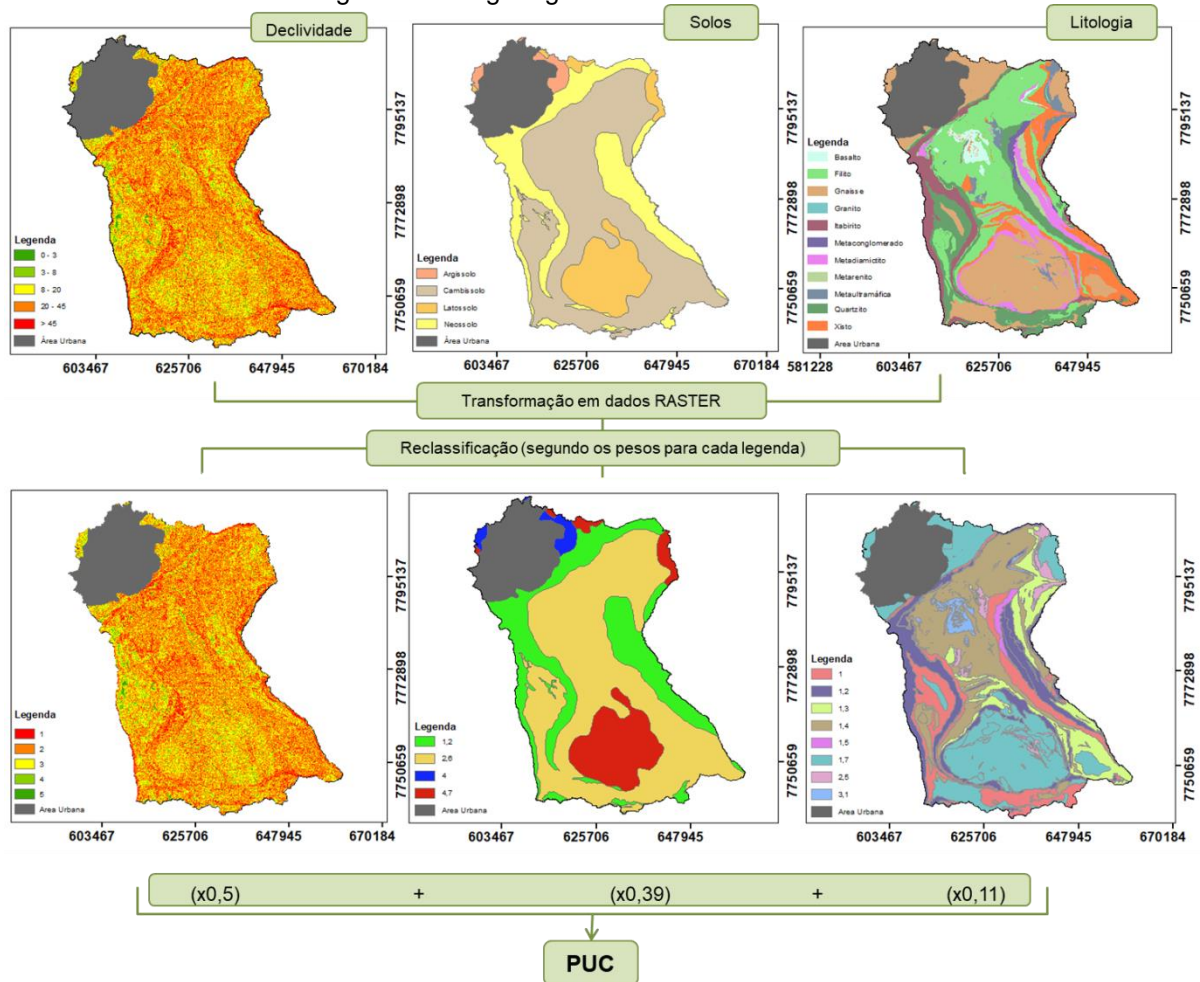
Classes	Intervalos	Cores de representação
Muito baixo	1,0 a 1,8	Vermelho
Baixo	1,8 a 2,6	Laranja
Médio	2,6 a 3,4	Amarelo
Alto	3,4 a 4,2	Verde
Muito Alto	4,2 a 5,0	Azul

Fonte: Adaptado de Costa et al. (2019a).
Elaborado pela autora.

A Tabela 11 mostra que o menor número representa as áreas de PUC muito baixo e o maior representa as áreas de PUC muito alto, conforme as classes.

A Figura 15 apresenta o organograma das variáveis PUC com as bases de dados originais e a base reclassificada.

Figura 15 – Organograma das variáveis do PUC.



Fonte: Elaborado pela autora baseado em Costa et al. (2017b; 2019a; 2019b).

A última etapa foi a construção da matriz PUC obtida conforme proposto no Zoneamento Ambiental Produtivo do Rio Manso (UFMG/IGC-LABORATÓRIO DE SOLOS E MEIO AMBIENTE, 2017). A matriz foi realizada a partir do cruzamento do PUC com o uso e ocupação da terra na bacia do Alto Rio das Velhas, destacando como as classes de uso estão representadas sobre os diferentes níveis de PUC na referida área de estudo. Dessa forma, o PUC permite avaliar quais áreas na bacia demandam maior priorização na adoção de práticas conservacionistas e também áreas com maior potencial de respostas à implementação de ações (COSTA et al., 2019b).

2.3 Trabalho de Campo

O trabalho de campo foi realizado tendo em vista a sua importância na caracterização da área de estudo, no auxílio da conferência das bases de dados utilizadas e no refinamento do método PUC utilizado. Os pontos amostrais consistiram em classes e zonas formadas de acordo com resposta a cada intervalo PUC, na escala de potencialidades, de Muito Baixo ao Muito Alto.

Ajustes matemáticos e inserção de outras camadas para análise são possíveis no PUC, visto que se trata de um modelo suscetível à calibração. Assim, o refinamento do método também funciona como instrumento de aferição das leituras obtidas quanto às realidades expressas nas formas da paisagem, em relação aos potenciais naturais do meio físico (que tratam da resistência à erosão, dos potenciais agropecuários e de recarga hídrica) considerando inicialmente as bases de classes de solos, litologia e declividade.

Para o levantamento e refinamento do método em campo foram utilizados aparelho de GPS (modelo Garmin GPSMAP 64s), bases cartográficas de solos na escala 1:650.000 (UFV et al., 2010), litologia na escala 1:150.000 (UFOP, 2019), uso e ocupação atual (ano de 2019) pelo MapBiomas e o PUC para confrontar as informações geradas pelo mapa com o que era observado em campo.

Os pontos de amostragem foram previamente estabelecidos e distribuídos ao longo da bacia do Alto Rio das Velhas. Para sistematizar a definição dos pontos, foi realizado um levantamento prévio de pontos que representavam de forma amostral as transições de classes, zonas de PUC, delimitadores de paisagem, além da

melhor distribuição espacial viável, em diferentes condições de uso e cobertura da terra.

Os pontos de amostragem realizados são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Descrição dos pontos de amostragem.

Ponto	UTM 23K	Localização	Altitude (m)	Descrição
P1	658590 7747533	Ouro Preto	1.305	Borda, transição para PUC Alto. Transição mata atlântica-cerrado. Alguns patamares mais suavizados; colinas alongadas, com cicatrizes, possíveis movimentações de material. Avista a Serra do Ouro (folha Mariana, IBGE) (vista para a serra do Caraça)
P2	657656 7747574	Ouro Preto	1.263	Vertentes suavizadas no entorno; pequena queda d'água. No interior do parque, nascente do Velhas.
P3	635973 7746802	Santo Antônio do Leite	1.149	Região com voçorocamento intenso
P4	599383 7803476	Contagem	885	Área de transição de PUC. Formas com topos longos e declividade acentuada, com remobilização e cortes de terra, além de terraceamentos. Área industrial.
P5	598274 7803894	Contagem	923	Voçorocas. Saprolito com apresentação de feldspatos e quartzitos. Relevo suave. Área de transição de PUC – médio e alto
P6	597299 7804314	Contagem	893	Às margens da 040; área brejosa impactada. Obras de modificação da vertente. Presença de vereda (limite entre bacias – Paraopeba e Velhas)
P7	612563 7791357	Belo Horizonte, Nova Lima	1.195	Adensamento urbano; mineração; processos erosivos nas reentrâncias das vertentes; acesso controlado; movimentos de massa (incluindo blocos) - contenções diversas. Conjunto de serras da Serra do Curral. Transição quartzitos e itabiritos
P8	624645 7790725	Raposos	715	Ausente a APP (muito alterada, sem conservação). Vê-se, nas casas, à beira do rio, marcas muito altas da cheia do Rio das Velhas
P9	623318 7791731	Raposos	950	Transição de PUC (baixo e médio). Processos erosivos nas encostas. Depósito de entulhos. Estrada de terra. Pastagens a caminho do ponto. Uso da estrada como trilha de motos
P10	623731 7793406	Raposos	715	Veem-se barras do Velhas (de deposição); região com assoreamentos. As margens estão vegetadas. Declividade alta. Seguem as construções à beira rio. Asfaltamento se encerra adiante e tem longo trecho de terra, na estrada para Sabará.

Elaborado pela autora.

Dessa forma, o acesso aos pontos de amostragem foi realizado a partir das coordenadas geográficas previamente estabelecidas em gabinete. O acesso a alguns pontos previamente determinados em gabinete foi dificultado por motivos diversos, como inexistência de estradas, pontos dentro de propriedades privadas e pontos localizados dentro de mineradoras. Nesses casos, os pontos foram deslocados e foram consideradas as características do PUC para o local no qual foi

possível fazer as observações. Para os pontos nos quais, mesmo com o deslocamento, não foi possível a observação, especialmente os pontos localizados dentro de mineradoras, optou-se por fazer as considerações a partir de imagens de satélite disponíveis no Google Earth.

As observações de campo esperadas para o refinamento do Método na bacia do Alto Rio das Velhas estavam concentradas nos processos de encosta (incluindo perda de solos por erosão e movimentos de massa), ou seja, muito relacionadas às formas de uso e às formas da paisagem. Também se relacionavam aos impactos e/ou interações com os recursos hídricos, sobretudo ao próprio Rio das Velhas, e ao contexto das porções mais adensadas, urbanizadas, em que pudessem ser feitas leituras das relações com os usos e coberturas, bem como da adequabilidade ou limitações das bases de dados regionais utilizadas (escalas), como inputs ao modelo do PUC.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Do Potencial Físico da área ao histórico de uso e cobertura da terra na Bacia do Alto Rio das Velhas – MG

As variáveis utilizadas para aplicação do método PUC são apresentadas na Tabela 13. Observa-se que 57,09% da área da bacia encontra-se sob relevo forte ondulado a escarpado e, associada a essas declividades, tem-se a presença dominante de Cambissolos (50,65%) e litologia com predominância de Gnaisse (36,13%), Filito (21,87%) e Quartzito (12,58%).

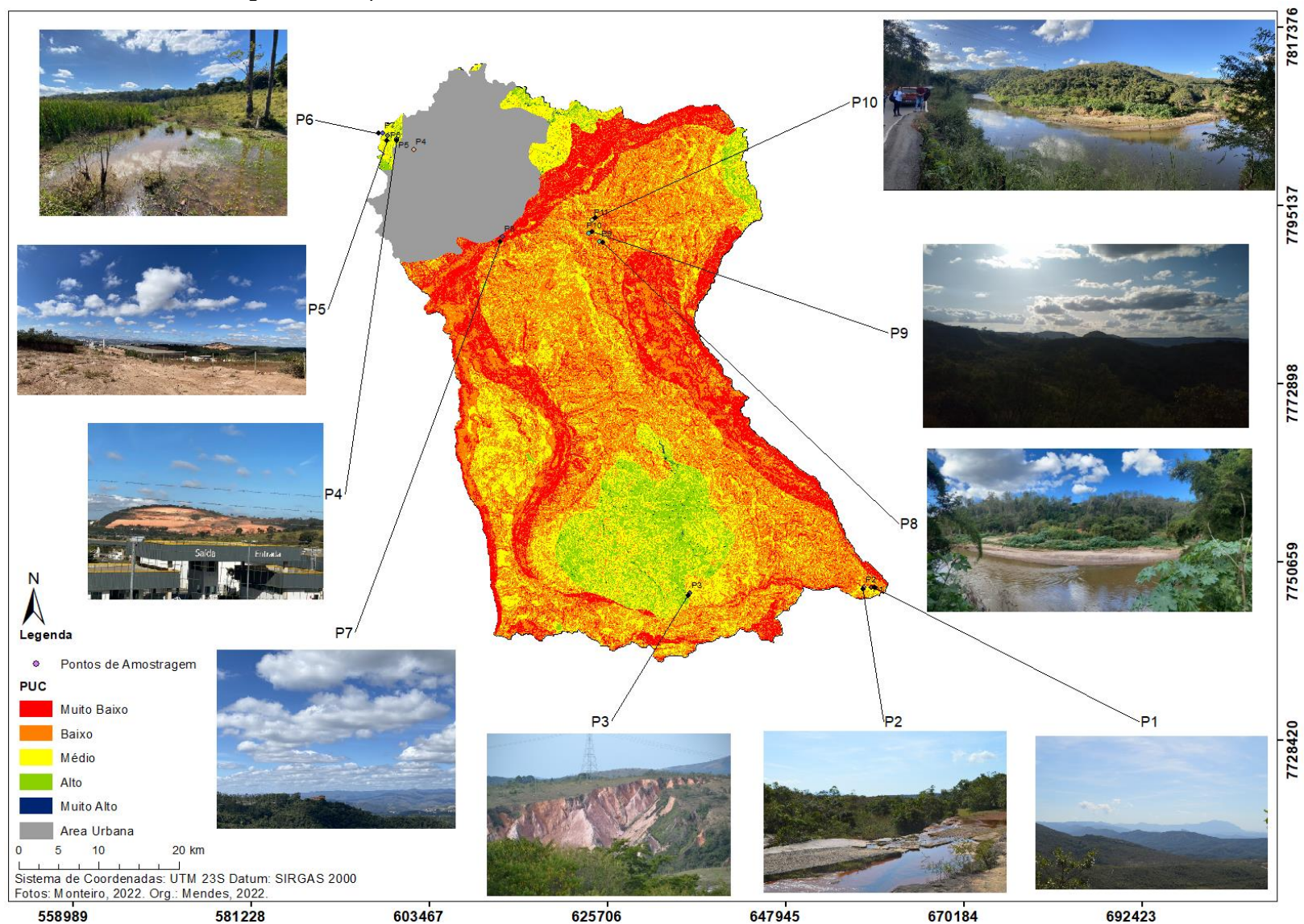
Tabela 13 - Variáveis ambientais para a bacia do Alto Rio das Velhas, MG.

Declividade – Relevo	% ocupada na bacia
Plano (0 – 3%)	1,31
Suave Ondulado (3 – 8%)	8,95
Moderadamente Ondulado a Ondulado (8 – 20%)	32,65
Forte Ondulado (20 – 45%)	47,88
Montanhoso a escarpado (>45%)	9,21
Litologia	% ocupada na bacia
Quartzito	12,58
Itabirito	7,19
Metadiamicrito	5,59
Metarenito	1,24
Xisto	9,84
Filito	21,87
Granito	0,07
Metaconglomerado	0,91
Gnaisse	36,13
Metaultramáfica	2,70
Basalto	1,88
Solos	% ocupada na bacia
Latossolo	12,74
Argissolo	1,78
Cambissolo	50,65
Neossolo	22,32
Área urbana	12,51

Elaborado pela autora.

A partir da metodologia e equação aplicada que definem o PUC, foi possível classificar a Bacia do Alto Rio das Velhas em cinco níveis de potencialidade: Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito Alto. A Figura 16 apresenta o mapa resultante da interação entre as variáveis utilizadas no PUC: declividade, litologia e solos.

Figura 16 - Mapa do Potencial de Uso Conservacionista da Bacia do Alto Rio das Velhas.



Fonte: Elaborado pela autora.

A Tabela 14 apresenta a síntese dos resultados do zoneamento do PUC na área de estudo, mostrando a porcentagem de ocupação de cada classe na bacia. As regiões que apresentam valores de PUC Muito Baixo (entre 1,0 – 1,8) e Baixo (entre 1,8 – 2,6) estão localizadas na porção norte (Serra do Curral e Serra da Piedade), nos interflúvios nas margens esquerda (porção noroeste – Serra da Moeda e sudoeste), onde se concentram a infraestrutura urbana e exploração mineral, na margem direita (porção leste – Serra do Gandarela) e porção central da bacia. As classes de Médio (2,6 – 3,4), Alto (3,4 – 4,2) e Muito Alto (4,2 – 4,6) se apresentam na porção sul da bacia, na região do complexo do Baçõ (entre os municípios de Ouro Preto e Itabirito) e nas porções norte (abrangendo parte dos municípios de Contagem, Belo Horizonte, Sabará e Santa Luzia) e nordeste (localizada no município de Caeté).

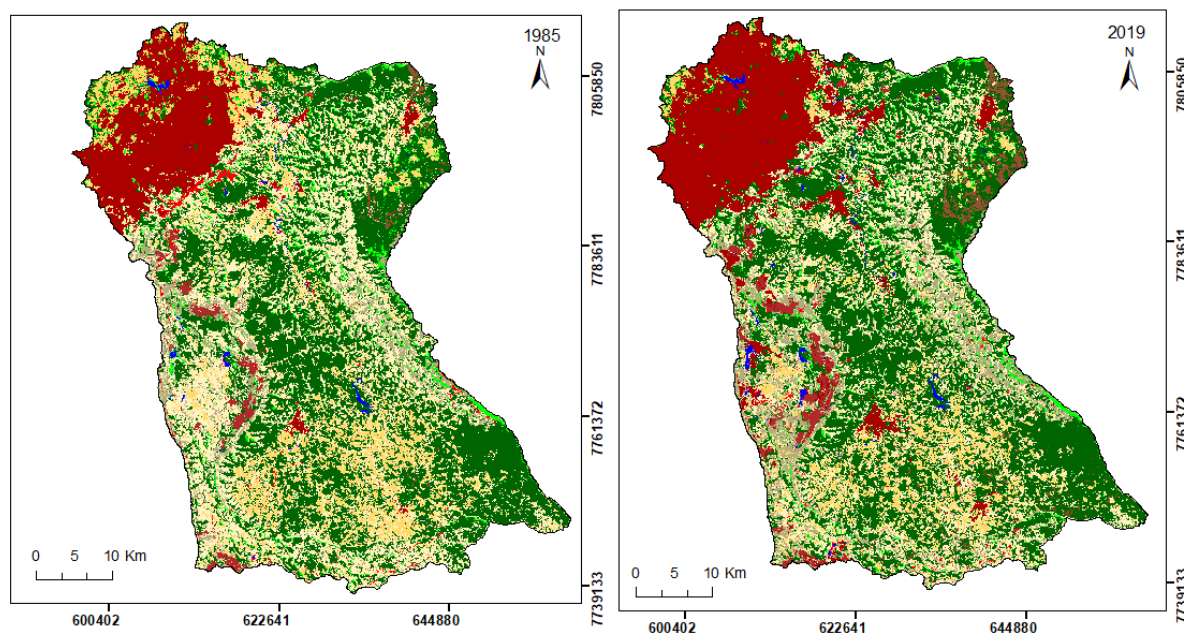
Tabela 14 - Classes do PUC e suas respectivas porcentagens de áreas para a bacia do Alto Rio das Velhas - MG.

Classes PUC	Intervalo	%
Muito Baixo	1,0 – 1,8	21,30
Baixo	1,8 – 2,6	42,35
Médio	2,6 – 3,4	28,63
Alto	3,4 – 4,2	7,53
Muito Alto	4,2 – 4,6	0,19

Elaborado pela autora.

Foram mapeadas 12 classes de uso e cobertura da terra (Figura 17). As classes formação florestal e mosaico de agricultura e pastagem somadas ocupam mais de 50% da área de estudo, apresentando um percentual de ocupação de 66,68% no ano de 1985 e 60,99% no ano de 2019 (Tabela 15).

Figura 17 - Mudança temporal da cobertura e uso da terra nos anos de 1985 e 2019 na Bacia do Alto Rio das Velhas



Legenda

Afloramento Rochoso	Formação Florestal	Mineração	Outras Lavouras Temporárias	Outras Áreas não Vegetadas
Floresta Plantada	Formação Savânica	Mosaico de Agricultura e Pastagem	Pastagem	Rio, Lago
Formação Campestre	Infraestrutura urbana			

Sistema de Coordenadas: UTM 23S
Datum: SIRGAS 2000 Fonte: MAPBiomass, 2020. ECOPLAN - Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas, 2015.

Elaborado pela autora.

Tabela 15 - Evolução do uso da terra nos anos de 1985 e 2019 na Bacia do Alto Velhas.

Classes de Uso e Ocupação da terra	1985		2019	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Afloramento Rochoso	12.981,64	4,74	21.540,67	7,86
Floresta Plantada	1.146,34	0,42	4.577,33	1,67
Formação Campestre	3,92	0,00	_* ¹³	_*
Formação Florestal	106.995,54	39,05	10.8429,46	39,58
Formação Savânica	9.272,36	3,38	7.941,38	2,90
Infraestrutura Urbana	29.158,04	10,64	42.735,92	15,60
Mineração	3.167,54	1,16	4.327,36	1,58
Mosaico de Agricultura e Pastagem	75.687,85	27,63	58.661,49	21,41
Outras Áreas Não Vegetadas	2.438,77	0,89	1.448,34	0,53
Outras Lavouras Temporárias	38,63	0,01	262,00	0,10
Pastagem	32.113,05	11,72	22.710,29	8,29
Rio, Lago	971,16	0,35	1.340,62	0,49

Elaborado pela autora.

Na Tabela 16 é apresentada a Matriz de Potencial de Uso Conservacionista (Matriz PUC). A Matriz PUC permite identificar se o uso atual está em conformidade

¹³ * A classe Formação Campestre não foi observada na área de estudo para o ano de 2019. Este uso foi suprimido em decorrência do crescimento do uso infraestrutura urbana na porção noroeste da bacia.

com o potencial natural da área. Assim, ela expõe o percentual de área ocupada por cada uso e cobertura da terra em cada classe de potencial de uso conservacionista da Bacia do Alto Rio das Velhas para os anos de 1985 e 2019.

Tabela 16 - Matriz PUC
Classes – Potencial de Uso Conservacionista (PUC) (%)

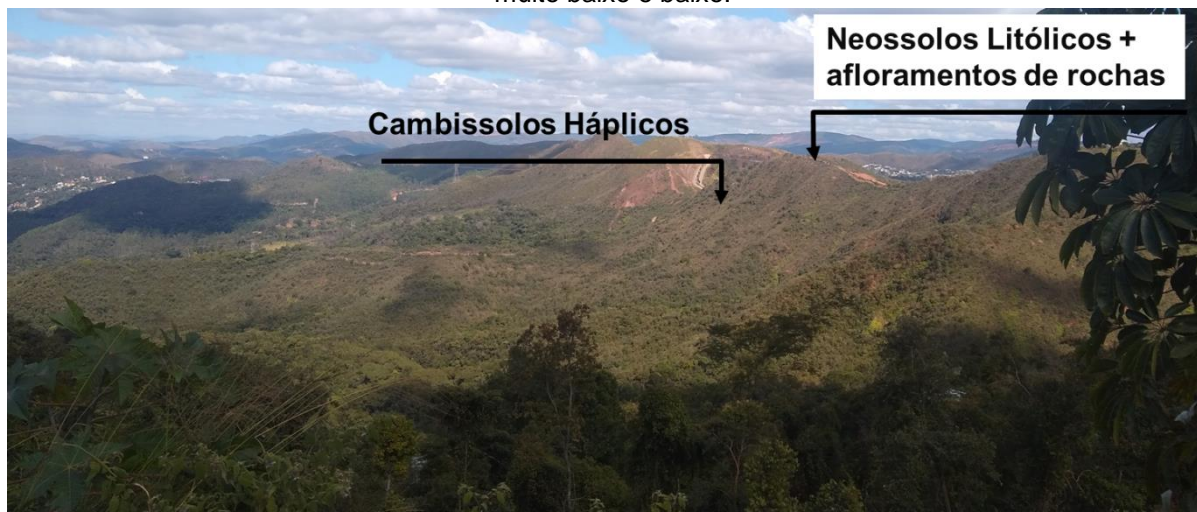
Classes de Uso e Cobertura da Terra	Ano – 1985					Ano – 2019				
	Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto	Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
Formação Florestal	41,36	46,78	44,41	36,72	23,61	41,55	47,84	45,42	36,94	26,59
Formação Savânica	8,68	2,37	1,46	1,27	2,20	8,20	2,37	1,13	0,73	1,13
Floresta Plantada	0,52	0,39	0,54	0,54	0,15	1,51	1,64	2,43	2,39	1,03
Formação Campestre	0,00 ¹⁴	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*
Pastagem	4,40	8,01	16,54	31,66	29,00	3,24	6,14	13,34	25,96	20,45
Mosaico de Agricultura e Pastagem	30,46	32,78	30,75	25,58	29,41	23,38	25,08	23,60	24,56	26,44
Infraestrutura Urbana	0,90	1,12	2,05	2,33	5,64	3,90	3,88	6,04	6,59	14,43
Outras Áreas Não vegetadas	1,33	0,83	0,77	0,50	1,15	0,54	0,64	0,62	0,26	0,27
Afloramento Rochoso	10,15	6,14	2,06	0,13	0,02	14,79	10,16	5,17	0,53	0,10
Mineração	2,14	1,46	0,77	0,36	0,33	2,75	1,98	1,23	0,43	0,46
Rio, Lago	0,04	0,10	0,62	0,89	8,47	0,12	0,22	0,89	1,14	8,51
Outras lavouras Temporárias	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,02	0,05	0,15	0,48	0,59

Elaborado pela autora.

As áreas de PUC Muito Baixo e Baixo ocupam juntas 63,65% da área total da bacia e são caracterizadas por feições de relevo que variam de forte ondulado a montanhoso/escarpado com declividade acentuada. Os solos predominantes na região de PUC Muito Baixo e Baixo (Figura 18) são pouco evoluídos e de baixa fertilidade natural, Cambissolos e Neossolos (SOUZA, 2006; CARVALHO FILHO et al., 2010; OLIVEIRA, 2013; PEREIRA, 2014; COSTA et al., 2014). Para as áreas do QF que abrangem estas classes de PUC, especialmente os solos relacionados às rochas ferríferas, diferenciando-se de outros pela intensa coloração vermelha e teores de óxidos de ferro muito altos (CARVALHO FILHO et al., 2010).

¹⁴ * O uso formação campestre não apresenta valores de matriz PUC, pois ele se encontrava na mancha em branco (área urbana) no mapa de PUC e quando faz à intercessão entre uso e PUC os dados não são cruzados (não apresenta intercessão). Outro fator é a supressão deste uso para o ano de 2019, em decorrência do crescimento do uso infraestrutura urbana na porção noroeste da bacia.

Figura 18 - Paisagem de ocorrência de Neossolos Litólicos e Cambissolo Háplicos nas áreas de PUC muito baixo e baixo.



Vista do Mirante 3 Serra do Curral.
 Coordenadas: 19°58'15.9"S e 43°55'27.0"W. Foto: Adriana Monteiro (2022).

A litologia é predominantemente formada por itabiritos, quartzitos e filitos. Em função da declividade acentuada em algumas porções e das características naturais dos solos, estas áreas não são propensas a práticas agrícolas. A velocidade de escoamento da precipitação, em função da declividade local, pode limitar o potencial de recarga hídrica e diminuir a infiltração de água no solo. Entretanto, apesar da declividade acentuada, as áreas de Neossolos Litólicos sobre quartzitos em períodos chuvosos armazenam boa parte do volume de água precipitado, no regolito ou no próprio aquífero, promovendo de forma gradual a liberação das drenagens superficiais, contribuindo assim para o regulamento da dinâmica hídrica local (OLIVEIRA, 2013). Cabe destacar que nas áreas que apresentaram valores de PUC Muito Baixo e Baixo estão concentradas áreas de exploração mineral, serras do Curral, Moeda, Itabirito e áreas de proteção como a Serra do Gandarela.

Nas áreas de PUC muito baixo como observado no P7 (Figura 19), localizado na divisa entre os municípios de Belo Horizonte e Nova Lima, na Serra do Curral – porção norte da bacia, são encontrados afloramentos rochosos e Neossolos Litólicos formados sobre filitos, quartzitos e itabiritos. Essas características também são observadas na Serra da Piedade – porção norte da bacia, Serra de Itabirito e Serra da Moeda – porção oeste da bacia (sendo a segunda um importante divisor de águas entre as bacias do Rio das Velhas e Paraopeba) e Serra do Gandarela – porção nordeste (importante divisor de águas entre as bacias do Rio das Velhas e Rio Doce).

Figura 19 - Vista geral do relevo no P7.

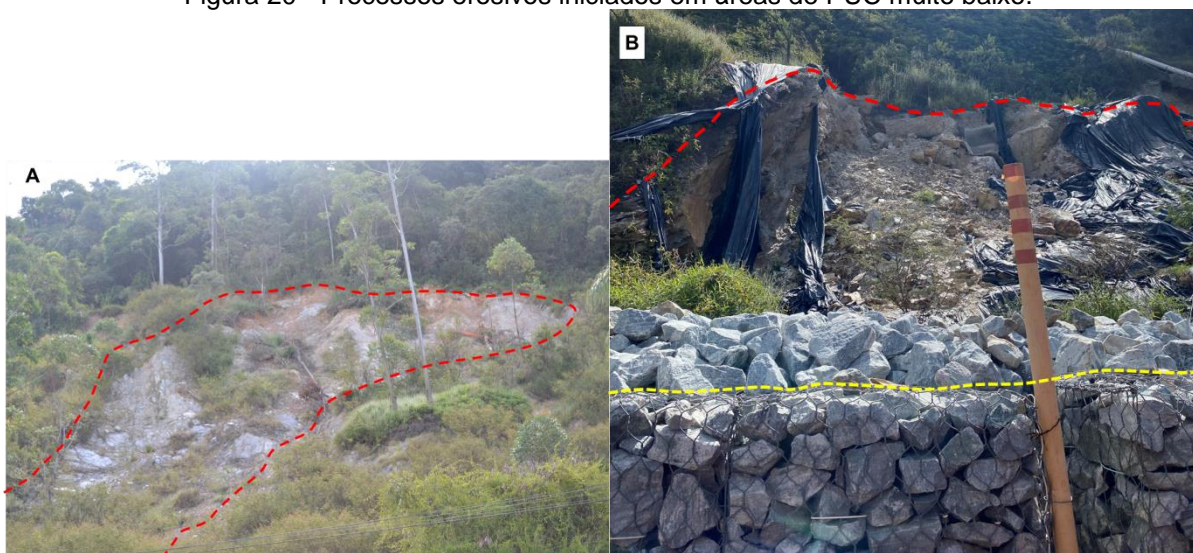


Ponto P7 – presença de afloramento de rochas e matas de galeria.
 Coordenadas: 19°58'15.9"S e 43°55'27.0"W. Foto: Adriana Monteiro (2022).

Nas áreas de PUC muito baixo e baixo, a presença de matas de galeria nas cabeceiras de drenagem, onde os cursos de água ainda não escavaram um canal definitivo, é possível observar a fragilidade para o desenvolvimento de atividades agropecuárias, considerando que a declividade e a vegetação presentes limitam o desenvolvimento destas atividades. No entanto, apesar de apresentarem PUC muito baixo e baixo, essas áreas possuem grande potencial para recarga hídrica, pois funcionam como alimentadoras dos cursos de água presentes na bacia. É preciso considerar também os pontos de exfiltração presentes nos processos de interação solo-rocha, onde a presença de fluxos de fraturas na rocha favorecem o escoamento e a formação dos pontos de exfiltração, que contribuem para a dinâmica hidrológica da bacia (SILVA, 2017).

O relevo dessas áreas é forte ondulado e Varajão et al. (2009), Carvalho Filho et al (2010) e Oliveira (2013) mostraram como é marcante a interferência da litologia sobre a distribuição e características dos solos e evolução do relevo. Os Neossolos Litólicos são solos jovens pouco desenvolvidos e as características morfológicas ligadas à estrutura e consistência apresentam grande importância em relação ao planejamento ambiental, visto que em função das características morfológicas esses solos podem ser bastante suscetíveis à erosão (Figura 20), principalmente quando a vegetação que o recobre é removida e a fina camada de horizonte A fica exposta (SOUZA, 2006).

Figura 20 - Processos erosivos iniciados em áreas de PUC muito baixo.



(A) – processos erosivos iniciais; (B) – construção de muro gabião para contenção dos processos erosivos. Ponto P7 – Coordenadas: 19°58'15.9"S e 43°55'27.0"W. Fotos: Adriana Monteiro (2022).

Em função dos atributos físicos de fraco desenvolvimento, os Neossolos são considerados unidades ambientais frágeis. A pequena espessura do horizonte A e os expressivos teores de silte e areia favorecem o seu encharcamento. Quando desprovidos de vegetação, a tendência é a remoção dos horizontes superficiais, favorecendo assim o afloramento do substrato rochoso, propiciando a descaracterização da paisagem e o aporte de sedimentos que podem acarretar no assoreamento de cursos de água (SOUZA, 2006).

Nas porções de média e baixa vertente (áreas caracterizadas com PUC baixo) são encontrados Cambissolos Háplicos formados sobre metaultramáfica e filitos, conforme observados nos pontos P8, P9 e P10 (Figura 21) localizados no município de Raposos. Esses solos, apesar de possuírem perfis mais espessos que os Neossolos, também são solos jovens, apresentam quantidades expressivas de silte e areia na sua composição, fraco desenvolvimento e são também muito suscetíveis à erosão.

Figura 21 - Vista dos pontos P8, P9 e P10.



Figuras: (A) e (B) Ponto 8: Ausência de mata ciliar ao longo do rio e bancos de areia favorecendo o assoreamento do mesmo, presença de casas na beira do Rio das Velhas e marcas do nível de água atingindo as casas durante o período de cheia – Coordenadas: 19°58'33.8"S 43°48'31.2"W; (C) Ponto 9: Presença de matas de galeria – Coordenadas: 19°58'01.4"S 43°49'17.1"W; (D) e (E) Ponto 10: Presença de teleféricos de mineração sobre o Rio das Velhas, vegetação mais densa na beira do rio e bancos de areia favorecendo o assoreamento do mesmo, presença de casas na beira do Rio das Velhas – Coordenadas: 19°57'06.8"S 43°49'03.3"W. Fotos: Adriana Monteiro (2022).

A presença de casas nas margens do rio, associada à ausência de tratamento de esgoto e remoção da cobertura vegetal, favorece a contaminação do curso de água e o desprendimento de agregados do solo, que são transportados e depositados no rio. A presença desses agregados no leito do rio contribui para o seu assoreamento. Nos períodos de cheia do rio, as casas próximas ao leito sofrem com inundações (como observado na Figura 21 – B). Esses impactos observados nas

margens do Rio das Velhas evidenciam a necessidade de um planejamento de longo prazo que associe crescimento urbano e preservação ambiental.

Reis e Machado (2019), com o propósito de avaliar o potencial geoturístico do Parque Estadual da Serra do Rola Moça, a partir da análise de multicritérios, conseguiram mapear a vulnerabilidade ambiental (áreas mais suscetíveis a degradação) do parque e, mostraram que as áreas com alta e muito alta vulnerabilidade ambiental estão diretamente relacionadas à pedologia (associada a presença de Neossolos e Cambissolos), a litologia e a rugosidade do terreno. Este trabalho reforça o que vem sendo observado aqui para as áreas de baixo e muito baixo PUC, na presença de Cambissolos e Neossolos que, por serem mais frágeis e apresentarem limitações quanto ao uso e suscetibilidade erosiva, devem ser manejados considerando a conservação dos solos.

Considerando a matriz PUC (Tabela 16), observa-se que a infraestrutura urbana apresentou considerável aumento entre os anos de 1985 e 2019 para as classes de PUC muito baixo e baixo. Para a classe de PUC muito baixo, a infraestrutura urbana no ano de 1985 ocupava o equivalente a 460,38 ha (0,90%) e passou a ocupar, em 2019, uma área de 1989,69 ha (3,90%), mostrando um aumento de 1529,31ha (3,00%) entre os anos analisados. Para a classe de PUC baixo, a infraestrutura urbana ocupava em 1985 1131,86 ha (1,12%) e passou a ocupar 3933,69 ha (3,88%) em 2019, apresentando um aumento de 2801,83ha (2,76%) entre os anos analisados.

Quando se leva em conta que o processo de ocupação em vertente começa com a retirada da camada vegetada, as relações morfodinâmicas estabelecidas entre solo-vertente-vegetação sofrem grandes alterações. Assim, os Cambissolos presentes nas áreas de PUC baixo e muito baixo estão sujeitos à incidência de escoamento superficial, se ocupados de forma indevida (SOUZA, 2006).

A topografia e a vegetação dessas áreas exprimem grande beleza paisagística, o que, somado com a proximidade de centros urbanos, torna essa região um atrativo para especulação imobiliária. Considerando o município de Nova Lima, a expansão urbana é expressa por atividades industriais, comerciais e de mineração, exercendo assim, pressão sobre as áreas de proteção ambiental na RMBH (CURI, 2019; ERCOLI et al., 2020) e áreas próximas às serras do Curral e da Moeda, que se caracterizam pelo elevado risco geológico (CASAGRANDE et al., 2020).

É preciso destacar que existem conflitos no processo de expansão urbana na região. A expansão urbana avança sobre áreas de mineração e exploração ambiental. Ercoli et al. (2020) ainda apontam que existe concentração de terras sob domínio de mineradoras e aumento de alvarás municipais para construção de novos prédios residenciais. Isso destaca a carência e necessidade de um planejamento de longo prazo que associe crescimento urbano e preservação ambiental.

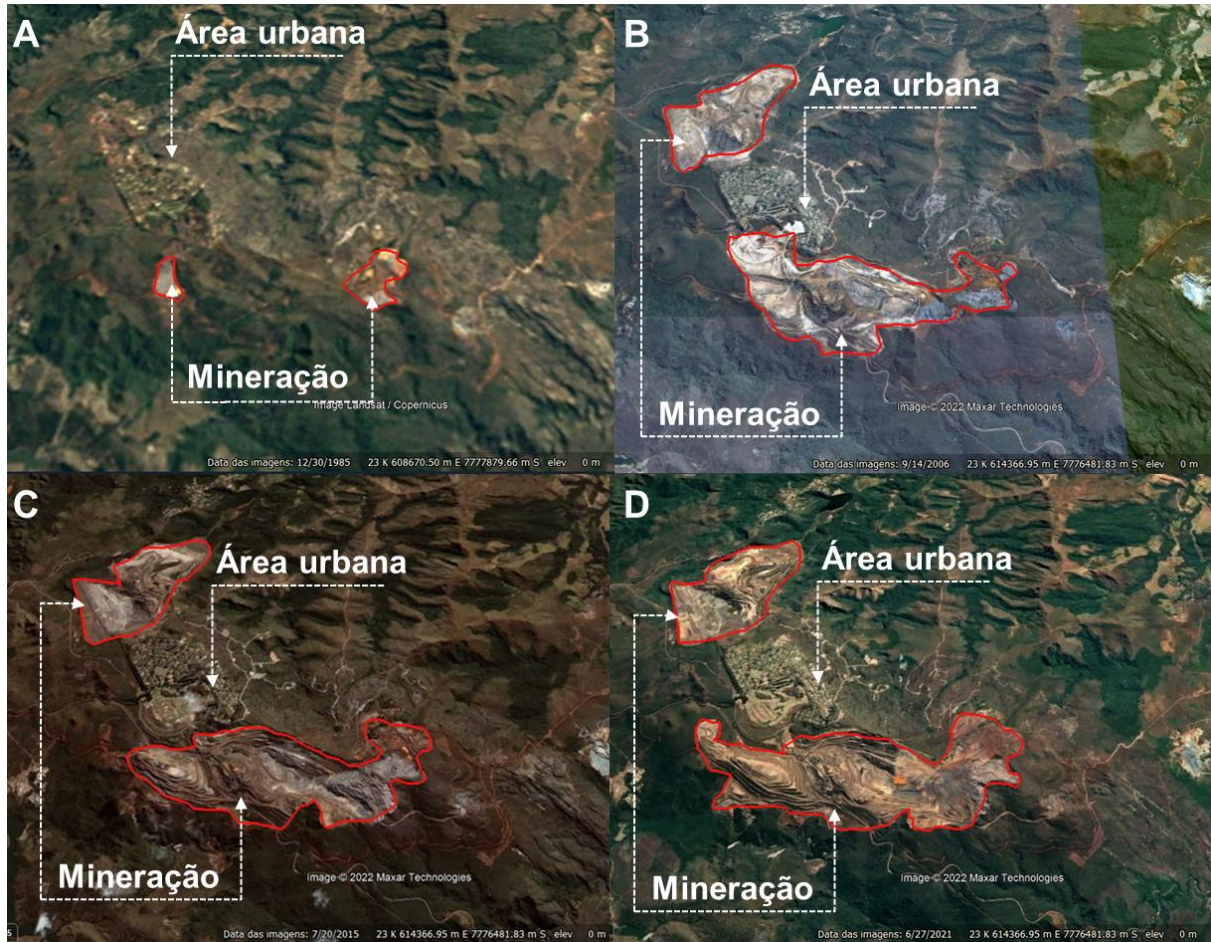
Considerando a expansão urbana na RMBH, o reconhecimento das áreas de PUC baixo e muito baixo e o conhecimento dos riscos existentes de ocupações nessas áreas podem oferecer subsídios para um planejamento adequado de uso e ocupação das mesmas. Dessa forma, é importante que os processos de planejamento considerem as fragilidades do meio físico dessas áreas, visto que a expansão urbana sem critérios de planejamento suprime e modifica a paisagem local e favorece a ocorrência de processos erosivos e a degradação dos recursos naturais (LEMOS & MAGALHÃES JÚNIOR, 2019).

A mineração apresentou aumento de área na matriz PUC (Tabela 16) para as classes muito baixo e baixo nos anos de 1985 e 2019. Para a classe muito baixo, a mineração no ano de 1985 ocupava o equivalente a 1091,40 ha (2,14%) e passou a ocupar em 2019 uma área de 1401,23 ha (2,75%), mostrando um aumento de 309,89 ha (0,61%). Na classe baixo, a mineração ocupava no ano de 1985 1477,16 ha (1,46%) e passou a ocupar 2002,40 ha (1,98%) em 2019, apresentando um aumento de 525,24 ha (0,52%).

Já o afloramento de rocha, ocupava na classe muito baixo no ano de 1985 o equivalente a 5174,84 ha (10,15%) e passou a ocupar em 2019 uma área de 7539,25 ha (14,79%), mostrando um aumento de 2364,41 ha (4,64%) (Tabela 16). Na classe baixo, no ano de 1985, o afloramento de rocha ocupava 6225,24 ha (6,14%) e passou a ocupar 10296,63 ha (10,16%) em 2019, apresentando um aumento de 4071,39 ha (4,02%). É preciso considerar que o aumento do afloramento de rocha na bacia está diretamente relacionado à expansão da mineração que remove a camada de cobertura vegetal e de solo para explorar o mineral de interesse.

O recorte temporal de uma mineradora presente na bacia, localizada no município de Nova Lima, ilustra a sua expansão entre os anos de 1985 a 2021 (Figura 22).

Figura 22 - Recorte temporal da expansão de uma mineradora entre os anos de 1985 a 2021.

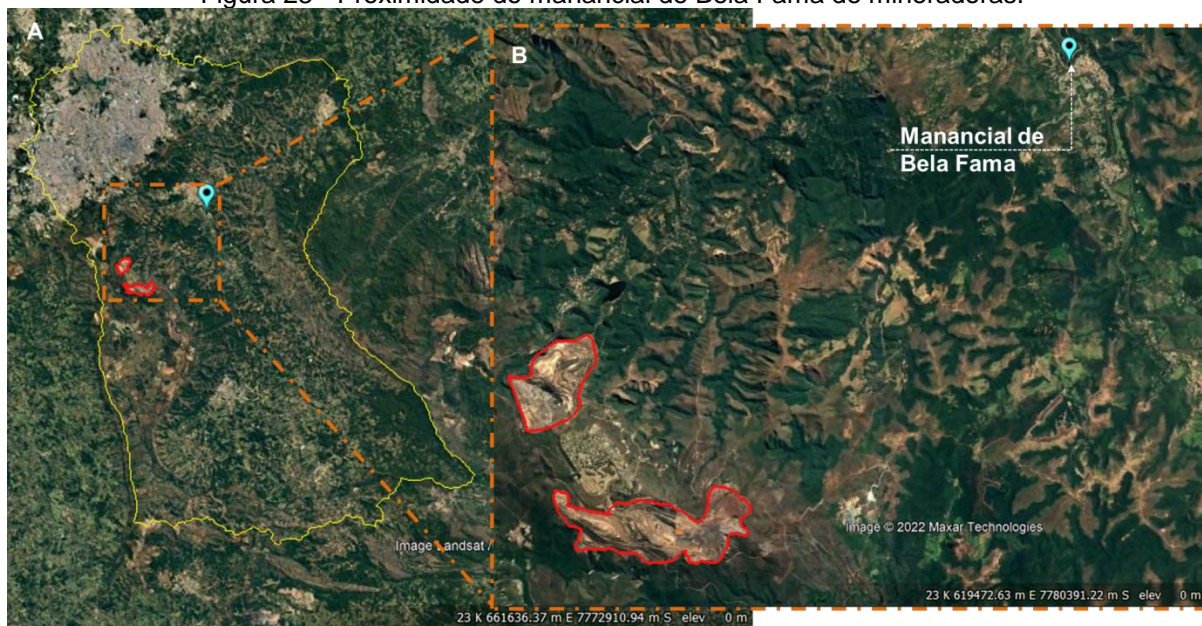


- (A) – Área ocupada por mineradoras no ano de 1985 (imagem Landsat/Copernicus – 30/12/85);
 (B) Área ocupada por mineradoras no ano de 2006 (imagem Maxar Tecnologias – 14/09/06);
 (C) Área ocupada por mineradoras no ano de 2015 (imagem Maxar Tecnologias – 20/07/15);
 (D) Área ocupada por mineradoras no ano de 2021 (imagem Maxar Tecnologias – 27/06/21).

Fonte: imagens Google Earth.

O processo de expansão da mineração se dá de forma gradual entre os anos, e alterações na paisagem como supressão da vegetação, implantação de cavas e barragens de rejeitos, são processos necessários para instalação da atividade. Lemos e Magalhães Júnior (2019) observaram impactos na dinâmica hídrica como rebaixamento do nível freático, aumento da impermeabilização do solo e carreamento de partículas sólidas pelo escoamento pluvial. Outro ponto que merece destaque é a proximidade dessas mineradoras a montante do manancial de captação de Bela Fama, fundamental para o abastecimento de Belo Horizonte e outros municípios da RMBH, também localizado no município de Nova Lima (Figura 23). A distância de aproximadamente 13 km, em linha reta, é o que separa o limite das mineradoras e o manancial de captação.

Figura 23 - Proximidade do manancial de Bela Fama de mineradoras.



(A) Área ocupada por mineradoras no ano de 2021 (imagem Landsat/Copernicus); (B) Área ocupada por mineradoras no ano de 2021 e proximidade com o manancial de captação de Bela Fama (imagem Maxar Technologies). Fonte: imagens Google Earth.

Nas imagens acima é possível verificar a rigidez locacional das áreas de mineração, uma vez que ela está onde se encontra o mineral a ser explorado, sendo possível, então, associar essa exploração ao crescimento urbano e ao abastecimento hídrico para população. Lemos e Magalhães Júnior (2019) destacaram que o impacto gerado pela mineração e pela expansão urbana caracterizam contextos frágeis para função ambiental da região quando considerado o abastecimento de água para a RMBH. Conseqüentemente, é preciso pensar e associar os conflitos apontados acima e a fragilidade ambiental dessas áreas em função dos solos rasos e da declividade acentuada.

As regiões que apresentam PUC Médio, Alto e Muito Alto ocupam juntas 36,35% da área total de estudo, localizadas na porção sul, central e nas porções norte e nordeste da bacia. São áreas em que a declividade não ultrapassa 20% e as feições do relevo variam de plano a moderadamente ondulado. Os solos predominantes nessas áreas são os Cambissolos e Latossolos, mas também são encontradas pequenas manchas de Argissolos na porção norte (município de Belo Horizonte) e noroeste (município de Contagem) da bacia (PROJETO APA SUL RMBH, 2005; SCALCO, 2009). A litologia é predominantemente formada por gnaisses e filitos, mas também são encontradas manchas de xistos e quartzitos.

Nos pontos P1, P2 e P3 são observadas áreas de PUC médio. Os pontos P1 e P2 (Figura 24) estão localizados no município de Ouro Preto, no hotel Vila Relicário e Parque Natural Municipal das Andorinhas, ambos os pontos estão sob domínio de Cambissolos e a litologia é caracterizada por xistos e quartzitos, respectivamente.

Figura 24 - Vista geral dos pontos de amostragem P1 e P2.

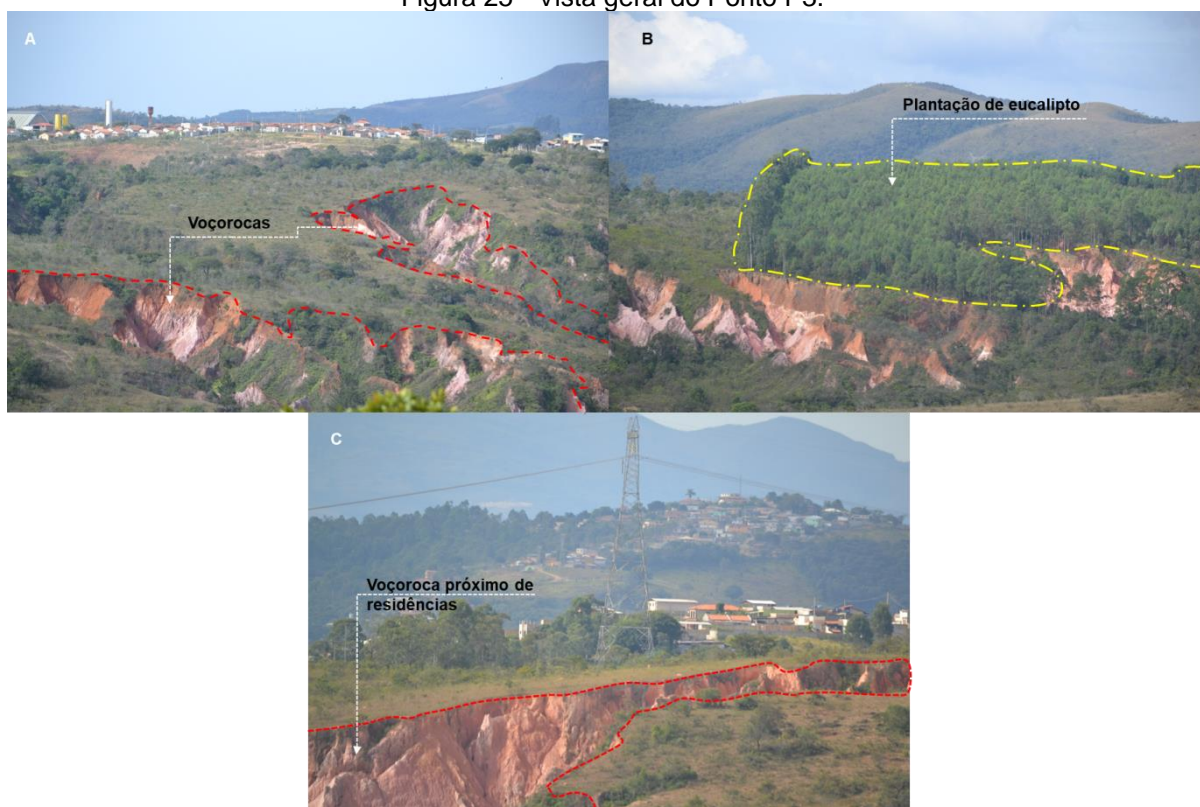


(A) Ponto P1 – Coordenadas: 20°21'49.5"S 43°28'49.9"W;
(B) Ponto P2 – Coordenadas: 20°21'48.5"S 43°29'22.2"W. Fotos: Adriana Monteiro (2022).

No ponto P1 encontra-se um dos divisores de água da bacia do Alto Rio das Velhas com a bacia do Rio Doce. Neste ponto, é possível observar, ao fundo, a Serra do Santuário do Caraça, alguns patamares suavizados e também colinas mais alongadas com cicatrizes com possíveis movimentações. Em função da declividade do terreno, é uma área muito vegetada com presença de matas de galeria. No P2 encontra-se a nascente do Rio das Velhas. No interior do Parque Natural Municipal das Andorinhas é possível observar vários afloramentos de rochas, com a presença de solos rasos, entre os biomas cerrado e mata atlântica e diversas quedas de água. A construção de parques é de suma importância, pois a conservação dessas áreas contribui para manutenção das condições ecológicas locais e preservação da biota regional (SCALCO, 2009). Nas áreas do entorno desses dois pontos de amostragem encontra-se uma região urbanizada do município de Ouro Preto.

O P3 (Figura 23) está localizado no distrito de Santo Antônio do Leite, pertencente ao município de Ouro Preto.

Figura 25 - Vista geral do Ponto P3.



(A) Vista geral do Ponto P3; (B) Presença de plantação de eucalipto próximo de voçorocas; (C) Presença de voçorocas próximo de residências.
 Coordenadas: 20°22'19.6"S 43°41'49.6"W. Fotos: Adriana Monteiro (2022).

Apesar de apresentar PUC médio com transições para PUC Alto, nessa região da área de estudo, estão presentes processos de voçorocamentos intensos como os observados nos distritos de Santo Antônio do Leite, Cachoeira do Campo, Amarantina e São Gonçalo do Bação (DRUMOND & BACELLAR, 2006; MAGALHÃES JÚNIOR et al., 2010; MARQUES, 2011). A região do Complexo do Bação encontra-se em áreas mais rebaixadas no relevo e as rochas friáveis do embasamento (principalmente gnaisses e migmatitos) contribuem para o surgimento de focos de erosão acelerada (MAGALHÃES JÚNIOR et al., 2010).

Atividades econômicas como agricultura, pastagem, extração de topázio imperial e materiais aluviais para construção civil ocupam a área tomando lugar da vegetação primária, contribuindo para uma situação ambiental delicada na região. Cabe observar que para a análise geográfica do PUC é preciso considerar a escala cartográfica em que os potenciais são percebidos. A relação entre o tamanho e o fenômeno observado aqui evidenciam as limitações do método visto que o fenômeno observado esta diretamente relacionada à escala de trabalho e, esta pode não retratar de forma fiel a realidade observada, como, por exemplo, os solos na região.

Os pontos P4 e P5 (Figura 26) também estão localizados em áreas de PUC médio e apresentam algumas características distintas dos pontos anteriores, visto que se localizam no município de Contagem.

Figura 26 - Vista dos pontos P4 e P5.



(A) Vista geral do Ponto P4 – Coordenadas: 19°51'44.3"S 44°03'02.8"W; (B) Vista geral do ponto P5 – Coordenadas: 19°51'30.9" S 44°03'41.0"W. Fotos: Adriana Monteiro (2022).

Nas áreas pertencentes aos pontos P4 e P5 observa-se galpões do setor industrial do município de Contagem. De acordo com a base de solos (UFV et al., 2010) utilizada, essas áreas estão sob domínio de Argissolos, no entanto, a presença de Cambissolos nas áreas de média vertente e de solos encharcados (Gleissolos) na baixa vertente também foi observada em campo. É importante destacar que variações podem ser observadas nas unidades de mapeamento de solo, especialmente em função da escala utilizada e, quando trabalhos de campo são realizados, uma maior diversidade de ambientes relacionados aos solos pode ser observada (PEREIRA, 2014).

No que se refere ao potencial de recarga dessas áreas, é preciso considerar que a mancha urbana contribui para maior superfície de escoamento superficial, visto que a impermeabilização com a pavimentação de ruas e a própria infraestrutura urbana impedem que a água da chuva infiltre no solo, desfavorecendo e prejudicando a recarga (COSTA et al., 2019c; TENENWURCEL et al., 2020).

A presença de Cambissolos na média vertente, quando desprovido da cobertura vegetal e manejado de forma inadequada, favorece a instalação de processos erosivos, como observado na Figura 27, no ponto P5.

Figura 27 - Processos erosivos em área de PUC médio.



(A) Vista geral do Ponto P5 em que são observados processos erosivos iniciais; (B) altura e profundidade do processo erosivo iniciado na área.

Coordenadas: 19°51'30.9"S 44°03'41.0"W. Fotos: Adriana Monteiro (2022).

O Ponto P6 também está localizado em área de médio PUC e está inserido no município de Contagem. Ao contrário dos pontos anteriores, o P6 está localizado no limite das bacias do Alto Rio das Velhas e do Rio Paraopeba, às margens da BR-040. Neste ponto, observa-se uma área brejosa de vereda impactada, em que estão sendo realizadas obras de canalização e drenagem da água para construção de estrada (Figura 28).

Figura 28 - Vista do Ponto P6.



(A) e (B) Vista geral do Ponto P6.

Coordenadas: 19°51'17.4"S 44°04'14.6"W. Fotos: Adriana Monteiro (2022).

O PUC alto pode ser observado em uma propriedade privada de plantação de laranjas (Figura 29), localizado no distrito de Coelho, pertencente ao município de

Ouro Preto, às margens da BR-356 (Rodovia dos Inconfidentes), sob presença de Latossolos e litologia gnaisse.

Figura 29 - Área que caracteriza PUC alto



Fonte: imagens Google Earth¹⁵. (imagem Maxar Technologies).
Coordenadas: 20°16'57.8"S 43°44'20.8"W.

As características de relevo, litologia e dos solos, baseado na base de dados utilizada, conferem uma maior estabilidade e, portanto, PUC mais alto, resultando assim, numa maior resistência aos processos erosivos. De acordo com o PUC essas são áreas com maior propensão para uso agrícola, além da viabilidade para destinação à preservação de recursos naturais. Entretanto, mais uma vez a relação entre tamanho e fenômeno observado destacam as limitações do método, considerando a base de dados utilizada. Visto que quando se percorre a área observa-se a formação de voçorocas na região (Figura 25), em função das características dos solos e litologia não representados na escala da base de dados utilizada.

A relação entre o tamanho e o fenômeno observado aqui evidenciam as limitações do método visto que o fenômeno observado esta diretamente relacionada à escala de trabalho e, esta pode não retratar de forma fiel a realidade observada, como, por exemplo, os solos na região.

A partir da Matriz PUC (Tabela 16), é possível observar que o uso formação florestal apresentou aumento para as classes médio, alto e muito alto nos anos de 1985 e 2019. Para a classe médio, o uso formação florestal no ano de 1985 ocupava o equivalente a 30431,49 ha (44,41%) e passou a ocupar em 2019 uma área de 31125,45 ha (45,42%), mostrando um aumento de 693,96 ha (1,01%). No alto PUC,

¹⁵ Infelizmente a pedido do proprietário da fazenda não puderam ser feitas imagens do local, por este motivo estão sendo apresentadas somente imagens aéreas disponíveis no Google Earth Pro que representam a área.

este uso ocupava no ano de 1985 6613,25 ha (36,72%) e passou a ocupar 6652,28 ha (36,94%) em 2019, apresentando um aumento de 39,03 ha (0,22%). Para a classe muito alto, o uso ocupava uma área no ano de 1985 equivalente a 110,04 ha (23,61%) e passou a ocupar em 2019 uma área de 123,93 ha (26,59%), mostrando um aumento de 13,89 ha (2,98%).

Os usos Pastagem e Mosaico de Agricultura e Pastagem apresentaram uma redução entre os anos de 1985 e 2019 para as classes médio, alto e muito alto, mas ainda assim abrangem áreas de forma expressiva entre todos os níveis de PUC. Para a classe médio, os usos Pastagem e Mosaico de Agricultura e Pastagem no ano de 1985 ocupavam o equivalente a 32405,24 ha (47,29%) e passaram a ocupar em 2019 uma área de 25308,13 ha (36,93%), mostrando uma redução de 7097,10 ha (10,36%). Na classe alto, no ano de 1985 esses usos ocupavam 10308,01 ha (57,23%) e passaram a ocupar 9099,18 ha (50,52%) em 2019, apresentando uma redução de 1208,83 ha (6,71%). Para a classe muito alto, os usos ocupavam uma área no ano de 1985 equivalente a 272,23 ha (58,41%) e passaram a ocupar em 2019 uma área de 218,51 ha (46,89%), mostrando uma redução de 53,72 ha (11,53%).

MAGALHÃES JÚNIOR et al. (2010) relataram que desde as primeiras ocupações nessas áreas, que remontam o ciclo do ouro, a vegetação primária vem dando lugar para atividades agrícolas, pastagens e plantações de eucaliptos, além da extração de topázio e materiais para a construção civil. Apesar de esses dois usos ocuparem 58,41% (ano de 1985) e 46,89% (ano de 2019) na classe de PUC muito alto, práticas de manejo não adequadas e a presença de solo exposto podem desencadear processos erosivos, com carreamento de sedimentos, perda de solos, assoreamento e contaminação dos cursos de água (COSTA et al., 2019b).

3.2 Considerações sobre o potencial do PUC em orientar a gestão territorial, desafios e perspectivas.

As metodologias de análise de multicritérios são instrumentos que contribuem para decisões pautadas na carência de análises de vários critérios. A necessidade do desenvolvimento de metodologias, portanto, advém das características dos problemas ambientais que não se ajustam nas tomadas de decisão embasadas em

um único indicador ou uma única escala de análise ou, ainda, um único horizonte temporal (COELHO, 2014).

As tensões e conflitos de usos da terra e da água decorrem principalmente da função ambiental de abastecimento que a bacia desempenha. Por isso, quando se leva em consideração o planejamento e a gestão dos recursos hídricos, na qual as decisões podem ser determinadas por múltiplos fatores (diferentes objetivos e grupos de interesse), metodologias como análises de multicritérios podem ser uma ferramenta importante na análise da integração da paisagem (ALIPOUR et al., 2010).

Diante do contexto ambiental no qual a área de estudo está inserida, considerando as diferentes pressões na bacia, um dos desafios dos órgãos públicos é o planejamento, desenvolvimento e acompanhamento de ações e métodos que promovam de forma integrada o desenvolvimento econômico, a sustentabilidade e a segurança da sociedade.

Para que o planejamento e gestão dos recursos hídricos ocorram de forma eficiente é preciso que a elaboração de planos e estratégias em que a água e o uso da terra sejam considerados em conjunto, associados ao envolvimento das partes interessadas em toda a bacia para que a gestão ocorra de forma integrada e eficiente (PACHECO et al., 2022). Dessa forma, as ferramentas de análise de multicritério são eficientes para integrar as variáveis ambientais que compõem a realidade (RIZOLLI et al. 2008; CAMPOS & SOARES-FILHO, 2016).

As ferramentas que auxiliam na gestão territorial trazem a reflexão sobre a manutenção e continuidade dos recursos naturais atrelados às atividades econômicas, respeitando a capacidade e as limitações dos ecossistemas. Entretanto, é preciso considerar que metodologias de análise de multicritérios podem apresentar limitações. Trabalhar com base de dados de diferentes plataformas e em escalas disponíveis diferentes pode influenciar no resultado final como, por exemplo, a base de solos na escala de 1:650.000 (UFV et al., 2010) ou a base de litologia na escala 1:1.000.000 (CODEMIG e CPRM, 2014), que pode não ser representativa para uma área de estudo considerando a escala de trabalho. Assim, para que mais estudos como este sejam realizados, é preciso que mais dados sejam gerados e disponibilizados em escala adequada.

Além da questão da escala, é preciso considerar também as limitações intrínsecas ao método PUC, passíveis de aperfeiçoamentos. É possível destacar

ajustes nas notas atribuídas às variáveis solos e litologia. Para a variável solo, a inclusão de análises que englobam o segundo nível categórico pode ser importante, sobretudo em classes de solo onde tal nível se relacione com a infiltração e percolação de água no solo, com os processos erosivos e com o potencial desses solos para agricultura. Quanto à litologia, análises mais abrangentes que incluam, como por exemplo, o fraturamento ou porosidade de rochas, podem ser um avanço no método para inclusão da análise do potencial de recarga hídrica subterrânea.

O PUC também é uma ferramenta de multicritério que retrata o potencial do meio físico e pode contribuir na identificação de áreas prioritárias, na recuperação e restauração da bacia, além de orientar no planejamento da mesma. A partir das análises desenvolvidas até aqui, é possível observar como o PUC evidencia o conflito entre o potencial físico e os diferentes usos na bacia.

Áreas que foram caracterizadas com PUC muito baixo e baixo e apresentaram como uso a mineração, por exemplo, exibem também a fragilidade ambiental onde os cursos de água ainda não escavaram um canal definitivo, mas possuem grande potencial para recarga hídrica, pois funcionam como alimentadoras dos cursos de água na bacia.

Essas são áreas prioritárias para preservação de nascentes, matas ciliares e de galeria, que cumprem importante papel na preservação das funções ambientais de uma bacia hidrográfica. A partir da análise disponibilizada por esse instrumento, algumas questões devem orientar o uso e manejo dessas áreas.

No caso das atividades minerárias, como já citado anteriormente, existe o caráter da rigidez locacional, que acaba expondo essas áreas à especulação e as disponibilizando de forma determinante para a exploração dos minerais ali presentes. Portanto, cabe aos órgãos ambientais e à sociedade garantir por meio dos instrumentos de gestão territorial, como por exemplo, o licenciamento, que as fragilidades apresentadas por tais áreas sejam consideradas e contempladas nas análises de impacto ambiental (AIAs), planos de adequação, planos de mitigação e principalmente que se estabeleça uma relação de benefício entre uso e não uso.

Outro ponto que o PUC evidencia é a expansão da infraestrutura urbana sobre as classes de muito baixo e baixo potencial. O processo de ocupação, além de ser uma preocupação em relação à retirada da cobertura vegetal para construção, traz o abastecimento de água para a população como outro ponto que carece de

atenção, especialmente considerando a proximidade dos pontos de captação das áreas de mineração e o alto grau de impermeabilização.

Sendo assim, os planos diretores e demais ações urbanas podem se orientar por meio de estudos como este, elencando áreas prioritárias para os diferentes volumes que uma mancha urbana pode assumir e orientando, inclusive, quanto ao padrão construtivo mais adequando para cada área.

Outro ponto importante é que análises como essa, na escala da bacia hidrográfica, podem promover o que está proposto na Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), Lei 9.433/97 (BRASIL, 1997), mesmo apresentando maior dificuldade em se inserir em um contexto de gestão territorial, uma vez que as decisões são tomadas, geralmente, a partir de limites geopolíticos e administrativos como o município, por exemplo. Essa lei estabelece que a bacia hidrográfica deve ser uma unidade territorial de planejamento no Brasil, sem, no entanto, promover nas últimas décadas, uma instrumentalização efetiva dessa gestão, uma vez que, como já citado anteriormente, os instrumentos de gestão e controle territorial estão em sua maioria associados à esfera municipal (CASTRO; ALVARENGA & MAGALHÃES JÚNIOR, 2005; LEMOS, 2018; CARVALHO, 2020; ARGOLLO FERRÃO et al., 2021)

Essa ferramenta, seja no contexto da bacia hidrográfica ou na gestão do território, representa-se como um instrumento que aponta caminhos para o desenvolvimento de ações voltadas para sustentabilidade tendo em vista a equidade social, ambiental e econômica.

O século XXI é marcado pela ampliação das discussões ambientais, tendo se destacado duas agendas globais de discussão de planejamento para sustentabilidade. A primeira refere-se aos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), que foi concluída em 2015. Desde então, o mundo trabalha para cumprir os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (CARDOSO & SANTOS JR, 2019; ROMA, 2019). Nesse sentido, dentre os dezessete objetivos propostos pela ODS, é possível destacar quatro nas quais o PUC pode contribuir para que sejam alcançados.

Em relação ao objetivo 2, que visa “acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável”, espera-se que o PUC possa auxiliar na mensuração do potencial de uso das áreas em relação à resistência à erosão, à recarga hídrica e às atividades agropecuárias. Para

alcançar esse objetivo, destaca-se esse método como uma importante ferramenta na identificação de áreas prioritárias que auxiliem na garantia da segurança alimentar e numa produção sustentável para as próximas gerações.

Para o objetivo 6, que busca “assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos”, como o PUC pode indicar áreas com maior e menor potencial para recarga hídrica, ele pode contribuir para o delineamento de áreas prioritárias para preservação de nascentes, que além de cumprirem papel importante na preservação das funções ambientais, são vitais também para garantir o abastecimento de água para a população. Pode contribuir também para evitar o stress hídrico, tendo em vista a capacidade de mostrar o maior e menor potencial de recarga na bacia. Associada a uma política adequada de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), Lei 14.119/21 (BRASIL, 2021), existe uma realidade que pode levar a uma sustentabilidade hídrica.

Os objetivos 12 e 15, que visam “assegurar padrões de produção e consumo sustentáveis” e “proteger, restaurar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, travar e reverter a degradação dos solos e travar a perda da biodiversidade”, respectivamente, mostram que é preciso considerar que para alcançar uma gestão sustentável é necessário o uso eficiente dos recursos naturais, a fim de reduzir o impacto das atividades desfavoráveis para esta prática. Assim, correlacionando o uso atual da terra com o PUC, é possível elencar áreas prioritárias que carecem de atenção de forma imediata para atingir esse objetivo.

Desse modo, as ferramentas que auxiliam na gestão territorial advertem quanto à manutenção e continuidade dos recursos naturais e sua função estoque, como a recarga e manutenção do volume hídrico das bacias hidrográficas, atrelados ao cenário de usos múltiplos e de desenvolvimento das atividades econômicas, respeitando as potencialidades e as limitações dos ecossistemas.

Ainda assim, considerando todas essas condições, o planejamento e a gestão de bacias só ocorrerão de forma eficiente se os tomadores de decisões, os múltiplos usuários (inseridos no mesmo contexto de uso, mesmo que com interesses individuais divergentes), a governança e as políticas públicas forem capazes de integrar e criar um ambiente favorável frente aos problemas e desafios do uso da água e da terra.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia PUC se destaca de forma inovadora no que diz respeito aos métodos de gestão territorial em bacias hidrográficas, tendo em vista que é uma avaliação menos subjetiva, permitindo automação e reprodutibilidade. Cabe destacar que a utilização de geotecnologias tem se tornado uma aliada para o desenvolvimento de vários trabalhos, no entanto, a carência de banco de dados (especialmente em escala adequada) limita a acurácia dos resultados obtidos. Dessa forma, a utilização de bases dados combinada com trabalho de campo para reconhecimento da área tem o potencial de melhorar os resultados apresentados neste artigo.

É preciso considerar que o refinamento dos dados realizado a partir do trabalho de campo é capaz de evidenciar e corrigir limitações do computador e apontar falhas da rotina de geoprocessamento, visto que muitas vezes as bases de dados diferentes, em escalas diferentes, podem gerar resultados não condizentes com a área estudada.

A aplicação do Método PUC permitiu a identificação dos diferentes potenciais presentes na Bacia do Alto Rio das Velhas. O método aplicado se mostrou capaz de fornecer informações para subsidiar elaboração de planos, projetos e ações que precisam ser realizadas para uma melhor adequação do uso e gestão integrada da bacia.

A bacia em questão apresenta baixo potencial de uso nas regiões do alto curso, além das pressões ambientais e de exploração na área, dando importância à exploração mineral e os mananciais de captação de água e áreas de recarga. A grande presença de Cambissolos associados a xistos e filitos, apontam as fragilidades ambientais da região, como a formação e presença de voçorocas na região. Assim, essas regiões merecem atenção e, são um desafio na gestão do território.

O PUC é uma ferramenta de zoneamento ambiental que auxilia na constatação dos estados ambientais e configura caminhos para o planejamento e gestão ambiental. Assim, é preciso pensar na importância dessa ferramenta como instrumento de grande avanço para o desenvolvimento na organização da distribuição espacial das atividades econômicas, agrícolas, mineradoras e

industriais, levando em consideração a importância ecológica, as limitações e as fragilidades dos ecossistemas.

REFERÊNCIAS

ALIPOUR, M. H.; SHAMSAI, A.; AHMADY, N. A new fuzzy multicriteria decision making method and its application in diversion of water. **Expert Systems with Applications**. Volume 37, Edição 12, dezembro 2010, p. 8809-8813. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.06.023>

ANA – Agência Nacional de Águas, 2017. **Base Hidrográfica Ottocodificada – BHO250** (base digital georreferenciada). Brasília: ANA. Escala = 1:250.000. Disponível em: <http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/metadata.show?id=589&currTab=distribution>. Acesso: Jun. 2020.

AQUINO, J. N.; SALIS, H. H. C.; GAMEIRO, S.; OLIVEIRA, M. A.; RODIGHERI, G.; MENDES, A. P. S. F.; SFREDO, G. A. Zoneamento do Potencial de Uso Conservacionista na Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos–RS. **Anuário do Instituto de Geociências UFRJ**. ISSN 0101-9759 e-ISSN 1982-3908 - Vol. 43 - 3 / p. 292-302, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.11137/2020_3_292_302

ARGOLLO FERRÃO, A. M.; RANDO, A. S.; GALLO, N. C.; LUZ, D. L. ASPECTOS DE GOVERNANÇA E DE GESTÃO INTEGRADA NA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO ALTO RIO JUNDIAÍ. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 40, n. 2, p. 489 – 499, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v40i02.13802>

ASF DAAC 2015, **ALOS PALSAR** Radiometric Terrain Corrected high res; Inclui material © JAXA / METI 2007. Disponível em: search.asf.alaska.edu/#/. Acesso: 02 out. 2020.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei no 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei no 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 9 jan. 1997.

_____. **Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021**. Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais; e altera as Leis nos 8.212, de 24 de julho de 1991, 8.629, de 25 de fevereiro de 1993, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973, para adequá-las à nova política. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/L14119.htm

CAMPOS, A. R.; SOARES-FILHO, B. S. Modelagem de sistemas ambientais como suporte à tomada de decisão em políticas públicas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16. (SBSR), 2013, Foz do Iguaçu. Anais... São José dos Campos: INPE, 2016.

CARDOSO, A. S.; SANTOS JR, R. A. O. Indicadores de sustentabilidade e o ideário institucional: um exercício a partir dos ODM e ODS. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 71, n. 1, p. 50-55, Jan. 2019. Disponível em:

http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252019000100014&lng=en&nrm=iso.

CARVALHO, A. T. F. BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE PLANEJAMENTO: DISCUSSÃO SOBRE OS IMPACTOS DA PRODUÇÃO SOCIAL NA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL. Caderno Prudentino de Geografia, [S. l.], v. 1, n. 42, p. 140–161, 2020. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/6953>.

CARVALHO FILHO, A.; CURI, N.; SHINZATO, E. Relações solo-paisagem no Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** [online]. 2010, v. 45, n. 8, pp. 903-916. Epub 04 Out 2010. ISSN 1678-3921. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010000800017>.

CASAGRANDE, P. B.; PARISI, M. G.; MOURA, A. C. M. SENA, I. S.; GARCIA, P. M. B. Índice de risco geológico utilizado como apoio ao planejamento urbano e territorial: estudo de caso no município de Nova Lima, MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 3-16, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v21i1.1662> Acesso em: 28 de julho de 2021.

CASTRO, F. V. F.; ALVARENGA, L. J.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. A Política Nacional de Recursos Hídricos e a gestão de conflitos em uma nova territorialidade. **Revista Geografias**, [S. l.], p. 37–50, 2005. DOI: 10.35699/2237-549X.13185. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/13185>.

CBHVELHAS – Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas (2005) – **Plano Diretor de Recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio das Velhas**. – Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas, 1273 p. 2015.

Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais – CODEMIG; Serviço Geológico do Brasil – CPRM. **Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais** – Escala 1:1.000.000. 2014. Disponível em: <http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/?lang=en>. Acesso: Mai. 2020

COELHO, R. Avaliação multicritério aplicada ao planejamento e gestão de recursos hídricos. **Revista da UIIPS**. N° 4, v.2, p. 36-54. 2014. Disponível em: https://www.ipsantarem.pt/wp-content/uploads/2014/11/Revista-da-UIIPS_N4_Vol2_ESAS_2014.pdf#page=36

COSTA, S. A. D.; KER, J. C.; SIMÕES, D. F. F.; FONTES, M. P. F.; FABRIS, J. D.; ANDRADE, F. V. Pedogênese e classificação de latossolos desenvolvidos de itabiritos no Quadrilátero Ferrífero, MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** [online]. 2014, v. 38, n. 2, pp. 359-371. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000200001>

COSTA, A. M.; SALIS, H. H. C.; VIANA, J. H. M.; AQUINO, J. N.; FERREIRA, M. P. R. Zoneamento Ambiental e Produtivo: uso da modelagem para identificação de

potencialidades e limitações no uso do solo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 38, nº 300, p. 80-90, 2017a.

COSTA, A. M.; VIANA, J. H. M.; EVANGELISTA, L. P.; CARVALHO, D. C. F.; PEDRAS, K. C.; HORT, I. M. F.; SALIS, H. H. C.; PEREIRA, M. P. R.; SAMPAIO, J. L. D. Ponderação de variáveis ambientais para a determinação do Potencial de Uso Conservacionista para o Estado de Minas Gerais. **Revista GEOgrafias**, Belo Horizonte, v. 14, nº1, p. 118-133, junho, 2017b.

COSTA, A. M.; SALIS, H. H. C. ; ARAUJO, B. J. R. S. ; MOURA, M. S. ; SILVA, V. C.; OLIVEIRA, A. R. ; PEREIRA, M. P. R. ; VIANA, J. H. M. Potencial de uso conservacionista em bacias hidrográficas: estudo de caso para a bacia hidrográfica do rio Gualaxo do Norte-MG. **Revista GEOgrafias**, v. 27, p. 127-147, 2019a.

COSTA, A. M.; SILVA, L. H.; SILVA, V. C.; MOURA, M. S.; MOTA, P. K.; ARAUJO, B. J. R. S. Potencial de Uso Conservacionista (PUC) e Uso e Cobertura do Solo na Bacia Hidrográfica do Córrego Guavirá, PR. **Revista Perspectiva Geográfica-Campus Marechal Cândido Rondon**, v. 14, nº 20, p. 107-122, jul./dez., 2019b.

COSTA, A. M.; SALIS, H. H. C.; VIANA, J. H. M.; PACHECO, F. A.L. Groundwater recharge potential for sustainable water use in urban areas of the Jequitiba River Basin, Brazil. **Sustainability (Switzerland)**, v. 11, n. 10, 2019c. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11102955>

CURI, L. F. Plano Diretor de Nova Lima: uma abordagem frente aos principais processos de uso e ocupação do solo no contexto do planejamento urbano brasileiro. Orientadora: Dra. Raquel Garcia Gonçalves. 2019. 251 f. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/31028>

DRUMOND, F. N.; BACELLAR, L. A. P. CARACTERIZAÇÃO HIDROSEDIMENTOLÓGICA E DOS PROCESSOS EVOLUTIVOS DE VOÇOROCA EM ÁREA DE ROCHAS GNÁISSICAS DO ALTO RIO DAS VELHAS (MG). **Revista Brasileira de Geomorfologia**. Ano 7, nº 2, p. 87 – 96, 2006. Disponível em: http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/4070/1/ARTIGO_Caracteriza%C3%A7%C3%A3oHidrossedimentol%C3%B3gicaProcessos.pdf. Acesso: Fev. 2022.

ECOPLAN Engenharia Ltda., Skill Engenharia LTDA. (2015) **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas**. Porto Alegre: Ecoplan. Disponível em: <https://siga.cbhvelhas.org.br/portal/siplan.zul>. Acesso: Jun. 2020.

Environmental Systems Research Institute – ESRI. **ArcGIS Desktop: Release 10.6.1**, Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, Inc., 2018.

ERCOLI, R. F.; MATIAS, V. R. S.; ZAGO, V. C. P. Urban Expansion and Erosion Processes in an Area of Environmental Protection in Nova Lima, Minas Gerais State, Brazil. **Frontiers in Environmental Science**, V. 8, P. 1-16, junho, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00052> Acesso em: 28 de junho de 2021.

FEAM/SEAPA. **Metodologia do Zoneamento Ambiental e Produtivo de Sub-bacias hidrográficas**. 3ª edição, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, Minas Gerais, 136p. 2020. Disponível em: http://www.feam.br/images/stories/2021/AVALIACAO_AMBIENTAL/Metodologia_ZA_P_3ed.pdf. Acesso: Jan. 2021.

FONSECA, G. M.; EVANGELISTA, H. J. Rochas ultramáficas plutônicas do greenstone belt Rio das Velhas na porção central do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. **REM: R. Esc. Minas**, Ouro Preto, 66(1), 67-75, jan. mar. 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rem/a/fts6TznGzy8Ywfc4hvTN7XD/?lang=pt&format=pdf>

FREITAS, F. M. GEOCRONOLOGIA U-PB EM ZIRCÕES DETRÍTICOS E CARACTERIZAÇÃO LITOESTRATIGRÁFICA DAS ROCHAS METASSEDIMENTARES DA UNIDADE CATARINA MENDES - IMPLICAÇÕES QUANTO A EVOLUÇÃO GEOTECTÔNICA DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO. Orientador: Dr. Tiago Amâncio Novo. 2019. 97 f. Dissertação (mestrado) – Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/30803>

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2018) **Microrregiões do Brasil** (base digital georreferenciada). Rio de Janeiro, Brasil: IBGE. Adaptado por Centro de Sensoriamento Remoto – CSR/UFMG. Disponível em: ftp://geofp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_municipais/municipio_2018/Brasil/BR/. Acesso: Jun. 2020.

LEMOS, R. S. A integração da gestão territorial a partir da política das águas. Orientador: Dr. Antônio Pereira Magalhaes Junior. 2018. 259 f. Tese (doutorado) – Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

LEMOS, R.S.; MAGALHÃES JUNIOR, A. P. Dinâmicas territoriais, transformações ambientais e implicações hidrelétricas não administrativas de abastecimento público da Região Metropolitana de Belo Horizonte-baciaográfica do alto Rio das Velhas, Minas Gerais. **GeoTextos**, [S. l.], v. 15, n. 1, 2019. DOI: 10.9771/geo.v15i1.28766. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/geotextos/article/view/28766>.

LOPES, F. W. A.; CARVALHO, A.; MAGALHÃES JR, A.P. Levantamento e avaliação dos impactos ambientais em áreas de uso recreacional das águas na bacia do alto rio das Velhas. **Caderno Virtual de Turismo**. Rio de Janeiro, v. 11, n. 2, p.177-190 ago. 2011.

LUPPI, A. S. L.; ROSA, A. S.; EUGENIO, F. C.; FEITOSA, L. S. Utilização de Geotecnologia para o Mapeamento de Áreas de Preservação Permanente no Município de João Neiva, ES. **Floresta Ambient.**, Seropédica, v. 22, n. 1, p. 13-22,

mar. 2015. disponível em:
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2179-80872015000100013&lng=en&nrm=iso. Acesso: Nov. 2020.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; BARROS, L. F. P.; RAPOSO, A. A.; CHEREM, L. F. S. Eventos deposicionais fluviais quaternários e dinâmica recente do Vale Do Rio Maracujá – Quadrilátero Ferrífero/MG. **Revista Brasileira de Geografia Física**. V. 02, p. 78 – 86, 2010. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/viewFile/232657/26670>. Acesso: Fev. 2022.

MAPBIOMAS. Coleção 5 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. 2019. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Escala: 1:100.000, (resolução espacial 30 m). 2020.

MARQUES, T. E. D. USO DE GRAMÍNEAS EM CONSÓRCIO COM LEGUMINOSAS PARA RECUPERAÇÃO DE VOÇOROCAS. Orientadora: Dra. Alessandra Rodrigues Kozovits. 2011. 83 f. Dissertação (mestrado) – Pós-graduação em Ecologia de Biomas Tropicais, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.

MINAS GERAIS. **Deliberação nº 20, de 14 de dezembro de 2014**. Dispõe sobre a aprovação do documento “Metodologia do Zoneamento Ambiental Produtivo de Sub-bacias hidrográficas, 3ª edição” para o Estado de Minas Gerais. Governo do Estado de Minas Gerais, Minas Gerais, 14 dez. 2014.

NASCIMENTO, M. D.; SOUZA, B. S. P. O mapeamento geomorfológico como subsídio ao estudo das fragilidades ambientais. **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas** – UFSM. Ciência e Natura, Santa Maria, ISSN: 2179-460X, v. 35 n. 2 dezembro, 2013, p. 246-260.

MUCIDA, D. P.; GORGENS, E. B.; RECH, A. R.; CHRISTOFARO, C.; SILVA, R. S.; PEREIRA, I. M.; MORAIS, M. S.; COSTA, A. M.; FRANÇA, L. C. J. Designing optimal agrosilvopastoral landscape by the potential for conservation use in Brazil, *Sustainable Horizons*, Volume 5, 2023, 100045, ISSN 2772-7378, <https://doi.org/10.1016/j.horiz.2022.100045>.

OLIVEIRA, D. A. DOS SANTOS. Gênese de solos em toplotossequência no Sinclinal Moeda – Quadrilátero Ferrífero (MG). Orientador: Dr. João Carlos Ker. 2013. 107 f. Dissertação (mestrado) – Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2013. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/6846/1/texto%20completo.pdf>

PACHECO, F.; MELO, M.; PISSARRA, T.; FERNANDES, L. Water-Secure River Basins: A Compromise of Policy, Governance and Management with the Environment. **Water** 2022, 14, 1329. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w14091329>

PEREIRA, A. N. Caracterização física, química e mineralógica dos solos em uma vertente do Parque Municipal das Mangabeiras – Quadrilátero Ferrífero (MG).

Orientadora: Dra. Cristiane Valéria de Oliveira. 2014. 83 f. Dissertação (mestrado) – Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/39396>

Projeto APA Sul RMBH: estudos do meio físico, pedologia, Edgar Shinzato, Amaury de Carvalho Filho. Belo Horizonte: CPRM/EMBRAPA/SEMAD, 2005. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/10218/rel_apa_sulrmbhv5a.pdf?sequence=24.

Projeto MapBiomias – **Coleção 5 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**. Disponível em: https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR. Acesso em 08 de outubro de 2020.

REIS, D. L. R.; MACHADO, M. M. MODELAGEM DO POTENCIAL GEOTURISTICO DO PARQUE ESTADUAL SERRA DO ROLA MOCA-MG/MODELING OF THE GEOTURISTIC POTENTIAL OF SERRA DO ROLA MOCA STATE PARK-MG. **Ra'eGa**, Curitiba, v. 46, n. 2, p. 171-184, 2019. Disponível em: <https://link.gale.com/apps/doc/A601437801/AONE?u=capes&sid=bookmark-AONE&xid=3766d2ed>

RIZZOLI, A. E.; LEAVESLEY, G. H.; ASCOUGH II, J.; ARGENT, R. M.; ATHANASIADIS, I. N.; BRILHANTE, V.; CHAYS, F. H. A.; DAVID, O; DONETALLI, M.; GIJSBRS, P.; HAVLIK, D.; KASSAHUM, A.; KRAUSE, P.; QUINN, N, W; SCHOLTEN, H.; SOJDA, R. S.; VILLA, F. Integrated Modelling Frameworks for Environmental Assessment and Decision. p. 101-118. In: Support Environmental Modelling, Software, and Decision Support - State of the Art and Future Perspectives. Amsterdam: Elsevier B.V., 2008. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/200058777>

ROMA, J. C. Os objetivos de desenvolvimento do milênio e sua transição para os objetivos de desenvolvimento sustentável. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 71, n. 1, p. 33-39, Jan. 2019. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252019000100011&lng=en&nrm=iso.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista Do Departamento De Geografia** – Departamento de geografia – FFLCH/USP, p. 63-74, 1994. DOI: <https://doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0006>.

SCALCO, R. F. DESAFIOS, PARADOXOS E COMPLEXIDADE NA GESTÃO DO MOSAICO DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL CACHOEIRA DAS ANDORINHAS – OURO PRETO/MG. Orientador: Dr. Bernardo Machado Gontijo. 2009. 228 f. Dissertação (mestrado) – Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/MPBB-7QGNLZ>

SILVA, A. C. Comportamento dos fluxos de águas subsuperficiais em sistemas de fraturas e suas influências na instabilidade da encosta. Orientador: Dr. André de Souza Avelar. 2017. 174 f. Tese (doutorado) – Pós-Graduação em Geografia,

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <http://objdig.ufrj.br/16/teses/870343.pdf>

SILVA, T. M.; PAES, T. V. Parâmetros morfométricos aplicados a análise tectonoerosiva em bacias de drenagem / Morphometric parameters applied to tectonic-erosive analysis in watersheds. **Geo UERJ**, [S.l.], n. 33, p. e37684, dez. 2018. ISSN 1981-9021. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.ufrj.br/index.php/geouerj/article/view/37684>. Acesso: Out. 2020. doi:<https://doi.org/10.12957/geouerj.2018.37684>.

SOUZA, C. G. Caracterização de solos nos arredores da Serra Três Irmão e da Serra da Moeda – Quadrilátero Ferrífero/MG. Orientadora: Dra. Cristiane Valéria de Oliveira. 2006. 110 f. Dissertação (mestrado) – Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/MPBB-789FLX>

TENENWURCEL, M. A.; MOURA, M. S.; COSTA, A. M.; MOTA, P. K.; VIANA, J. H. M.; FERNANDES, L. F. S.; PACHECO, F. A. L. An improved model for the evaluation of groundwater recharge based on the concept of conservative use potential: A study in the river Pandeiros Watershed, Minas Gerais, Brazil. **Water (Switzerland)**, v. 12, n. 4, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12041001>

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS, LABORATÓRIO DE SOLOS E MEIO AMBIENTE. **Zoneamento Ambiental e Produtivo da Bacia Hidrográfica do Rio Manso - MG**. Belo Horizonte: UFMG/IGC, 2017.

UFOP, UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO. Estratigrafia e Arcabouço Estrutural do Quadrilátero Ferrífero: Nota Explicativa do Mapa Geológico do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Escala 1:150.000. Departamento de Geologia, Escola de Minas – UFOP – Centro de Estudos Avançados do Quadrilátero Ferrífero. Disponível em: www.qfe2050.ufop.br.

UFV, UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA; FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS; UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS; FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais** – escala 1:650.000. 2010. Disponível em: <http://www.feam.br/noticias/1/949-mapas-de-solo-do-estado-de-minas-gerais>. Acesso: abr. 2020.

VARAJÃO, C.A.C.; SALGADO, A.A.R.; VARAJÃO, A.F.D.C.; BRAUCHER, R.; COLIN, F.; NALINI JUNIOR, H.A. Estudo da evolução da paisagem do Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brasil) por meio da mensuração das taxas de erosão (¹⁰Be) e da pedogênese. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1409-1425, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000500032>

ZUCCHETTI, M. Geoquímica dos metabasaltos do grupo Nova Lima, Greenstone Belt Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Orientadora: Dra. Lydia Maria Lobato. 1998. 135 f. Dissertação (mestrado) – Pós-Graduação em Geologia,

Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1998. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/14680>

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A região do Alto curso do Rio das Velhas é marcada por fortes pressões ambientais, que carecem de mitigação. Dessa forma, esta pesquisa alcançou como resultado gerar um arcabouço de informações pautadas em conhecimentos teóricos e práticos, a fim de auxiliar na gestão e tomada de decisões na bacia hidrográfica em questão.

A atual configuração do uso e ocupação da terra no Alto Velhas é reflexo do seu processo histórico diretamente ligado à formação do estado e à exploração mineral. A partir da análise das mudanças temporais no uso e cobertura da terra, foi possível observar que a bacia está sob muitas pressões, além de sofrer uma complexa diversidade de usos. A expansão da mineração e da infraestrutura urbana, entre os anos de 1985 e 2019, são os usos que exercem maior pressão na bacia, especialmente considerando o cenário de insegurança hídrica e a proximidade das empresas de exploração mineral dos mananciais de abastecimento, bem como da demanda de abastecimento de água para população da RMBH.

A partir da análise de multicritério, a metodologia aqui empregada, PUC, permitiu a identificação de diferentes potenciais do meio físico (muito baixo a muito alto) na bacia. A matriz PUC deu destaque para as pressões ambientais observadas na área e evidenciou as áreas que carecem de atenção, como por exemplo, as áreas de exploração mineral e os mananciais de captação de água, que são um desafio na gestão do território. O método também mostrou que tem potencial para fornecer informações e subsidiar projetos e ações que contribuem para gestão integrada da bacia.

Ainda sobre o método, é preciso considerar as suas limitações, como por exemplo, a dificuldade de se trabalhar com bases de dados em escalas representativas levando em conta a área de estudo e a escala de trabalho. Outro ponto que merece atenção é em relação ao refinamento do método, considerando ajustes nas notas atribuídas às variáveis solos e litologia. Esses ajustes podem contribuir para uma melhor resposta final quanto ao potencial físico da área e, quando associado ao uso e ocupação da terra (matriz PUC), pode permitir uma melhor interpretação sobre o uso atual, verificando se está em conformidade com o potencial da área, garantindo ou não maior sustentabilidade para a mesma.

Espera-se que a partir das análises de parâmetros e metodologias que são capazes de avaliar o ambiente do ponto de vista físico, associados a interpretações geradas através desses produtos, seja possível que outros trabalhos, utilizando o arcabouço aqui apresentado, possam apontar alternativas para a recuperação de áreas prioritárias na bacia e proporcionar subsídios para o planejamento ambiental integrado.

Para uma gestão de bacia hidrográfica integrada e eficaz, muitos desafios precisam ser enfrentados. Por exemplo, compreender todas as características e peculiaridades em uma bacia, é uma tarefa árdua e complexa. Isso mostra que metodologias que consigam integrar alguns aspectos e características da bacia podem servir como ferramentas que auxiliam na gestão territorial e mostram também que o conhecimento sobre uma bacia estará sempre em construção, tendo em vista que ela é dinâmica e que a presença de múltiplos usuários favorece as transformações de usos presentes na mesma.

Considerando a expressividade espacial, os problemas ambientais são questões inerentes à análise geográfica e para que a aplicação de metodologias de análises de multicritérios se faça de forma eficaz, é necessário que no contexto das diversas escalas espaciais e temporais sejam consideradas diferentes características do objeto de análise. É preciso também enxergar o desenvolvimento econômico e a preservação ambiental como atividades interdependentes em que o desenvolvimento deve ser apoiado na eficácia econômica, no equilíbrio ambiental e na equidade social.