

**Uso das terras, potencial de uso conservacionista e serviços
ecossistêmicos na Unidade Territorial Estratégica (UTE) Nascentes, rio
das Velhas, MG, Brasil.**

**Land use, potential for conservation use and ecosystem services at Strategic
Territorial Unit (STU) Nascentes, rio das Velhas, MG, Brazil.**

Pedro Henrique Alves de Brito Lisboa

Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG
pedrolisboa8@gmail.com

Simone Fernandes Machado

Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG
sissamachadofernan@hotmail.com

Maíse Soares de Moura

Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG
maisedemoura2013@gmail.com

Adriana Monteiro da Costa

Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG
drimonteiroc@yahoo.com.br

Resumo

A dinâmica da superfície terrestre exerce impacto significativo sobre a provisão e regulação dos serviços ecossistêmicos, sendo as atividades antrópicas determinantes para a capacidade de suporte do solo. Este artigo tem como objetivo geral analisar a dinâmica e a transição do uso e cobertura das terras e seus efeitos sobre o potencial de uso conservacionista e os serviços ecossistêmicos na sub-bacia hidrográfica Nascentes, Unidade Territorial Estratégica Nascentes, Minas Gerais, Brasil. Para isso, utilizaram-se técnicas de sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica para quantificar alterações do uso e cobertura do solo em um período de 36 anos (1985–2021), associadas ao método do Potencial do Uso Conservacionista (PUC). Os resultados apontam aumento expressivo das áreas de mineração, silvicultura e urbanização, com intensificação das transições em PUC Muito Baixo (afloramento rochoso para mineração), PUC Médio (formação florestal para silvicultura) e PUC Alto (pastagem para áreas urbanizadas). Essas transformações resultaram na perda da vocação do território e na redução do potencial de provisão e regulação dos serviços ecossistêmicos, evidenciando a urgência de estratégias integradas de gestão territorial e conservação ambiental.

Palavras-Chave: gestão do território, zoneamento ambiental, gestão de bacias hidrográficas, conservação dos solos, potencial do uso conservacionista.

Abstract

The dynamics of the Earth's surface exert a significant impact on the provision and regulation of ecosystem services, with anthropic activities determining the soil's carrying capacity. This article aims to analyze the dynamics and transition of land use and land cover and their effects on the conservationist use potential and ecosystem services in the Nascentes sub-basin, Nascentes Strategic Territorial Unit, Minas Gerais, Brazil. For this purpose, remote sensing techniques and a geographic information system were applied to quantify changes in land use and land cover over a 36-year period (1985–2021), associated with the Conservationist Use Potential (PUC) method. The results indicate a marked increase in mining, forestry and urban areas, with intensified transitions in Very Low PUC

(rock outcrop to mining), Medium PUC (forest formation to forestry) and High PUC (pasture to urban areas). These transformations resulted in the loss of the territory's original vocation and in a reduction in the potential for the provision and regulation of ecosystem services, highlighting the urgency of integrated territorial management and environmental conservation strategies.

Keywords: land management, environmental zoning, watershed management, soil conservation, Conservationist Use Potential.

Introdução

A dinâmica terrestre é regida por processos e interações complexas que atuam em escalas de tempo geológico, como a tectônica de placas (Fluteau, 2003). Nas últimas três centenas de anos, mais da metade das áreas terrestres globais foi alterada pela ação humana, estima-se que cerca de 75% da superfície terrestre apresenta algum grau de modificação antrópica (Foley et al, 2005; Yu; Leng, 2022). Compreender essas mudanças no uso da terra é fundamental para enfrentar desafios como as mudanças climáticas, a perda de biodiversidade, a degradação dos serviços ecossistêmicos e a insegurança alimentar, que avançam em ritmo muito mais acelerado do que os processos naturais (Winkler et al, 2021; Turner, 2002).

Segundo *Millennium Ecosystem Assessment - MEA* (2005), os serviços ecossistêmicos (SE) correspondem aos benefícios fornecidos pelos ecossistemas, englobando serviços de provisão (alimentos, água, recursos genéticos), regulação (clima, qualidade da água), suporte (formação do solo, ciclagem de nutrientes) e culturais (recreação, valores espirituais), essenciais para a resiliência e a sustentabilidade socioambiental (Brasil, 2001; MEA, 2005). A forma como o uso e a cobertura do solo se organizam influencia diretamente na capacidade dos ecossistemas em manter esses serviços, tornando a análise da dinâmica da paisagem um elemento central para o planejamento ambiental.

A transição do uso da terra, *Land Use Transition* (LUT), é entendida como um processo complexo e dinâmico, resultante de transformações socioeconômicas e ambientais que geram novas configurações paisagísticas e impactam diretamente os serviços ecossistêmicos (Turner et al, 2007). Atividades antrópicas não planejadas tendem a comprometer a conservação do território e a qualidade dos SE, o que reforça a importância de instrumentos analíticos capazes de quantificar e qualificar tais mudanças. Nesse sentido, técnicas de sensoriamento remoto associadas a Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

têm se mostrado eficazes para monitorar o uso e a cobertura do solo, enquanto o Potencial de Uso Conservacionista (PUC) surge como ferramenta para integrar variáveis físicas do meio físico - como declividade, solos e litologia - identificando áreas com maior aptidão natural para conservação e uso sustentável (Costa et al, 2017; Costa et al, 2019).

No Brasil, a construção de planos de gestão a longo prazo exige a compreensão dos impactos do uso e da cobertura do solo sobre os SE (Polasky et al, 2011). A Política Nacional de Recursos Hídricos, ao definir a bacia hidrográfica como unidade territorial de planejamento, e o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), ao instituir categorias de proteção integral e uso sustentável para Unidades de Conservação (UCs), estruturam um arcabouço institucional como pilares da proteção da regulação hídrica e da biodiversidade, como reforça o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas (Brasil, 1997; Brasil, 2000; CBH Velhas, 2012; CBH Velhas, 2015).

Inserido nesse contexto, o presente estudo analisa as mudanças e transições do uso e cobertura do solo na Unidade Territorial Estratégica (UTE) Nascentes, entre 1985 e 2021, com foco nas variáveis que influenciam essas transformações e em seus efeitos sobre áreas com potencial conservacionista. O conhecimento do território baseia-se na identificação das mudanças, na determinação de sua natureza, na mensuração de sua extensão e na avaliação de seu padrão espacial (Macleod; Congalton, 1998). A articulação entre LUT, SE e PUC em um contexto ambientalmente sensível e intensamente pressionado como o Quadrilátero Ferrífero (QF), fornece uma base teórico-metodológica para avaliar impactos antrópicos e subsidiar o ordenamento territorial e o desenvolvimento sustentável (Carmo; Jacobi, 2008; Fernandes et al, 2020; Moura et al, 2024).

Metodologia

A pesquisa adotou abordagem quantitativa e exploratória, integrando sensoriamento remoto, sistemas de informação geográfica (SIG) e modelagem ambiental para analisar mudanças no uso e cobertura do solo e seus impactos sobre o potencial de provisão de serviços ecossistêmicos na UTE Nascentes, definida pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas (CBH Velhas, 2012; CBH Velhas, 2015).

Na primeira etapa, utilizou os mapas anuais de uso e cobertura da terra do MapBiomias, Coleção 7 (Mapbiomas, 2023), organizados no software Quantum Geographic Information System (QGIS) 3.22.5, com reagrupamento das 20 classes originais em nove

categorias e, posteriormente, em cobertura natural e antrópica; a tabulação cruzada para 1985, 2003 e 2021 permitiu quantificar transições e taxas de variação, conforme Macleod e Congalton (1998). Posterior, selecionou as transições mais relevantes em área e impacto potencial sobre serviços ecossistêmicos, destacando-se Área Urbanizada, Mineração e Silvicultura, o que possibilitou identificar os principais vetores de pressão antrópica e sua distribuição espacial, com foco em expansão urbana, frentes de mineração e plantio de eucalipto (Luiz et al, 2019; Sonter et al, 2014).

Na terceira etapa, aplicou o PUC, integrando, em ambiente SIG, camadas de declividade, solos e litologia derivadas de modelos digitais de elevação, cartas pedológicas e mapas geológicos do QF (Carvalho Filho; Curi; Shinzato, 2010; Endo et al, 2020; Coelho et al, 2017), às quais foram atribuídos pesos relativos conforme a literatura sobre vulnerabilidade erosiva, recarga hídrica e potencial conservacionista (Costa et al, 2017; Costa et al, 2019; Mendes; Costa, 2022); o índice resultante foi classificado em cinco níveis (muito baixo a muito alto) e aplicado para toda a UTE.

Na quarta etapa, realizou análise multitemporal das transições entre 1985 e 2021, combinando as classes reclassificadas do MapBiomas com as classes de PUC, segundo a abordagem de comparação proposta por Profeta (2015), a fim de identificar quais usos avançaram e recuaram em cada faixa de potencial conservacionista e localizar áreas críticas de substituição de coberturas naturais por usos intensivos. Para a identificação do PUC foram 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 onde foi gerado o mapa temático PUC com os cinco níveis de potencialidade segundo Costa et al (2017).

$$\text{PUC} = [(\text{Declividade} * 0.50) + (\text{Pedologia} * 0.39) + (\text{Litologia} * 0.11)] \quad \text{Equação 1}$$

Na quinta etapa, correlacionou as principais transições antrópicas (expansão urbana, mineração e silvicultura) com as áreas de maior potencial conservacionista (PUC alto e muito alto) e de maior fragilidade física (PUC baixo e muito baixo), buscando compreender a sobreposição de atividades humanas a zonas estratégicas para conservação, regulação hídrica e manutenção da biodiversidade, em diálogo com o arcabouço teórico sobre serviços ecossistêmicos e planejamento ecológico (Polasky et al, 2011; Moura et al, 2024).

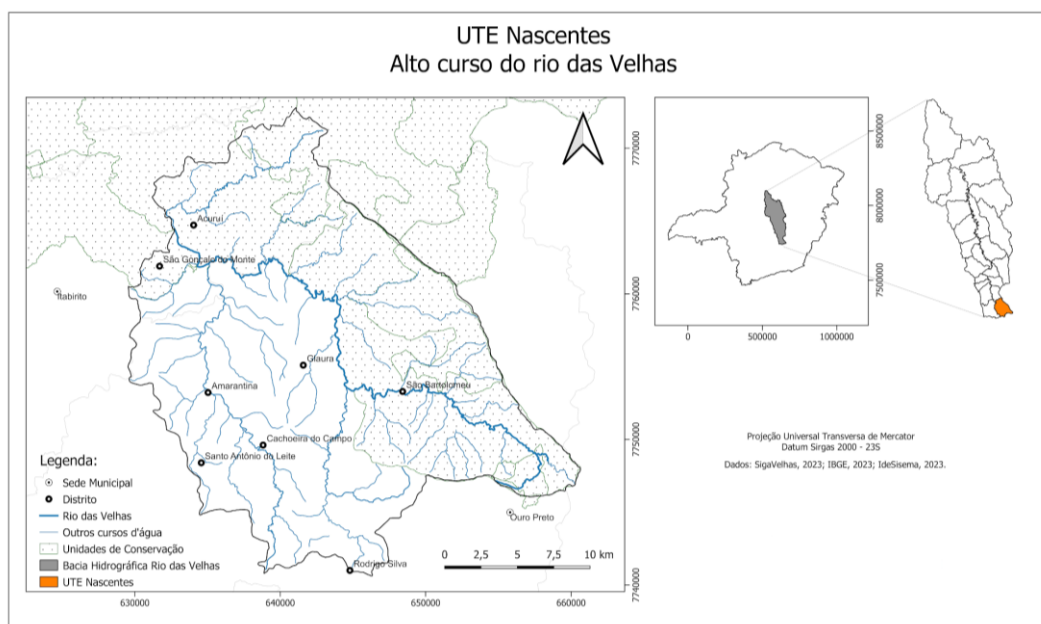
Por fim, os resultados foram interpretados à luz do ordenamento territorial vigente, da presença de UC e dos principais instrumentos de gestão ambiental e urbana aplicáveis à

UTE Nascentes (Brasil, 1997; Brasil, 2000; Brasil, 2001; CBH Velhas, 2015; Ribeiro et al, 2021), relacionando a dinâmica de uso da terra, o PUC e a oferta potencial de SE e fornecendo subsídios ao planejamento territorial sustentável em uma área marcada por intensa mineração e expansão urbana.

Caracterização da área de estudo

A UTE Nascentes localiza-se no alto curso da bacia hidrográfica do rio das Velhas, principal afluente do rio São Francisco, inserida na região do Quadrilátero Ferrífero (QF), Figura 1. Com área de 55,3 km², desempenha papel fundamental para o abastecimento hídrico da Região Metropolitana de Belo Horizonte, que atende mais de 5,7 milhões de habitantes (IBGE, 2024b).

Figura 1 - Localização da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor das bases cartográficas IBGE, IDE-SISEMA, 2023.

Com uma população de 22.077 habitantes, sendo 89,72% das ocupações concentradas na porção ocidental, abrange os distritos de Amarantina, Cachoeira do Campo, Glaura, Rodrigo Silva, Santo Antônio do Leite e São Bartolomeu, no município de Ouro Preto-MG (IBGE, 2024a).

O meio físico caracteriza-se por geologia diversificada típica do QF, composta por formações ferríferas bandadas, quartzitos e xistos, resultantes de antigos processos

geológicos. Identificam-se quatro grandes unidades litoestratigráficas, Complexo Metamórfico Arqueano, Supergrupo Rio das Velhas, Supergrupo Minas e Supergrupo Estrada Real, além de unidades Cenozóicas (Endo et al, 2020). O relevo, fortemente condicionado pela litologia, apresenta paisagens montanhosas e vales profundos, com altitudes variando entre 1.268 metros, no Parque Natural Municipal das Andorinhas (PNMA), em Ouro Preto-MG, e 868 metros, na represa rio de Pedras, em Itabirito-MG (CBH Velhas, 2023).

Os solos da UTE Nascentes são predominantemente intemperizados, com variações texturais condicionadas pela litologia (Varajão, 1991). Predominam Neossolos Litólicos, Latossolos Vermelho-Amarelo e Vermelhos, Cambissolos Háplicos e Argissolos Vermelhos, em geral de baixa fertilidade natural, mas com potencial para atividades minerárias e agrícolas mediante manejo adequado (Embrapa, 2017).

A região também apresenta afloramentos rochosos e solos rasos associados aos Campos Rupestres (Carmo; Jacobi, 2008). A diversidade geológica, pedológica e geomorfológica resulta em padrões heterogêneos de uso e ocupação do solo e diferentes níveis de conservação ambiental. Embora a mineração represente a principal atividade econômica, também é responsável por relevantes passivos ambientais (Ribeiro et al., 2021; Mendes; Costa, 2022). A UTE abriga importantes unidades de conservação, como o Parque Estadual do Itacolomi (PEIT), a Área de Proteção Ambiental Cachoeira das Andorinhas (APA-CA), a Floresta Estadual do Uaimií (FEU), o Parque Natural Municipal das Andorinhas (PNMA), além das Reservas Particulares do Patrimônio Natural, que, em conjunto, ocupam aproximadamente 31.200 hectares (ha), 57,64% da área, desempenhando papel estratégico na recarga de aquíferos e na proteção da biodiversidade.

Resultados e discussões

Entre 1985 e 2021, aproximadamente 27% da UTE Nascentes apresentou mudanças no uso e cobertura do solo. A vegetação nativa (Formações Florestal e Campestre) registrou ganho líquido de 35,64%, enquanto Mineração (58%), Silvicultura (176,88%) e Área Urbanizada (72,86%) apresentaram as maiores expansões. As principais reduções ocorreram nas classes Água, Mosaico de Usos e Pastagem, totalizando 35,74%.

Na porção ocidental, correspondente à sub-bacia do rio Maracujá, o crescimento urbano foi impulsionado pela BR-356 e pela expansão da mineração de ferro e esteatito (Agostinho, 2021; Garcia, 2019). Em Ouro Preto, a defasagem do Plano Diretor (2006) e da

Lei de Uso e Ocupação do Solo (2011) favoreceu alterações fragmentadas no ordenamento territorial, em desacordo com a revisão decenal prevista no Estatuto da Cidade (Brasil, 2001).

A mineração foi a principal transformação observada entre 1985 e 2021, com expansão de 533,07 hectares (ha), dos quais 58% ocorreram em Unidades de Conservação de Uso Sustentável, como a APA-CA (Reis, 2018; Silva, 2021; Paiva, 2023). Essa expansão substituiu principalmente áreas de Mosaico de Usos, Pastagem, Afloramento Rochoso e Formação Campestre, ocasionando a perda de 2.439 ha assim, intensificando a pressão sobre ecossistemas, mananciais e serviços ecossistêmicos, especialmente os hídricos (Mendes, 2022; Sonter et al., 2014; Barros; Júnior; Raposo, 2010; Ribeiro et al., 2021; Moura et al., 2024).

A Silvicultura expandiu-se de 8,82 ha em 1985 para 447,66 ha em 2021, sobretudo nas UCs, como a FEU e a APA-CA. Essa expansão relaciona-se ao avanço das indústrias siderúrgica e de papel e celulose (Luiz et al, 2019), embora sua dispersão em pequenas áreas agrícolas intensifique a fragmentação da paisagem e reduza a conectividade ecológica (Sonter et al, 2014).

O potencial para o uso conservacionista da terra

A UTE Nascentes apresenta relevo predominantemente forte ondulado (52,23%) e ondulado (31,62%), com declividades entre 20% e 45%, favorecendo processos de escoamento superficial, infiltração e recarga de aquíferos em meio fraturado (Fernandes, 2013).

Os Latossolos (50,19%) predominam, seguidos por Cambissolos (32,27%) e Neossolos (17,53%), estes últimos mais suscetíveis à erosão e demandando maior manejo conservacionista (Costa et al., 2019). Em geral, os solos apresentam baixa fertilidade natural e elevada vulnerabilidade erosiva, associadas ao entalhamento da drenagem pelo rio das Velhas e seus afluentes (Carvalho Filho et al., 2010).

No Complexo do Bação predominam solos gnáissicos pobres e lixiviados (Ferreira; Bacellar, 2013; Figueiredo, 2004). Solos sob cobertura florestal apresentam maior teor de matéria orgânica e maior disponibilidade hídrica que áreas campestres, reforçando a importância das florestas para a regulação hídrica e a manutenção dos serviços ecossistêmicos (Coelho et al., 2017). A Tabela 1 apresenta os intervalos de abrangência e as cores das regiões do PUC.

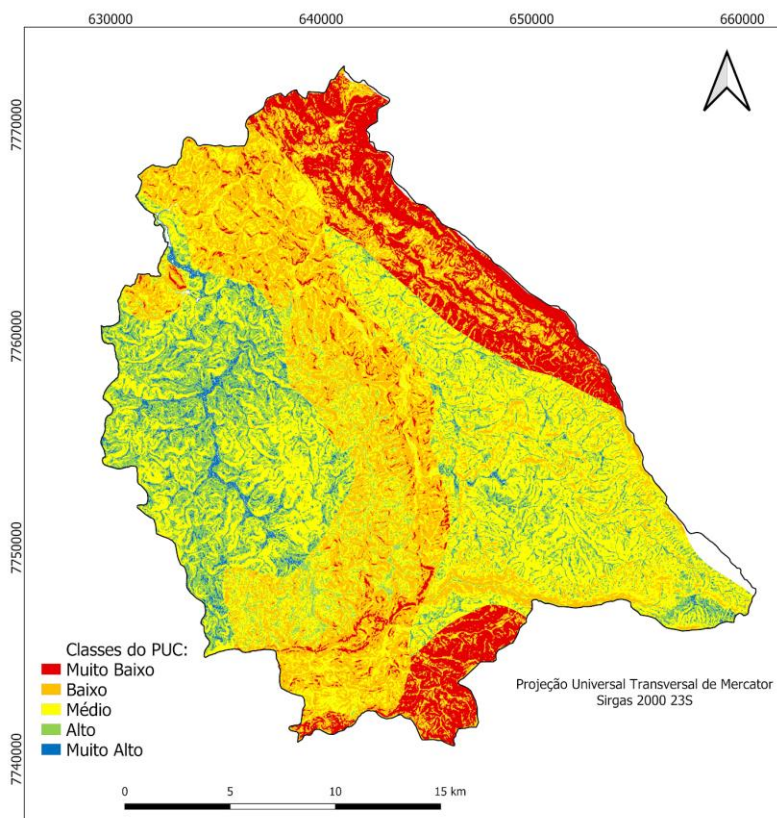
Tabela 1 - Intervalos de abrangência e cores das regiões do PUC.

Classes do 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
Total	53.410,70	100,00%	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

A classe de PUC Muito Baixo concentra-se nas extremidades da bacia, em áreas de relevo mais acidentado, junto aos divisores hidrográficos do Quadrilátero Ferrífero, ao nordeste (cadeia do Espinhaço) e ao sul (bacias dos rios das Velhas e Piracicaba) (Figura 2). Já a classe de PUC Baixo distribui-se em uma faixa central, de sudoeste a norte, coincidindo com as áreas de maior concentração da atividade minerária.

Figura 2 - Distribuição das classes de PUC na UTE Nascentes.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

A classe de PUC Médio ocupa 40,09% da UTE Nascentes, enquanto as classes Alto e Muito Alto concentram-se na porção ocidental, na sub-bacia do rio Maracujá, onde predominam as ocupações urbanas. Essa distribuição está associada às depressões e

superfícies rebaixadas ao longo do rio das Velhas, que favorecem a ocupação humana (Silva, 2007). Entre 1985 e 2021, destacaram-se a expansão da Área Urbanizada em PUC Alto (257,13 ha), da Silvicultura em PUC Médio (240,52 ha) e da Mineração em PUC Muito Baixo (94,37 ha), além da redução de Mosaico de Usos (583,49 ha) em PUC Baixo e de Pastagem (670,01 ha) em PUC Alto. A Área Urbanizada foi a classe que mais cresceu (620,37 ha), principalmente sobre PUC Médio (312,06 ha) e Alto (302,01 ha), concentrando-se no Complexo do Bação.

As classes PUC Alto e Muito Alto apresentam solos profundos, relevo suave e elevada aptidão para recarga hídrica e ocupação antrópica. Em 2021, predominavam Área Urbanizada (40,79%), Mosaico de Usos (30,76%) e Formação Florestal (27,80%). Nas áreas de PUC Muito Baixo prevaleciam Mineração (39,64%), Afloramento Rochoso (32,76%) e Formação Campestre (11,48%), refletindo a ocupação de áreas com maiores declividades, solos rasos e litologias de interesse econômico, como os itabiritos (Sonter et al., 2014).

Embora espacialmente limitada, a expansão da mineração sobre formações naturais afeta ecossistemas estratégicos para a provisão de água e a conservação da biodiversidade (Sonter et al., 2014). Os campos rupestres desempenham papel essencial na recarga hídrica devido à sua elevada porosidade e permeabilidade (Silveira et al., 2016), enquanto as matas de galeria são fundamentais para a proteção das nascentes e pouco aptas à conversão para usos agropecuários (Mendes, 2022).

As áreas de PUC Médio, associadas a vertentes côncavas, concentram Cambissolos e Argissolos, favorecendo a retenção de umidade, o surgimento de nascentes e a oferta de serviços ecossistêmicos (Fernandes, 2013). Nessas áreas, as principais transições ocorreram da vegetação nativa para a silvicultura, com conversões de Formação Florestal (355,67 ha) e Mosaico de Usos (177,15 ha).

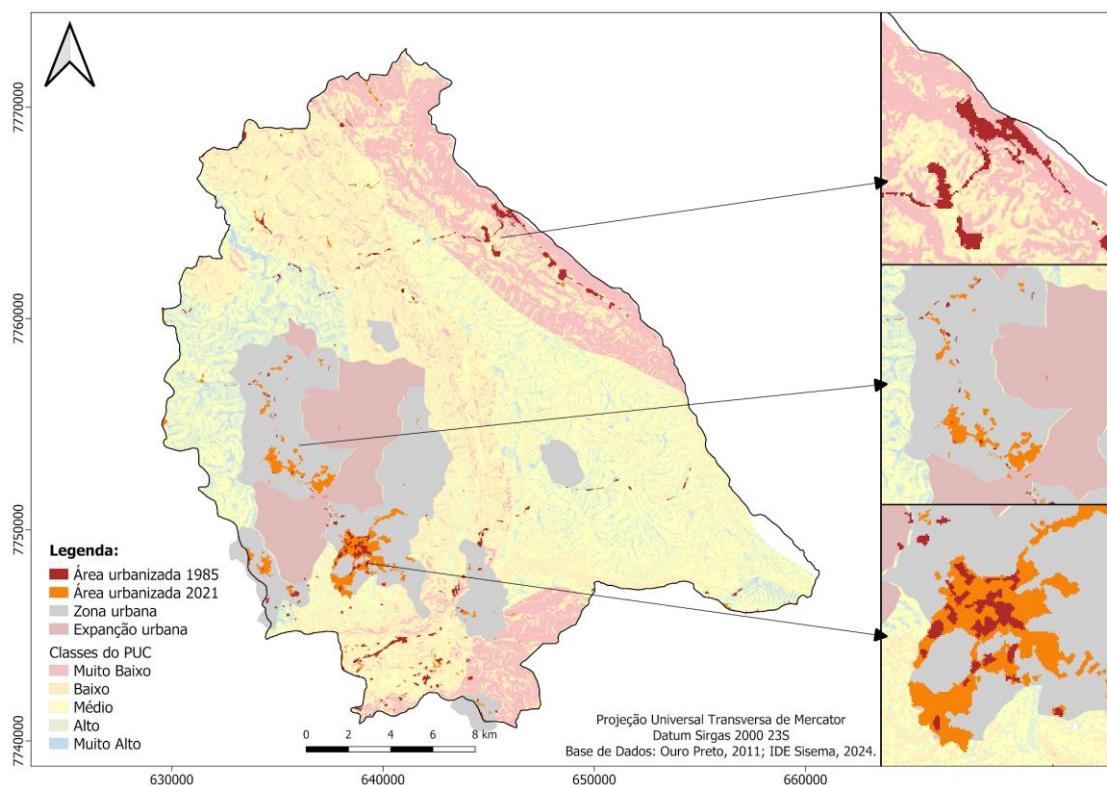
A substituição da vegetação nativa por plantios homogêneos intensifica a fragmentação da paisagem, reduz os serviços ecossistêmicos, especialmente os hídricos, e está relacionada ao aumento da demanda por aço e à expansão da mineração no Quadrilátero Ferrífero (Sonter et al., 2014). Além disso, a supressão da vegetação compromete o regime hidrológico, a dinâmica climática local, o armazenamento de carbono e aumenta a suscetibilidade à seca e aos incêndios (Marques, 2005).

Potencialidades dos serviços ecossistêmicos

Moura et al. (2024) identificaram que, das 26 sub-bacias da UTE Nascentes, 11 apresentam vocação agropecuária e 15 são propícias ao uso heterogêneo. As sub-bacias

agropecuárias concentram-se na porção ocidental, no Complexo do Bação, onde predominam as áreas urbanizadas e classes de PUC entre Médio e Muito Alto (Figura 3). Já as sub-bacias de uso heterogêneo localizam-se na porção oriental, caracterizada por mosaicos de Unidades de Conservação, predominância de PUC Médio e intensa atividade minerária associada às classes PUC Baixo e Muito Baixo.

Figura 3 - Transição da Área Urbana (1985-2021) sobre o PUC.



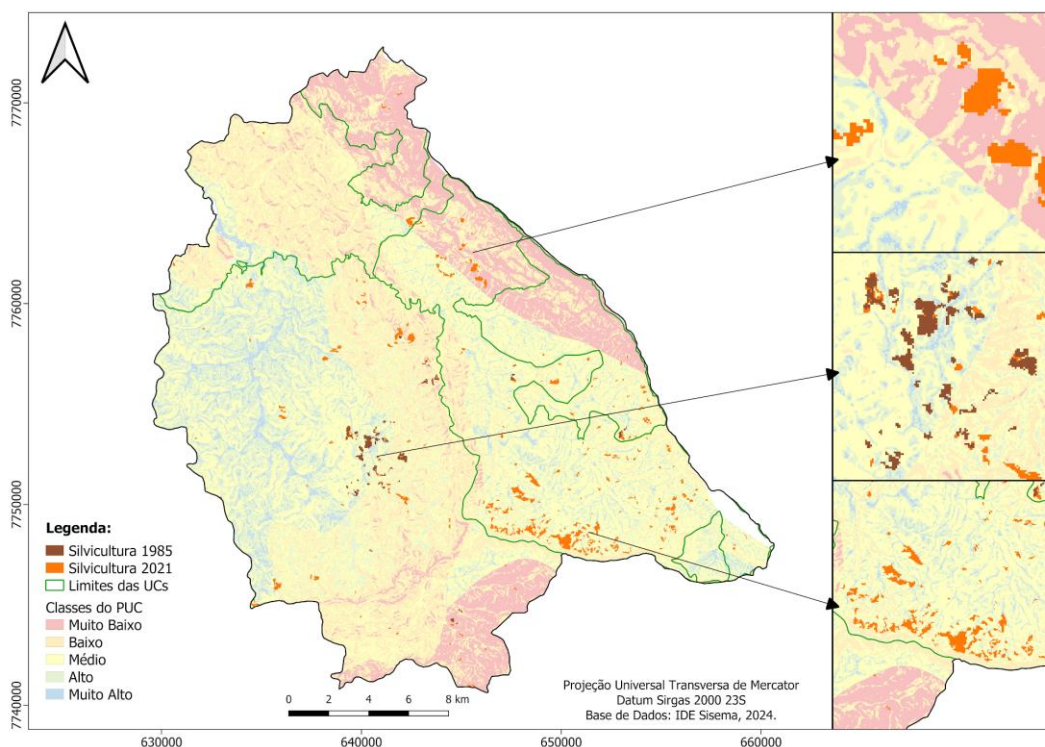
Fonte: Elaborado pelo autor conforme base de dados Ouro Preto, 2011; IDE SISEMA, 2024.

Na porção ocidental, de vocação agropecuária, predominam Latossolos, solos profundos com baixa fertilidade natural, porém favoráveis à produção agrícola mediante correção química, adubação e adoção de práticas conservacionistas, como plantio direto, terraceamento, rotação de culturas, cultivo em nível e construção de barraginhas (Costa et al., 2019; Embrapa, 2012). Essas práticas reduzem a erosão, melhoram a qualidade do solo e aumentam a produtividade (Lal, 2015). Associadas ao uso eficiente da água e à gestão integrada das bacias hidrográficas, também favorecem a conservação dos recursos hídricos e o desenvolvimento sustentável da agricultura familiar na região (Molden et al., 2010; Moura, 2023; Moura et al., 2024).

A adoção dessas estratégias pode diversificar a matriz econômica de Ouro Preto e Itabirito, conciliando produção agrícola e conservação ambiental. Nas áreas urbanizadas da porção ocidental, são igualmente necessárias ações de restauração de APPs e ampliação da infraestrutura verde, como parques e áreas verdes urbanas, capazes de melhorar a qualidade ambiental e o bem-estar da população (Laforteza et al., 2009). Nesse contexto, o planejamento territorial deve integrar conservação ambiental, recursos hídricos e infraestrutura verde para garantir a provisão de serviços ecossistêmicos (Connop et al., 2016).

Na porção oriental, onde a conservação é prioritária, devem ser fortalecidas medidas de proteção e restauração dos ecossistemas naturais. Entre 1985 e 2021, verificou-se aumento da fragmentação, especialmente nas Unidades de Conservação, em decorrência da expansão da silvicultura (Figura 4). A substituição da vegetação nativa por plantios de eucalipto reduz a disponibilidade de habitats e compromete a biodiversidade (Laurance, 2008; Fernandes et al., 2020).

Figura 4 - Transição da Silvicultura (1985-2021) sobre o PUC.

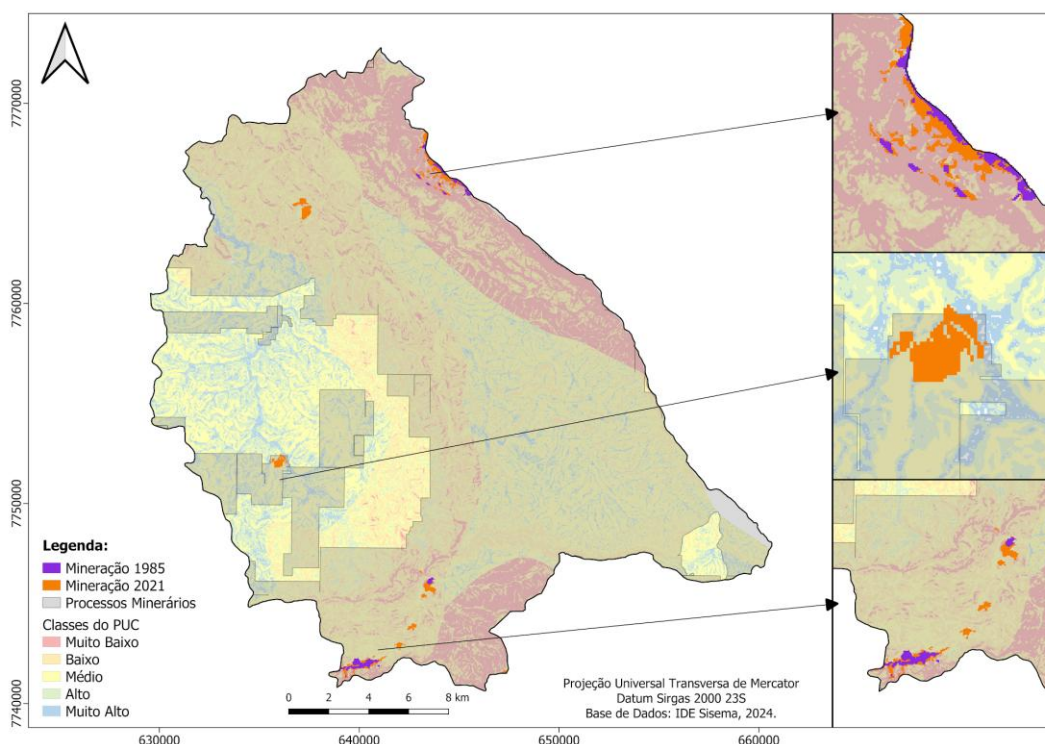


Fonte: Elaborado pelo autor conforme base de dados IDE SISEMA, 2024.

A fragmentação ambiental intensifica o efeito de borda, favorecendo a invasão de espécies exóticas, alterações microclimáticas e o aumento da predação (Murcia, 1995;

Ewers; Didham, 2005). Outro impacto relevante é a expansão da mineração (Figura 5), concentrada principalmente sobre áreas de Afloramento Rochoso, que promove a supressão da vegetação, a degradação do solo, a perda de habitats e a intensificação da fragmentação da paisagem. Nos Campos Rupestres, esses impactos podem resultar na perda irreversível de espécies endêmicas e raras, comprometendo os serviços ecossistêmicos associados.

Figura 5 - Transição da Mineração (1985-2021) sobre o PUC.



Fonte: Elaborado pelo autor conforme base de dados IDE SISEMA, 2024.

A atividade minerária promove a remoção da cobertura vegetal, a degradação do solo e a intensificação dos processos erosivos, comprometendo serviços ecossistêmicos essenciais, como a regulação hídrica, a produção e qualidade da água, a segurança hídrica e a conservação da biodiversidade. Na UTE Nascentes, sua expansão intensifica a fragmentação dos Campos Rupestres, reduzindo a conectividade entre fragmentos, limitando a dispersão das espécies e aumentando o risco de extinções locais. Esses resultados demonstram que a análise integrada da paisagem é fundamental para subsidiar estratégias de manejo e planejamento territorial voltadas à conservação ambiental e ao uso sustentável dos recursos naturais na bacia do rio das Velhas.

Considerações finais

O estudo demonstrou que atividades antrópicas desordenadas, sobretudo urbanização, mineração e silvicultura, provocam impactos significativos na conservação ambiental e na estrutura ecológica da UTE Nascentes, gerando fragmentação de habitats, alterações no ciclo hidrológico e redução da cobertura vegetal nativa, com prejuízos aos serviços ecossistêmicos de purificação da água, regulação climática, recarga hídrica e suporte à biodiversidade. A pesquisa atingiu seus objetivos ao empregar abordagem quantitativa e exploratória, com técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, usando MapBiomas – Coleção 7 e QGIS 3.22.5 para reclassificar categorias de cobertura, quantificar transições e identificar padrões espaciais conforme Macleod e Congalton (1998).

A aplicação do PUC (Costa et al, 2017) permitiu avaliar vulnerabilidades e potencialidades do território a partir de declividade, litologia e pedologia, definindo cinco classes de potencial conservacionista e evidenciando o avanço de áreas mineradas, urbanas e de silvicultura sobre zonas de média e alta aptidão para conservação. Entre 1985 e 2021, cerca de 27% do território da UTE passou por transição, com fortes incrementos em Mineração (58%), Silvicultura (176,88%) e Área Urbanizada (72,86%) e reduções em Água, Mosaico de Usos e Pastagem (35,74%), muitas ocorrendo no interior ou entorno de UCs, especialmente APAs, o que indica pressões sobre ecossistemas frágeis e relevantes para a regulação hídrica. Setores de PUC Alto e Muito Alto concentram usos urbanos e agrícolas, enquanto PUC Baixo e Muito Baixo se associam à expansão minerária, evidenciando conflitos entre desenvolvimento econômico e preservação e impactos sobre conectividade ecológica, erosão, perda de solo e biodiversidade (Sonter et al, 2014; Moura et al, 2024).

Os resultados reforçam a importância da análise integrada da paisagem e do uso combinado de geotecnologias e modelagem ambiental como suporte ao planejamento territorial sustentável e a políticas públicas adaptativas, recomendando-se validação em campo para aprimorar a interpretação e reduzir incertezas. Conclui-se que a UTE Nascentes enfrenta desafios complexos ligados à ocupação humana e à pressão minerária, exigindo manejo sustentável, monitoramento contínuo do uso da terra e incorporação efetiva de instrumentos como o Código Florestal e a Política Nacional do Meio Ambiente para equilibrar desenvolvimento econômico e conservação dos serviços ecossistêmicos vitais na bacia do rio das Velhas.

Referências

AGOSTINHO, Anderson José de Castro. *Estudo das áreas de expansão urbana de Ouro Preto com o uso das geotecnologias digitais*. 2021. 137f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2021.

BARROS, Luiz Fernando de Paula; JÚNIOR, Antônio Pereira Magalhães; RAPOSO, Aline Almeida. Fatores condicionantes da produção e escoamento de sedimentos na bacia do Rio Maracujá: Quadrilátero Ferrífero/MG. *Geografias*, v. 6, n. 2, p. 102–117, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.35699/2237-549X..13299>>. Acesso em 15 fev. 2024.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 9 jan. 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. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 19 jul. 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. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 11 jul. 2001.

CARMO, Flávio Fonseca do; JACOBI, Claudia Maria. A vegetação de canga no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: caracterização e contexto fitogeográfico. *Rodriguésia*, v. 64, p. 527–541, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S2175-78602013000300005>>. Acesso em 05 maio de 2025.

CARVALHO FILHO, Amaury de; CURI, Nilton; SHINZATO, Edgard. Relações solo-paisagem no Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 45, p. 903–916, 2010. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/pab/a/WvR5dG3Pjpyw9sCYjzqm8rs/?format=html&lang=pt>>. Acesso em 05 mai. 2025.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS - CBH VELHAS. *Atualização do Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas*. Belo Horizonte, 2015. Disponível em: <https://siga.cbhvelhas.org.br/publicacoesArquivos/siplan_pubMidia_Diagnostico_UTES_1>. Acesso em: 15 jan. 2025.

CBH VELHAS. *Deliberação Normativa CBH Rio das Velhas nº 01/2012*. Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <https://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/documents/d/infohidro/53_dn_11_2012_altera_art_7_re?download=true>. Acesso em: 25 jan. 2026.

COELHO, Maurício Rizzato. et al. *Solos do Quadrilátero Ferrífero sob diferentes coberturas vegetais e materiais de origem*. Brasília, DF: Embrapa, 2017. (Documentos, 264). Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1087417/solos-do-quadrilatero-ferrifero-sob-diferentes-coberturas-vegetais-e-materiais-de-origem>>. Acesso em: 25 jan. 2026.

CONNOP, Stuart. 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, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.01.013>>. Acesso em: 16 dez. 2023.

COSTA, Adriana Monteiro da et al. Ponderação de variáveis ambientais para a determinação do potencial de uso conservacionista para o estado de Minas Gerais. *Geografias*, v. 13, n. 1, p. 118–133, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.35699/2237-549X.2019.19891>>. Acesso em: 13 de jul. 2025.

COSTA, Adriana Monteiro da et al. Potencial de uso conservacionista em bacias hidrográficas: estudo de caso para a bacia hidrográfica do rio Gualaxo do Norte – MG. *Geografias*, v. 27, n. 2, p. 127–147, 2019. Disponível em: <<https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/19891>>. Acesso em: 13 mar. 2023.

ENDO, Issamu. et al. Estratigrafia e evolução estrutural do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: CASTRO, P. de T. A.; ENDO, I.; GANDINI, A. L. (orgs.). *Quadrilátero Ferrífero: avanços do conhecimento nos últimos 50 anos*. Belo Horizonte: 3i Editora, 2020. p. 70-113. Disponível em: <<https://www.repositorio.ufop.br/items/824aac07-188a-40f4-aa0d-948d700f6566/full>>. Acesso em 17 abr. 2023.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Práticas de conservação de solo e água*. Campina Grande: Embrapa, 2012. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/68394/1/CIRTEC133-tamanhografica-2.pdf>>. Acesso em: 9 abr. 2024.

EWERS, Robert M.; DIDHAM, Raphael K. Confounding factors in the detection of species responses to habitat fragmentation. *Biological Reviews*, v. 81, n. 1, p. 117–142, 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1017/s1464793105006949>>. Acesso em: 12 jun. 2024.

FERNANDES, G. Wilson. *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, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.pecon.2020.10.004>>. Acesso em: 10 mai. 2023.

FERNANDES, Maurício Roberto. (coord.). *Minas Gerais: caracterização de unidades de paisagem*. Belo Horizonte: EMATER-MG, 2013. 92 p. Disponível em: <<https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=987320>>. Acesso em: 25 jan. 2026.

FERREIRA, Quênia de Cássia Goulart; BACELLAR, Luis de Almeida. Avaliação preliminar das condições hidrogeológicas na área do município de Ouro Preto, MG. *Geonomos*, Belo Horizonte, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.18285/geonomos.v18i1.63>>. Acesso em: 15 jan. 2023.

FIGUEIREDO, Múcio do Amaral. *Aspectos mineralógicos, micromorfológicos e texturais da pedogênese no sul do Complexo Bação, Quadrilátero Ferrífero, MG*. 2004. 93f. Tese (Doutorado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2004.

FLUTEAU, Frédéric. Earth dynamics and climate changes. *Comptes Rendus Geoscience*, v. 335, n. 1, p. 157–174, 2003. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S1631-0713\(03\)00004-X](https://doi.org/10.1016/S1631-0713(03)00004-X)>. Acesso em: 17 fev. 2023.

FOLEY, Jonathan A. et al. Global consequences of land use. *Science*, v. 309, n. 5734, p. 570–574, 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1126/science.1111772>>. Acesso em: 17 fev. 2025.

GARCIA, Paula Marcia Brasil. *Geomorfologia como base de análise ambiental integrada para o planejamento municipal: estudo de caso de Itabirito–MG*. 2019. 144f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Atlas geográfico escolar*. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: <<https://atlasescolar.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 16 ago. 2024.

IBGE. *Censo demográfico 2022: população e domicílios*. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: <<https://atlasescolar.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 16 ago. 2024.

JACOBI, Claudia Maria; CARMO, Flávio Fonseca do. Diversidade dos campos rupestres ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, MG. In: DRUMMOND, G. M. et al. (org.). *Cadeia do Espinhaço: avaliação do conhecimento científico e prioridades de conservação*. v. 4. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2008. Disponível em: <https://institutoprstituto.org.br/wp-content/uploads/2020/04/17_Diversidade_dos_campos_rupestres_ferruginosos-1.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2023.

LAFORTEZZA, Raffaele. 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, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2009.02.003>>. Acesso em: 12 abr. 2024.

LAL, Rattan. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability*, v. 7, n. 5, p. 5875–5895, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/su7055875>>. Acesso em: 12 mai. 2023.

LAURANCE, William F. Theory meets reality: how habitat fragmentation research has transcended island biogeographic theory. *Biological Conservation*, v. 141, n. 7, p. 1731–1744, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.05.011>>. Acesso em: 15 mai. 2024.

LUIZ, Carlos Henrique Pires; FARIA, Sergio Donizete; ESCADA, Maria Isabel. Modelagem da expansão do reflorestamento com eucalipto e efeitos na estrutura da paisagem. *Mercator*, v. 18, p. e18019, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.4215/rm2019.e18019>>. Acesso em: 20 fev. 2023.

MACLEOD, RD.; CONGALTON, RG. A quantitative comparison of change-detection algorithms for monitoring eelgrass from remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, v. 64, n. 2, p. 141–156, 1998. Disponível em: <<https://www.semanticscholar.org/paper/A-Quantitative-Comparison-of-Change-Detection-for-Macleod-Congalton/151a61f26941f0566e0ce4ee3155833c31afe79>>. Acesso em: 10 mai. 2023.

MAPBIOMAS. *Coleção 7 da série anual de mapas de cobertura e uso da terra do Brasil*. São Paulo: MapBiomass, 2023.

MARQUES, Luiz. *Capitalismo e colapso ambiental*. 3. ed. Campinas: Editora da Unicamp, 2005.

MENDES, Izabela Aparecida da Silva; COSTA, Adriana Monteiro da. Mudança temporal no uso e cobertura da terra na Bacia do Alto Rio das Velhas. *RAEGA – O Espaço Geográfico em Análise*, v. 55, p. 154–175, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.5380/raega.v55i0.82190>>. Acesso em: 15 mar. 2024.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT - MEA. Ecosystems and human well-being: synthesis report. Washington, DC: Island Press, 2005. Disponível em: <<https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>>. Acesso em: 25 jan. 2026.

MOLDEN, David. et al. Improving agricultural water productivity: between optimism and caution. *Agricultural Water Management*, v. 97, n. 4, p. 528–535, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.03.023>>. Acesso em: 18 mai. 2023.

MOURA, Maíse de Moura. *Avaliação da dinâmica de provisão de serviços ecossistêmicos múltiplos no alto curso do Rio das Velhas, MG*. 2023. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023. Disponível em: <<https://hdl.handle.net/1843/59114>>. Acesso em: 25 jan. 2026.

MOURA, Maíse de Moura, 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, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171437>>. Acesso em: 20 mar. 2023.

MOURA, Maíse Soares de, et al. Integrating policy, data and technology in pursuing effective management of ecosystem services. *Journal of Environmental Management*, v. 368, p. 122157, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122157>>. Acesso em: 17 fev. 2024.

MURCIA, Carolina. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology & Evolution*, v. 10, n. 2, p. 58–62, 1995. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(00\)88977-6](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(00)88977-6)>. Acesso em: 05 mai. 2023.

PAIVA, Priscilla Bitarões Moreira. *Municípios mineradores: uma análise da diversificação econômica dos municípios mineiros que mais arrecadam CFEM (2006 a 2019)*. 2023. 113f. Dissertação (Mestrado em Inovação Tecnológica e Propriedade Intelectual) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Disponível em: <<https://hdl.handle.net/1843/57930>>. Acesso em: 25 jan. 2026.

POLASKY, Stephen. 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, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10640-010-9407-0>>. Acesso em: 22 mai. 2023.

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, p. 28–50, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.14393/rbcv67n1-44730>> Acesso em: 05 jan. 2024.

RIBEIRO, Silvia M. Carvalho. et al. *Ecologia da paisagem no contexto luso-brasileiro*. Curitiba: Appris, 2021.

SILVA, Fabiano Reis. *Perspectivas para o uso turístico dos recursos da herança geológica e da evolução geomorfológica da paisagem do Quadrilátero Ferrífero – MG*. 2007. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007. Disponível em: <<https://hdl.handle.net/1843/MPBB-79DNDW>>. Acesso em: 25 jan. 2026.

SILVA, Lucas Moreira Ribeiro. *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. Monografia (Graduação em Economia) – Universidade Federal de Ouro Preto, Mariana, 2021.

SILVEIRA, Fernando 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, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11104-015-2637-8>>. Acesso em: 21 fev. 2024.

SONTER, Laura 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, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.03.014>>. Acesso em: 20 mar. 2024.

TURNER, B. L. Toward integrated land-change science: advances in 1.5 decades of sustained international research on land-use and land-cover change. In: STEFFEN, W. et al. (ed.). *Challenges of a changing Earth*. Berlin: Springer, 2002. p. 21–26. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-19016-2_3>. Acesso em: 16 jun. 2023.

TURNER, B. L.; LAMBIN, Eric F.; REENBERG, Anette. 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, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1073/pnas.07041191>>. Acesso em: 16 fev. 2024.

VARAJÃO, 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, 1991. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/1365>>. Acesso em 18 de junho de 2024.

WINKLER, Karina. et al. Global land use changes are four times greater than previously estimated. *Nature Communications*, v. 12, p. 2501, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/s41467-021-22702-2>>. Acesso em: 11 ago. 2023.

YU, Linfei.; LENG, Guoyong. 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, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.109232>> Acesso em: 15 out. 2023.