

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**Instituto de Geociências**  
**Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais**

Pedro Henrique Alves de Brito Lisboa

**USO DAS TERRAS, POTENCIAL DE USO CONSERVACIONISTA E SERVIÇOS  
ECOSSISTÊMICOS NA UTE NASCENTES, RIO DAS VELHAS, MG, BRASIL**

Belo Horizonte  
2024

Pedro Henrique Alves de Brito Lisboa

**USO DAS TERRAS, POTENCIAL DE USO CONSERVACIONISTA E SERVIÇOS  
ECOSSISTÊMICOS NA UTE NASCENTES, RIO DAS VELHAS, MG, BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Análise Ambiental.

**Área de concentração:** Análise de Recursos Ambientais

**Orientadora:** Prof<sup>ª</sup>. Dra. Adriana Monteiro da Costa

**Coorientadora:** Prof<sup>ª</sup>. Dra. Máise Soares de Moura

Belo Horizonte  
2024

L769u

2024

Lisboa, Pedro Henrique Alves de Brito.

Uso das terras, potencial de uso conservacionista e serviços ecossistêmicos na UTE Nascentes, Rio das Velhas, MG, Brasil [manuscrito] / Pedro Henrique Alves de Brito Lisboa. – 2024.

51 f., enc. il. (principalmente color.)

Orientadora: Adriana Monteiro da Costa.

Co-orientadora: Maíse Soares de Moura.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2024.

Área de concentração: Análise de Recursos Ambientais.

Bibliografia: f. 46-51.

1. Modelagem de dados – Aspectos ambientais – Teses. 2. Bacias hidrográficas – Administração – Teses. 3. Solos – Conservação – Teses. 4. Solo – Uso – Minas Gerais – Teses. I. Costa, Adriana Monteiro da. II. Moura, Maíse Soares de. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. IV. Título.

CDU: 911.2:519.6(815.1)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

**"Uso das terras, potencial de uso conservacionista e serviços ecossistêmicos na UTE nascentes, Rio das Velhas, MG, Brasil"**

**Pedro Henrique Alves de Brito Lisboa**

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada, no dia **10 de junho de 2024**, pela Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais constituída pelos seguintes professores:

**Adriana Monteiro da Costa - Orientadora**

Universidade Federal de Minas Gerais

**Sónia Maria Carvalho Ribeiro**

Universidade Federal de Minas Gerais

**Fernando António Leal Pacheco**

Universidade Trás-os-Montes e Alto Douro

**Maíse Soares de Moura**

Universidade Federal de Minas Gerais

Belo Horizonte, 10 de julho de 2024.



Documento assinado eletronicamente por **Fernando António Leal Pacheco, Usuário Externo**, em 10/07/2024, às 11:49, 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 **Adriana Monteiro da Costa, Professora do Magistério Superior**, em 11/07/2024, às 11:58, 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 **Sonia Maria Carvalho Ribeiro, Professora do Magistério Superior**, em 12/07/2024, às 12:33, 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 **Maíse Soares de Moura, Usuário Externo**, em 20/07/2024, às 10:59, 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](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **3365741** e o código CRC **516BC75C**.

---

Dedico este trabalho a Pachamama, símbolo eterno de resiliência.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por me permitir viver mais uma etapa.

Agradeço a minha família, pelo amor, compreensão e apoio incondicional durante todos esses anos de estudo. Agradeço especialmente aos meus pais, Luiz Henrique e Rosângela e aos meus irmãos, Guilherme e Leonardo por acreditarem em mim e me proporcionarem a oportunidade de seguir meus sonhos.

A Adriana Monteiro, pela orientação, paciência e incentivo durante todas as fases desta pesquisa. Suas valiosas contribuições e conhecimento foram fundamentais para a concretização deste trabalho. A Maíse Moura pelas contribuições e incentivo.

Aos servidores da Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Ouro Preto, pela assistência disponibilizada que foram essenciais para o desenvolvimento desta dissertação.

Não poderia deixar de agradecer ao ensino público da Universidade Federal de Minas Gerais que através do Instituto de Geociências (IGC) possibilitou a realização desta pesquisa e a toda equipe do LabSolos pelo acolhimento.

Agradeço a todos os participantes e colaboradores que de alguma forma direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

A todos, meu sincero agradecimento.

“O otimista é um tolo. O pessimista é um chato. Bom mesmo é ser um realista esperançoso.” (Ariano Suassuna)

## RESUMO

A dinâmica na mudança da superfície terrestre e seus impactos sobre os ecossistemas e biodiversidade afetam na provisão e regulação dos diversos serviços ecossistêmicos. As atividades antrópicas, quando analisadas a partir da mudança no uso e cobertura do solo, influenciam na capacidade de suporte do solo, por exemplo, para a provisão hídrica ou na regulação aos processos erosivos. Reconhecer a interferência humana como fator na dinâmica de mudança do uso e cobertura do solo é essencial para que os gestores e tomadores de decisões possam implementar planos, projetos e ações capazes de mitigar e conservar a terra, buscando a promoção dos serviços ofertados pela natureza. Adotando os limites da sub-bacia hidrográfica Nascentes como área de estudos, este trabalho teve como objetivos desenvolver mapas temáticos alinhado a quantificação das mudanças no uso e cobertura do solo e a relação destas com os serviços ecossistêmicos, sendo dividido: (1) analisar a mudança, em um período de 36 anos, de 1985 a 2021, em intervalos pré-definidos, a saber, 1985–2003, 2003–2021 e 1985–2021; (2) avaliar a transição do solo e seus impactos sobre potenciais áreas de uso conservacionista; (3) propor práticas que contribuam para a promoção dos serviços ecossistêmicos visando o desenvolvimento sustentável e a vocação do território. A partir da utilização do sensoriamento remoto junto ao Sistema de Informação Geográfica (SIG) foi possível analisar e quantificar as mudanças e transições alinhadas com a aplicação do método do Potencial do Uso Conservacionista (PUC), permitiu identificar o potencial vocacional do território. Os resultados mostraram que entre os anos de 1985 e 2021 houve um aumento da mineração (513,70%), silvicultura (176,88%) e áreas urbanas (72,86%). As transições do solo, ou seja, as mudanças entre as classes, se intensificaram sobre as áreas de PUC Muito Baixo, passando de Afloramento Rochoso para Mineração (94,37 ha); de PUC Médio, passando de Formação Florestal para Silvicultura (355,67 ha); e, de PUC Alto, de Pastagem e Mosaico de Usos para Áreas Urbanizadas (620,37 ha). Ao relacionar o PUC com a transição da terra foi possível identificar, a partir da análise exploratória, que as mudanças de classe promoveram a perda da vocação do território além de intensificarem a perda do potencial para a provisão e regulação dos serviços ecossistêmicos.

**Palavras-chave:** gestão do território; zoneamento ambiental; gestão de bacias hidrográficas; conservação dos solos; Potencial de uso conservacionista.

## ABSTRACT

The dynamics of land surface change and its impacts on ecosystems and biodiversity affect the provision and regulation of various ecosystem services. Anthropogenic activities, when evidenced through changes in soil use and coverage, influence the soil's support capacity, for example, for water supply or regulation of erosion processes. Recognizing human interference as a factor in the dynamics of land use and cover change is essential so that managers and decision makers can implement plans, projects and actions capable of mitigating and conserving land, seeking to promote the services offered by nature. Adopting the limits of the Nascentes watersheds as a study area, this work had objectives such as developing thematic maps aligned with the quantification of changes in land use and cover and the relationship with ecosystem services, being divided: (1) analyze the change, over a period of 36 years, from 1985 to 2021, at pre-defined intervals, namely, 1985–2003, 2003–2021 and 1985–2021; (2) evaluate land transition and its impacts on potential areas of conservative use; (3) propose practices that contribute to the promotion of ongoing ecosystem services, sustainable development and the vocation of the territory. Using remote sensing together with the Geographic Information System (GIS), it was possible to analyze and quantify the changes and transitions aligned with the application of the Conservationist Use Potential (PUC) method, allowing the vocational potential of the territory to be identified. The results showed that between 1985 and 2021 there was an increase in mining (513.70%), forestry (176.88%) and urban areas (72.86%). Soil transitions, that is, changes between classes, intensified in the areas of PUC Very Low, going from Rock Outcrop to Mining (94.37 ha); from PUC Medium, changing from Forestry to Silviculture (355.67 ha); and, from PUC High, from Pasture and Mosaic of Uses for Urbanized Areas (620.37 ha). By relating the PUC to the land transition, it was possible to identify, from the exploratory analysis, that class changes promoted the loss of the territory's vocation in addition to intensifying the loss of potential for the provision and regulation of ecosystem services.

**Keywords:** territory management; environmental zoning; watersheds management; soil conservation; Potential for conservation use.

## LISTA DE IMAGENS

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Localização da área de estudo. ....                                          | 17 |
| Figura 2 - Etapas da pesquisa. ....                                                     | 20 |
| Figura 3 - Distribuição das classes para os anos de 1985, 2003 e 2021.....              | 23 |
| Figura 4 - Transição na UTE Nascentes: 1985-2003 (A), 2003-2021 (B), 1985-2021 (C)..... | 25 |
| Figura 5 - Áreas urbanas, de expansão urbana e processos minerários.....                | 27 |
| Figura 6 - Distribuição das classes de PUC na UTE Nascentes.....                        | 34 |
| Figura 7- Transição da Área Urbana (1985-2021) sobre o PUC.....                         | 39 |
| Figura 8 - Transição da Silvicultura (1985-2021) sobre PUC.....                         | 42 |
| Figura 9 - Transição da Mineração (1985-2021) sobre PUC. ....                           | 43 |
| <br>                                                                                    |    |
| Gráfico 1 - Variação percentual na transição do uso e cobertura da terra.....           | 24 |
| Gráfico 2 - Incremento e Redução de área (ha) nas classes de PUC entre 1985-2021. ....  | 35 |

## LISTA DE TABELAS E QUADROS

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Distribuição populacional. ....                                  | 18 |
| Tabela 2 - Variação da transição do uso e cobertura da terra. ....          | 23 |
| Tabela 3 - Distribuição espacial nas UCs e sub-bacias do rio Maracujá. .... | 26 |
| Tabela 4 - Distribuição das classes de declividade. ....                    | 31 |
| Tabela 5 - Distribuição das classes litológicas. ....                       | 32 |
| Tabela 6 - Distribuição das classes de solos na área de estudos. ....       | 32 |
| Tabela 7 - Intervalos de abrangência e cores das regiões do PUC. ....       | 33 |
| Tabela 8 - Distribuição da LUT sobre as classes de PUC, ano 2021. ....      | 36 |
| <br>                                                                        |    |
| Quadro 1 - Oportunidades e ganhos com os serviços ecossistêmicos. ....      | 13 |
| Quadro 2 - Unidades de Conservação na UTE Nascentes. ....                   | 19 |

## SUMÁRIO

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....                                                  | 12 |
| <b>2 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....                                         | 17 |
| 2.1 Área de estudo .....                                                   | 17 |
| 2.2 Metodologia .....                                                      | 20 |
| <b>3 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....                                     | 23 |
| 3.1 Avaliação do uso e cobertura da terra .....                            | 23 |
| 3.2 O potencial para o uso conservacionista da terra .....                 | 31 |
| 3.2.1 Análise espacial do método PUC e as transições do uso da terra ..... | 31 |
| 3.2.2 Potencialidades dos serviços ecossistêmicos .....                    | 38 |
| <b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....                                        | 45 |
| <b>5 REFERÊNCIAS</b> .....                                                 | 46 |

## 1 INTRODUÇÃO

A dinâmica da Terra envolve uma série de processos e interações complexas que moldam a estrutura e o funcionamento do planeta. Estes processos ocorrem em escalas de tempo geológico, já conhecidas, destacando por exemplo a tectônica de placas (Fluteau, 2003).

A teoria da tectônica de placas consiste em um importante ponto para entender o processo de transformação da superfície terrestre. A partir do movimento das placas e das forças atuantes entre elas observa-se processos geológicos que moldam a superfície da Terra (Grotzinger; Jordan, 2013). A formação de montanhas, das planícies e vales, apresenta relação direta com o viver, cultivar e construir infraestruturas. A formação de recursos minerais e energéticos, como petróleo, gás natural e minerais, são essenciais para diversas atividades econômicas que também moldam a superfície terrestre.

Nos últimos 300 anos mais da metade das áreas terrestres globais são perturbadas em algum grau pelos seres humanos (Yu; Leng, 2022). Entender a dinâmica da mudança no uso da terra é essencial para enfrentar os desafios sociais e ambientais – como as mudanças climáticas, a perda dos serviços ecossistêmicos e da biodiversidade, a segurança alimentar entre outros – que estão em um ritmo muito mais rápido de mudanças do que os períodos naturais, geológicos da história conhecida da Terra (Winkler *et al.*, 2021; Turner, 2002).

As mudanças globais na cobertura da terra, representam uma ameaça à sustentabilidade, carecendo, contudo, de uma compreensão abrangente dos benefícios e prejuízos associados aos diferentes tipos de cobertura, incluindo suas magnitudes, localizações e transição (Radwan *et al.*, 2021). Em números, estima-se que aproximadamente 75% da superfície terrestre tenha sido modificada de alguma forma pelas atividades humanas (Foley *et al.*, 2005).

A dinâmica dos diferentes usos da terra está em constante transformação, com mudanças significativas em seu uso ao redor do mundo. Esta mudança pode ser compreendida como um processo pelo qual as atividades humanas transformam a paisagem natural geralmente enfatizando o papel funcional da terra para atividades econômicas (Lambin; Geist; Lepers, 2003). Estas transformações não apresentam um padrão de alteração podendo então acarretar respostas nas condições do equilíbrio socioambiental.

Exemplificando, no Brasil, o desmatamento na Amazônia e a expansão agrícola na região Centro-Oeste resultam em significativas alterações na paisagem e nos ecossistemas (Chaves *et al.*, 2024). A essas alterações podemos relacionar as emissões de gases de efeito estufa e as mudanças

climáticas que estão também intimamente interligadas e apresentam uma relação direta com as mudanças no uso e cobertura da terra (Lapola *et al.*, 2014). Por fim, todos estes são alguns dos principais causadores de impactos nos diferentes tipos de serviços ecossistêmicos sendo estes impactos das alterações, na sua maioria, negativos.

Os serviços ecossistêmicos (SE) são os benefícios fornecidos pelos ecossistemas (MEA, 2005). Estes serviços incluem: os serviços de provisão como alimentos, água, madeira, fibras e recursos genéticos; os serviços de regulação como a regulação do clima, inundações, doenças e qualidade da água, bem como tratamento de resíduos; os serviços culturais como recreação, prazer estético e realização espiritual; e, os serviços de suporte como formação do solo, polinização e ciclagem de nutrientes (Brasil, 2021).

No Quadro 1, são apresentados alguns serviços ecossistêmicos e sua relação com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Quadro 1 - Oportunidades e ganhos com os serviços ecossistêmicos.

| <b>Ação</b>                   | <b>Ganhos</b>                                                                                                                | <b>Referências</b>                                                                                                                                                                               | <b>ODS</b> |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Conservação do solo           | A manutenção de nutrientes; controle de inundações, erosão, pragas e doenças; reciclagem de resíduos e sequestro de carbono. | Pereira <i>et al.</i> (2018) apresentou que os solos fornecem SE essenciais para a sustentabilidade. Práticas não sustentáveis levam a desserviços e sua degradação.                             | 15         |
| Manutenção da biodiversidade  | Os produtos ou bens oriundos do sistema natural incluem fármacos, alimentos (como pesca), madeira e muitos outros.           | Alho (2012) evidenciam que sistemas naturais proveem serviços que dão suporte à vida, tais como purificação do ar e da água, habitats reprodutivos e alimentares para extrativismo entre outros. | 2, 15      |
| Melhoria da qualidade de água | O uso do solo é um indicador eficaz da qualidade da água em áreas rapidamente urbanizadas.                                   | Yao <i>et al.</i> (2023) mostraram que a mudança do uso do solo para áreas urbanas ocupou uma grande quantidade de terra cultivada, aumentando rapidamente os impactos na qualidade da água.     | 2, 6       |
| Sequestro de carbono          | O armazenamento e estoque de carbono através dos sumidouros naturais de gás carbônico.                                       | Corrêa (2020) destacam o papel das florestas naturais para o serviço de regulação climática por meio do estoque de carbono.                                                                      | 2, 8       |

|                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                          |    |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Preservação de áreas de APPs | As áreas de Preservação Permanente, como matas ciliares e encostas íngremes, desempenham um papel fundamental na regulação do fluxo de água, na proteção do solo contra erosão e na manutenção da biodiversidade. Apesar da ocupação urbana, é essencial preservar e restaurar essas áreas para garantir a provisão contínua de serviços ecossistêmicos. | Rodrigues <i>et al.</i> (2011) destacam a importância das áreas de APPs na proteção dos recursos hídricos e na promoção da resiliência dos ecossistemas. | 15 |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Entender a relação entre o uso e cobertura do solo e os serviços ecossistêmicos é fundamental para a sustentabilidade socioambiental. O uso do solo – agricultura, urbanização, conservação – influencia diretamente na provisão dos SE, como a produção de alimentos, a regulação do clima e a conservação da biodiversidade. Por outro, a cobertura do solo – florestas, pastagens, áreas urbanas – afeta a qualidade e a quantidade desses serviços. Portanto, a gestão do uso e da cobertura do solo deve equilibrar o fornecimento dos serviços ecossistêmicos, para promover a resiliência e a sustentabilidade dos ecossistemas.

Um outro ponto é entender como ocorre a transformação no uso e cobertura do solo, ou seja, qual a tendência de mudança tende a acontecer em determinado local. Turner, Lambin e Reenberg (2007) definem a transição do uso da terra (LUT, do inglês Land Use Transition) como um processo complexo que envolve mudanças socioeconômicas e ambientais, resultando em novas configurações paisagísticas o que tende a afetar diretamente os serviços ecossistêmicos.

As evidências recentes sugerem que a ligação entre os modelos de serviços ofertados pela natureza e a expansão urbana ou os modelos de uso do solo é crítica (Shi; Gu; Xiao, 2023), levando a uma perda generalizada desses serviços.

Assim, investigar as transições do uso da terra permite analisar e compreender os caminhos que a superfície terrestre vem sendo submetida, os seus impactos presentes e tendências futuras, de forma a definir critérios e metas vocacionais dos território auxiliando na gestão e monitoramento adequados dos territórios (Burgess, 2000). Logo, compreender as mudanças no uso e cobertura do solo e seus impactos associados é essencial para o desenvolvimento de planos de gestão ecológica sustentáveis a longo prazo (Polasky *et al.*, 2011).

Diante dos esforços globais para os planos de gestão ecológicas sustentáveis, identificar o potencial e vocação de um determinado território é uma importante etapa para o adequado planejamento territorial, cabendo assim, relacionar os processos ecológicos e toda sua relação de

forma holística e abrangente. Long *et al.* (2021) considera que a LUT ajuda a fornecer abrangentes informações possibilitando aos tomadores de decisões condições para o adequado planejamento e gestão ambiental.

Essas informações e dados se tornam um componente fundamental para os processos de planejamento e tomada de decisão como apontado, ajudando a entender melhor onde e como planejar, ordenar a terra. Cabe salientar ainda a importância para o entendimento e compreensão da conectividade e/ou fragmentação dos diferentes recursos sobre o meio.

No Brasil, os instrumentos de gestão do território são extremamente importantes para garantir a efetividade das análises e ações num território amplo e diverso. Um exemplo é a Lei das Águas, instituída pela Lei Federal nº 9.433/1997, estabelecendo a bacia hidrográfica como a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, permitindo uma gestão descentralizada com a participação do poder público, dos usuários e das comunidades (Brasil, 1997).

Uma estratégia utilizada pelo Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas (CBH Velhas) foi o estabelecimento das Unidades Territoriais Estratégica (UTE) subdividindo assim, o seu território, em 23 UTEs. Estas consistem no agrupamento das bacias ou sub-bacias hidrográficas contíguas para planejamento e gestão de recursos hídricos (CBH Velhas, 2012).

O conhecimento das alterações de uso e cobertura do solo na UTE Nascentes, a análise do seu potencial e vocação natural, da identificação de áreas prioritárias para projetos de conservação e recuperação são indispensáveis para o avanço de políticas públicas que contribuam para a resiliência deste território frente aos diversos impactos que se intensificam ao longo dos tempos.

O conhecimento do território segundo Macleod e Congalton (1998) acontece a partir da análise de quatro aspectos para a detecção de mudanças e monitoramento dos recursos naturais: primeiro, detectar as mudanças que ocorreram; segundo, identificar a natureza da mudança; terceiro, medir a extensão da área da mudança e, por último, avaliar o padrão espacial da mudança.

Este trabalho busca analisar as mudanças e transições do uso e cobertura do solo na UTE Nascentes a partir da identificação das variáveis que influenciam em suas alterações. Conhecendo e sabendo da rica biodiversidade natural, cultural e paisagística e a importância dos recursos naturais do território é possível realizar uma análise exploratória para a integração entre as alterações no uso e cobertura do solo e os serviços ecossistêmicos.

Assim, o presente estudo teve os seguintes objetivos: 1) analisar as mudanças do uso e cobertura do solo na UTE Nascentes para um período de 36 anos, de 1985 a 2021, em intervalos pré-definidos, a saber, 1985–2003, 2003–2021 e 1985–2021; 2) avaliar a transição do uso do solo e seus

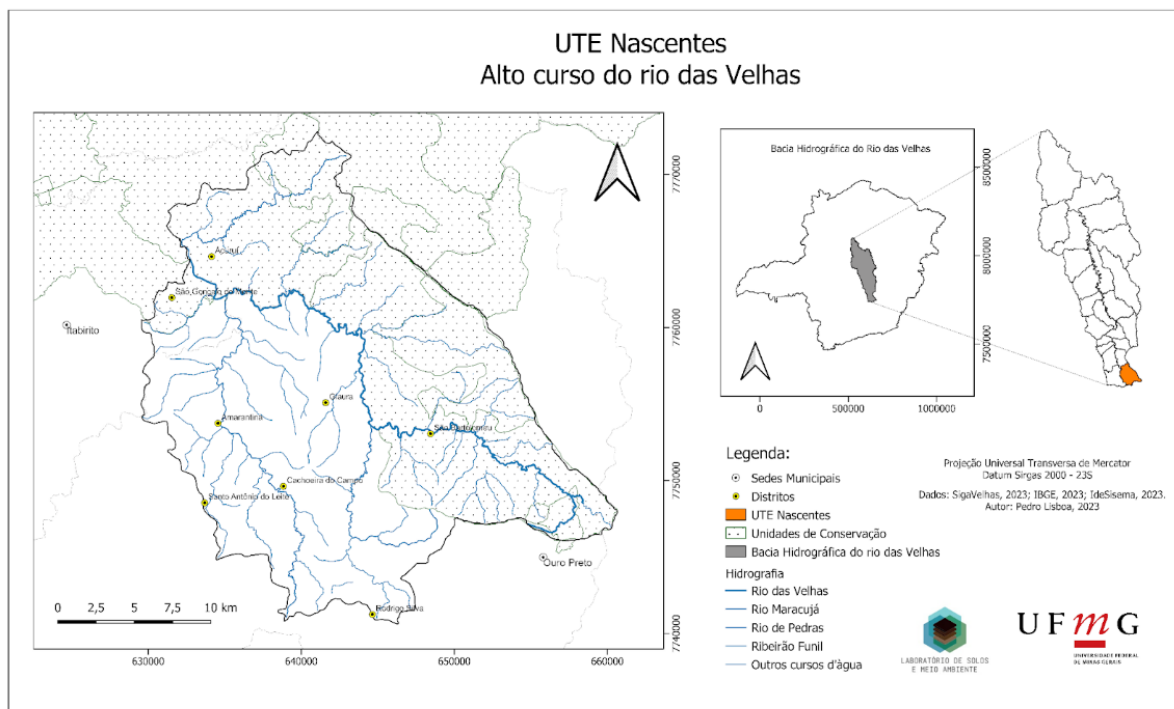
impactos sobre potenciais áreas de uso conservacionista; 3) propor práticas que contribuam para a promoção dos serviços ecossistêmicos visando o desenvolvimento sustentável e a vocação do território.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

A UTE Nascentes está localizada no alto curso da bacia hidrográfica do rio das Velhas, principal afluente do rio São Francisco (Figura 1). Inserida na região do Quadrilátero Ferrífero (QF) apresenta altitudes variando de 1.268 metros, que abrange sua principal nascente no Parque Natural Municipal das Andorinhas no município de Ouro Preto e, 868 metros em sua primeira foz, na represa rio de Pedras, no município de Itabirito (CBH Velhas, 2023). Com uma extensão territorial de 55,3 km<sup>2</sup>, a UTE Nascentes, contribui de maneira expressiva com o fornecimento de água para a Região Metropolitana de Belo Horizonte, para uma população superior a 5,7 milhões de habitantes (IBGE, 2024b).

Figura 1 - Localização da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Com uma população total de 22.077 habitantes (Tabela 1), as maiores ocupações e infraestruturas urbanas estão concentradas na parte ocidental da UTE Nascentes, correspondendo a 89,72% (IBGE, 2024a).

Tabela 1 - Distribuição populacional.

| <b>Município</b> | <b>Distrito</b>        | <b>Censo 2010</b> | <b>Censo 2022</b> |
|------------------|------------------------|-------------------|-------------------|
| Ouro Preto       | Amarantina             | 3.577             | 4.874             |
|                  | Cachoeira do Campo     | 8.923             | 12.035            |
|                  | Glaura                 | 1.418             | 1.515             |
|                  | Rodrigo Silva          | 1.080             | 1.082             |
|                  | Santo Antônio do Leite | 1.705             | 1.817             |
|                  | São Bartolomeu         | 730               | 754               |
| Itabirito        | Acuruí                 | 1.141             | 1.236             |
|                  | São Gonçalo do Monte   | 380               | 664               |
| <b>TOTAL</b>     |                        | <b>17.433</b>     | <b>22.077</b>     |

Fonte: IBGE (2024).

O meio físico é caracterizado por uma geologia rica e diversificada, característica do QF, onde é predominando litologias compostas por formações ferríferas bandadas, quartzitos e xisto, que são remanescentes de processos geológicos antigos e complexos. Endo *et al.* (2020) identifica o afloramento de quatro grandes unidades litoestratigráficas: Complexo Metamórficos Arqueanos, Supergrupo Rio das Velhas, Supergrupo Minas e Supergrupo Estrada Real, além de unidades Cenozóicas.

O relevo apresenta grande relação e influência com a litologia, resultando em paisagens montanhosas e vales profundos, com variações de altitudes assim, a topografia acidentada e a variação litológica proporcionam uma heterogeneidade ambiental significativa, que influência diretamente os ecossistemas locais e o uso do solo na região.

Assim, ocorrendo uma forte relação nos solos, em geral, estes são bastante intemperizados, apresentando texturas variáveis a depender da rocha matriz subjacente (Varajao, 1991). São predominantes os Neossolos Litólicos, Latossolos Vermelho-Amarelo, Latossolos Vermelho, Cambissolos Háplico, Argissolos Vermelho. Esses solos são frequentemente pobres em nutrientes, mas apresentam características que os tornam relevantes para a mineração e agricultura, dependendo da gestão e correção do solo (Embrapa, 2017).

Na região ainda há ocorrência dos afloramentos rochosos, estes últimos compreendem as superfícies rochosas desgastadas em porções isoladas mais elevadas do território, onde geralmente ocorrem solos muito rasos, onde os Campos Rupestres compõem a paisagem (Carmo; Jacobi, 2013).

A grande diversidade litológica, pedológica e geomorfológica da região é responsável por ocupações distintas e heterogêneas que, por sua vez, refletem nos estados de conservação e preservação ao longo da UTE Nascentes. Se por um lado a presença da atividade minerária é marcante e corresponde a um importante indutor econômico e, também, gerador de grandes passivos ambientais

(Mendes; Costa, 2022; Ribeiro et al., 2021) a diversidade do meio físico é responsável por inúmeros serviços ecossistêmicos de provisão .

No seu território estão inseridas integral ou parcialmente sete Unidades de Conservação (UC), somando aproximadamente 31.200 hectares de áreas protegidas, o que representa 57,64% da área total, consiste ainda em um potencial área de recarga de aquífero e proteção de ecossistemas e da biodiversidade. As UCs são áreas destinadas à preservação da natureza, regulamentadas por leis para proteger a biodiversidade e os ecossistemas e são divididas em duas categorias:

(i) Proteção Integral, onde a preservação da natureza é prioridade, é proibindo as atividades extrativas, exemplos desta categoria são os Parques Nacionais, as Estações Ecológicas; e, (ii) Uso Sustentável, onde as atividades humanas são permitidas desde que de forma sustentável, como exemplo temos as Áreas de Preservação Permanente (APAs), as Florestas, as Reservas Extrativistas (Brasil, 2000).

Em sua parte oriental, a UTE Nascentes, conta com mosaicos de UCs, ocupando uma área superior a 35,8 mil hectares (66% do território), Quadro 2. As áreas urbanizadas, atividades minerárias e silvicultura são ocupações que, de alguma forma, se encontram interconectadas e que podem contribuir para a transformação deste território ao longo dos tempos.

Quadro 2 - Unidades de Conservação na UTE Nascentes.

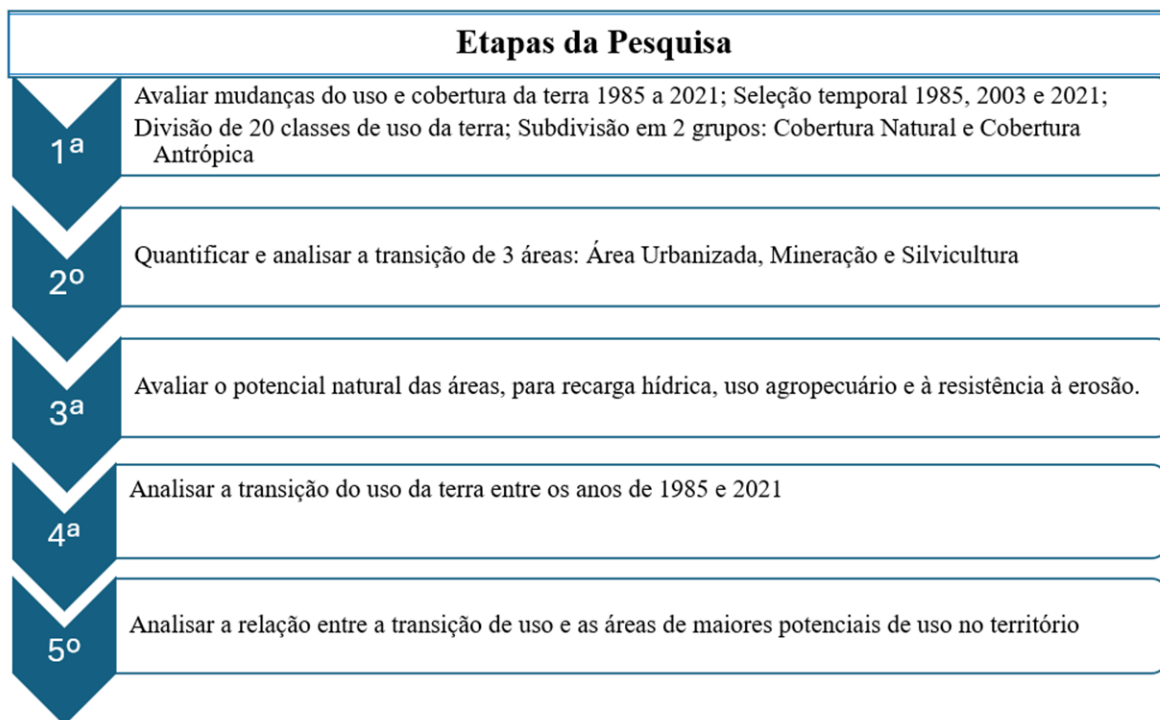
| UC                | Jurisdicção | Categoria                    | Ano de criação | Área (ha) | % UTE  |
|-------------------|-------------|------------------------------|----------------|-----------|--------|
| Proteção Integral | Municipal   | Parque das Andorinhas        | 2005           | 533       | 0,98%  |
|                   | Nacional    | Parque da Serra do Gandarela | 2014           | 2.511     | 4,64%  |
| Uso Sustentável   | Estadual    | APA Cachoeira das Andorinhas | 1989           | 18.527    | 34,20% |
|                   |             | APA Sul RMBH                 | 2001           | 9.930     | 18,33% |
|                   |             | Floresta do Uaimií           | 2003           | 4.356     | 8,04%  |

Fonte: (IEF, 2024; PMOP, 2024)

## 2.2 Metodologia

A metodologia compreendeu as seguintes etapas apresentadas na Figura 2.

Figura 2 - Etapas da pesquisa.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

A primeira etapa consistiu em avaliar a mudança do uso e cobertura do solo a partir da utilização da série anual de mapas de cobertura e uso da terra do Brasil (MapBiomas, 2023) e da utilização de ferramentas para a análise espacial de Sistema de Informação Geográfica.

A análise compreendeu um período temporal de 36 anos, sendo o ano inicial 1985, correspondente à primeira imagem disponível do MapBiomas e, a última o ano de 2021. Para a produção e elaboração dos mapas temáticos utilizou-se inicialmente três imagens temporais (1985, 2003 e 2021) contendo 20 classes de uso da terra que foram reclassificadas para 9 classes, divididas em 2 grupos: Cobertura Natural (Afloramento Rochoso, Água, Formação Campestre, Formação Florestal) e Cobertura Antrópica (Área Urbanizada, Mineração, Pastagem, Silvicultura). A classe Mosaico de Usos, de acordo com a metodologia MapBiomas são as áreas de uso agropecuário onde não é possível distinguir entre pastagem e agricultura, ou seja, de cobertura antrópica.

Por meio da tabulação cruzada, para cada classe foram quantificadas e analisadas as principais mudanças no período e relacionando com os processos existentes. A análise foi realizada em intervalos de tempo (1985–2003, 2003–2021 e 1985–2021) o que possibilitou o apoio nas discussões das relações existentes nas mudanças da paisagem e permitiu identificar ou não uma tendência nos

padrões de mudança do uso e cobertura da terra. Por fim, foi realizada a quantificação de cada classe e calculadas suas taxas de variação.

A segunda etapa consistiu em quantificar e avaliar a transição das três classes que apresentaram os maiores relativos de área (Área Urbanizada, Mineração e Silvicultura).

Na terceira etapa foi avaliado o potencial natural das áreas para recarga hídrica, uso agropecuário e a resistência à erosão. Utilizando-se para tal o método do Potencial de Uso Conservacionista (PUC) (Costa et al., 2019; Mendes; Costa, 2022), que consiste em ferramenta oficial do Estado de Minas Gerais inserido no Zoneamento Ambiental e Produtivo de Sub-bacias hidrográficas (ZAP) (FEAM, 2023).

Para a identificação do PUC são adotadas as variáveis de declividade, solos e litologia e a estas atribuídos pesos às classes das variáveis ambientais. Posteriormente foi executada a álgebra de mapas, conforme Equação 1 (Costa et al., 2017) onde foi gerado o mapa temático PUC com os cinco níveis de potencialidade (Muito Baixo, Baixo, Médio Alto, Muito Alto).

$$PUC = [(Declividade * 0,50) + (Pedologia * 0,39) + (Litologia * 0,11)] \quad \text{Equação 1}$$

Na quarta etapa, analisou-se a transição do uso do solo entre os anos de 1985 e 2021, adotando o método proposto por Profeta (2015). Exemplificando, a transição consiste, por exemplo, em 1985 foi identificada a classe de Formação Florestal e em 2021 esta substituída pela classe de Mineração. Diante destas análises, as novas classes de transição foram avaliadas e verificadas sobre quais classes cresceram ou não. Assim, todas as nove classes foram analisadas e quantificadas.

Na quinta etapa a partir de uma análise exploratória foi analisada a existência da relação entre a transição de uso do solo e as áreas de maiores potenciais de uso conservacionista na UTE Nascentes. Para tal utilizou-se as classes de potenciais de uso conservacionista (PUC).

Por fim, na sexta etapa avaliou-se no contexto do ordenamento territorial e a oferta dos serviços ecossistêmicos, conforme as propostas de Mendes (2022) e Moura (2023) onde a primeira autora utilizou o PUC integrado a mudança do uso e cobertura da terra com o objetivo de se realizar uma análise da fragilidade ambiental e a segunda autora adotando o PUC com a possibilidade para a provisão dos serviços ecossistêmicos, buscando compreender as particularidades das áreas e estabelecer estratégias para o fomento dos SE. Foi então realizada uma análise exploratória para a

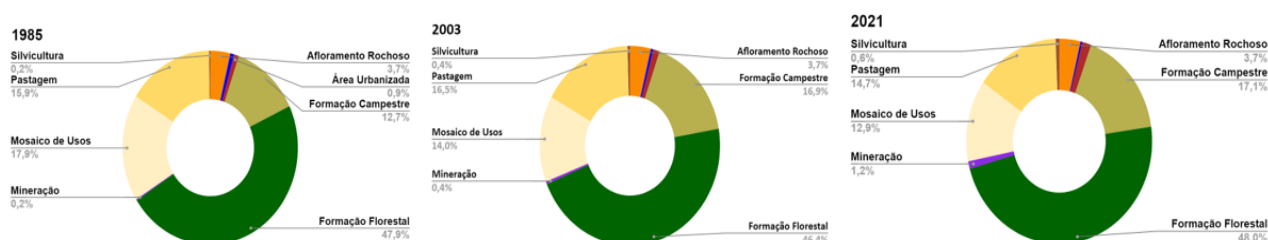
UTE Nascentes com foco nas áreas que apresentaram os maiores ganhos quando analisada a transição do uso do solo para avaliar oportunidades para sua conservação.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Avaliação do uso e cobertura da terra

As análises das mudanças do uso e cobertura do solo nos anos de 1985, 2003 e 2021, são apresentados na Figura 3. A maior parte da área de estudo é constituída pela classe Formação Florestal, representando 47,84%, 46,42% e 47,97% da área total para o período. A classe Áreas Urbanizadas apresentou significativo ganho de área de 493,74 hectares em 1985 para 631,53 hectares em 2003 e 853,47 hectares em 2013. A classe Água apresentou as maiores perdas de 0,69% em 1985, 0,44% em 2000 e 0,31% em 2013, enquanto a classe Silvicultura obteve ganhos de 122,22 ha em 1985, 232,47 ha em 2003 e 338,40 ha em 2021.

Figura 3 - Distribuição das classes para os anos de 1985, 2003 e 2021.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Com uma área total de 55,3 km<sup>2</sup> entre os anos de 1985 e 2021 a UTE Nascentes apresentou algum tipo de transição em 27% de seu território. Essas áreas acometidas por transição e (inalteradas) foram quantificadas para os períodos de 1985-2003 em 20,55% (79,45%), 2003-2021 em 17,28% (82,72%) e 1985-2021 em 26,99% (73,01%).

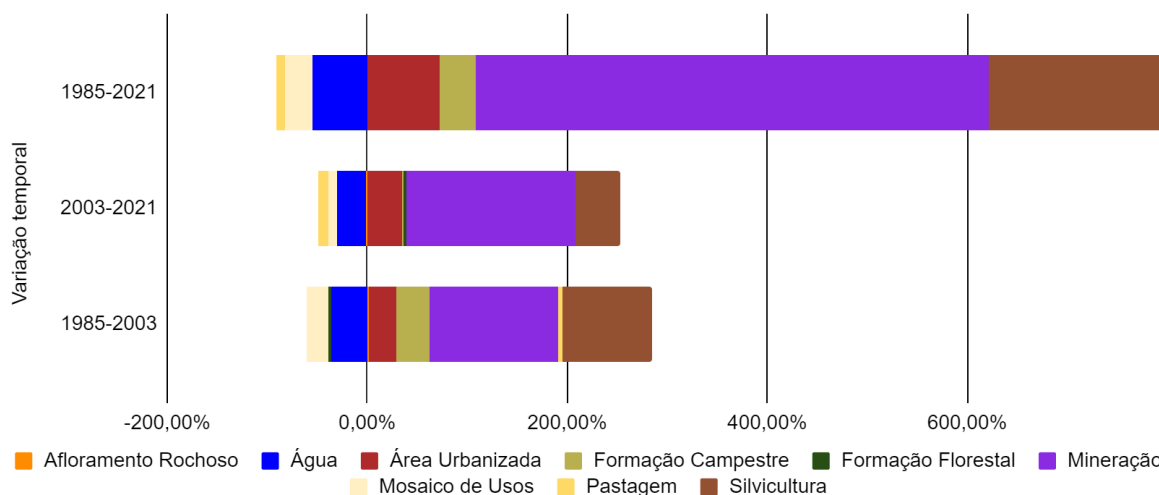
A Tabela 2 apresenta que a vegetação nativa total (Formação Florestal e Formação Campestre) apresentou ganhos líquidos relativos de 30,76%, 4,56% e 35,64% em 1985-2003, 2003-2021 e 1985-2021, respectivamente.

Tabela 2 - Variação da transição do uso e cobertura da terra.

| Classe              | 1985-2003 |        | 2003-2021 |         | 1985-2021 |        |
|---------------------|-----------|--------|-----------|---------|-----------|--------|
|                     | Área (ha) | %      | Área (ha) | %       | Área (ha) | %      |
| Afloramento Rochoso | 23,04     | 1,15   | -27,45    | -1,35%  | -4,41     | -0,22  |
| Água                | -133,56   | -35,82 | -70,20    | -29,33% | -203,76   | -54,65 |
| Área Urbanizada     | 137,79    | 27,91  | 221,94    | 35,14%  | 359,73    | 72,86  |
| Formação Campestre  | 2.326,50  | 33,83  | 112,68    | 1,22%   | 2.439,18  | 35,47  |
| Formação Florestal  | -799,29   | -3,07  | 843,75    | 3,34%   | 44,46     | 0,17   |
| Mineração           | 133,47    | 128,62 | 399,60    | 168,44% | 533,07    | 513,70 |
| Mosaico de Usos     | -2.121,39 | -21,85 | -596,79   | -7,87%  | -2.718,18 | -28,00 |
| Pastagem            | 322,02    | 3,73   | -990,81   | -11,06% | -668,79   | -7,74  |
| Silvicultura        | 110,25    | 90,21  | 105,93    | 45,57%  | 216,18    | 176,88 |

As transições de maior relevância para o período de 1985-2021 foram para as classes de Mineração (513,70%), Silvicultura (176,88%) e Área Urbanizada (72,86%), todas estas classes apresentando alguma relação direta com atividades antrópicas (Gráfico 1). Por outro lado, as maiores perdas relativas foram para as classes de Água (54,65%), Mosaico de Usos e Pastagem que juntas corresponderam a 35,74%.

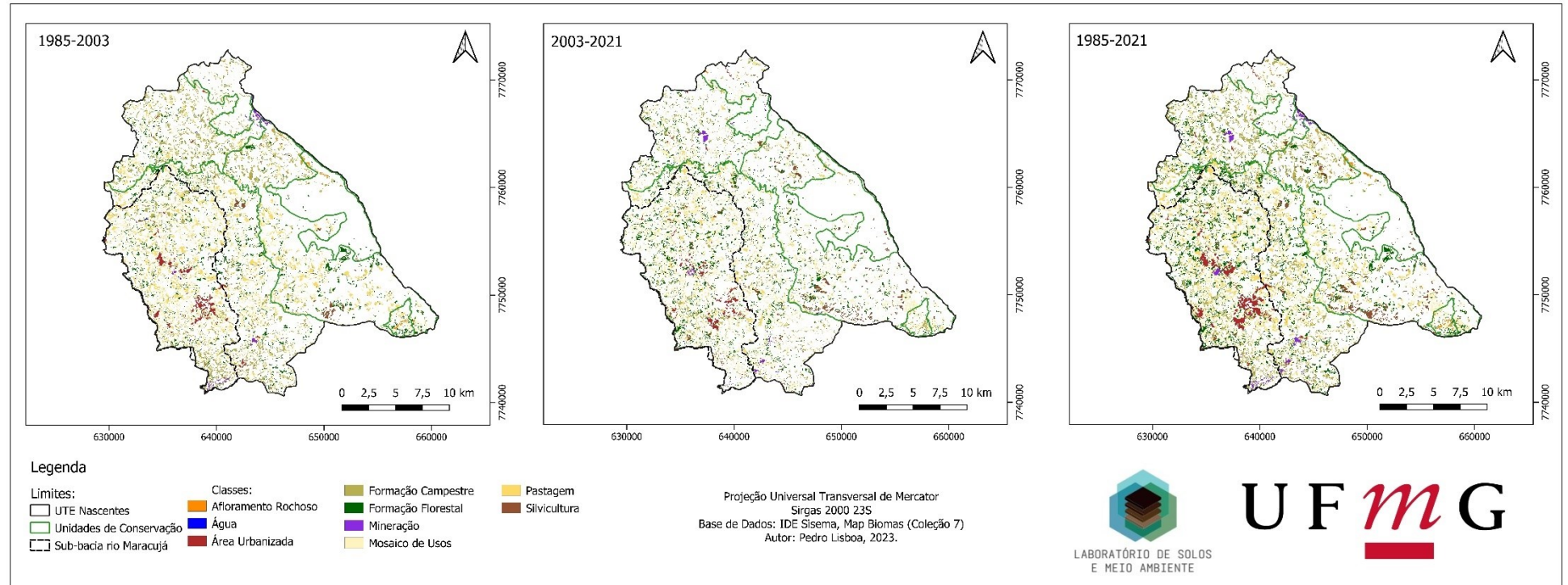
Gráfico 1 - Variação percentual na transição do uso e cobertura da terra.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

A Figura 4 apresenta um possível padrão de evolução espacial para os distintos usos e cobertura da terra em diferentes partes da área de estudo, sendo divididas: (i) parte Ocidental, compreendendo a sub-bacia do rio Maracujá e uma faixa diagonal da UTE Nascentes e, (ii) parte Oriental, abrangendo os mosaicos das Unidades de Conservação.

Figura 4 - Transição na UTE Nascentes: 1985-2003 (A), 2003-2021 (B), 1985-2021 (C).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Na Tabela 3 são apresentados os dados para uma análise inicial de possíveis padrões e suas relações de conexão e disposição com as transformações, impactos e ações antrópicas ou não sobre as partes ocidental e oriental na UTE Nascentes.

Tabela 3 - Distribuição espacial nas UCs e sub-bacias do rio Maracujá.

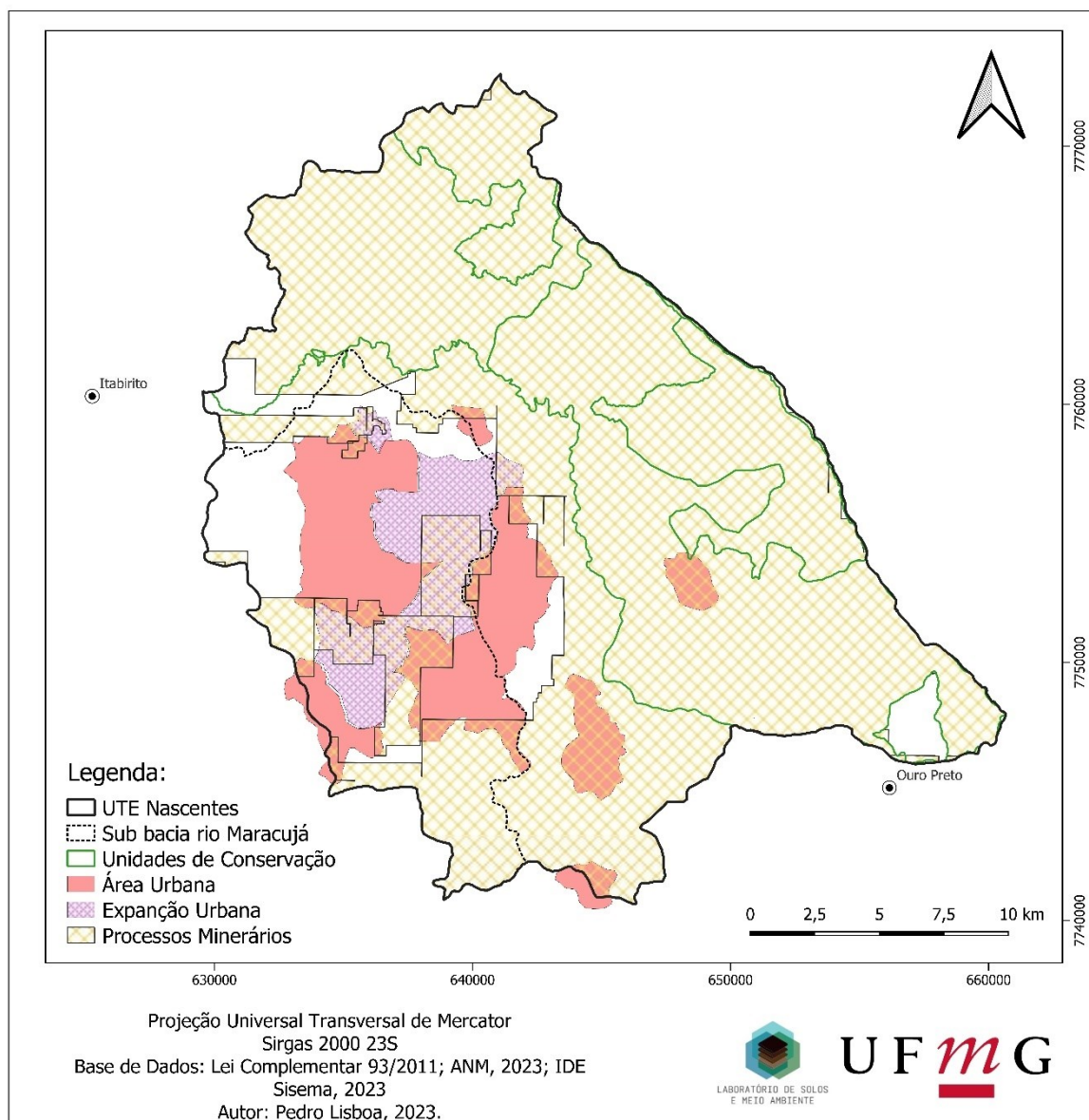
| Classes             | Parte Ocidental<br>(sub bacia rio Maracujá) |         |         | Parte Oriental (Unidades de Conservação) |         |         |                 |          |          |
|---------------------|---------------------------------------------|---------|---------|------------------------------------------|---------|---------|-----------------|----------|----------|
|                     |                                             |         |         | Proteção Integral                        |         |         | Uso Sustentável |          |          |
|                     |                                             |         |         | Área (ha)                                |         |         |                 |          |          |
|                     | 1985                                        | 2003    | 2021    | 1985                                     | 2003    | 2021    | 1985            | 2003     | 2021     |
| Afloramento Rochoso | 0                                           | 2,52    | 2,43    | 844,92                                   | 862,47  | 850,23  | 1037,79         | 1034,64  | 1019,07  |
| Água                | 33,93                                       | 26,01   | 18,63   | 4,59                                     | 1,89    | 5,58    | 315,09          | 204,57   | 134,37   |
| Área Urbanizada     | 171,99                                      | 452,52  | 702,54  | 5,94                                     | 0,09    | 9,63    | 223,47          | 79,92    | 52,74    |
| Formação Campestre  | 1097,1                                      | 1690,2  | 1643,94 | 1080,54                                  | 1187,73 | 1228,59 | 3302,1          | 4373,91  | 4449,51  |
| Formação Florestal  | 4121,91                                     | 3834,27 | 4495,23 | 738,72                                   | 749,52  | 708,03  | 15793,2         | 15406,92 | 15476,22 |
| Mineração           | 46,17                                       | 81,72   | 106,92  | 3,33                                     | 11,61   | 14,49   | 41,31           | 112,68   | 155,07   |
| Mosaico de Usos     | 3825,9                                      | 3191,67 | 3397,23 | 344,25                                   | 233,64  | 246,6   | 3036,42         | 2224,62  | 2307,24  |
| Pastagem            | 5064,3                                      | 5086,08 | 3946,05 | 72                                       | 47,34   | 26,37   | 1582,56         | 1799,1   | 1297,35  |
| Silvicultura        | 21,6                                        | 17,91   | 69,03   | 0                                        | 0       | 4,77    | 8,82            | 103,14   | 447,66   |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Observou-se que na sub-bacia do rio Maracujá (parte ocidental) os maiores ganhos em área estão relacionados à classe Área Urbanizada com 171,99 hectares, 452,52 hectares e 702,54 hectares em 1985, 2003 e 2021, respectivamente (Figura 5), onde estão localizados os distritos de Amarantina, Cachoeira do Campo, Santo Antônio do Leite e conseqüentemente, as maiores concentrações populacionais.

Até a década de 1970 estes distritos não apresentavam modificações em seu traçado urbano, o que ocorreu após a implantação da rodovia BR-356 e do novo ciclo da mineração, em especial para o minério de Ferro e o Esteatito (“pedra-sabão”) o que acarretou o aumento populacional e a expansão das malhas urbanas a partir da consolidação de loteamentos (Agostinho, 2021).

Figura 5 - Áreas urbanas, de expansão urbana e processos minerários.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

A malha urbana do município de Itabirito se expandiu para sua porção sudeste, extrapolando além do seu limite municipal, conformando com novos adensamentos para os distritos de Amarantina e Cachoeira do Campo (Garcia, 2019). Muitas destas expansões acontecem em decorrência da carência de áreas nas cidades de Ouro Preto e Itabirito (Conti; Sosa; Andrade, 2016).

O adequado planejamento para o desenvolvimento urbano, compreende a organização da distribuição espacial da população e das atividades econômicas dentro do território municipal e em sua área de influência (Brasil, 2001). Em Ouro Preto o Plano Diretor e a lei de uso e ocupação do solo encontram-se desatualizadas, legislações de 2006 e 2011,

respectivamente, e encontram-se em processo de revisão. Ressaltando que o Estatuto das Cidades estabelece sua revisão a cada 10 anos tornando a necessidade para um planejamento do território como um todo (Brasil, 2001).

Por um atraso em sua atualização e a falta de uma visão macro do território, alterações das legislações específicas aconteceram através de leis complementares que alteraram o zoneamento municipal por exemplo, fomentando a instalação de loteamentos. Neste caso, entre os anos de 2015 e 2023, foram promulgadas em Ouro Preto, MG quatro leis alterando o perímetro e o zoneamento municipal, sendo três destas no território da UTE Nascentes.

A mineração foi outra classe que apresentou grandes mudanças no uso e cobertura da terra. Foram identificados ganhos de área que corresponderam a 41,31 hectares em 1985, 112,68 hectares em 2003 e 155,07 hectares em 2021. Segundo Mendes (2022) as atividades minerárias por se encontrarem muito próximas das UCs, especialmente no Quadrilátero Ferrífero, são responsáveis por uma forte pressão sob estas áreas. Segundo CBH Velhas (2015) há 141 pedidos minerários para 15 substâncias minerais, sendo: minério de Ferro (51), minério de Ouro (48), Topázio (10), Areia (10), Gnaiss (6) e outros. Muitos destes pedidos estão inseridos na parte oriental da bacia, justamente onde se localizam os mosaicos das UCs e ainda, em parte da sub-bacia do rio Maracujá, onde as atividades garimpeiras são voltadas quase que exclusivamente para a extração do topázio imperial, além da extração do Gnaiss no distrito de Amarantina.

Entre 1985-2021 foi observado uma transição para a classe Mineração com ganhos em área de 533,07 hectares onde 58,0% da transição aconteceu nos limites internos das UCs de Uso Sustentável (APA Cachoeira das Andorinhas e APA Sul RMBH). As atividades minerárias tornaram-se indutoras para o processo de expansão urbana e crescimento populacional além de, específico aos municípios de Ouro Preto e Itabirito, observou-se uma dependência de suas receitas, arrecadações e tributos vinculados a esta atividade (Paiva, 2023; Reis, 2018; Silva, 2021).

Nessa região, assim como nas outras do Brasil com vocação minerária, a grande dependência econômica dos municípios aos recursos provenientes dessa atividade é histórica. Não se observa nestas regiões investimentos necessários em outros arranjos socioeconômicos, o que a longo prazo traz grandes impactos aos municípios, que não se vê preparado para novas atividades quando do encerramento das atividades minerárias ou em caso de desastres, como os que ocorreram em Mariana e Brumadinho nos anos de 2015 e 2019, respectivamente.

Na UTE Nascentes a expansão das atividades minerárias se dá predominantemente em substituição às classes Mosaico de Usos, Pastagem, Afloramento Rochoso e Formação Campestre, em decorrência da expansão das atividades minerárias. Apenas entre 1985-2021 a perda da Formação Campestre correspondeu a 2.439 ha de sua área.

Observa-se assim que a mineração tem um papel fundamental nas alterações que ocorrem neste território e por conseguinte nos impactos sobre os seus serviços ecossistêmicos. Conforme Sonter *et al.* (2014) a mineração impulsiona o desmatamento além dos limites de sua área de operação, acarretando um desconhecimento na extensão total do impacto que é negligenciado durante a fase de licenciamento ambiental. Segundo Mendes (2022, p. 22) estas áreas além da importância minerária merecem uma maior atenção uma vez que apresentam grande riqueza de biodiversidade, como nas áreas de cangas lateríticas e potenciais mananciais hídricos.

Na região da sub-bacia do rio Maracujá a extração do mineral topázio imperial, muito em decorrência do garimpo de aluvião, e que em sua maioria são atividades ilegais, apresenta relação direta com a degradação ambiental, afetando os recursos hídricos (Barros; Júnior; Raposo, 2010, p. 114).

Análogo às atividades minerárias da extração de ouro na região amazônica, Siqueira-Gay e Sánchez (2021) observaram que estas atividades apresentaram impactos adversos diretos menores nas florestas, no entanto, levaram a impactos ambientais extensos quando associados a outros fatores de mudança.

Na região do rio das Velhas os impactos na quantidade e qualidade das água são evidentes visto que os diferentes usos e ocupação do solo apresentam uma relação direta com as áreas degradadas, processos erosivos, ausência de mata ciliar e atividades agropecuárias (CBH Velhas, 2015; Ribeiro *et al.*, 2021; Mendes, 2022; Moura *et al.*, 2024).

Visando a preservação e conservação dos ambientes naturais, as UCs são criadas e estabelecidas para desempenhar um papel de preservação e conservação dos ambientes naturais que apresentam importante papel para o equilíbrio ecológico. As UCs de uso sustentável não apresentam uma negativa para as atividades minerárias, desde que observados os objetivos e os seus planos de manejo.

Euclides e Magalhães (2006) apontam para a necessidade de um maior aparato de fiscalização e o estabelecimento de planos de manejo condizentes com os diferentes usos da terra das UCs de uso sustentável. Na APA Cachoeira das Andorinhas, além da exploração dos

recursos naturais há presença de adensamentos urbanos – distritos de Glaura e São Bartolomeu – trazendo uma complexidade para seu manejo além dos diversos conflitos que os gestores desta unidade devem administrar.

Criada para a necessidade de se preservar as nascentes do alto rio das Velhas, a APA Cachoeira das Andorinhas, contribui diretamente para o fornecimento hídrico do sistema de abastecimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) assim como a APA Sul RMBH que além de sua importância hídrica é caracterizada por apresentar grandes extensões de florestas semidecíduais e campos rupestres, uma rica biodiversidade que encontram-se ameaçadas de extinção (Silva; Cherem; Salgado, 2023; Scalco, 2009; CPRM, 2005).

O Estado de Minas Gerais detém a maior extensão territorial dedicada ao cultivo de florestas plantadas no Brasil, abrangendo uma área total de 2,3 milhões de hectares, o posiciona como líder global na produção e consumo de carvão vegetal derivado de florestas plantadas (Minas Gerais, 2023). A classe Silvicultura apresentou significativos ganhos onde, em 1985 com 8,82 hectares, passando para 447,66 hectares em 2021. Os maiores ganhos ocorreram dentro das áreas dos mosaicos das UCs, principalmente na Floresta Estadual do Uaimií e APA Cachoeira das Andorinhas.

A silvicultura tem como destino principalmente a produção de carvão onde a indústria brasileira adotou como fonte de carbono o carvão vegetal nativo e com o passar do tempo vem sendo substituído pelas florestas plantadas (Profeta, 2015; Sonter *et al.*, 2014). Segundo Luiz, Faria e Escada (2019) as áreas de reflorestamento com eucalipto apresentaram os maiores crescimentos entre o período de 1985 a 2010, indicando uma relação com a expansão das indústrias siderúrgicas e de papel e de celulose. Profeta (2015) aponta a substituição das atividades agropecuárias pelas florestas plantadas, pela atividade da silvicultura.

Scalco (2009) ainda descreve que há impactos decorrentes das atividades de extração dos produtos vegetais desde os indivíduos que utilizam para o consumo próprio, por exemplo em fogão a lenha, passando até os grandes extratores como apresentado anteriormente.

Assim, observa-se que a Silvicultura existente na área vem sendo acometida principalmente na relação direta com as atividades minerárias onde estas estão dispersas em pequenas áreas, em escala agrícola, o que promove o aumento da fragmentação na paisagem e a dispersão das florestas em muitas áreas (Sonter *et al.*, 2014).

A substituição e o fomento da floresta nativa pela floresta planta, algumas vertentes defendem como insumo energético renovável. Em contrapartida deve-se observar que o avanço

sobre áreas que merecem um maior cuidado e atenção e até mesmo regulações e melhorias nas fiscalizações não como apenas instrumento punitivo, mas capazes de propor condições na busca ao desenvolvimento produtivo sustentável.

### 3.2 O potencial para o uso conservacionista da terra

#### 3.2.1 Análise espacial do método PUC e as transições do uso da terra

As Tabelas 4, 5 e 6 apresentam, respectivamente, as variáveis de declividade, solos e litologias presentes na UTE Nascentes. A classe de relevo da área é predominantemente Forte Ondulado (52,23%), seguido pela Ondulado (31,62%). Isso indica dominância de declividades entre 20 à 45% com grande movimentação do relevo.

Tabela 4 - Distribuição das classes de declividade.

| Classe                         | %     | Área (ha) |
|--------------------------------|-------|-----------|
| Plano (0 a 3%)                 | 0,95  | 347,42    |
| Suavemente Ondulado (3 a 8%)   | 6,77  | 3.664,31  |
| Ondulado (8 a 20%)             | 31,62 | 17.125,48 |
| Fortemente Ondulado (20 a 45%) | 52,23 | 28.286,00 |
| Montanhoso Escarpado (> 45%)   | 8,43  | 4.565,20  |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Estas características do terreno têm grande influência na dinâmica hidrológica, influenciando os processos de escoamento superficial e infiltração. Silva (2007, p. 7) considera que na região os terrenos mais elevados apresentam aspecto irregular devido à dissecação realizada pela rede de drenagem sobre as rochas e seus topos possuem formato mais ou menos arredondados, com predominância de vertentes dissecadas por eventos erosivos. Costa *et al.* (2019b) pondera como sendo áreas mais instáveis, ou seja, apresentam restrições quanto ao potencial para recarga hídrica, uso agropecuário e resistência ao processo erosivo. Por outro lado, Fernandes (2013) observa o potencial para a recarga de aquíferos nesta área em função de sua litologia, onde a infiltração de água ocorre nas fraturas das rochas, formando os aquíferos em meio fraturado.

Em relação a litologia (Tabela 5), observa-se a presença de 9 classes litológicas, com dominância de gnaiss (40,31%) e migmatitos associado ao Complexo do Bação (Azevedo *et al.*, 2012; CBH Velhas, 2015; Silva, 2007) e, xistos (21,22%), anfíbolito, quartzitos (14,14%) e filitos (7,05%) todos estes localizados no Supergrupo Rio das Velhas (Grupo Nova Lima). Essas formações rochosas desempenham um papel significativo na composição e na textura do solo, influenciando sua permeabilidade, capacidade de retenção de água e fertilidade. O

quartzito, por exemplo, com sua granulação mais grosseira, tende a resultar em solos mais arenosos e menos férteis, enquanto o xisto e o gnaisse podem contribuir para a formação de solos mais argilosos.

Tabela 5 - Distribuição das classes litológicas.

| <b>Classe</b>    | <b>%</b> | <b>Área (ha)</b> |
|------------------|----------|------------------|
| Filito           | 7,05     | 3.815,89         |
| Gnaisse          | 40,31    | 21.829,39        |
| Granito          | 0,29     | 157,09           |
| Itabirito        | 1,96     | 1.061,66         |
| Metaconglomerado | 0,31     | 166,98           |
| Metadiamicrito   | 12,7     | 6.879,77         |
| Metaultramáfica  | 2,02     | 1.095,19         |
| Quartzito        | 14,14    | 7.655,34         |
| Xisto            | 21,22    | 11.494,33        |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Os tipos de solo presentes são os Latossolos, distribuídos em quase 50% da área (Tabela 6), que apresentam boas condições físicas, tais como profundidade, estrutura e drenagem e estão distribuídos tanto na parte ocidental como oriental. Na parte ocidental se concentram, principalmente na sub-bacia do rio Maracujá, seguido pelos Cambissolos (32,27%) e Neossolos (17,53%), que por serem mais frágeis, necessitam de maior atenção às práticas de manejo e conservação (Costa et al., 2019). Essas variações de solo têm implicações diretas na capacidade e suporte agrícola, na suscetibilidade à erosão e na recarga hídrica.

Tabela 6 - Distribuição das classes de solos na área de estudos.

| <b>Classe</b> | <b>%</b> | <b>Área (ha)</b> |
|---------------|----------|------------------|
| Cambissolo    | 32,02    | 17.340,53        |
| Latossolo     | 49,80    | 26.968,47        |
| Neossolo      | 17,39    | 9.419,44         |
| Outro (Rocha) | 0,79     | 427,09           |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Inserida no Quadrilátero Ferrífero (QF), a distribuição dos solos na UTE Nascentes apresenta padrão definido na paisagem, por estarem associados às áreas de forte dissecamento, neste caso promovido pelo rio das Velhas e seus afluentes. Os solos apresentam baixa fertilidade natural e são muito suscetíveis à erosão (Carvalho Filho; Curi; Shinzato, 2010). No Complexo do Baçõ, onde a sub-bacia do rio Maracujá está inserida, seus solos são pobres e muito lixiviados, uma vez que estão sob vertentes com baixa declividade e de origem gnáissica (Ferreira; Bacellar, 2013; Figueiredo, 2004).

Os solos sob florestas, principalmente sobre os mosaicos de unidades de conservação, tendem a ter níveis mais altos de alumínio extraível e matéria orgânica, em comparados com os solos sob vegetação de campo cerrado ou campo aberto, sugerindo indícios onde, a presença de floresta está associada a uma maior disponibilidade de água no ambiente, constatando a diferença entre as partes oriental e ocidental (Coelho *et al.*, 2017, p. 10).

A distribuição espacial das cinco classes de PUC presentes na UTE Nascente é apresentada na Tabela 7.

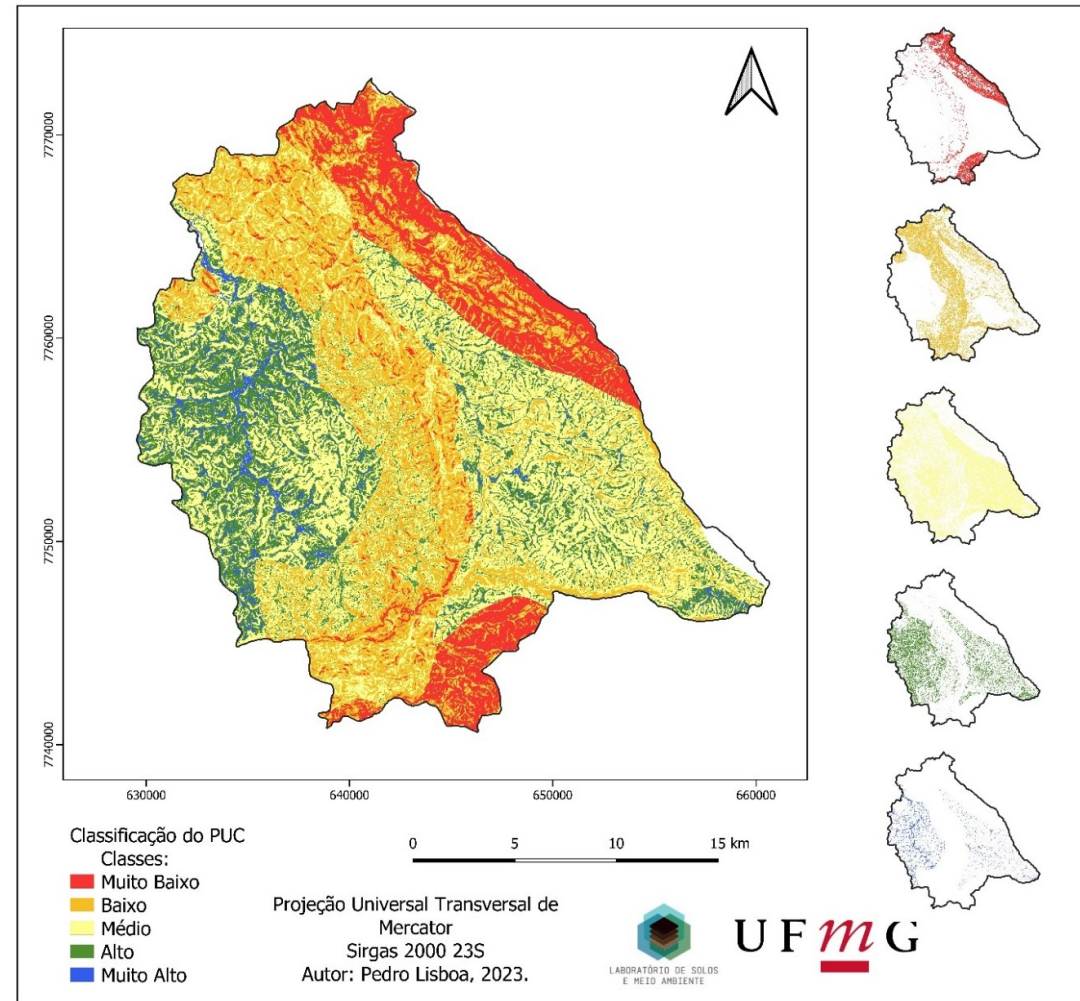
Tabela 7 - Intervalos de abrangência e cores das regiões do PUC.

| Representação das Classes de PUC | Área (ha)        | %             | Intervalo   |
|----------------------------------|------------------|---------------|-------------|
| Muito Baixo                      | 7.090,09         | 13,27         | 1,07 - 1,78 |
| Baixo                            | 13.491,36        | 25,26         | 1,78 - 2,49 |
| Médio                            | 21.410,80        | 40,09         | 2,49 - 3,19 |
| Alto                             | 9.378,00         | 17,56         | 3,19 - 3,90 |
| Muito Alto                       | 2.040,45         | 3,82          | 3,90 - 4,60 |
| <b>Total</b>                     | <b>53.410,70</b> | <b>100,00</b> |             |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Observa-se que a distribuição da classe de PUC Muito Baixo concentra-se nas extremidades da bacia nas áreas de relevo mais movimentado, a nordeste, onde está o divisor hidrográfico do QF e a Serra Antônio Pereira (compreendendo a cadeia do Espinhaço) e, a sul, as Serras de Rodrigo Silva e do Veloso, ambas dividindo as bacias do rio das Velhas e do Piracicaba (Figura 6). As áreas de PUC Baixo estão distribuídas em uma faixa central, percorrendo de sudoeste a norte, nos locais onde se concentram as atividades minerárias.

Figura 6 - Distribuição das classes de PUC na UTE Nascentes.



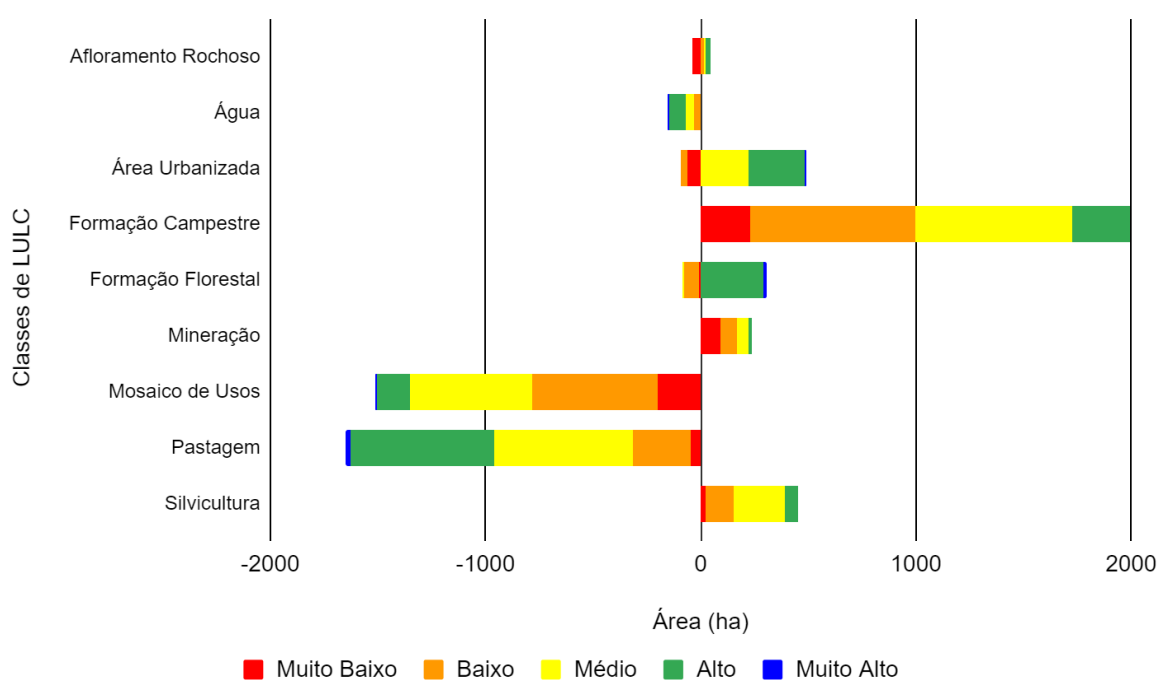
Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

A classe de PUC Médio está distribuída homogeneamente em 40,09% da bacia e as classes de PUC Alto e Muito Alto, se concentram principalmente na parte ocidental, na região da sub-bacia do rio Maracujá com domínio das estruturas e ocupações urbanas. Segundo Silva (2007) as depressões ao longo do rio das Velhas associadas às dissecações fluviais, com uma topografia rebaixada, favorecem as ocupações humanas. Conti, Sosa e Andrade (2016) apontam que diferente de sua vizinhança, as condições físico-geográficas tornam estes espaços favoráveis à ocupação.

A análise da UTE Nascente possibilitou identificar diferentes potencialidades para o uso da terra, que não apenas aqueles vinculados às atividades minerárias e de silvicultura, mas também para o desenvolvimento de outras atividades econômicas mais sustentáveis.

A sobreposição do mapa PUC com as áreas de transição do uso da terra (Área Urbanizada, Mineração e Silvicultura) permitiu observar a distribuição de incrementos/redução de área sobre as classes de PUC (Gráfico 2).

Gráfico 2 - Incremento e Redução de área (ha) nas classes de PUC entre 1985-2021.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Observa-se um avanço dos usos: Área Urbanizada (257,13 ha) em PUC Alto; Silvicultura (240,52 ha) em PUC Médio e Mineração (94,37 ha) em PUC Muito Baixo. Por outro lado, observou-se uma redução das classes de Mosaico de Usos (583,49 ha) em PUC

Baixo e Pastagem (670,01 ha) em PUC Alto. A classe Formação Campestre, de cobertura natural, apresentou um ganho de 765,92 ha em PUC Baixo.

Observa-se que a Área Urbanizada apresentou os maiores ganhos em área no período de 36 anos com os maiores avanços de transição sobre as classes de Pastagem e Mosaico de Usos, juntas correspondendo a 620,37 ha. Esta transição de classes ocorreu principalmente sobre PUC Médio (312,06 ha) e PUC Alto (302,01 ha). As estruturas urbanas e a concentração populacional estão inseridas em sua maior parte sob o Complexo do Bação, no quadrilátero ferrífero e abrangem áreas mais planas. Na Tabela 8 são apresentadas as distribuições das classes de uso sob as diferentes classes de PUC sendo o ano base 2021.

Tabela 8 - Distribuição da LUT sobre as classes de PUC, ano 2021.

| Classe de Uso       | Área (ha)     |                 |                 |                 |               |
|---------------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|
|                     | Muito Baixo   | Baixo           | Médio           | Alto            | Muito Alto    |
| Afloramento Rochoso | 31,09         | 29,81           | 15,24           | 18,14           | 0,60          |
| Água                | 0,00          | 0,26            | 4,94            | 0,85            | 0,85          |
| Área Urbanizada     | 7,84          | 97,94           | 312,06          | 302,01          | 13,37         |
| Formação Campestre  | 293,91        | 976,96          | 941,36          | 340,93          | 7,49          |
| Formação Florestal  | 127,75        | 679,98          | 1.363,28        | 876,63          | 28,96         |
| Mineração           | 94,45         | 76,23           | 51,78           | 14,99           | 0,85          |
| Mosaico de Usos     | 170,93        | 943,49          | 1.923,43        | 1.371,03        | 48,38         |
| Pastagem            | 160,97        | 506,49          | 1.081,63        | 688,50          | 17,71         |
| Silvicultura        | 29,30         | 148,28          | 302,69          | 93,09           | 1,11          |
| <b>Total</b>        | <b>916,24</b> | <b>3.459,44</b> | <b>5.996,42</b> | <b>3.706,17</b> | <b>119,32</b> |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

As classes de PUC Alto e Muito Alto correspondem aos locais de maior potencial natural do meio físico, onde ocorrem solos profundos, muito intemperizados, com baixo teor de nutrientes de plantas, mas como excelentes atributos físicos e relevo plano a suave ondulado, favorecendo a maquinação agrícola, obras civis, recarga hídrica, dentre outras.

Observa-se que nessas áreas predominam no ano de 2021 os usos para a Área Urbanizada (40,79%), Mosaico de usos (30,76%) e Formação Florestal (27,80%). Por outro, nas áreas de PUC Muito Baixo predominam as classes da Mineração (39,64%), Afloramento Rochoso (32,76%) e Formação Campestre (11,48%). A mineração apresentou um grande avanço no período avaliado e é condizente com a classe de PUC, que representa áreas de maiores declividades, relevo movimentado, solos rasos, sob litologias que têm alto interesse econômico, como os itabiritos.

Jacobi e Carmo (2008) destacam que os afloramentos ferruginosos se tornam atrativos para o interesse minerário, assim se tornam significativos depósitos de minério de ferro, por outro, estes possuem uma relevância para a diversidade ecológica onde, sua vegetação denominada de campos rupestres, por estarem em áreas de difícil acesso seus ecossistemas são pouco estudados e conhecidos, mas de grande relevância, além de ser importante zona de aquífero na região. Segundo Sonter *et al.* (2014) os impactos da expansão da mineração nas formações naturais, mesmo sendo relativamente pequenos em área, apresentam impactos nos ecossistemas específicos.

Observa-se então a oportunidade é a necessidade para a proteção destas áreas, não apenas em função de se encontrar inserida nos mosaicos de unidades de conservação, mas também por sua relevância à provisão hídrica e beleza cênica. Silveira *et al.* (2016) destaca ainda que a provisão dos serviços hídricos é fundamental e de suma importância, considerando os campos rupestres, devido à sua alta porosidade e permeabilidade, o que contribuem para a recarga hídrica, ou seja, esses geossistemas ferruginosos são vitais para a qualidade ambiental e potenciais prestadores de serviços para o armazenamento e recarga hídrica.

Mendes (2022) destaca para a presença das matas de galeria nas nascentes dos rios, onde os cursos d'água ainda não formaram canais definitivos e ainda revela uma fragilidade para atividades agropecuárias, devido à declividade do terreno e à vegetação predominante que limitam seu desenvolvimento. Trazendo para a análise a nível das unidades de paisagem as regiões onde se concentram os PUC Médio estão nas vertentes côncavas e segundo Fernandes (2013) há ocorrências de solos de perfis menos desenvolvidos, tais como os Cambissolos, e as concavidades mais abertas, os Argissolos. A concavidade potencializa a concentração de nutrientes e umidade nestas unidades, sendo comum a ocorrência de nascentes pontuais, potenciais áreas para os serviços de suporte oferecidos pela natureza.

São nestas áreas onde vêm ocorrendo as transições da vegetação natural para a Silvicultura que ocorreram ganhos de área principalmente sobre as classes de Formação Florestal (355,67 ha) e Mosaico de Usos (177,15 ha) em áreas principalmente consideradas de PUC Médio. O desmatamento da floresta nativa em substituição à floresta plantada, potencializa na paisagem a fragmentação e degradação da Formação Florestal, por exemplo, comprometendo a perda dos serviços ecossistêmicos, novamente destaque para a provisão hídrica.

Sonter *et al.* (2014) considera que a expansão da silvicultura resultou em uma redução no crescimento da vegetação nativa, que teve como indutor a este desmatamento a demanda por

ação que por sua vez apresenta relação direta com as atividades minerárias, como observado na maior parte das terras na região do QF.

Marques (2018) considera não apenas a provisão hídrica, mas o regime hidrológico, onde a supressão da vegetação também influencia na circulação do ar na baixa atmosfera, impactando a formação de nuvens regionais e os padrões de precipitação. Ainda apresenta que a fragmentação da paisagem é a vulnerabilidade da terra passa a ter uma menor capacidade de armazenagem de carbono, menor resistência às secas, maior vulnerabilidade a incêndios.

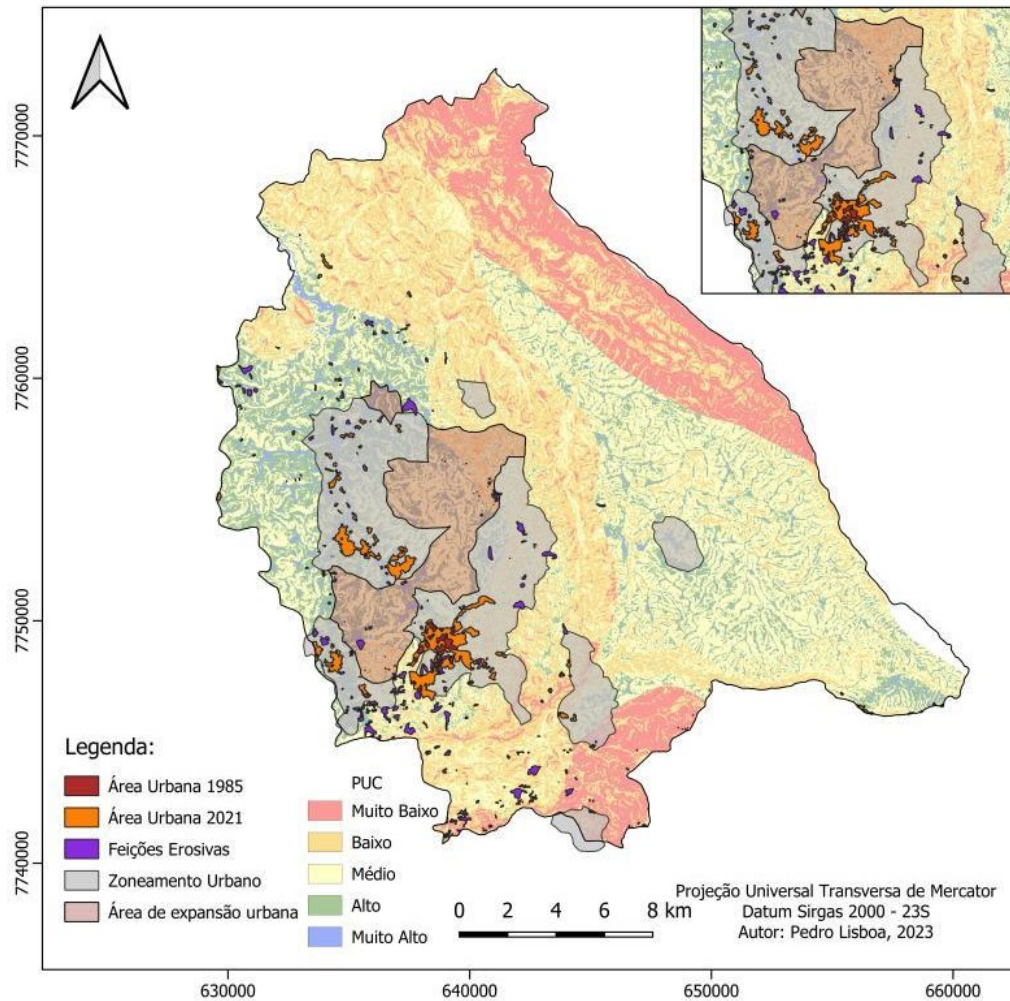
### **3.2.2 Potencialidades dos serviços ecossistêmicos**

Nesta etapa a partir de uma pesquisa exploratória buscou-se apresentar caminhos para a valorização dos serviços ecossistêmicos presentes na área. Em seu estudo para a bacia do alto Velhas, Moura *et al.* (2024) identificou que para as 26 sub-bacias da UTE Nascentes, 11 apresentam potencial e perfil agropecuário e 15 são propícias para uso heterogêneo.

A distribuição geográfica das sub-bacias no território é distinta, sendo que, as sub-bacias com perfil para o uso agropecuário estão predominantemente localizadas na parte ocidental, região com as maiores extensões e inseridas no Complexo do Bação e com as maiores concentrações urbanas (Figura 7). Nessas áreas, como já observado, o PUC variou de Médio a Muito Alto.

Por outro lado, as sub-bacias destinadas para o uso heterogêneo concentram-se na parte oriental, local caracterizado pelos mosaicos das UCs, com predominância de PUC Médio e, atividades minerárias com PUC Baixo e Muito Baixo.

Figura 7- Transição da Área Urbana (1985-2021) sobre o PUC.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Considerando os resultados obtidos e o potencial hídrico da UTE Nascentes, diversas oportunidades para serviços ecossistêmicos surgem como alternativa na busca de um melhor uso do território. Na parte ocidental, com perfil agropecuário, destaca-se a presença dos Latossolos, que são solos profundos de baixa fertilidade natural, mas com excelentes atributos físicos (Costa et al., 2019).

Assim, para a incorporação desta área ao cenário produtivo são necessárias práticas relacionadas à adubação e correção de solos para melhorar a sua capacidade produtiva e práticas de conservação do solo e água visando manter a sua capacidade de fornecer serviços ecossistêmicos.

As práticas de conservação do solo, como o plantio direto, terraceamento, rotação de culturas e cultivo em curvas de nível e as barraginhas são exemplos que ajudam a reduzir a

erosão hídrica (Embrapa, 2012) e que podem ser implementadas na parte ocidental da UTE. Lal (2015) destaca que a adoção de técnicas de conservação do solo pode aumentar significativamente a produtividade das culturas, melhorando a qualidade do solo e reduzindo os custos de produção.

A importância para a gestão sustentável da agricultura envolve a utilização racional dos recursos hídricos, o que é particularmente relevante para a bacia, dada sua importância como área de produção hídrica para o abastecimento não apenas de sua área de abrangência, mas também da Região Metropolitana de Belo Horizonte.

Outra prática deve estar voltada para a implementação de sistemas de irrigação eficientes, práticas de manejo de água e manejo integrado de bacias hidrográficas pode contribuir para a conservação dos recursos hídricos, garantindo seu uso sustentável para a agricultura e outros setores. Molden *et al.* (2010) aponta que práticas de gestão da água na agricultura podem aumentar a produtividade agrícola e reduzir os impactos ambientais, como a degradação dos ecossistemas aquáticos.

Na parte ocidental também há o predomínio da classe do Latossolos, que conforme discutido acima apresentam limitações do ponto de vista químico, sendo necessárias práticas de correção e adubação para sua incorporação ao processo produtivo. Destaca-se que essa área apresenta um elevado potencial para o desenvolvimento da agricultura familiar (Moura *et al.*, 2024; Moura, 2023). Neste sentido a implementação de sistemas produtivos diversificados com práticas agrícolas mais sustentáveis, são uma importante alternativa de uso deste território, aliando-se o desenvolvimento econômico com as práticas de conservação do solo e gestão sustentável.

A adoção de práticas de conservação do solo e gestão sustentável da agricultura pode apresentar ganhos econômicos para os agricultores e a sociedade como um todo, além da diversificação da matriz econômica dos municípios de Ouro Preto e Itabirito que muito entende que apenas a mineração promove o “desenvolvimento econômico”. O aumento da produtividade, redução dos custos de produção, acesso a mercados mais exigentes em termos ambientais e melhoria da qualidade de vida nas áreas rurais são alguns dos benefícios econômicos associados a essas práticas. Segundo a (FAO, 2019) a agricultura sustentável pode impulsionar o desenvolvimento econômico, reduzir a pobreza rural e promover a segurança alimentar, um dos objetivos do desenvolvimento sustentável.

Também na parte ocidental observou-se as maiores áreas urbanizadas sendo importante desenvolver atividades que priorizem a conservação e restauração dos ecossistemas, especialmente nas áreas de preservação permanente (APPs). Destacar esses resultados é crucial para promover a conscientização sobre a importância da preservação dessas áreas e identificar oportunidades para a restauração ecológica. Por exemplo, a implantação de áreas verdes urbanas, como parques e jardins, pode contribuir para a melhoria da qualidade do ar, regulação do clima local, e promoção da saúde mental e bem-estar da população (Lafortezza *et al.*, 2009).

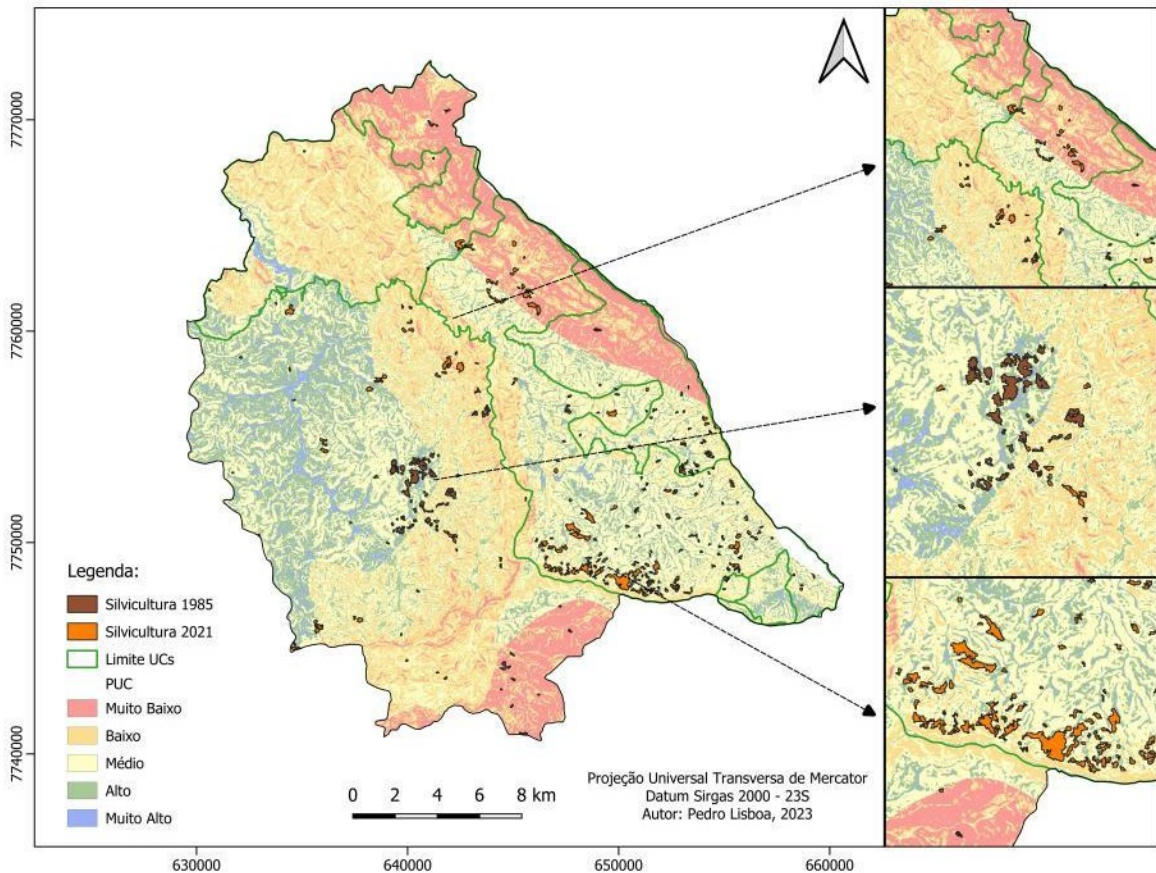
Para a adoção de práticas de gestão urbana sustentável, que integrem a conservação dos ecossistemas e o desenvolvimento urbano deve haver a implementação de políticas de planejamento urbano que priorizem a proteção de áreas naturais, o uso racional dos recursos hídricos e a promoção da infraestrutura verde. Connop *et al.* (2016) destaca a importância da gestão integrada de ecossistemas urbanos para garantir a provisão contínua de serviços ecossistêmicos nas áreas urbanas.

A promoção de práticas de conservação do solo e gestão sustentável da agricultura na bacia é fundamental para garantir a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, a conservação dos recursos naturais e o bem-estar das comunidades locais. Os ganhos obtidos com este modelo vão desde a preservação da fertilidade do solo e dos recursos hídricos até o aumento da produtividade agrícola e o desenvolvimento socioeconômico das áreas rurais. Assim, investir nesse tipo de abordagem não apenas protege o meio ambiente, mas também contribui para a construção de um futuro mais sustentável.

Já na parte oriental, onde a conservação é prioritária, medidas de proteção e restauração de ecossistemas naturais podem ser implementadas, contribuindo para a manutenção da biodiversidade e para a sua regulação hídrica.

Durante a primeira parte desta pesquisa observou que houve um aumento na fragmentação dos ecossistemas naturais principalmente dentro das UCs o que tem sido uma preocupação crescente entre 1985 a 2021, principalmente para as atividades de silvicultura (Figura 8). A silvicultura pode causar uma série de impactos negativos, incluindo a perda de biodiversidade, a degradação dos ecossistemas e a redução da conectividade entre as áreas protegidas. A fragmentação causada pela conversão de áreas naturais em plantios de eucalipto pode levar à perda de habitat e à redução da diversidade biológica, afetando negativamente espécies vegetais e animais (Fernandes *et al.*, 2020; Laurance, 2008).

Figura 8 - Transição da Silvicultura (1985-2021) sobre PUC.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Outro problema a partir da fragmentação é o efeito de bordas, possibilitando o aumento da incidência de espécies exóticas, mudanças microclimáticas e aumento da predação (Ewers; Didham, 2005; Murcia, 1995).

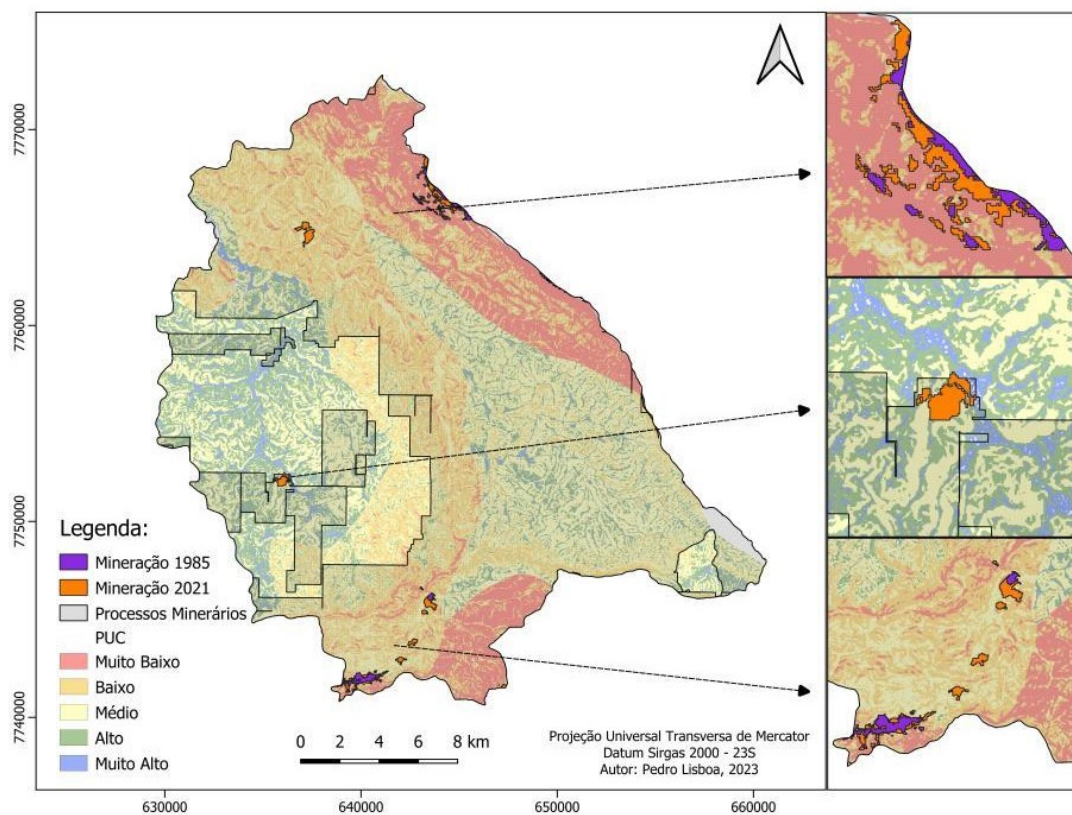
A substituição da vegetação nativa pela floresta plantada, neste caso pelo eucalipto, pode interromper a conectividade ecológica entre os diferentes fragmentos de habitat, prejudicando a dispersão de espécies e a manutenção de processos ecológicos essenciais, como destacado por Haddad *et al.* (2015). Para a silvicultura se desenvolver por exemplo na Floresta Estadual do Uaimií, que foi criada com este objetivo, é essencial promover uma regulamentação e um planejamento mais eficazes para o seu plantio, a fim de minimizar os impactos negativos para a biodiversidade local e garantir a integridade ecológica dessas áreas protegidas.

Outro impacto observado são as atividades minerárias que ocorrem principalmente sobre a classe de Afloramento Rochoso (Figura 9), onde se encontram os Campos Rupestres,

um dos biomas mais biodiversos e endêmicos do Brasil, considerado hotspots de biodiversidade e os impactos que a mineração impõe sobre essa riqueza biológica (Silveira *et al.*, 2016).

Os impactos incluem novamente a perda de habitats naturais, a degradação do solo e a fragmentação do ambiente, resultando em uma série de consequências negativas para os serviços ecossistêmicos fornecidos por essas áreas. A mineração pode resultar na remoção completa da vegetação e da fauna nativa dos Campos Rupestres, levando à perda irreversível de espécies endêmicas e raras.

Figura 9 - Transição da Mineração (1985-2021) sobre PUC.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

A atividade de mineração causa a remoção da cobertura vegetal e a exposição do solo a processos erosivos, levando à perda de nutrientes e à compactação do solo. Isso compromete a capacidade do solo de fornecer serviços ecossistêmicos essenciais como a regulação do ciclo e a produção da água, a segurança hídrica e a provisão de habitat para a biodiversidade.

Preservar essas áreas e promover práticas mais sustentáveis e inteligentes de mineração é essencial para garantir a manutenção desses serviços ecossistêmicos vitais para o equilíbrio ecológico e o bem-estar humano. Assim, torna-se importante buscar um entendimento sobre o que seria o desenvolvimento de uma mineração sustentável, visto que embora o modelo de

exploração, lavra minerária, tenha apresentado uma evolução tecnológica para seu processo, os impactos sobre o meio ambiente permanecem.

Observa-se que com a expansão das atividades minerárias na UTE Nascentes tende a aumentar a fragmentação dos campos rupestres, dividindo em pequenos fragmentos isolados, reduzindo a conectividade entre as populações de espécies e limitando a capacidade de dispersão e migração, aumentando o risco de extinção local.

A análise integrada da paisagem é de fundamental importância para entender as dinâmicas que ocorrem nesse território possibilitando aos tomadores de decisões estratégias para um manejo integrado que promovam a conservação ambiental e o uso sustentável dos recursos naturais nessa importante região hidrográfica do rio das Velhas.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseado em uma abordagem quantitativa, este estudo se mostrou satisfatório uma vez que a partir da análise da mudança no uso e cobertura do solo, foi possível identificar as atividades que influenciam na transformação do território. As atividades minerárias, silvicultura e o processo de urbanização foram identificados como os principais fatores de mudança no solo na UTE Nascentes.

Para obter os dados quantitativos, a adoção de ferramentas de fácil acesso e baixo custo – MapBiomas para o sensoriamento remoto e o software QGIS para o tratamento e análise de dados em SIG – se mostraram satisfatórios para o objetivo do estudo. Assim, é possível replicar a metodologia adotada, considerando o seu acesso e a rápida resposta de dados, facilitando a análise das informações.

O método PUC demonstrou ser eficaz para a integração das informações físicas utilizadas (declividade, solos e litologia) a partir da álgebra de dados a indicação das áreas no território foram satisfatórias. Ao relacionar o PUC com a transição da terra (LUT) foi possível verificar o quanto a UTE Nascentes entre os anos de 1985 e 2021 apresentou algum tipo de alteração em seu uso e cobertura do solo, ou seja, o PUC subsidiou informações físicas e quando sobreposta aos mapas de transição foi possível relacionar a partir da literatura o potencial e vocação da área, considerando suas características físicas e os serviços ecossistêmicos.

Um ponto importante a se reforçar é a necessidade de uma validação em campo, o que contribui para evidenciar e corrigir as limitações do computador e apontar falhas da rotina de geoprocessamento.

A UTE Nascentes apresenta nas bordas de seu território as atividades minerárias e junto a elas encontram-se as Unidades de Conservação. As pressões ambientais e a exploração minerária na área são um desafio para a gestão do território. Observa-se a rica biodiversidade existente nos Afloramentos Rochosos (os campos rupestres) e o potencial para a provisão hídrica. A silvicultura e a urbanização estão relacionadas com as atividades minerárias, necessitando aos gestores ações para o planejamento ambiental.

## 5 REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, A. J. DE C. **Estudo das áreas de expansão urbana de Ouro Preto com o uso das geotecnologias digitais**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2021.

ALHO, C. J. R. Importância da biodiversidade para a saúde humana: uma perspectiva ecológica. **Estudos Avançados**, v. 26, p. 151–166, 2012.

AZEVEDO, Ú. R. DE et al. Geoparque Quadrilátero Ferrífero (MG): proposta. Em: [s.l.] CPRM, 2012.

BARROS, L. F. DE P.; JÚNIOR, A. P. M.; RAPOSO, A. A. Fatores condicionantes da produção e escoamento de sedimentos na bacia do Rio Maracujá: Quadrilátero Ferrífero/MG. **Revista Geografias**, v. 6, n. 2, p. 102–117, 1 dez. 2010.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos [...]. Brasília: Presidência da República, [1997].

BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília Presidência da República, [2000].

BRASIL. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001**. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, [2001].

BRASIL. **Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021**. Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais [...]. Brasília: Presidência da República, [2021].

BURGESS, N. Global importance and patterns in the distribution of coastal forest species. **Coastal forests of eastern Africa**, p. 235–248, 2000.

CARMO, F. F. DO; JACOBI, C. M. A vegetação de canga no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: caracterização e contexto fitogeográfico. **Rodriguésia**, v. 64, p. 527–541, set. 2013.

CARVALHO FILHO, A. DE; CURTI, N.; SHINZATO, E. Relações solo-paisagem no Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 903–916, ago. 2010.

CBH VELHAS. 01. Deliberação Normativa CBH Rio das Velhas. . 9 fev. 2012.

CBH VELHAS. **Atualização do Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <[https://sig.cbhvelhas.org.br/publicacoesArquivos/siplan\\_pubMidia\\_Diagnostico\\_UTES\\_1\\_a\\_7.pdf](https://sig.cbhvelhas.org.br/publicacoesArquivos/siplan_pubMidia_Diagnostico_UTES_1_a_7.pdf)>.

CBH VELHAS. **UTE Nascentes**. Disponível em: <<https://cbhvelhas.org.br/nascentes/>>. Acesso em: 16 dez. 2023.

CHAVES, M. E. D. et al. AMACRO: the newer Amazonia deforestation hotspot and a potential setback for Brazilian agriculture. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 22, n. 1, p. 93–100, 1 jan. 2024.

COELHO, M. R. et al. Solos do Quadrilátero Ferrífero sob Diferentes Coberturas Vegetais e Materiais de Origem. 2017.

CONNOP, S. et al. Renaturing cities using a regionally-focused biodiversity-led multifunctional benefits approach to urban green infrastructure. **Environmental Science & Policy**, v. 62, p. 99–111, 1 ago. 2016.

CONTI, A.; SOSA, F.; ANDRADE, A. O. A difusão urbana no espaço periurbano entre as cidades de Ouro Preto e Itabirito. set. 2016.

CORRÊA, B. B. R. **Oferta de serviço ecossistêmico relacionado ao carbono em paisagens com fisionomias florestais e campestres em Cerrado**. text—[s.l.] Universidade de São Paulo, 21 jul. 2020.

COSTA, A. M. DA et al. Ponderação de variáveis ambientais para a determinação do Potencial de Uso Conservacionista para o Estado de Minas Gerais. **Revista Geografias**, v. 13, n. 1, p. 118–133, 2017.

COSTA, A. M. DA et al. Potencial de Uso Conservacionista (PUC) e Uso e Cobertura do Solo na Bacia Hidrográfica do Córrego Guavirá, PR. **Perspectiva Geográfica**, v. 14, n. 20, p. 107–122, 2019a.

COSTA, A. M. DA et al. Potencial de uso conservacionista em bacias hidrográficas: estudo de caso para a bacia hidrográfica do rio Gualaxo do Norte - MG. **Revista Geografias**, v. 27, n. 2, p. 127–147, 2019b.

CPRM, C. DE P. DE R. M. **Projeto APA Sul RMBH: geologia, mapa geológico, escala 1:50.000 em 3 partes**. Belo Horizonte: [s.n.].

EMBRAPA. **Práticas de conservação de solo e água**. Campina Grande: [s.n.]. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/68394/1/CIRTEC133-tamanho-grafica-2.pdf>>. Acesso em: 9 abr. 2024.

EMBRAPA. **Solos do Quadrilátero Ferrífero sob Diferentes Coberturas Vegetais e Materiais de Origem**. [s.l.: s.n.]. v. 264

ENDO, I. et al. Estratigrafia e evolução estrutural do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. **Quadrilátero Ferrífero: avanços do conhecimento nos últimos 50 anos**, p. 70–113, 2020.

EUCLYDES, A. C. P.; MAGALHÃES, S. R. A. A Área de Proteção Ambiental (APA) e o ICMS Ecológico em Minas Gerais: algumas reflexões. **Revista Geografias**, v. 2, n. 2, p. 39–55, 1 dez. 2006.

EWERS, R. M.; DIDHAM, R. K. Confounding factors in the detection of species responses to habitat fragmentation. **Biological Reviews**, v. 81, n. 01, p. 117, 1 dez. 2005.

FAO (ED.). **Moving forward on food loss and waste reduction**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2019.

FEAM. **Metodologia do Zoneamento Ambiental e Produtivo de sub-bacias Hidrográficas**. Belo Horizonte: [s.n.].

FERNANDES, G. W. et al. Biodiversity and ecosystem services in the Campo Rupestre: A road map for the sustainability of the hottest Brazilian biodiversity hotspot. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 18, n. 4, p. 213–222, 1 out. 2020.

FERNANDES, M. R. **Minas Gerais: caracterização de unidades de paisagem**. Belo Horizonte: EMATER-MG, 2013.

FERREIRA, Q. D. C. G.; BACELLAR, L. D. A. P. Avaliação preliminar das condições hidrogeológicas na área do município de Ouro Preto, MG. **Geonomos**, 15 fev. 2013.

FIGUEIREDO, M. DO A. Aspectos mineralógicos, micromorfológicos e texturais da pedogênese no sul do Complexo Bação, Quadrilátero Ferrífero, MG. 2004.

FLUTEAU, F. Earth dynamics and climate changes. **Comptes Rendus Geoscience**, v. 335, n. 1, p. 157–174, 1 jan. 2003.

FOLEY, J. A. et al. Global Consequences of Land Use. **Science**, v. 309, 2005.

GARCIA, P. M. B. Geomorfologia como base de análise ambiental integrada para o planejamento municipal: estudo de caso de Itabirito-MG. 23 ago. 2019.

GROTZINGER, J.; JORDAN, T. **Para entender a Terra**. 6. ed. Porto Alegre, RS: Bookman Editora Ltda, 2013.

HADDAD, N. M. et al. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. **Science Advances**, v. 1, n. 2, p. e1500052, 20 mar. 2015.

IBGE. **Censo Demográfico 2022: População e Domicílios**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-demografico/demografico-2022/primeiros-resultados-populacao-e-domicilios>>. Acesso em: 16 ago. 2024a.

IBGE, C. DE C. **Atlas Geográfico Escolar**. Disponível em: <<https://atlasescolar.ibge.gov.br/brasil/caracteristicas-demograficas/distribuicao-da-populacao/21896-regioes-metropolitanas-das-capitais>>. Acesso em: 16 ago. 2024b.

IEF, I. E. DE F. **Unidades de Conservação**. Disponível em: <<https://www.ief.mg.gov.br/unidades-de-conservacao>>. Acesso em: 16 ago. 2024.

JACOBI, C. M.; CARMO, F. F. DO. Diversidade dos campos rupestres ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, MG. **Cadeia do Espinhaço: avaliação do conhecimento científico e prioridades de conservação**, v. 4, 2008.

LAFORTEZZA, R. et al. Benefits and well-being perceived by people visiting green spaces in periods of heat stress. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 8, n. 2, p. 97–108, 1 jan. 2009.

LAL, R. Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation. **Sustainability**, v. 7, n. 5, p. 5875–5895, maio 2015.

LAMBIN, E. F.; GEIST, H. J.; LEPEERS, E. Dynamics of Land-Use and Land-Cover Change in Tropical Regions. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 28, n. 1, p. 205–241, 2003.

- LAPOLA, D. M. et al. Pervasive transition of the Brazilian land-use system. **Nature Climate Change**, v. 4, n. 1, p. 27–35, jan. 2014.
- LAURANCE, W. F. Theory meets reality: How habitat fragmentation research has transcended island biogeographic theory. **Biological Conservation**, v. 141, n. 7, p. 1731–1744, 1 jul. 2008.
- LONG, H. et al. Land Use Transitions: Progress, Challenges and Prospects. **Land**, v. 10, n. 9, p. 903, set. 2021.
- LUIZ, C. H. P.; FARIA, S. D.; ESCADA, M. I. Modelagem da Expansão do Reflorestamento com Eucalipto e Efeitos na Estrutura da Paisagem. **Mercator (Fortaleza)**, v. 18, p. e18019, 9 dez. 2019.
- MACLEOD, R. D.; CONGALTON, R. G. A Quantitative Comparison of Change-Detection Algorithms for Monitoring Eelgrass from Remotely Sensed Data. 1998.
- MAPBIOMAS, P. **Coleção 7 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil**.
- MARQUES, L. **Capitalismo e Colapso Ambiental**. 3. ed. Campinas, SP: [s.n.].
- MEA, M. E. A. **Ecosystems and Human Well-Being: Current State and Trends: Findings of the Condition and Trends Working Group**. [s.l.] Island Press, 2005. v. 1
- MENDES, I. A. DA S. **Potenciais do meio físico no alto curso da bacia do Rio das Velhas: perspectivas das transições para diferentes usos**. [s.l.] Universidade Federal de Minas Gerais, 19 ago. 2022a.
- MENDES, I. A. DA S. **Potenciais do meio físico no alto curso da bacia do Rio das Velhas: perspectivas das transições para diferentes usos**. [s.l.] Universidade Federal de Minas Gerais, 19 ago. 2022b.
- MENDES, I. A. DA S.; COSTA, A. M. DA. Mudança temporal no uso e cobertura da terra na Bacia do Alto rio das Velhas. **RAEGA - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 55, n. 0, p. 154–175, 16 nov. 2022.
- MINAS GERAIS, A. **Governo de Minas apresenta ao setor florestal ações para o desenvolvimento da economia verde**. Disponível em: <<https://www.agenciaminas.mg.gov.br/noticia/governo-de-minas-apresenta-ao-setor-florestal-aco-es-para-o-desenvolvimento-da-economia-verde>>. Acesso em: 21 mar. 2024.
- MOLDEN, D. et al. Improving agricultural water productivity: Between optimism and caution. **Agricultural Water Management**, Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. v. 97, n. 4, p. 528–535, 1 abr. 2010.
- MOURA, M. S. DE. **Avaliação da dinâmica de provisão de serviços ecossistêmicos múltiplos no alto curso do Rio das Velhas, MG**. [s.l.] Universidade Federal de Minas Gerais, 27 abr. 2023.

MOURA, M. S. DE et al. Beyond land use planning and ecosystem services assessment with the conservation use potential framework: A study in the Upper Rio das Velhas basin, Brazil. **Science of The Total Environment**, v. 923, p. 171437, 1 maio 2024a.

MOURA, M. S. DE et al. Integrating policy, data and technology in pursuing effective management of ecosystem services. **Journal of Environmental Management**, v. 368, p. 122157, 1 set. 2024b.

MURCIA, C. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 10, n. 2, p. 58–62, 1 fev. 1995.

PAIVA, P. B. M. Municípios mineradores: uma análise da diversificação econômica dos municípios mineiros que mais arrecadam CFEM. 22 mar. 2023.

PEREIRA, P. et al. Soil ecosystem services, sustainability, valuation and management. **Current Opinion in Environmental Science & Health**, v. 5, p. 7–13, 1 out. 2018.

PMOP, Prefeitura Municipal de Ouro Preto. **Parque Natural Municipal das Andorinhas**. Disponível em: <<https://andorinhas.netlify.com/>>. Acesso em: 16 ago. 2024.

POLASKY, S. et al. The Impact of Land-Use Change on Ecosystem Services, Biodiversity and Returns to Landowners: A Case Study in the State of Minnesota. **Environmental and Resource Economics**, v. 48, n. 2, p. 219–242, 1 fev. 2011.

PROFETA, A. L. Dinâmica Multitemporal da Cobertura do Solo no Município de Piranga-MG, no Período de 1984 a 2009. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 67, n. 1, 28 fev. 2015.

RADWAN, T. M. et al. Global land cover trajectories and transitions. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 12814, 17 jun. 2021.

REIS, R. A. A mineração de ferro em Ouro Preto e seus impactos na economia municipal : uma análise do período de 1980 a 2016. 2018.

RIBEIRO, S. M. C. et al. **Ecologia da Paisagem no Contexto Luso-brasileiro**. [s.l.] Appris Editora, 2021. v. 1

RODRIGUES, R. R. et al. Large-scale ecological restoration of high-diversity tropical forests in SE Brazil. **Forest Ecology and Management**, The Ecology and Ecosystem Services of Native Trees: Implications for Reforestation and Land Restoration in Mesoamerica. v. 261, n. 10, p. 1605–1613, 15 maio 2011.

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**. [s.l.] Universidade Federal de Minas Gerais, 26 jan. 2009.

SHI, Q.; GU, C.-J.; XIAO, C. Multiple scenarios analysis on land use simulation by coupling socioeconomic and ecological sustainability in Shanghai, China. **Sustainable Cities and Society**, v. 95, p. 104578, 1 ago. 2023.

SILVA, R. V. M. DA; CHEREM, L. F. S.; SALGADO, A. A. R. Mapeamento das Áreas de Conflito, Conservação e Tensão da APA Sul RMBH, Minas Gerais, Brasil. **Revista Geografias**, v. 19, n. 1, p. 20–34, 1 ago. 2023.

SILVA, F. R. **Perspectivas pra o uso turístico dos recursos da herança geológica e da evolução geomorfológica da paisagem do Quadrilátero Ferrífero - MG.** [s.l.] Universidade Federal de Minas Gerais, 30 ago. 2007.

SILVA, L. M. R. Avaliação da arrecadação pública do município de Ouro Preto entre os anos de 2012 e 2019, no antes e pós desastre da barragem de fundão : uma análise do ISS, do ICMS e da CFEM. 2021.

SILVEIRA, F. A. O. et al. Ecology and evolution of plant diversity in the endangered campo rupestre: a neglected conservation priority. **Plant and Soil**, v. 403, n. 1, p. 129–152, 1 jun. 2016.

SIQUEIRA-GAY, J.; SÁNCHEZ, L. E. The outbreak of illegal gold mining in the Brazilian Amazon boosts deforestation. **Regional Environmental Change**, v. 21, n. 2, p. 28, 17 mar. 2021.

SONTER, L. J. et al. Global demand for steel drives extensive land-use change in Brazil's Iron Quadrangle. **Global Environmental Change**, v. 26, p. 63–72, 1 maio 2014.

TURNER, B. L. **Toward Integrated Land-Change Science: Advances in 1.5 Decades of Sustained International Research on Land-Use and Land-Cover Change.** (W. Steffen et al., Eds.)Challenges of a Changing Earth. **Anais...Berlin, Heidelberg: Springer**, 2002.

TURNER, B.; LAMBIN, E. F.; REENBERG, A. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 104, n. 52, p. 20666–20671, 26 dez. 2007.

VARAJAO, C. A. C. A questão da correlação das superfícies de erosão do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 21, n. 2, p. 138–145, 1 jun. 1991.

WINKLER, K. et al. Global land use changes are four times greater than previously estimated. **Nature Communications**, v. 12, n. 1, p. 2501, 11 maio 2021.

YAO, S. et al. Land use as an important indicator for water quality prediction in a region under rapid urbanization. **Ecological Indicators**, v. 146, p. 109768, 1 fev. 2023.

YU, L.; LENG, G. Global effects of different types of land use and land cover changes on near-surface air temperature. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 327, p. 109232, 15 dez. 2022.