



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL**  
**GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**ANÁLISE GEOESPACIAL DAS MUDANÇAS DO USO E COBERTURA DO SOLO E  
SEUS IMPACTOS NAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA SERRA  
DO CURRAL-MG**

**Ana Flávia Silva de Paula**

**Belo Horizonte**

**2025**

**Ana Flávia Silva de Paula**

**ANÁLISE GEOESPACIAL DAS MUDANÇAS DO USO E COBERTURA DO SOLO E  
SEUS IMPACTOS NAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA SERRA  
DO CURRAL-MG**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista

Orientador: Prof. Dr. Daniel Brianezi

Belo Horizonte

2025

**ANA FLÁVIA SILVA DE PAULA**

**ANÁLISE GEOESPACIAL DAS MUDANÇAS DO USO E COBERTURA DO SOLO E  
SEUS IMPACTOS NAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA SERRA  
DO CURRAL-MG**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Aprovado em 17 de julho de 2025

Banca examinadora:



---

Daniel Brianezi – Presidente da Banca Examinadora  
Prof. Dr Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – Orientador



---

Carlos Wagner Gonçalves Andrade Coelho  
Prof. Dr Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais



---

Ricardo José Gontijo Azevedo  
Prof. Dr Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me confiar missões e desafios que, mesmo nos momentos mais difíceis, me fortaleceram e mostraram que eu era capaz de vencê-los. Foi Ele quem me sustentou com coragem e fé ao longo de toda essa caminhada. Sem Ele nada disso seria possível.

À minha mãe, Ana Lúcia, minha maior inspiração, que me ofereceu suas próprias asas para que eu pudesse voar mais alto. Seu amor e dedicação foram fundamentais para que eu chegasse até aqui.

À minha irmã, Ana Lúza, que me apoiou, construiu e esteve com nossa mãe enquanto estive fora. Sua força silenciosa também construiu esse caminho comigo.

Aos meus meninos de quatro patas, que tornaram as noites de estudos mais leves e as aulas remotas mais alegres, o meu eterno amor.

Aos amigos que encontrei ao longo desses anos, no Brasil e em Portugal, meu muito obrigado por cada palavra, gesto e presença. Vocês foram pilares afetivos e essenciais nessa trajetória.

Aos professores e servidores do CEFET, agradeço pelos ensinamentos, pela paciência e pelo apoio. Cada um contribuiu de forma única para minha formação.

## RESUMO

PAULA, Ana Flávia Silva de. **Análise geoespacial das mudanças do uso e cobertura do solo e seus impactos nas emissões de Gases de Efeito Estufa na Serra do Curral-MG.** 2025. 63 p. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2025.

A intensificação de atividades antrópicas em áreas urbanas e de transição, como Serra do Curral, na Região Metropolitana de Belo Horizonte-MG, tem gerado alterações significativas no uso e cobertura do solo, com implicações ambientais diretas, como a perda de vegetação nativa e emissões de gases de efeito estufa (GEE). Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo analisar, por meio de técnicas de geoprocessamento, as mudanças no uso e cobertura da terra e suas respectivas contribuições para as emissões brutas de GEE entre 2013 e 2023. A pesquisa utilizou dados da Coleção 9 do MapBiomas e Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para mapear as alterações da paisagem e processamento em nuvem via Google Earth Engine para quantificar as emissões de GEE associadas às transições de uso do solo e avaliar como essas mudanças contribuem para o agravamento das mudanças climáticas. Os resultados indicaram que, entre 2013 e 2023, houve um aumento nas áreas urbanizadas e de mineração, com crescimento proporcional de 4,21% cada. A estimativa total de emissões brutas no período foi de 88.657,99 toneladas de CO<sub>2</sub>, o que evidencia a contribuição relevante dessas dinâmicas locais para o agravamento das mudanças climáticas, mesmo em áreas de escala relativamente reduzida. A análise multitemporal evidenciou uma redução da vegetação nativa, com impactos diretos sobre a biodiversidade, os serviços ecossistêmicos e o equilíbrio climático local. O estudo reforça a relevância do monitoramento ambiental contínuo aliado ao uso de ferramentas de sensoriamento remoto, apoiadas por bases de dados públicas e abertas, como instrumento essencial para a gestão territorial e a preservação ambiental em regiões submetidas a intensas pressões antrópicas.

**Palavras-chaves:** Alteração da paisagem, GEE, Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento.

## ABSTRACT

PAULA, Ana Flávia Silva de. **Geospatial analysis of land use and land cover changes and their impacts on Greenhouse Gas emissions in the Serra do Curral-MG.** 2025. 63 pages. Undergraduate Thesis (Bachelor's Degree in Environmental and Sanitary Engineering) – Department of Environmental Science and Technology, Federal Center for Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2025.

The intensification of anthropogenic activities in urban and transitional areas, such as the Serra do Curral in the Metropolitan Region of Belo Horizonte (MG), has led to significant changes in land use and land cover, with direct environmental implications such as native vegetation loss and greenhouse gas (GHG) emissions. In this context, the present study aimed to analyze, through geoprocessing techniques, the changes in land use and cover and their respective contributions to gross GHG emissions between 2013 and 2023. The research used data from MapBiomas Collection 9 and Geographic Information Systems (GIS) to map landscape changes and cloud processing via Google Earth Engine to quantify GHG emissions associated with land use transitions and assess how these changes contribute to the worsening of climate change. The results indicated that, between 2013 and 2023, there was an increase in urbanized and mining areas, with a proportional growth of 4.21% each. The total estimate of gross emissions for the period was 88,657.99 tons of CO<sub>2</sub>, highlighting the significant contribution of these local dynamics to climate change, even in relatively small-scale areas. The multitemporal analysis showed a reduction in native vegetation, with direct impacts on biodiversity, ecosystem services, and local climate balance. The study reinforces the importance of continuous environmental monitoring combined with the use of remote sensing tools, supported by public and open data sources, as an essential instrument for territorial management and environmental preservation in regions under intense anthropogenic pressure.

**Keywords:** Landscape change, GHG, Remote Sensing, Geoprocessing.

# SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 OBJETIVOS.....	13
2.1 Objetivo Geral.....	13
2.2 Objetivos Específicos.....	13
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	14
3.1 Mudanças do uso e cobertura do solo.....	14
3.2 Urbanização, mudanças do uso do solo e emissões de GEE.....	17
3.3 Mineração, mudanças do uso do solo e emissões de GEE.....	19
3.4 Características e importância ambiental da Serra do Curral.....	22
3.5 Uso de sensoriamento remoto para análise das mudanças do uso do solo.....	23
3.6 Impactos para as mudanças climáticas.....	25
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
4.1 Materiais e softwares.....	27
4.2 Delimitação da área de estudo.....	28
4.3 Obtenção e tratamento das imagens.....	29
4.4 Classificação das imagens.....	29
4.5 Transições de uso e cobertura do solo e cálculo das emissões de GEE.....	30
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
5.1 Mudanças do uso e cobertura do solo.....	33
5.2 Transições e emissões de GEE.....	44
6 CONCLUSÃO.....	50
7 REFERÊNCIAS.....	52
ANEXO A - Código em JavaScript para geração das transições de uso do solo na plataforma Google Earth Engine.....	61

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Áreas de proteção e tombamento da região da Serra do Curral-MG	21
Figura 3.2 - Emissões brutas por estado em 2023	26
Figura 3.3 - Emissões líquidas por estado em 2023	26
Figura 4.1 - Localização da área de estudo - Região da Serra do Curral - MG	28
Figura 5.1 - Uso e cobertura do solo na região da Serra do Curral (MG) - 2013	35
Figura 5.2 - Uso e cobertura do solo na região da Serra do Curral (MG) - 2023	36
Figura 5.3 - Evolução da Mancha Urbana na região da Serra do Curral - 2013 a 2023	37
Figura 5.4 - Evolução da Atividade Minerária na região da Serra do Curral - 2013 a 2023	38
Figura 5.5 - Evolução da Vegetação na região da Serra do Curral - 2013 a 2023	39
Figura 5.6 - Evolução dos Corpos d'água na região da Serra do Curral - 2013 a 2023	40
Figura 5.7 - Evolução do Solo Exposto na região da Serra do Curral (MG) - 2013 a 2023	41
Figura 5.8 - Monitoria da evolução da mancha urbana na região da Serra do Curral (MG) - 2013 a 2023	42
Figura 5.9 - Monitoria da evolução da atividade minerária na região da Serra do Curral (MG) - 2013 a 2023	43

## LISTA DE QUADROS

Quadro 4.1 - Estoque de carbono por classe de uso e cobertura do solo	31
Quadro 4.2 - Equações e resultados das emissões das transições de classes	32
Quadro 5.1 - Área em km <sup>2</sup> das tipologias classificadas	34
Quadro 5.2 - Transições de classes por área	44
Quadro 5.3 - Transições de classes consideradas para análise das emissões	47
Quadro 5.4 - Resultados das emissões das transições de classes em estudo	48

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APA	Área de Proteção Ambiental
BH	Belo Horizonte
GEE	Gases de Efeito Estufa
IEPHA	Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico de Minas Gerais
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
Iphan	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
PBH	Prefeitura de Belo Horizonte
PIB	Produto Interno Bruto
RMBH	Região Metropolitana de Belo Horizonte
SEEG	Sistema de Estimativa de Emissão de Gases de Efeito Estufa
SIG	Sistema de Informação Geográfica

## 1 INTRODUÇÃO

A Serra do Curral, localizada entre os limites de Belo Horizonte e Nova Lima, representa uma importante área de conservação ambiental na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), em Minas Gerais. A Serra foi reconhecida por sua importância na esfera federal pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Iphan) desde 1960 e, em 1991, o Conselho Deliberativo do Patrimônio Cultural do Município (CDPCM-BH) aprovou o tombamento e o perímetro de proteção do Alinhamento Montanhoso da Serra do Curral, com diretrizes gerais de proteção (MINISTÉRIO PÚBLICO DE MINAS GERAIS, 2021). Localizada em uma região de transição entre a Mata Atlântica e o Cerrado (INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL, 2014), possui significativa importância ecológica e histórica, servindo como um importante corredor de biodiversidade e patrimônio geológico da região metropolitana de Belo Horizonte, além de representar um símbolo da paisagem natural e cultural de Minas Gerais.

A Serra do Curral é um dos principais símbolos geográficos e culturais de Minas Gerais. Com sua formação rochosa única e sua imponente presença na paisagem, a Serra desempenha um papel essencial na construção da identidade e na história do povo mineiro. Além disso, possui um valor histórico e cultural inestimável para o estado. Sua conexão com a paisagem de Belo Horizonte remonta à fundação da cidade, sendo um elemento profundamente ligado ao seu desenvolvimento e trajetória histórica.

Impossível dissociar a Serra do Curral da capital e dos belo-horizontinos. É a moldura da cidade, está no brasão de BH, integrada à nossa vida por tudo o que representa como paisagem natural. De importância tão grande que, na época da construção de BH, a comissão chefiada pelo engenheiro Aarão Reis (1853-1936) fez estudos minuciosos sobre os aspectos biofísicos do maciço para nortear o projeto (MESQUITA, 2022 apud GUILARDUCCI et al., 2023).

De acordo com o Portal Belo Horizonte (2021), a paisagem da capital mineira é marcada, ao sul, pela presença da Serra do Curral, que integra o maciço do Espinhaço. Essa formação montanhosa localiza-se na porção norte do Quadrilátero Ferrífero, uma das mais importantes províncias geológicas do Brasil, e é constituída por rochas como itabirito (minério de ferro), quartzito, filito e dolomito. O Quadrilátero Ferrífero é a província mineral mais importante do sudeste do Brasil, símbolo da riqueza mineral do estado, sendo a mineração uma atividade econômica fundamental para a região, porém suas práticas têm gerado diversos impactos

ambientais nessa região, como a degradação da vegetação nativa, a contaminação de recursos hídricos e a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE).

Além das atividades minerárias, os conflitos de uso da terra na Serra do Curral dividem espaço com a urbanização, cuja expansão desordenada da malha urbana tem exercido forte pressão sobre os remanescentes de vegetação nativa. Esse processo resulta na substituição gradual de áreas naturais por ocupações humanas, alterando significativamente a paisagem local.

Ao longo do tempo, a evolução e crescimento urbano em Belo Horizonte trouxeram a ampliação do espaço ocupado, o adensamento populacional e um processo de verticalização caracterizado pela construção de grandes prédios. Além disso, as características ambientais da Serra do Curral atraem a atenção humana uma vez que a mesma se encontra na porção sul da RMBH, vetor de expansão urbana que vive uma intensa verticalização e especulação imobiliária (FROIS, 2013). Conseqüentemente, a Serra do Curral sofreu transformações, com áreas antes cobertas por vegetação sendo ocupadas por moradias, torres de transmissão e afetadas por queimadas de origem antrópica (EJUSP, 2021). Essa dinâmica não apenas compromete a integridade ambiental da Serra, mas também contribui para a perda de um elemento natural essencial à identidade paisagística da região, substituído por edificações que fragmentam a conexão entre a cidade e seu entorno natural.

A partir da pressão causada pela urbanização e pela mineração, a Serra do Curral tem enfrentado intensas mudanças em seu uso do solo nas últimas décadas. De acordo com Frois (2013), estas interferências antrópicas se refletem primeiramente na paisagem, ou seja, na dinâmica geomorfológica local, principalmente no que se refere às mudanças da cobertura do solo o que resulta num quadro de degradação ambiental uma vez que o homem, como ser social, interfere no meio ambiente criando novas situações ao construir e reordenar os espaços físicos de acordo com seus interesses.

As mudanças do uso do solo devido às atividades antrópicas impactam diretamente nas emissões de GEE. A remoção da vegetação nativa, frequentemente substituída por áreas urbanizadas ou destinadas à mineração, resulta na liberação de carbono previamente armazenado na biomassa e no solo. Além disso, o desmatamento e a degradação do solo intensificam as emissões indiretas associadas ao uso de combustíveis fósseis em maquinários e no transporte de materiais. A urbanização, por sua vez, está diretamente ligada ao aumento

de emissões dos GEE pelo crescimento do uso de energia que este meio necessita (HOGAN, 2009).

Devido a tais alterações ocorridas nos últimos tempos nesta região torna-se imprescindível a proteção e preservação da região da Serra do Curral. Com isso, o uso de tecnologias mostra-se de grande eficiência para o monitoramento e planejamento do espaço urbano. Com o intuito de verificar as principais mudanças do uso e cobertura do solo ocorridas com o passar do tempo, o uso de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento são ferramentas importantes, sendo possível quantificar a emissão de GEE ocorrida em um determinado período a partir de uma análise geoespacial.

## **2 OBJETIVOS**

O objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho visam analisar, por meio de técnicas geoespaciais, as mudanças no uso e cobertura do solo e suas contribuições para as emissões de GEE na Serra do Curral entre 2013 e 2023.

### **2.1 Objetivo Geral**

Realizar uma análise multitemporal das mudanças no uso e cobertura do solo da região da Serra do Curral e quantificar as emissões de GEE associadas a essas transformações.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Mapear as alterações no uso e cobertura do solo na Serra do Curral no período entre 2013 e 2023, utilizando ferramentas geoespaciais e Sistemas de Informações Geográficas (SIG).
- Quantificar as emissões de GEE no período avaliado (2013 - 2023) com base em referências bibliográficas e na mudança de paisagem.
- Avaliar a relação entre as mudanças no uso do solo e o aumento das emissões de GEE.

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da literatura apresentada a seguir reúne conceitos, estudos e debates fundamentais sobre as mudanças no uso e cobertura do solo, emissões de GEE, geotecnologias e os impactos ambientais decorrentes das atividades antrópicas.

#### 3.1 Mudanças do uso e cobertura do solo

Os estudos acerca do uso do solo e sua evolução nem sempre empregam definições similares de vários termos, sobretudo tendo em conta a terminologia anglo-saxônica: “*land use*” e “*land cover*”. No entanto, as descrições e definições desses termos variam conforme a sua aplicação e o contexto em que são utilizados (CASIMIRO, 2007). Ambos os conceitos compartilham a referência a “*land*” (terra), que pode ser definida de diferentes maneiras.

De acordo com a FAO (1996), “*Land*” é simplesmente “uma área da superfície da Terra”. Já segundo WOLMAN, M.G. (1987, p. 646), o termo “*Land*” é utilizado de forma mais abrangente para se referir a um conjunto de atributos dos recursos naturais em um perfil, que vai desde a atmosfera acima da superfície até alguns metros abaixo dela. Os principais atributos dos recursos naturais incluem o clima, as formas de relevo, o solo, a vegetação, a fauna e a água.

Segundo Casimiro (2007), em termos conceituais, “*land cover*” e “*land use*” não são sinônimos, embora possa pontualmente haver alguma sobreposição. De forma simplificada, *land cover* pode ser entendido como a cobertura física existente na superfície da Terra. No entanto, em português, o termo equivalente mais comum é “cobertura vegetal” (CASIMIRO, 2007).

Existe, portanto, uma grande diferença entre o uso do solo (*land use*) e a cobertura do solo (*land cover*), mesmo considerando que os conceitos possam ser relacionados. Segundo Meyer e Turner II (1994, p. 5), *land cover* “significa a categorização física, química ou biológica da superfície terrestre, como pradaria, floresta ou áreas com pavimentação, enquanto *land use* se refere aos objetivos humanos associados a essa cobertura, como criar gado, atividades de recreação ou vivência urbana”. Assim, um uso do solo pode corresponder a uma só cobertura, como, por exemplo, o pastoreio em pastos naturais.

O termo em português “Uso e cobertura do solo” apresenta conceitos inter-relacionados mas intrinsecamente diferentes, sendo a cobertura do solo resultante do seu uso (COMBER, 2008 apud FIGUEIREDO, 2017). A cobertura do solo compreende a caracterização biofísica da superfície terrestre, podendo envolver, por exemplo, tipo e quantidade de vegetação, coleções de água, prédios e pavimentação. Já o uso do solo refere-se às formas e finalidades com que o homem utiliza o solo e seus recursos, incluindo agricultura, conservação e preservação de áreas, estruturas construídas com finalidade comercial ou residencial, entre outras (MÜCHER et al., 1993 apud FIGUEIREDO, 2017)

No Brasil, a grande extensão territorial, diversidade ambiental e socioeconômica determinam os padrões de uso das terras, caracterizando-se regionalmente por diferentes formas de pressão ao uso (MANZATTO et al., 2002). Especialmente na Mata Atlântica e no Cerrado, a conversão do uso da terra tem uma longa história, com cerca de 200 anos de transformação da vegetação nativa para atividades agrícolas, como o cultivo de café, pastagens, cana-de-açúcar e soja. Esse processo resultou em declínios acentuados na cobertura florestal, afetando negativamente a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos, como a regulação hídrica e o armazenamento de carbono (VICTOR et al., 2005 e RIBEIRO et al., 2009).

Segundo Ruhoff et al. (2014), as mudanças no uso e cobertura da terra estão entre as mudanças globais mais significativas, assumindo acentuada importância nas áreas tropicais principalmente em função do desmatamento, atingindo dimensões sem precedentes na história humana. Ainda segundo os autores, devido à ampla área com potencial para expansão agrícola, as alterações do uso do solo no Brasil assumem grande importância principalmente nas áreas de Cerrado e da Floresta Amazônica, considerando a expressiva participação do setor primário na composição do PIB brasileiro. Essas transformações não apenas afetam o equilíbrio ecológico, mas também têm implicações econômicas, sociais e ambientais a nível global.

As oportunidades geradas pelas políticas econômicas e uma falta de ordenamento territorial efetivo geraram um processo de expansão constante da área agrícola e das pastagens a partir da conversão de imensas áreas naturais (RUHOFF et al., 2014). Esse processo, que tem sido particularmente intenso no Brasil, devido ao aumento da população e pela globalização dos mercados, influencia na conversão de áreas naturais em terras agrícolas e de pastagem, que causam um grande impacto no uso do solo.

O avanço das ações antrópicas sobre os espaços naturais têm causado alterações significativas no mosaico paisagístico, incluindo modificações na composição florestal (CORRÊA, 2022). A expansão de atividades humanas intensifica a fragmentação de habitats e a conversão de áreas naturais em terrenos destinados a usos econômicos. A humanidade, ao longo de sua história evolutiva, passou por diversas transformações. A busca incessante por bens de consumo e serviço, além do aumento da população, ampliou a necessidade de maior produção e de áreas para a agricultura (CORRÊA, 2022). Contudo, além da agricultura, atividades como a mineração e a urbanização têm se destacado como grandes responsáveis pelas mudanças no uso do solo.

A diversidade dos ecossistemas do território brasileiro é grande e os solos, que são parte integrante desse complexo de recursos naturais, também variam significativamente (COELHO et al., 2002). No entanto, atualmente as atividades humanas, como a urbanização e a mineração, têm desempenhado um papel central na mudança do uso e cobertura do solo, impactando diretamente essa diversidade.

As mudanças no uso e cobertura do solo, quando consideradas globalmente, são tão importantes que chegam a afetar significativamente aspectos chave do funcionamento do sistema terrestre global (LAMBIN et al., 2001). A conversão de ecossistemas naturais por atividades econômicas antrópicas, como agricultura intensiva, mineração e urbanização, intensifica os problemas associados à mudança do uso do solo. O impacto dessas mudanças, conforme está citado por Lambin et al. (2001), pode se dar sobre a diversidade biótica (SALA et al., 2000), contribuir para as mudanças climáticas locais e regionais (CHASE et al., 1999), bem como para a mudança climática global (HOUGHTON et al., 1999), além de contribuir diretamente para a degradação dos solos (TOLBA et al., 1992), e, ao alterar os serviços ecossistêmicos, afetam a capacidade dos sistemas biológicos de atender às necessidades humanas (VITOUSEK et al., 1997).

Lambin et al. (2001) afirmam que as causas das alterações no uso e cobertura da terra são predominantemente influenciadas por políticas de desenvolvimento e ambientais, e não apenas pelo crescimento populacional ou pobreza. Segundo eles, as mudanças no uso do solo são fortemente determinadas pela resposta das populações às oportunidades econômicas, que são mediadas por fatores institucionais. Ou seja, as políticas locais e nacionais, com as forças de mercado, desempenham um papel crucial na criação de oportunidades para novos usos da

terra, mas a dinâmica global tem um impacto ainda mais significativo. As forças globais podem potencializar ou atenuar as mudanças no uso da terra, dependendo de como fatores locais respondem a essas influências externas.

Esse ponto de vista destaca a complexidade das mudanças no uso do solo, que envolvem não apenas os fatores econômicos imediatos, mas também os contextos institucionais e as políticas públicas que direcionam o desenvolvimento e a exploração dos recursos naturais.

### **3.2 Urbanização, mudanças do uso do solo e emissões de GEE**

A alteração e substituição de áreas naturais por zonas urbanas impactam profundamente o equilíbrio dos ecossistemas, resultando em descontinuidades significativas na cobertura vegetal (LIMA, 2022). Esse processo de urbanização, frequentemente caracterizado pela ocupação desordenada e pela falta de planejamento, acarreta profundas modificações no uso e ocupação do solo, conforme apontado por Rocha et al. (2016). Essas transformações vão além das questões ecológicas, contribuindo significativamente para o aumento das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE).

A urbanização é responsável atualmente por abrigar 54,5% da população global, e projeta-se que até 2050, o crescimento populacional desordenado afetará 66% da população mundial (HASEEB et al., 2024 e HUSSAIN et al., 2024). O crescimento acelerado das áreas urbanas, que substituem as coberturas naturais por terrenos urbanizados, é um dos principais fatores impulsionadores das mudanças climáticas (FARHAN et al., 2024). Essas mudanças no uso e cobertura do solo são particularmente evidentes nas periferias das cidades, onde a rápida expansão urbana, impulsionada pela pressão populacional e pelo desenvolvimento econômico, leva à transformação de vastas áreas de vegetação natural em zonas urbanas (BHAT et al., 2017 e HALDAR et al., 2023). Esse processo não só altera a paisagem, mas também contribui significativamente para a liberação de GEE e outros impactos ambientais, que intensificam os efeitos das mudanças climáticas em nível local e global.

De acordo com Ribeiro (2006), os núcleos urbanos desempenham um papel significativo nas emissões de poluentes atmosféricos, sendo responsáveis por cerca de 90% da emissão de monóxido de carbono (CO) e aproximadamente 80% do dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>). A concentração de atividades industriais, transporte e consumo urbano nas cidades resulta em uma pressão ambiental elevada, que exacerba problemas como poluição do ar e contaminação

dos corpos d'água, tendo consequências diretas para a saúde pública e para o equilíbrio ecológico (RIBEIRO, 2006).

As áreas urbanas ocupam menos de 2% da superfície terrestre, mas abrigam cerca de 50% da população mundial, colocando as cidades na linha de frente das respostas às ameaças da mudança climática (HALL et al., 2009). De acordo com Flannery (2007), as cidades são essenciais para a civilização moderna, mas também são extremamente vulneráveis às pressões causadas pelas mudanças climáticas. As características intrínsecas do meio urbano, desde sua formação, contribuem para o desequilíbrio ambiental, e sua dependência de interligações com outras áreas frequentemente resulta em danos colaterais a essas regiões (RIBEIRO, 2006). Esses fatores destacam a complexidade das cidades como sistemas interdependentes e expõem sua fragilidade diante das tensões ambientais e sociais.

Nas áreas urbanas, a ação humana ocorre de forma intensa e acelerada, gerando transformações muitas vezes irreversíveis, com impactos negativos tanto para o meio ambiente quanto para a própria sociedade. Entre as principais alterações provocadas estão o desmatamento, os movimentos de terra, a impermeabilização do solo, o aterramento de corpos hídricos como rios, riachos e lagoas, além das modificações nos ecossistemas, da poluição ambiental e das mudanças globais, como o efeito estufa e a destruição da camada de ozônio (MOTA, 1999). Dentre estas modificações irreversíveis causadas pelas ações humanas, as mudanças climáticas mostram-se intimamente ligadas ao meio urbano e ao modo de vida das pessoas que nele habitam. Segundo Carmo (2007), a população urbana no Brasil aumentou mais de 130 milhões de pessoas entre os anos de 1950 e 2000. A urbanização está ligada ao aumento de emissões dos GEE pelo crescimento do uso de energia que este meio necessita. (HOGAN, 2009).

A urbanização acelerada e desordenada em Belo Horizonte, consolidada na segunda metade do século XX, reflete o processo de metropolização que se deu de forma marcante em direção ao oeste e norte da cidade. Esse movimento de expansão territorial foi acompanhado por transformações profundas na configuração urbana, sendo a verticalização do centro um dos principais fenômenos observados no período (DUARTE, 2009). Esse processo, segundo Duarte (2009), evidenciou a crescente concentração de atividades econômicas e a valorização do espaço urbano na região central, enquanto as áreas periféricas enfrentavam uma ocupação cada vez mais irregular e carente de infraestrutura.

De acordo com Duarte (2009), a valorização das terras urbanas nessa época intensificou a especulação imobiliária, transformando loteamentos em reservas de capital e aumentando as disparidades socioespaciais. O aumento populacional, impulsionado pelo crescimento da indústria no Brasil, teve papel crucial na configuração urbana de Belo Horizonte e na formação de municípios vizinhos, como Betim e Contagem, que se consolidaram como pólos industriais. Essa expansão industrial criou um eixo de desenvolvimento econômico que se conectava à capital, ao mesmo tempo que pressionava por políticas de planejamento urbano e infraestrutura adequadas para atender à demanda crescente por moradia e serviços.

O reconhecimento formal desse processo culminou, em 1973, na criação da Região Metropolitana de Belo Horizonte. Essa institucionalização buscou organizar e integrar os diversos municípios que compunham a região, promovendo uma abordagem mais ampla ao planejamento territorial e ao desenvolvimento econômico. No entanto, apesar de sua importância, a RMBH também trouxe desafios significativos, como o aumento da segregação socioespacial e os impactos ambientais decorrentes da expansão urbana desordenada, que permanecem como questões centrais no planejamento metropolitano até os dias atuais.

### **3.3 Mineração, mudanças do uso do solo e emissões de GEE**

Dentre as atividades antrópicas que são responsáveis por intensas mudanças no uso do solo destaca-se a mineração. A mineração é uma atividade industrial de uso temporário da terra que requer uma alteração das condições ambientais naturais (ex.: modificação da topografia local, supressão da vegetação etc.), de forma a suprir a sociedade moderna com os minerais necessários para a produção de bens materiais (AMARAL, 2018). Inegavelmente, a atividade minerária traz benefícios financeiros e desenvolvimento para as regiões onde as jazidas se encontram, porém, o bônus vem acompanhado de um ônus que reflete e se materializa com o decorrer dos anos (PORTELLA, 2015).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Análises Sociais e Econômicas (IBASE) a participação da indústria extrativa mineral na economia brasileira aumentou consideravelmente nos últimos 15 anos. O Brasil é responsável por uma parcela significativa das reservas mundiais de diversos minérios, consolidando-se como um ator relevante no cenário internacional. O país detém cerca de 17% das reservas globais de ferro, além de contar com grandes reservas de minerais como tântalo, estanho, níquel e magnésita (IBRAM, 2014).

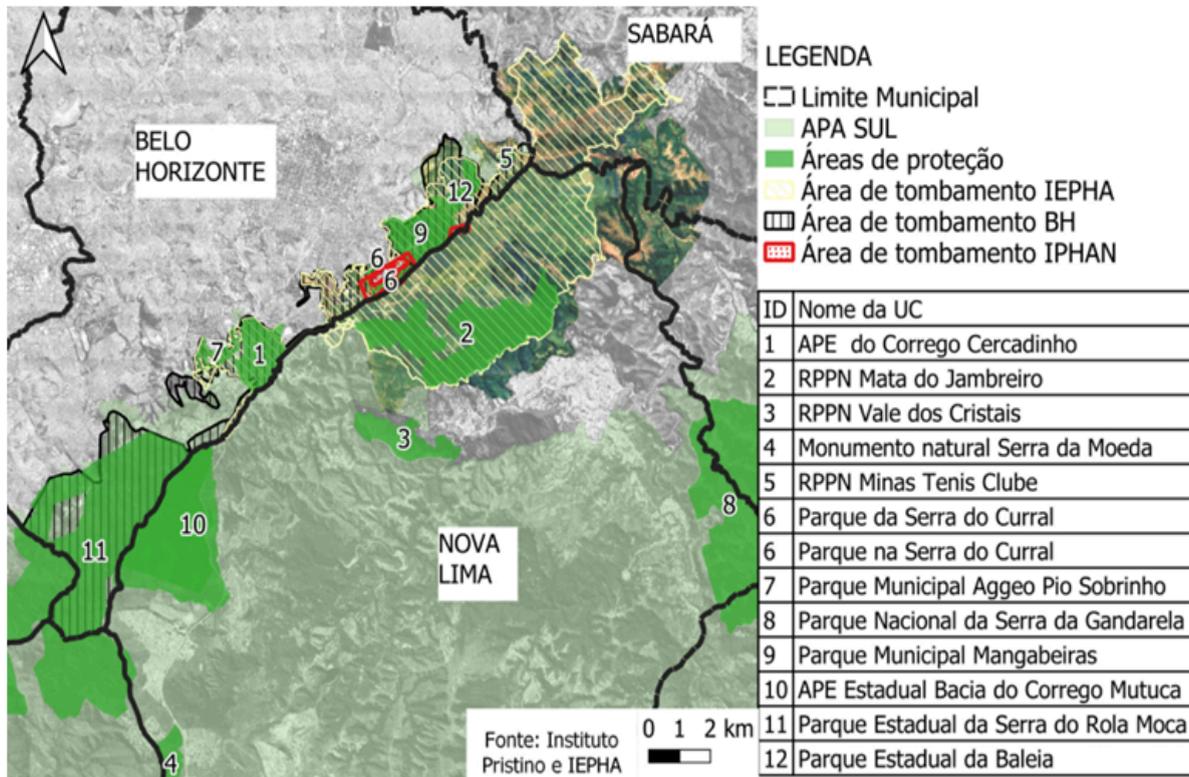
As atividades de mineração estão intimamente interligadas com outros tipos de uso e cobertura da terra, resultando em mudanças no uso/cobertura da terra adjacente com implicações multifacetadas (OBODAI, 2024). Em virtude da exploração realizada pela mineração, as áreas exploradas apresentam índices altos de degradação e de impactos ambientais, afetando os recursos naturais e gerando danos para ao ambiente, como o desequilíbrio nos habitats locais, assoreamento dos corpos hídricos, poluição atmosférica e queda na qualidade do ar da região, entre outros (SILVA et al., 2023).

De acordo com Tonietto e Silva (2011), as reservas de minérios medidas e indicadas no Brasil, totalizam 28,9 bilhões de toneladas, sendo que, destas, 67% estão localizadas no estado de Minas Gerais. Pelas estatísticas do Departamento Nacional de Produção Mineral (REZENDE, 2016), Minas Gerais se situa como o maior estado produtor de minério do Brasil. Em 2023, o setor mineral brasileiro teve um faturamento total de R\$248,2 bilhões, com Minas Gerais contribuindo com 41,7% desse total (IBRAM, 2024). Estes dados se aplicam especialmente para a região do Quadrilátero Ferrífero em que atualmente além de abrigar grandes minerações de ferro e ouro, também abriga vários empreendimentos de mineração que exploram jazidas de outros tipos de rochas e minerais como, por exemplo, topázio e bauxita (MARENT et al., 2011).

Na Serra do Curral, a atividade de mineração teve início em 1973 e permaneceu ativa por quase três décadas, até ser encerrada em 2002 (SAMPAIO *et al.*, 2016). Em 2004, a Prefeitura de Belo Horizonte oficializou o tombamento da Serra por meio da publicação da deliberação nº 147/2003 no Diário Oficial, uma decisão da Secretaria Municipal de Coordenação de Política Pública Urbana e Ambiental (BELO HORIZONTE, 2004). Com isso, ficou determinado que não seriam mais permitidas autorizações para pesquisa ou exploração mineral na área, além da exigência de implantação de medidas de recuperação das áreas degradadas.

Desde a chegada das primeiras atividades de mineração, uma série de ações de proteção foram criadas na Serra do Curral (Figura 3.1), sendo a mais recente o dossiê para o processo de tombamento estadual pelo IEPHA (2020). No entanto, essas ações não impediram a expansão recente e os impactos da atividade mineradora (FREITAS e MELO, 2023).

**Figura 3.1 - Áreas de proteção e tombamento da região da Serra do Curral-MG**



Fonte: Freitas e Melo (2023)

Embora a Serra do Curral já tenha sido tombada em âmbito municipal e federal, é fundamental que seu tombamento seja efetivado também em nível estadual, garantindo uma proteção mais abrangente. No entanto, a interrupção desse processo devido à concessão de uma licença para exploração de minério pela empresa Taquaril Mineração S/A (Tamisa) levanta preocupações sobre os impactos negativos que a atividade mineradora pode causar à região, reacendendo o debate sobre a necessidade de preservar esse patrimônio natural e cultural (AGÊNCIA BRASIL, 2022).

As primeiras ocupações da Serra do Curral remontam ao início do século XVIII. Contudo, foi a partir da descoberta de ouro, em 1800, e de minério de ferro, em 1870, que ocorreram grandes investimentos no setor extrativista. Essas atividades, frequentemente associadas à expansão dos núcleos urbanos ao redor, começaram a transformar de maneira mais significativa a paisagem natural da região (CARSLADE e ABREU, 2012). Nas décadas seguintes após a inauguração de Belo Horizonte, em 1897, o crescimento urbano da RMBH impactou a Serra do Curral de diferentes formas.

De acordo com Freitas e Melo (2023), a Serra do Curral enfrenta pressões diversas decorrentes do crescimento urbano e da expansão de atividades econômicas. Isso inclui o processo contínuo de ocupação de parte da encosta oeste por bairros formais e informais e, com o avanço da verticalização intraurbana, a redução da visibilidade da Serra para os moradores. Na face oposta, observa-se a intensificação da atividade mineradora e a proliferação de condomínios privados, gerando impactos significativos tanto na paisagem quanto nas possibilidades de acesso ao local pela população.

### **3.4 Características e importância ambiental da Serra do Curral**

A Serra do Curral configura-se como um dos elementos paisagísticos mais emblemáticos da cidade de Belo Horizonte e dos municípios limítrofes de Sabará e Nova Lima. Com sua formação linear e imponente, a Serra funciona como um divisor natural dos territórios urbanos e, ao mesmo tempo, como elo que integra essas localidades por meio de sua continuidade geográfica. Seu perfil singular e cênico contribui para a construção da identidade visual da região metropolitana, funcionando como uma autêntica “moldura urbana”. Tal configuração não é apenas visualmente marcante, mas também representa o resultado de uma complexa interação entre os processos geológicos e a ação histórica humana na ocupação e transformação do território (NOVAIS et al., 2022).

A região da Serra do Curral assume importância estratégica por situar-se em uma zona de transição entre dois dos principais biomas brasileiros: o Cerrado e a Mata Atlântica. Essa localização confere à Serra uma elevada riqueza em biodiversidade e a torna um espaço vital para a conectividade ecológica entre ecossistemas distintos, reforçando seu papel como corredor ecológico essencial para a manutenção da fauna e da flora nativas (NOVAIS et al., 2022).

Além de sua função ecológica, a Serra do Curral é responsável por prestar diversos serviços ambientais indispensáveis à população da região. A vegetação nativa e o relevo da Serra contribuem significativamente para a permeabilização do solo, favorecendo a recarga dos aquíferos e a retenção das águas pluviais. A presença de inúmeros mananciais vinculados às bacias hidrográficas dos rios das Velhas e Paraopeba — que, juntos, abastecem cerca de 70% da população de Belo Horizonte e aproximadamente 40% da região metropolitana — evidencia o papel vital da Serra na segurança hídrica local. Além disso, seu ecossistema

exerce influência direta na regulação do microclima urbano, contribuindo para a mitigação de ilhas de calor e para a melhoria da qualidade do ar (NOVAIS et al., 2022).

Diante de tais características, a Serra do Curral adquire múltiplos valores: é um ativo ambiental de relevância pela riqueza ecológica e hidrológica que abriga; um patrimônio cultural e paisagístico cuja presença contribuiu historicamente para a fundação e identidade da capital mineira e, ao mesmo tempo, um ativo econômico cobiçado, sobretudo em razão da presença de minérios em seu subsolo. Essa multiplicidade de funções tem alimentado disputas sobre seus usos e suscitado debates entre a conservação ambiental e a exploração mineral (CUSTÓDIO et al., 2021).

Ainda segundo Custódio et al. (2021), a importância cultural da Serra do Curral remonta aos primórdios da ocupação da região, quando já era reconhecida como ponto de referência geográfica. Com o passar do tempo, sua presença imponente se consolidou como símbolo da cidade de Belo Horizonte, influenciando diretamente na escolha da área para a construção da nova capital mineira no final do século XIX. Sua imagem foi incorporada ao imaginário coletivo da população, consolidando-se como um marco visual e cultural da urbanidade belo-horizontina.

Mesmo sendo reconhecida por seu valor ambiental, histórico e cultural, e contando com tombamentos em diferentes esferas de governo, a Serra do Curral continua sendo alvo de pressões antrópicas, especialmente relacionadas à atividade minerária. Essa contradição evidencia os desafios enfrentados pelas políticas públicas de conservação frente aos interesses econômicos e reforça a urgência de ações efetivas para garantir a proteção integral desse patrimônio natural e simbólico.

### **3.5 Uso de sensoriamento remoto para análise das mudanças do uso do solo**

A rápida mudança no uso e cobertura da terra é o principal indicador da mudança climática global, e novas tecnologias por meio de imagens de satélite, conjuntos de dados espaciais e mapas são necessários para monitorar a mudança do uso do solo (AFUYE et al., 2024).

No contexto do mapeamento das atividades humanas sobre a superfície terrestre, os dados de sensoriamento remoto, aliados aos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), têm se consolidado como ferramentas indispensáveis para o diagnóstico e o planejamento das

atividades antrópicas (SCHLINDWEIN et al., 2007). Segundo Crósta (1992), as imagens de sensoriamento remoto são amplamente utilizadas em estudos geológicos, ambientais, cartográficos, florestais, urbanos e oceanográficos. Essas imagens oferecem uma forma eficaz de monitoramento ambiental em escalas locais e globais devido à rapidez, eficiência, periodicidade e visão sinóptica que proporcionam. Complementarmente, os SIGs potencializam esse trabalho ao aumentar a eficiência no manuseio de dados, permitindo a combinação de informações em diferentes formatos (ARAÚJO, 1997 apud SCHLINDWEIN et al, 2007). Conforme Câmara e Medeiros (1998), os SIGs consistem em ferramentas computacionais que possibilitam análises complexas, integração de dados de diversas fontes, criação de bancos de dados georreferenciados e automação da produção de documentos cartográficos.

Nesse sentido, tecnologias como os SIGs e o sensoriamento remoto oferecem alternativas econômicas e precisas para entender a dinâmica da paisagem (RAZIQ et al., 2016). Essas ferramentas têm se mostrado fundamentais na formulação, implementação e monitoramento do desenvolvimento urbano, especialmente na transição para estratégias sustentáveis (YEH e LI, 1997). O SIG, por sua vez, é um processo sistemático de coleta e processamento de dados espaciais, sendo útil para estudar o ambiente, avaliar mudanças e prever cenários futuros (RAMACHANDRA e KUMAR, 2004). Já o sensoriamento remoto permite a aquisição de dados multiespectrais, multirresolução e multitemporais, sem contato direto com os objetos de estudo. Essas características possibilitam a análise e a modelagem de mudanças no uso do solo, tornando essa abordagem amplamente empregada em estudos urbanos para detectar, monitorar e simular transformações no uso do solo. A relação custo-eficácia e a periodicidade dessas tecnologias reforçam sua relevância para análises de detecção de mudanças, conforme destacado por Im et al. (2008).

Um grande aliado nas análises de mudança do uso e cobertura da terra no Brasil é a plataforma MapBiomas, considerada uma das principais fontes de dados espaciais para esse tipo de estudo. Seus dados são amplamente utilizados tanto em pesquisas científicas quanto na formulação e monitoramento de políticas públicas ambientais, como o combate ao desmatamento e a avaliação da situação dos biomas brasileiros (XAVIER et al., 2024). O MapBiomas é desenvolvido por uma rede colaborativa formada por organizações não governamentais, universidades, laboratórios de pesquisa e startups de tecnologia, que, juntos, realizam o mapeamento anual da cobertura e uso da terra, além do monitoramento mensal de

superfície de água e cicatrizes de fogo, com séries históricas desde 1985 (MAPBIOMAS, 2024).

O processamento e a disponibilização dos dados do MapBiomias ocorrem por meio da plataforma Google Earth Engine, uma infraestrutura computacional em nuvem que permite o acesso e a análise de grandes volumes de dados geoespaciais de forma ágil e escalável. O Google Earth Engine é essencial para a operacionalização do projeto, possibilitando que o mapeamento anual e as análises de transição de uso da terra sejam realizadas com alto grau de automatização e precisão (GORELICK et al., 2017). Dessa forma, a integração entre os dados do MapBiomias e a capacidade computacional do Google Earth Engine tem ampliado significativamente o alcance e a aplicabilidade dessas informações no contexto ambiental brasileiro.

### **3.6 Impactos para as mudanças climáticas**

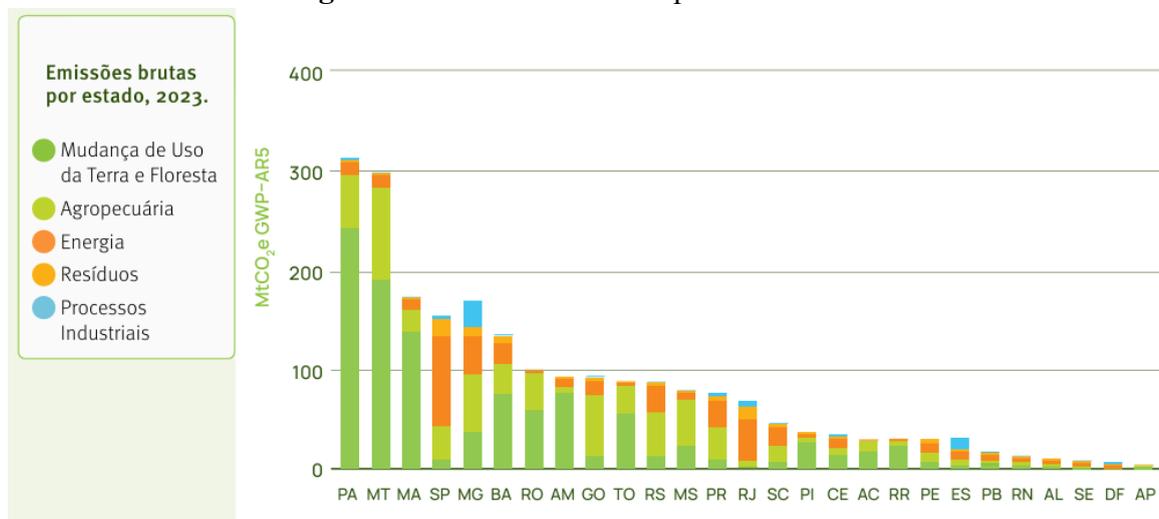
As mudanças no uso e cobertura da terra são historicamente reconhecidas como uma das principais fontes de emissões de GEE no Brasil. Em 2023, o setor foi responsável pela emissão de 1,06 bilhão de toneladas brutas de CO<sub>2</sub> equivalente, mantendo-se como a maior fonte de emissão bruta do país, com 46% do total nacional (SEEG, 2023).

De acordo com o SEEG (2023), embora o desmatamento da Amazônia ainda concentre a maior parte das emissões (65%), o Cerrado já representa 19% das emissões brutas do setor, com cerca de 202 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e, seguido pela Mata Atlântica, com 7% (74 milhões de toneladas). Isso demonstra que, embora menos extensiva, a devastação nesses biomas é igualmente crítica, especialmente por ocorrer em regiões de alta densidade populacional, biodiversidade e conflito de uso da terra. Em termos de velocidade de perda relativa da vegetação nativa, o Cerrado apresenta uma taxa três vezes maior que a da Amazônia, o que preocupa considerando que este bioma abriga os principais aquíferos do país e é uma das principais fronteiras agrícolas e minerárias do território nacional.

Em relação aos estados, Minas Gerais aparece entre os principais emissores de GEE por mudança de uso do solo em 2023, respondendo por 7,4% das emissões brutas nacionais. A principal contribuição mineira vem da supressão de vegetação nativa nos biomas Cerrado e Mata Atlântica, associada sobretudo à mineração, expansão urbana e agropecuária extensiva (SEEG, 2023). Nos gráficos apresentados pelo SEEG é possível notar o destaque para a

emissão bruta e líquida devido à mudança de uso da terra e floresta em Minas Gerais (Figura 3.2 e Figura 3.3).

**Figura 3.2 - Emissões brutas por estado em 2023**



Fonte: SEEG (2024)

**Figura 3.3 - Emissões líquidas por estado em 2023**



Fonte: SEEG (2024)

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

A seção a seguir descreve os dados, ferramentas e procedimentos metodológicos empregados para a análise geoespacial das mudanças do uso e cobertura do solo e suas implicações nas emissões de GEE na região da Serra do Curral.

#### **4.1 Materiais e softwares**

Este trabalho adotou uma abordagem quantitativa e espacial, fundamentada em técnicas de geoprocessamento, para avaliar as mudanças na cobertura e uso do solo na Serra do Curral entre 2013 e 2023. Os dados utilizados foram obtidos a partir da plataforma MapBiomas Brasil, especificamente da Coleção 9 de Cobertura e Uso da Terra. A classificação do uso e cobertura da terra seguiu os padrões estabelecidos pelo projeto MapBiomas, com base nos códigos de classes definidos na legenda oficial da Coleção 9.

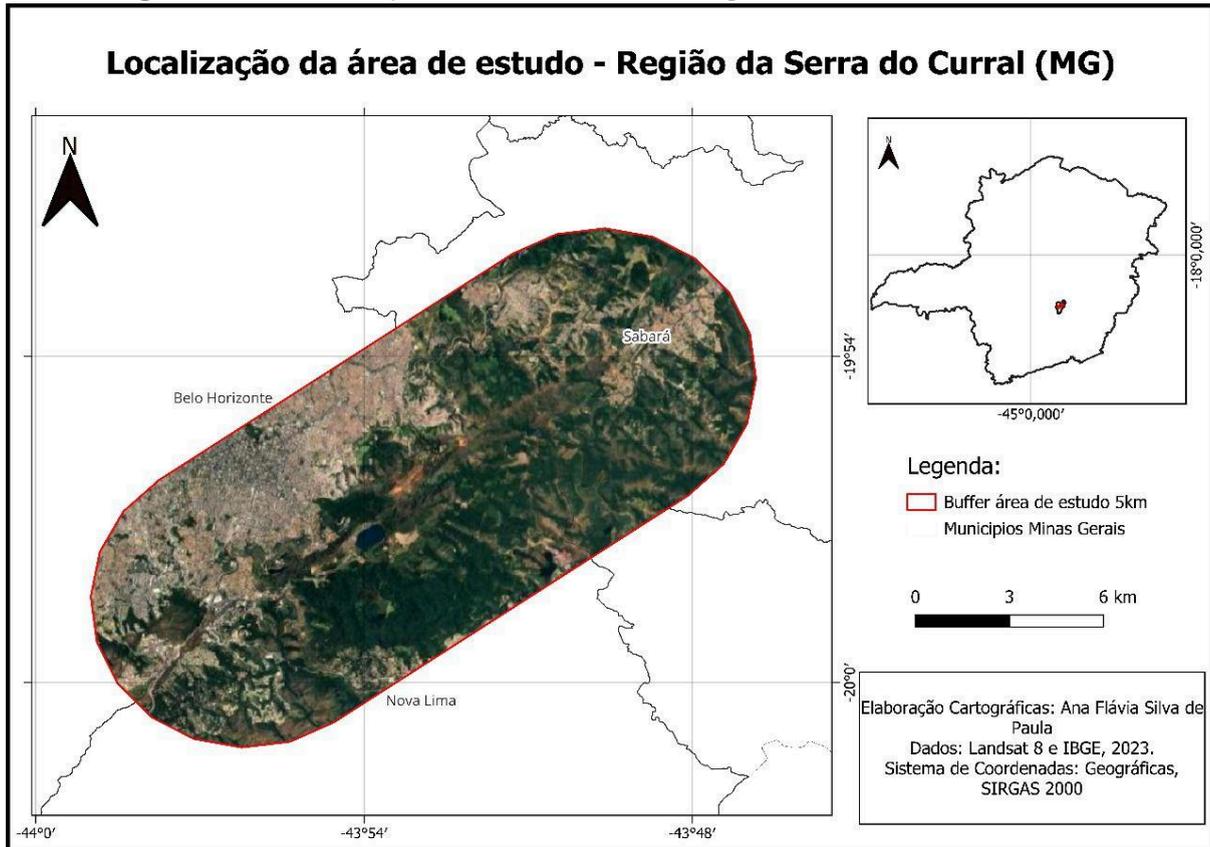
Os dados espaciais foram processados em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica), utilizando o software QGIS, onde foram realizadas operações como recorte da área de estudo, reprojeção, reclassificação das categorias de uso e geração de mapas temáticos. Em seguida, as classes de uso foram comparadas ao longo dos anos, permitindo a identificação de tendências de transformação territorial.

#### **4.2 Delimitação da área de estudo**

De acordo com o IEPHA-MG (2020) o trecho do alinhamento montanhoso que configura a Serra do Curral localiza-se entre as coordenadas 622676 E, 7798533 N e 611343 E, 7790922 N, fuso 23S, com orientação geral sudoeste-nordeste, envolvendo áreas dos municípios de Belo Horizonte, Nova Lima e Sabará. O Sistema de Referência de Coordenadas (SRC) dos pontos são 19°54'20.3"S 43°49'40.8"W e 19°58'30.3"S 43°56'08.9"W.

A área de estudo para realização do trabalho é a Serra do Curral, para a delimitação dessa região foi feito um buffer de 5 km (Figura 4.1) a partir de uma linha traçada pelos pontos culminantes da Serra do Curral, que se localizam no limite geográfico de Belo Horizonte, Nova Lima e Sabará, em que a área total do buffer de estudo é de 211,93 km<sup>2</sup>. A adoção da distância de 5 km baseou-se no perímetro de tombamento da Serra do Curral, com intuito de abranger, a partir do limite geográfico, toda a área tombada em Belo Horizonte e a área da Serra localizada no município de Nova Lima e Sabará (FROIS, 2013).

**Figura 4.1** - Localização da área de estudo - Região da Serra do Curral - MG



Fonte: Autor (2025)

### 4.3 Obtenção e tratamento das imagens

Neste estudo, foram utilizadas imagens da Coleção 9 do MapBiomias, projeto que realiza o mapeamento anual da cobertura e uso da terra no Brasil. As imagens dessa coleção são geradas a partir de séries temporais do programa Landsat (5, 7 e 8), com resolução espacial de 30 metros e abrangência temporal desde 1985. Essa base de dados confiável e de longo prazo permite acompanhar as transformações no território brasileiro com alto grau de detalhamento.

O processamento inicial das imagens, como a correção atmosférica, a montagem de mosaicos anuais e a remoção de nuvens e sombras, é feito pelo próprio MapBiomias, utilizando ferramentas automatizadas dentro da plataforma Google Earth Engine. Essas etapas são fundamentais para garantir que os dados estejam padronizados e prontos para comparações entre diferentes anos e regiões.

Para a análise desenvolvida neste trabalho, foram selecionadas as imagens dos anos 2013 e 2023, de modo a permitir uma comparação temporal da evolução do uso e ocupação do solo

na área da Serra do Curral, em Minas Gerais. Após a obtenção das imagens, os dados foram importados para o software QGIS 3.40.6, onde foram realizadas análises espaciais complementares, como a sobreposição de camadas, reclassificação de classes e cálculo de áreas ocupadas por cada categoria de uso do solo. Essas etapas permitiram uma avaliação detalhada das mudanças ocorridas ao longo da década.

#### **4.4 Classificação das imagens**

A classificação das imagens utilizadas neste estudo é realizada pelo próprio projeto MapBiomas, que adota modernas técnicas de aprendizado de máquina. O algoritmo utilizado é o Random Forest, amplamente reconhecido por sua eficiência em análises ambientais. Esse modelo supervisionado é aplicado às séries temporais de imagens do satélite Landsat e leva em consideração não apenas as informações espectrais, mas também uma série de variáveis auxiliares, como índices de vegetação, dados de altimetria (SRTM), limites de biomas, regiões hidrográficas e informações climáticas. Essa combinação de fatores contribui para uma classificação mais precisa e coerente com as características reais do território.

A legenda adotada pelo MapBiomas segue uma estrutura hierárquica em três níveis, conforme descrito no documento oficial “Códigos das Classes da Legenda da Coleção 9” (MAPBIOMAS, 2023). Cada classe recebe um código numérico e uma descrição padronizada, o que facilita a comparação entre diferentes anos e regiões do Brasil. Para esta pesquisa, foram utilizadas principalmente as seguintes classes: Formação Florestal (código 3), Formação Savânica (4), Silvicultura (9), Formação Campestre (12), Pastagem (15), Mosaico de Usos (21), Área Urbanizada (24), Outras áreas não vegetadas (25), Afloramento Rochoso (29), Mineração (30), Rio, Lago e Oceano (33) e Café (46).

A acurácia geral dos mapas anuais da Coleção 9 do MapBiomas Brasil é de 89,84%, com valores superiores a 63% para as principais classes de uso e cobertura da terra, conforme validação realizada por amostragem estratificada e inspeção visual de pontos de referência (MAPBIOMAS, 2022). Neste trabalho, foram utilizados os dados já classificados, o que permitiu identificar com clareza os principais padrões de transformação no uso e cobertura do solo na região da Serra do Curral, entre os anos de 2013 e 2023.

#### **4.5 Transições de uso e cobertura do solo e cálculo das emissões de GEE**

A análise espacial das transições de uso e cobertura da terra foi realizada por meio da plataforma Google Earth Engine, uma infraestrutura computacional em nuvem desenvolvida pelo Google que permite o processamento de grandes volumes de dados geoespaciais de forma eficiente e escalável (GORELICK et al., 2017).

Com o uso de scripts em linguagem JavaScript, foi possível acessar dados públicos disponibilizados por diferentes iniciativas, especialmente os mapas anuais do projeto MapBiomas – Coleção 9, que fornecem informações detalhadas sobre o uso do solo em todo o território brasileiro. A partir dessa base, foi possível identificar e quantificar as transições de uso da terra ocorridas entre os anos de 2012 e 2023.

Embora o recorte temporal inicial do estudo compreenda o intervalo de 2013 a 2023, a base de dados utilizada para análise de transições de uso e cobertura do solo foi a Coleção 9 do MapBiomas, acessado por meio da plataforma Google Earth Engine. Essa base apresenta os dados de transição organizados em pares de anos fixos, não permitindo a seleção direta de um intervalo exato. Assim, optou-se pela utilização do par de transição 2012 a 2023, que apresenta com maior proximidade as transformações ocorridas ao longo da década analisada.

Esse pequeno desvio temporal inicial, com início em 2012, não compromete os objetivos da pesquisa, uma vez que as mudanças captadas a partir de 2012 refletem as alterações consolidadas no uso do solo que se estenderam até 2023.

As análises se concentraram em um recorte espacial correspondente à Serra do Curral, delimitado previamente e importado para a plataforma em formato shapefile. Dentro dessa área de estudo, foram calculadas as áreas (em hectares) correspondentes a cada tipo de transição de uso do solo.

Por fim, essas transições foram associadas a fatores de emissão de gases de efeito estufa, conforme Nota Metodológica SEEG 11 - Setor Mudanças de Uso da Terra e Floresta (versão 2) de 2024, o que permitiu estimar as emissões totais geradas pelas mudanças de uso da terra ao longo do período analisado.

Os estoques de carbono para as classes estudadas neste trabalho, de acordo com o SEEG (2024), estão apresentados no quadro 4.1.

**Quadro 4.1** - Estoque de carbono por classe de uso e cobertura do solo

Classe	Bioma	Estoque de Carbono (tC/ha)
Formação Florestal (classe 3)	Mata Atlântica	121,78
Silvicultura (Floresta Plantada) (classe 9)	Geral	42,05
Formação Campestre (classe 12)	Mata Atlântica	13,91
Pastagem (classe 15)	Mata Atlântica	2,60
Mosaico de Usos (classe 21)	Mata Atlântica	3,83
Área Urbanizada (classe 24)	Geral	Nulo
Outras Áreas Não Vegetadas (classe 25)	Geral	Nulo
Mineração (classe 30)	Geral	Nulo

Fonte: SEEG (2024)

Com base no anexo 3 da metodologia do SEEG (2024), que faz parte do documento de referência, é possível encontrar as equações associadas para cálculo das emissões para cada tipo de transição contabilizados no SEEG. Essas transições referem-se às mudanças de uma categoria de uso e cobertura do solo para outra, como a conversão de vegetação nativa em pastagem, áreas urbanas ou mineração. Cada transição representa uma alteração no status do solo, impactando diretamente os estoques de carbono e, conseqüentemente, as emissões de gases de efeito estufa. Assim, as transições são essenciais para estimar como diferentes processos de mudança do uso da terra contribuem para as emissões totais observadas ao longo do período analisado. Referente a alteração de uso da terra para as transições desse estudo temos (Quadro 4.2):

**Quadro 4.2** - Equações e resultados das emissões das transições de classes

Classe (t1)	Classe (t2)	Equação
Formação Florestal	Silvicultura	$A*(Ct1-Cit2)*(44/12)$
Formação Florestal	Pastagem	$A*(Ct1-Cit2)*(44/12)$

<b>Classe (t1)</b>	<b>Classe (t2)</b>	<b>Equação</b>
Formação Florestal	Mosaico de Usos	$A*(Ct1-Ct2)*(44/12)$
Formação Florestal	Área Urbanizada	$A*(Ct1-Ct2)*(44/12)$
Formação Florestal	Outras Áreas não Vegetadas	$A*(Ct1-Ct2)*(44/12)$
Formação Florestal	Mineração	$A*(Ct1-Ct2)*(44/12)$
Formação Campestre	Silvicultura	$A*(Ct1-Ct2)*(44/12)$
Formação Campestre	Pastagem	$A*(Ct1-Ct2)*(44/12)$
Formação Campestre	Mosaico de Usos	$A*(Ct1-Ct2)*(44/12)$
Formação Campestre	Área Urbanizada	$A*(Ct1-Ct2)*(44/12)$
Formação Campestre	Outras Áreas não Vegetadas	$A*(Ct1-Ct2)*(44/12)$
Formação Campestre	Mineração	$A*(Ct1-Ct2)*(44/12)$
Pastagem	Mosaico de Usos	$A*(Ct1-Ct2)*(44/12)$
Pastagem	Área Urbanizada	$A*(Ct1-Ct2)*(44/12)$
Pastagem	Outras Áreas não Vegetadas	$A*(Ct1-Ct2)*(44/12)$
Pastagem	Mineração	$A*(Ct1-Ct2)*(44/12)$

Legenda: A=área da transição; Ci=incremento de estoque de carbono; Ct1=estoque de carbono antes da transição; Ct2=estoque de carbono depois da transição. O termo (44/12) é o fator aplicado para transformar de estoque de carbono (tonelada de C) em dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Fonte: SEEG (2024)

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este tópico apresenta e analisa os principais resultados obtidos a partir do mapeamento e da avaliação das mudanças do uso e cobertura do solo na Serra do Curral, assim como os impactos dessas alterações nas emissões de gases de efeito estufa ao longo do período estudado.

### 5.1 Mudanças do uso e cobertura do solo

A análise espacial realizada na região da Serra do Curral, no período de 2013 a 2023, revelou mudanças nas principais classes de uso e cobertura do solo. Nesse intervalo, a área urbanizada cresceu cerca de 2,9 km<sup>2</sup>, o que corresponde a um aumento de 4,21% em relação à área total do buffer de estudo de 211,93 km<sup>2</sup>. A atividade minerária também apresentou expansão proporcional semelhante, evidenciando que esses dois vetores (urbanização e mineração) têm avançado de forma simultânea e significativa sobre o território. Em contrapartida, as áreas de formação florestal permaneceram relativamente estáveis, embora apresentem sinais de fragmentação. Já as classes de solo exposto e mineração mostraram indicam uma intensificação da pressão antrópica sobre os ambientes naturais. Esses resultados, tanto quantitativos quanto qualitativos, apontam para tendências preocupantes de degradação ambiental, que ameaçam a integridade ecológica e paisagística da Serra do Curral, um importante patrimônio natural da Região Metropolitana de Belo Horizonte.

Para melhor entendimento quantitativo foi identificado a área referente à cada classe de uso do solo na região em estudo para o ano de 2013 e 2023, conforme quadro abaixo.

**Quadro 5.1** - Área em km<sup>2</sup> das tipologias classificadas

Área total em km <sup>2</sup>				
Classe	2013	2023	Aumento/Redução	Porcentagem (%)
Área Urbanizada	68,24	71,11	+ 2,87	4,21
Mineração	6,41	6,68	+ 0,27	4,21
Formação Florestal	63,3	64,69	+ 1,39	2,20
Formação Savânica	0,23	0,24	+ 0,01	4,34
Silvicultura	0,13	0,33	+ 0,20	154
Formação Campestre	37,59	35,27	- 2,32	- 6,17

Pastagem	9,91	7,52	- 2,39	- 24,12
Mosaico de Usos	24,95	24,22	- 0,73	- 2,93
Outras áreas não vegetadas	0,61	1,2	+ 0,59	96,72
Afloramento Rochoso	0,13	0,13	0	0
Rio, Lago e Oceano	0,76	0,88	+ 0,12	15,79

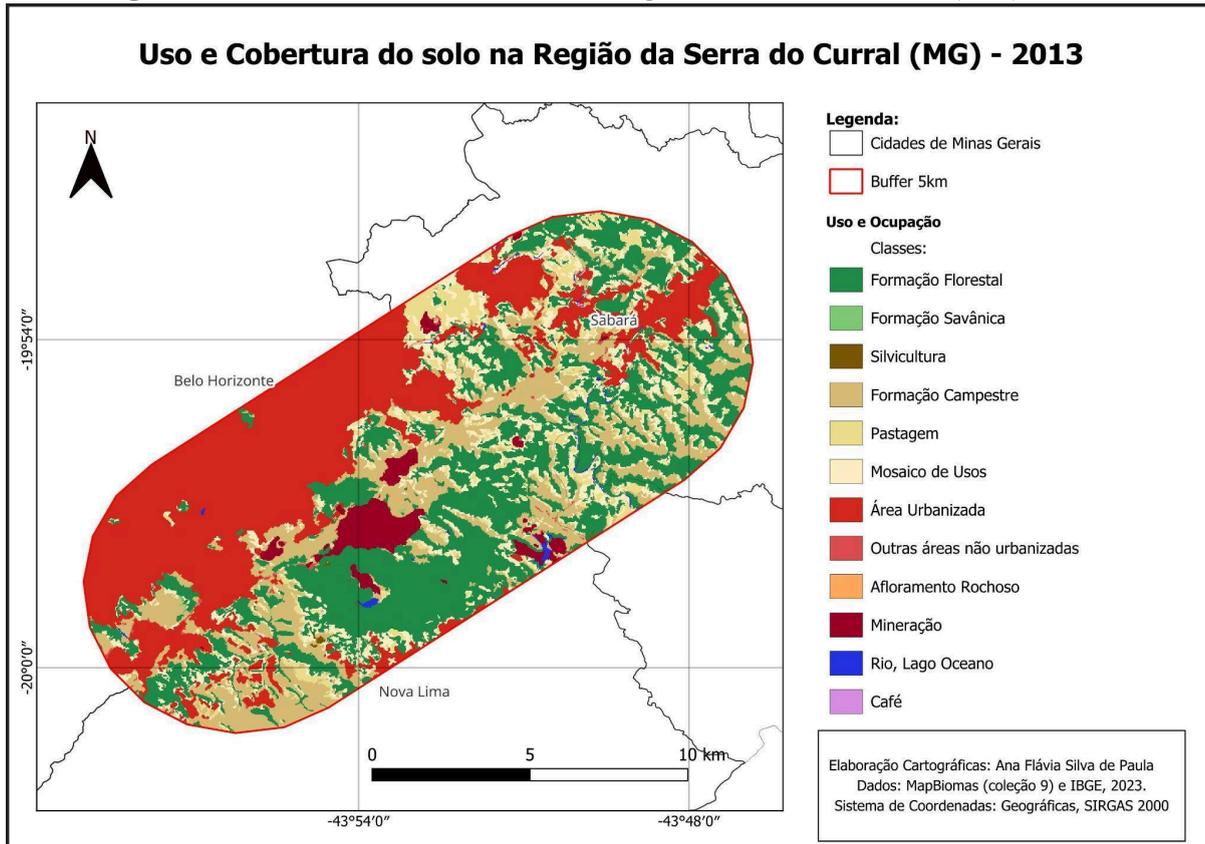
Fonte: Autor (2025)

Observa-se um aumento de aproximadamente 2,9 km<sup>2</sup> na mancha urbana, reflexo direto da expansão da RMBH, especialmente nos municípios vizinhos à Serra do Curral, como Nova Lima e Sabará. Esse crescimento urbano tem pressionado áreas ambientalmente sensíveis, impulsionado por processos de ocupação acelerada e pelo avanço de loteamentos, muitas vezes em regiões de encosta e de alto valor imobiliário.

Quanto ao aumento da classe Mineração, é necessário considerar que, mesmo diante da intensificação das atividades minerárias na região, nem toda essa expansão é plenamente detectada por imagens de satélite. Adiri et al. (2020) explicam que, em muitas regiões, a mineração pode acontecer de maneira praticamente invisível aos olhos dos satélites. Isso acontece quando a vegetação densa ou a presença de solos profundos cobre completamente a rocha, impedindo que os sensores capturem os sinais característicos dos minerais presentes ali. Nessas situações, mesmo com tecnologias avançadas, as imagens de satélite acabam não revelando o que está de fato acontecendo abaixo da superfície. Por isso, para compreender melhor essas áreas, é essencial unir diferentes tipos de dados, como levantamentos geofísicos, análises químicas e observações em campo. Isso mostra que, apesar dos avanços do sensoriamento remoto, ainda enfrentamos desafios importantes para detectar certos tipos de mineração, especialmente os mais discretos ou subterrâneos.

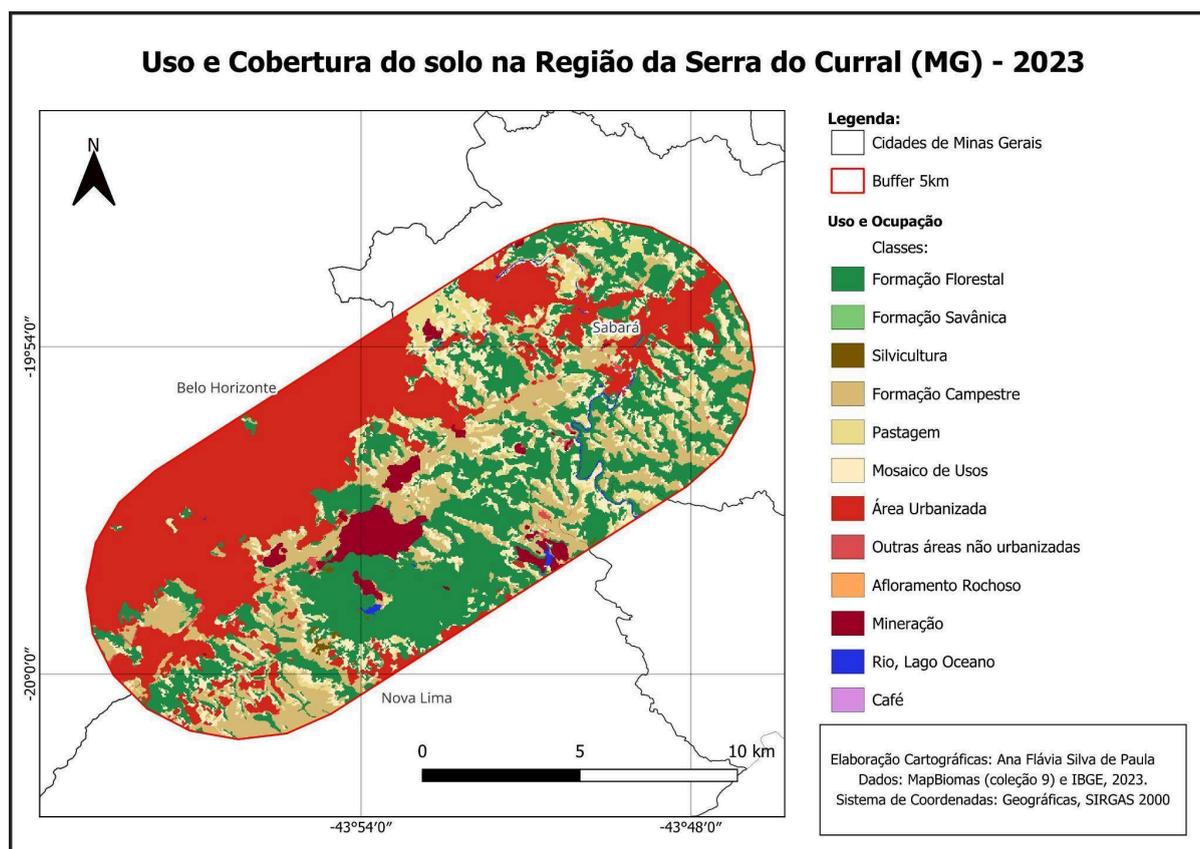
As principais alterações e a distribuição espacial dessas classes ao longo da década podem ser visualizadas nas figuras a seguir. As figuras 5.1 e 5.2 mostram os mapas resultados da classificação das imagens de 2013 e 2023 respectivamente:

**Figura 5.1 - Uso e cobertura do solo na região da Serra do Curral (MG) - 2013**



Fonte: Autor (2025)

**Figura 5.2 - Uso e cobertura do solo na região da Serra do Curral (MG) - 2023**

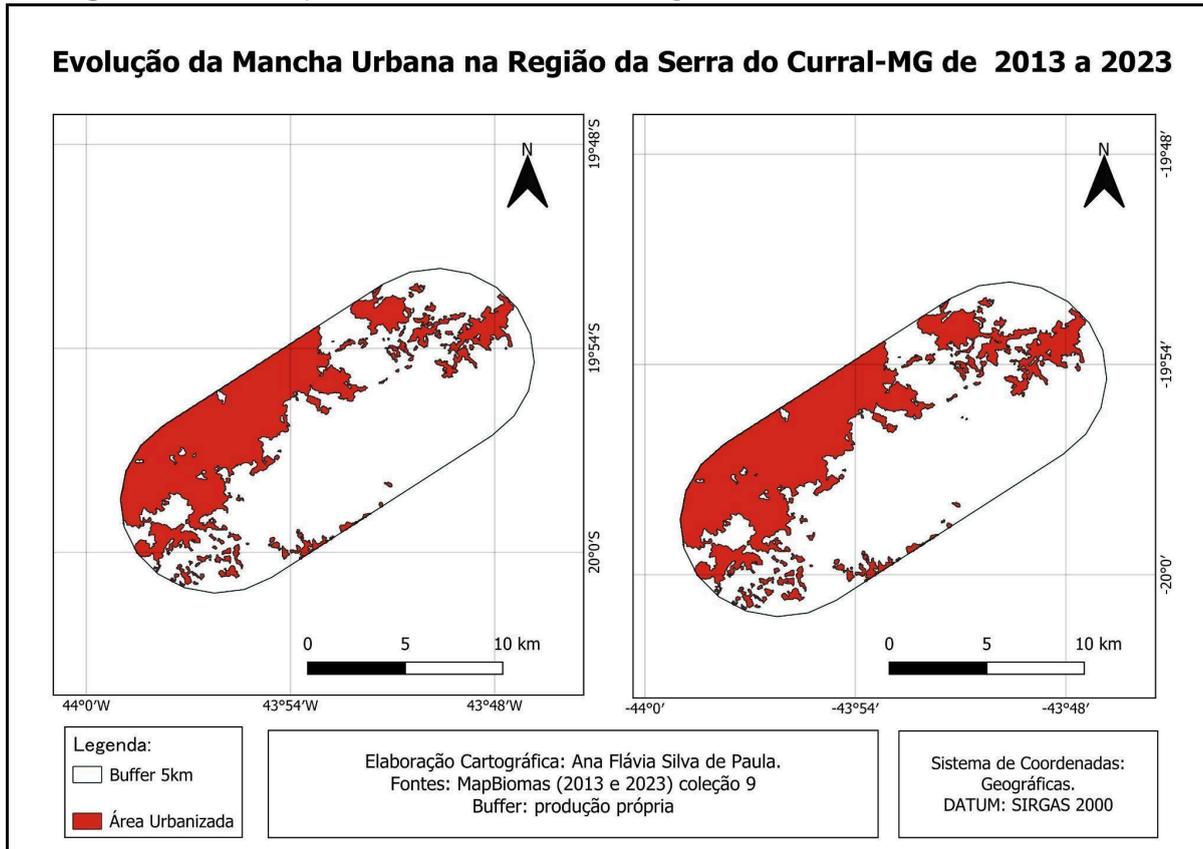


Fonte: Autor (2025)

A análise comparativa entre os anos de 2013 e 2023 evidencia algumas alterações no uso e cobertura do solo na região da Serra do Curral. Com a realização da classificação das imagens, verificou-se que as principais tipologias de uso do solo na região são Áreas Urbanizadas e Formação Florestal.

Observa-se uma expansão das áreas urbanizadas, principalmente nos limites de Belo Horizonte e Nova Lima. A cor vermelha, que representa essas áreas, aumentou ao longo da década, indicando o avanço da ocupação urbana sobre áreas naturais e rurais. Esse crescimento urbano está associado à pressão por moradia, infraestrutura e desenvolvimento econômico, refletindo um processo contínuo de conurbação entre os municípios. A figura 5.3 apresenta mapas comparativos da evolução da tipologia de Área Urbanizada, em que é possível notar essa evolução e o aumento de 68,24 km<sup>2</sup> para 71,11 km<sup>2</sup>.

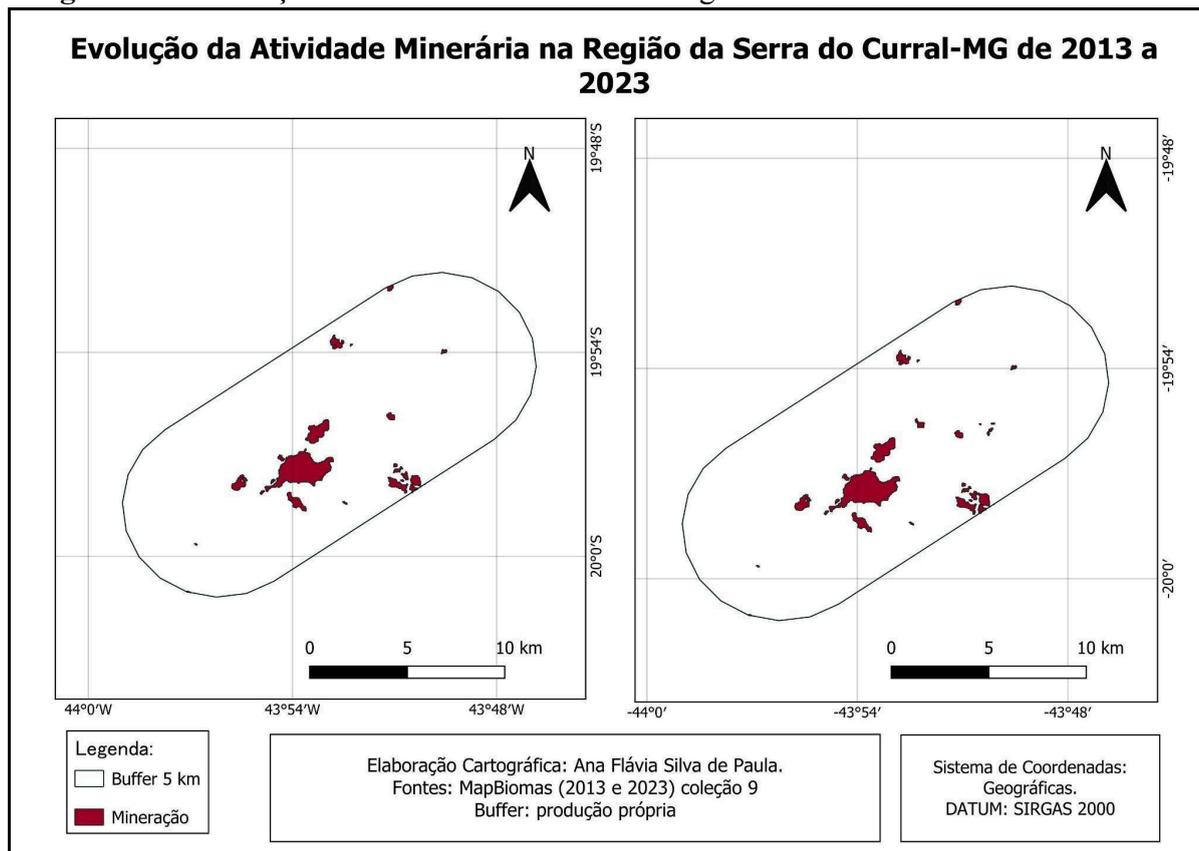
**Figura 5.3 - Evolução da Mancha Urbana na região da Serra do Curral - 2013 a 2023**



Fonte: Autor (2025)

As áreas de mineração (destacadas em vermelho escuro) já ocupavam grandes extensões da Serra do Curral em 2013 (6,41 km<sup>2</sup>), mas os dados mostram uma tendência clara de expansão, em alguns pontos fragmentados no mapa (Figura 5.4), em 2023 a área encontrada foi de 6,68 km<sup>2</sup>. Esse avanço não é apenas um dado estatístico: ele se traduz em impactos concretos e preocupantes para o meio ambiente local. A intensificação da mineração ameaça diretamente a integridade ambiental da Serra do Curral, pois implica na remoção da cobertura vegetal nativa, fragmentação de habitats e perda de biodiversidade, o que compromete a resiliência dos ecossistemas (FERNANDES et al., 2018). Além disso, a atividade mineradora pode provocar assoreamento de corpos d'água, alteração do regime hidrológico e contaminação por metais pesados, prejudicando tanto a qualidade da água quanto a saúde dos ecossistemas aquáticos (FERNANDES et al., 2016). Esses efeitos colocam em risco não apenas a fauna e flora locais, mas também a qualidade de vida das populações humanas que dependem desses recursos naturais.

**Figura 5.4 - Evolução da Atividade Minerária na região da Serra do Curral - 2013 a 2023**



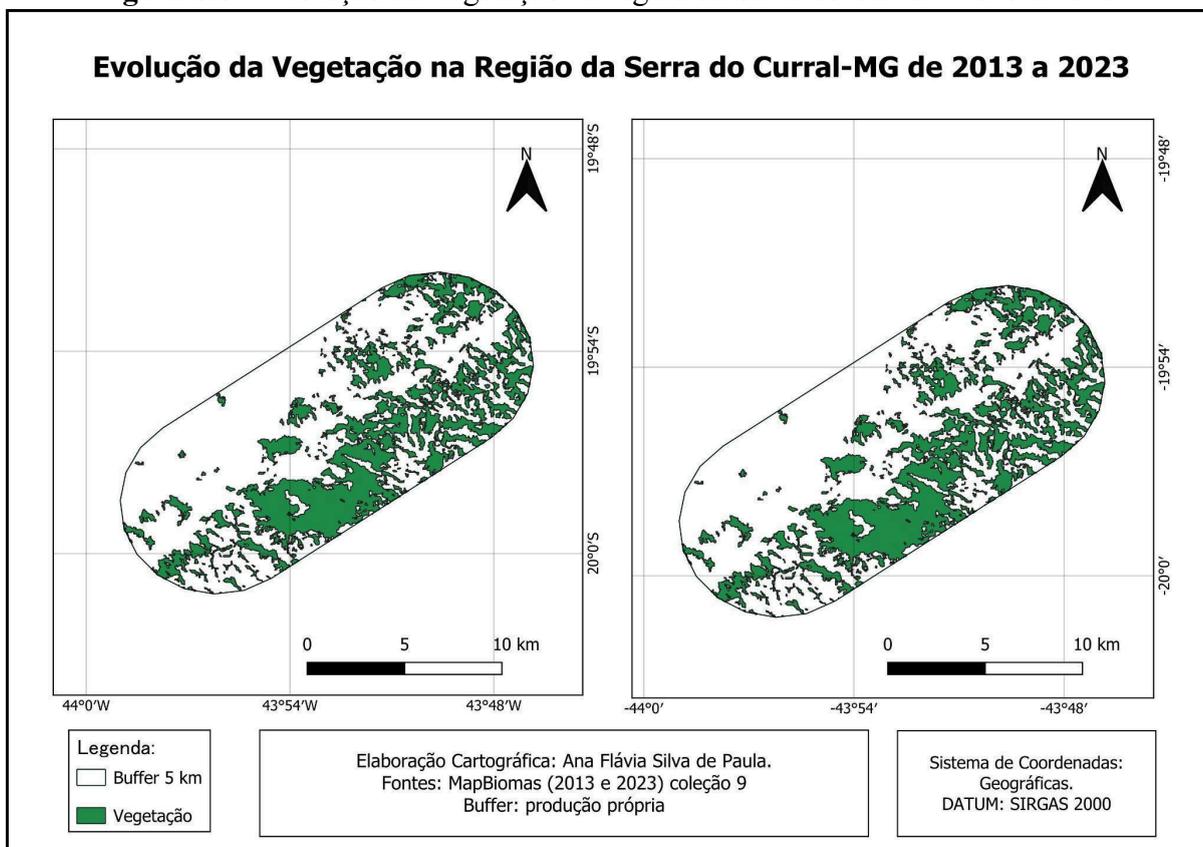
Fonte: Autor (2025)

A análise geoespacial identificou um aumento nas áreas classificadas como Formação Florestal (Figura 5.5). Embora esse resultado possa sugerir regeneração natural de trechos anteriormente degradados, é importante interpretá-lo com cautela. Segundo Frois (2013), fragmentos com vegetação secundária passaram a ser recobertos novamente, enquanto avanços metodológicos nas últimas coleções do MapBiomas também podem ter contribuído para a reclassificação de áreas antes identificadas como “Mosaico de Usos” ou “Pastagem”, especialmente quando apresentavam vegetação mais densa (MAPBIOMAS, 2024). Ainda assim, essas pequenas regenerações não compensam as perdas ambientais geradas pela expansão urbana e minerária sobre ecossistemas naturais da serra.

Além disso, na área de estudo estão presentes importantes unidades de conservação, como a Área de Proteção Ambiental Sul da RMBH (APA Sul RMBH), o Parque Municipal das Mangabeiras, o Parque da Serra do Curral, o Parque Florestal Estadual da Baleia, o Parque Estadual da Serra do Rola-Moça, e a Estação Ecológica Estadual do Cercadinho, todas integradas ao Complexo Ambiental da Serra do Curral. Essa integração reforça a importância da região como eixo de conectividade ecológica (INSTITUTO ESTADUAL DE

FLORESTAS, 2023). Essas áreas protegidas desempenham um papel fundamental na preservação dos remanescentes de vegetação nativa mais densa, funcionando como refúgios para a biodiversidade local e como barreiras à expansão de usos antrópicos mais intensivos. Apesar da estabilidade observada, é importante ressaltar que a fragmentação ainda é um desafio, especialmente nas áreas fora dos limites protegidos, destacando a importância de manter ações de manejo e proteção ambiental não apenas dentro dos limites das unidades de conservação, mas também nas áreas do entorno, para garantir a conectividade e a efetividade da preservação desses remanescentes florestais.

**Figura 5.5 - Evolução da Vegetação na região da Serra do Curral - 2013 a 2023**



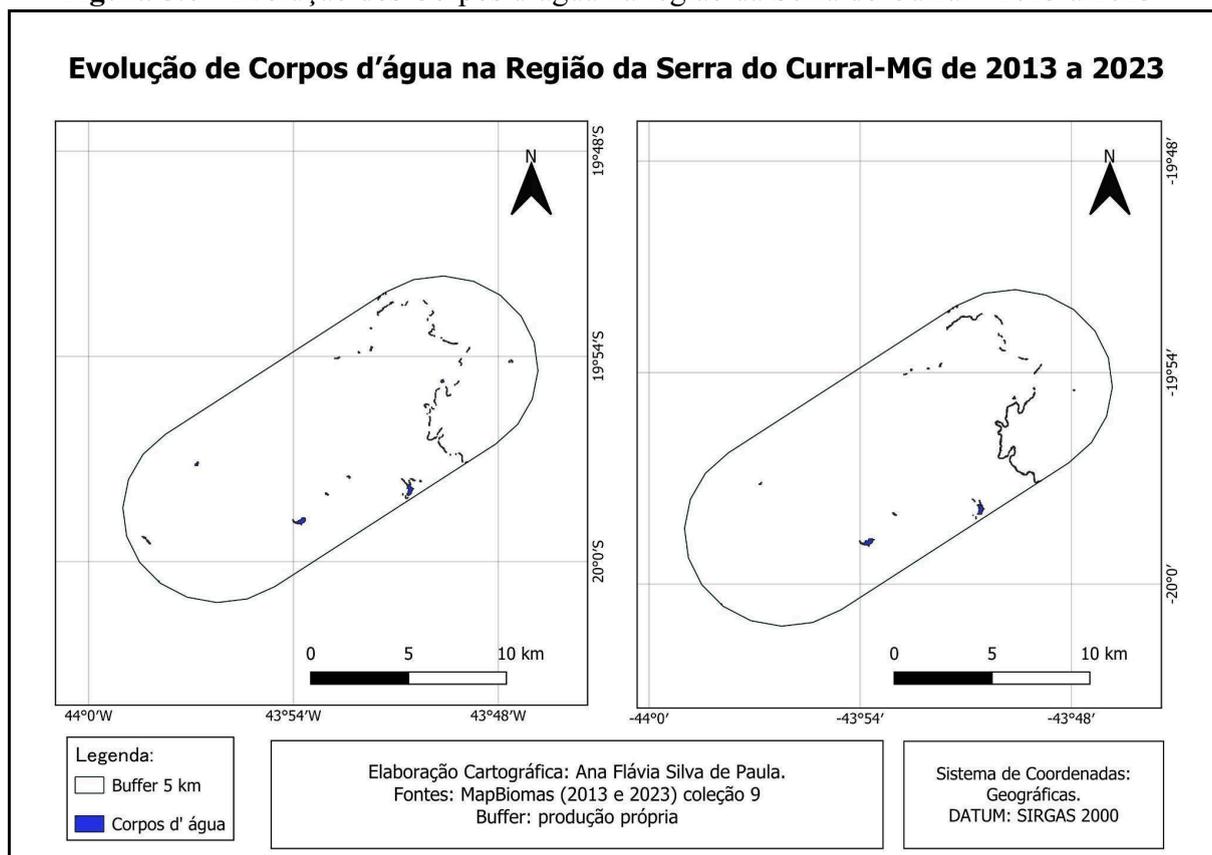
Fonte: Autor (2025)

Em relação aos corpos d'água (destacados em azul escuro) (Figura 5.6), embora o número de cursos d'água permanentes tenha aumentado, de 0,76 km<sup>2</sup> para 0,88 km<sup>2</sup>, há indícios de comprometimento da qualidade hídrica, sobretudo nas proximidades de empreendimentos minerários. A alteração no uso do solo nas áreas de recarga hídrica e margens de córregos afeta diretamente a capacidade desses sistemas em manter seu fluxo e qualidade ao longo do ano.

Com base nos dados de acurácia da Coleção 9 do MapBiomias (2024), a categoria “corpos d’água” apresenta índices de exatidão elevados, mas ainda assim está sujeita a algumas limitações metodológicas. Desde 2013, a acurácia para a classe “corpos d’água” foi acima de 90% valores que demonstram alta confiabilidade na detecção dessa classe ao longo do tempo. Esses resultados evidenciam que, de modo geral, o mapeamento de rios, lagos e outros corpos hídricos na plataforma MapBiomias é bastante preciso.

No entanto, é importante ressaltar que o próprio MapBiomias (2023) destaca algumas restrições na identificação de corpos d’água, especialmente em áreas muito estreitas, sob densa vegetação ripária ou sujeitas a variações sazonais, o que pode gerar subestimação ou omissões pontuais nas áreas mapeadas, justificando o aumento obtido nesse intervalo de tempo. Essas limitações decorrem principalmente da resolução espacial das imagens Landsat (30 metros), utilizada na classificação.

**Figura 5.6 - Evolução dos Corpos d’água na região da Serra do Curral - 2013 a 2023**

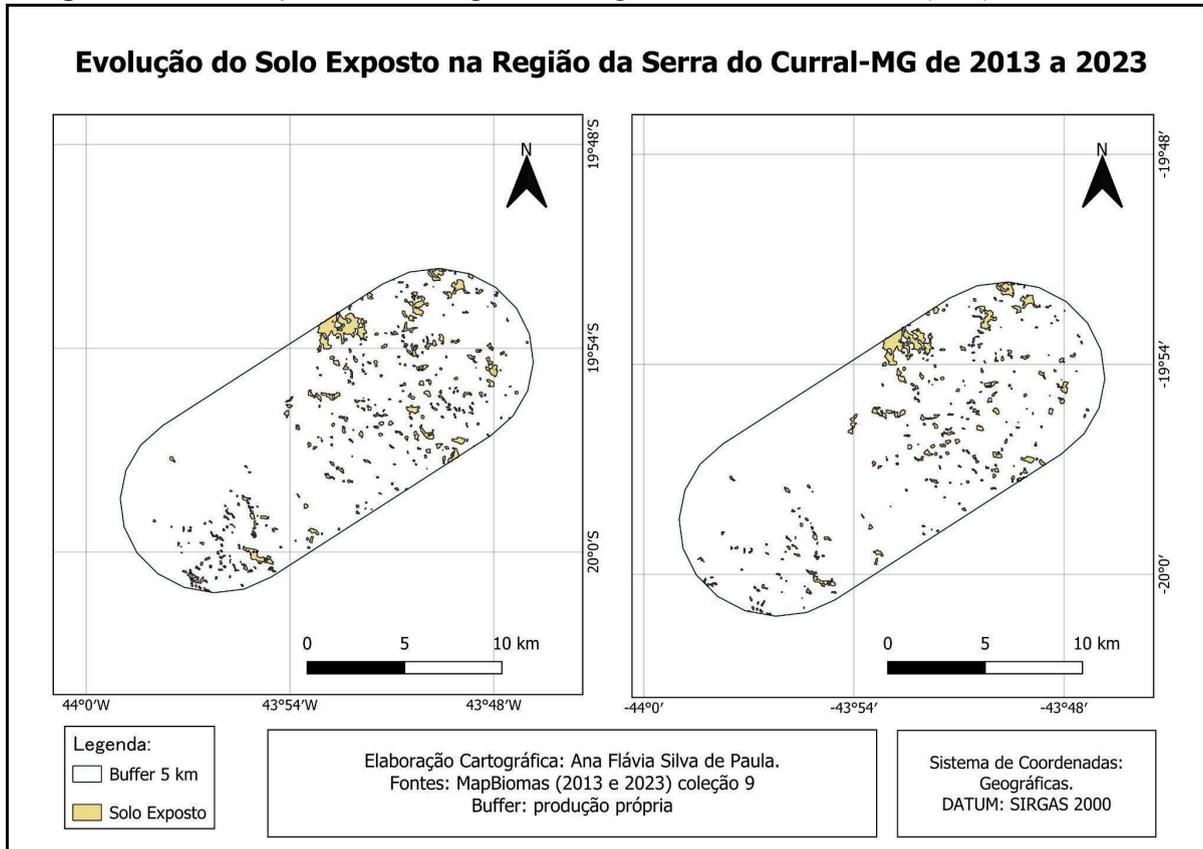


Fonte: Autor (2025)

Por fim, a classe de solo exposto (Figura 5.7), que considera as classes de pastagem e afloramento rochoso, apresentou uma redução entre os dois anos analisados, de 10,04 km<sup>2</sup>

para 7,39 km<sup>2</sup>. Essas classes estão diretamente relacionadas à expansão da mineração e da urbanização, e evidencia o agravamento da degradação ambiental. A presença de áreas desprotegidas eleva o risco de processos erosivos e sedimentação dos corpos d'água, além de representar uma perda direta de capacidade produtiva do solo e de estabilidade paisagística.

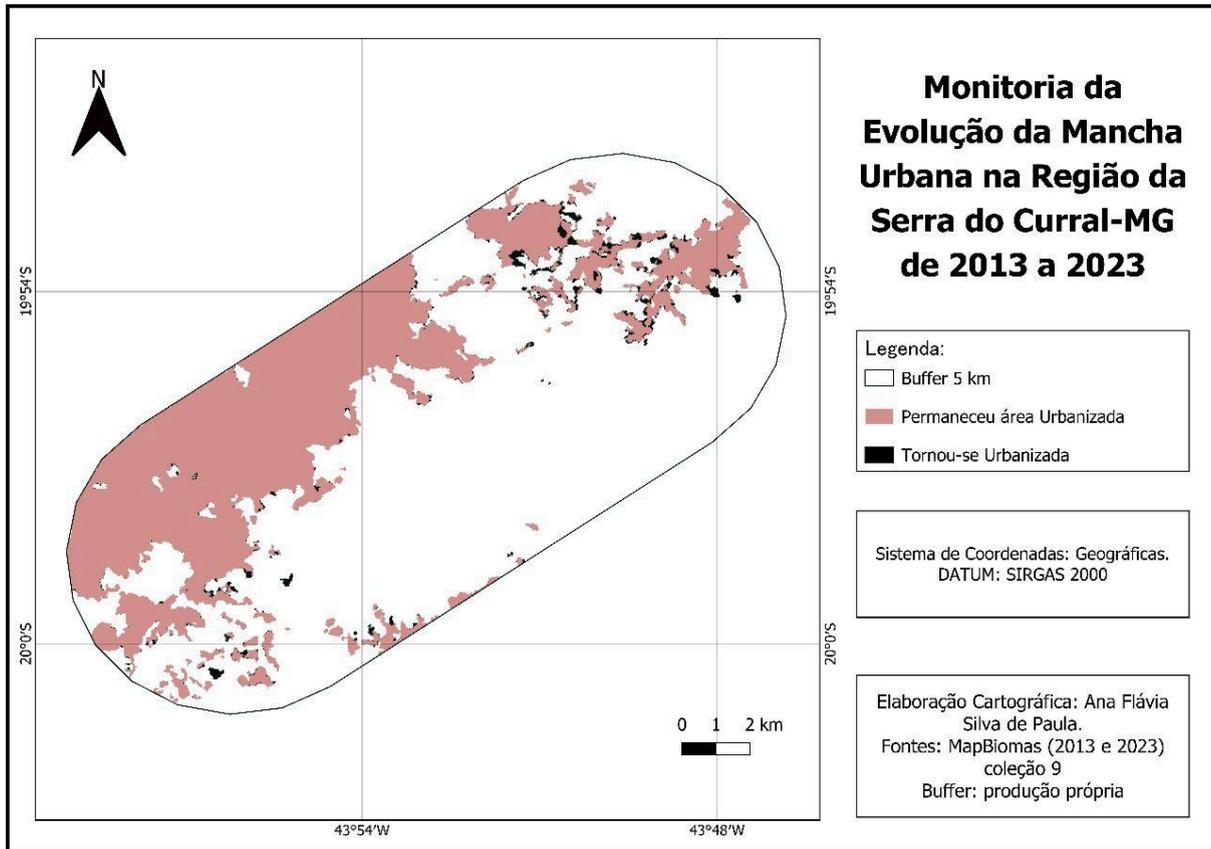
**Figura 5.7 - Evolução do Solo Exposto na região da Serra do Curral (MG) - 2013 a 2023**



Fonte: Autor (2025)

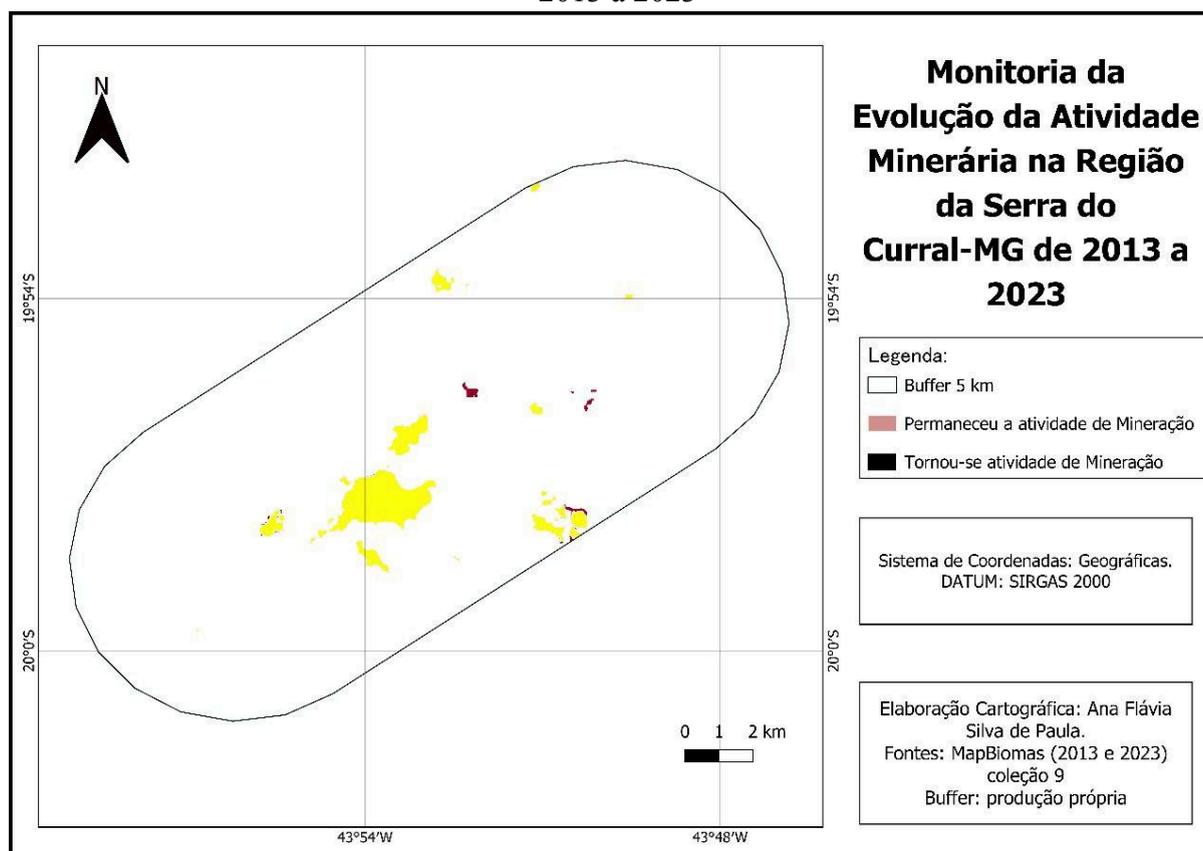
As figuras 5.8 e 5.9 apresentam os resultados da evolução da mancha urbana e da atividade minerária, respectivamente, em que as classes de uso do solo utilizadas na classificação foram submetidas.

**Figura 5.8** - Monitoria da evolução da mancha urbana na região da Serra do Curral (MG) - 2013 a 2023



Fonte: Autor (2025)

**Figura 5.9 -** Monitoria da evolução da atividade minerária na região da Serra do Curral (MG) - 2013 a 2023



Fonte: Autor (2025)

A análise da ocupação antrópica na região da Serra do Curral, em Minas Gerais, entre os anos de 2013 e 2023, revela certas mudanças na paisagem local. Tanto a expansão urbana quanto o avanço da atividade minerária se destacam como transformações marcantes no território, conforme mostram os dados da Coleção 9 do MapBiomias, representados nas figuras acima.

Em relação à mancha urbana (figura 5.8), observa-se um crescimento notável das áreas urbanizadas dentro do raio de 5 km ao redor da Serra. As áreas destacadas em rosa indicam regiões que já estavam ocupadas em 2013 e permaneceram urbanizadas em 2023, enquanto as áreas em preto apontam para os espaços que passaram por processos de urbanização ao longo da década. Esse crescimento é mais acentuado nas porções nordeste e sudoeste do polígono, sugerindo uma pressão crescente sobre áreas naturais e de transição. Tal expansão pode estar relacionada ao aumento populacional, à valorização imobiliária e à ocupação de terrenos antes não edificadas, muitos deles situados próximos a zonas ambientalmente sensíveis. Os dados indicam um aumento de 4,21% na área urbanizada no período, reforçando o ritmo acelerado da urbanização na região.

No que diz respeito à atividade minerária (figura 5.9), o cenário também é de expansão. As áreas em amarelo correspondem às zonas que já eram utilizadas para mineração em 2013 e continuaram ativas em 2023, enquanto as áreas em marrom mostram os locais onde essa atividade se instalou ao longo dos anos. Observa-se a continuidade da exploração em áreas anteriormente mineradas, bem como a abertura de novas frentes de extração, ampliando a ocupação com fins extrativos. Esse avanço acende um alerta quanto aos impactos ambientais gerados, como a degradação do relevo, perda de cobertura vegetal, contaminação de corpos d'água e ameaças à biodiversidade local. Assim como na urbanização, a mineração também apresentou um crescimento de 4,21% na área ocupada entre 2013 e 2023.

Ao comparar essas duas dinâmicas (urbanização e mineração) fica evidente que ambas atuam como fortes vetores de transformação territorial na Serra do Curral. O fato de ambas terem apresentado o mesmo percentual de crescimento no período analisado pode indicar uma relação integrada entre os processos, esse crescimento paralelo sugere que esses dois processos caminham juntos, influenciando-se mutuamente, exercendo pressões simultâneas sobre o território.

## 5.2 Transições e emissões de GEE

A partir do processamento realizado na plataforma Google Earth Engine, na área de estudo previamente delimitada e um código em JavaScript (Anexo A), foi gerado um quadro contendo as informações da área (em hectare) e os respectivos códigos de transição de uso e cobertura da terra. Com o auxílio da legenda oficial da Coleção 9 do MapBiomas, foi possível interpretar cada código de transição, uma vez que esses mapas representam as mudanças por meio da combinação dos códigos das classes do ano inicial e do ano final. Dessa forma, foi possível descrever com precisão quais transformações ocorreram no território analisado ao longo do período estudado, conforme quadro 5.2.

**Quadro 5.2 - Transições de classes por área**

Área (ha)	Código de Transição	Transição
6236	303	Formação Florestal - Formação Florestal
6	309	Formação Florestal - Silvicultura
13	315	Formação Florestal - Pastagem

<b>Área (ha)</b>	<b>Código de Transição</b>	<b>Transição</b>
138	321	Formação Florestal - Mosaico de Usos
14	324	Formação Florestal - Área Urbanizada
4	325	Formação Florestal - Outros Áreas Não Vegetadas
4	330	Formação Florestal - Mineração
1	333	Formação Florestal - Rio, Lago e Oceano
25	404	Formação Savânica - Formação Savânica
1	903	Silvicultura - Formação Florestal
9	909	Silvicultura - Silvicultura
1	1203	Formação Campestre - Formação Florestal
7	1209	Formação Campestre - Silvicultura
3568	1212	Formação Campestre - Formação Campestre
10	1215	Formação Campestre - Pastagem
72	1221	Formação Campestre - Mosaico de Usos
92	1224	Formação Campestre - Área Urbanizada
33	1225	Formação Campestre - Outras Áreas Não Vegetadas
9	1230	Formação Campestre - Mineração
1	1233	Formação Campestre - Rio, Lago e Oceano
7	1503	Pastagem - Formação Florestal
3	1509	Pastagem - Silvicultura
2	1512	Pastagem - Formação Campestre
666	1515	Pastagem - Pastagem
321	1521	Pastagem - Mosaico de Usos
34	1524	Pastagem - Área Urbanizada
5	1525	Pastagem - Outras Áreas Não Vegetadas
3	1530	Pastagem - Mineração
293	2103	Mosaico de Usos - Formação Florestal
2	2104	Mosaico de Usos - Formação Savânica
8	2109	Mosaico de Usos - Silvicultura
10	2112	Mosaico de Usos - Formação Campestre

<b>Área (ha)</b>	<b>Código de Transição</b>	<b>Transição</b>
97	2115	Mosaico de Usos - Pastagem
1890	2121	Mosaico de Usos - Mosaico de Usos
102	2124	Mosaico de Usos - Área Urbanizada
20	2125	Mosaico de Usos - Outras Áreas Não Vegetadas
5	2130	Mosaico de Usos - Mineração
1	2133	Mosaico de Usos - Rio, Lago e Oceano
6860	2424	Área Urbanizada - Área Urbanizada
2	2430	Área Urbanizada - Mineração
1	2503	Outras Áreas Não Vegetadas - Formação Florestal
8	2512	Outras Áreas Não Vegetadas - Formação Campestre
6	2521	Outras Áreas Não Vegetadas - Mosaico de Usos
40	2525	Outras Áreas Não Vegetadas - Outras Áreas Não Vegetadas
1	2533	Outras Áreas Não Vegetadas - Rio, Lago e Oceano
14	2929	Afloramento Rochoso - Afloramento Rochoso
641	3030	Mineração - Mineração
1	3303	Rio, Lago e Oceano - Formação Florestal
1	3312	Rio, Lago e Oceano - Formação Campestre
1	3321	Rio, Lago e Oceano - Mosaico de Usos
7	3324	Rio, Lago e Oceano - Área Urbanizada
3	3325	Rio, Lago e Oceano - Outras Áreas Não Vegetadas
2	3330	Rio, Lago e Oceano - Mineração
88	3333	Rio, Lago e Oceano - Rio, Lago e Oceano
1	4603	Café - Formação Florestal

Fonte: Adaptado do Google Earth Engine (2025)

De acordo com o SEEG (2024), os processos que geram emissões no setor de mudanças de uso da terra e floresta são, além da queima de resíduos florestais, as alterações de uso da terra em que as emissões ocorrem quando é alterado a cobertura para um uso da terra de menor estoque de carbono por hectare (IPCC, 2003 apud SEEG, 2024). Por exemplo, a conversão de

pastagem ou agricultura gera emissão de CO<sub>2</sub>, pela perda de estoques de carbono na retirada da floresta.

As transições apresentadas no quadro 5.3 foram selecionadas por estarem diretamente associadas à emissão de GEE no setor de mudança do uso do solo. A conversão de formações vegetais naturais, como formação florestal e formação campestre, para usos antrópicos como silvicultura, pastagem, mosaico de usos, áreas urbanizadas, mineração e outras áreas não vegetadas, é amplamente reconhecida como fonte significativa de emissões líquidas de carbono para a atmosfera (SEEG, 2024; MAPBIOMAS, 2021).

De acordo com a metodologia adotada pelo SEEG, baseada nas diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC (2006), a mudança de uso da terra é considerada emissora quando há substituição de vegetação nativa por classes de uso que armazenam menos carbono, como pastagens ou áreas urbanas, levando à liberação de carbono tanto da biomassa aérea quanto do solo (SEEG, 2024).

A exclusão de transições entre áreas já antropizadas (por exemplo, de agricultura para pastagem ou de pastagem para silvicultura) segue a mesma lógica metodológica, uma vez que essas trocas geralmente envolvem estoques de carbono semelhantes e, portanto, não resultam em emissões líquidas significativas (SEEG, 2024; MAPBIOMAS, 2021).

**Quadro 5.3** - Transições de classes consideradas para análise das emissões

<b>Formação Florestal</b>	Silvicultura / Pastagem / Mosaico de Usos / Área Urbanizada / Outras Áreas Não Vegetadas / Mineração
<b>Formação Campestre</b>	Silvicultura / Pastagem / Mosaico de Usos / Área Urbanizada / Outras Áreas Não Vegetadas / Mineração
<b>Pastagem</b>	Mosaico de Usos / Área Urbanizada / Outras Áreas Não Vegetadas / Mineração
<b>Mosaico de Usos</b>	Área Urbanizada / Outras Áreas Não Vegetadas / Mineração

Fonte: Autor (2025)

A partir da escolha das classes a serem analisadas usou-se os estoques de carbono (tC/ha) estabelecidos pela metodologia do SEEG para regiões de biomas em geral e para o bioma Mata Atlântica, pois a região da Serra do Curral apesar de estar localizada em uma região de

transição de Cerrado e Mata Atlântica, seu ponto culminante apresenta-se majoritariamente composto pelo bioma da Mata Atlântica (IBGE, 2025).

Com base nas equações do anexo 3 da metodologia do SEEG (2024) foi possível encontrar os resultados de emissões em tCO<sub>2</sub> para as transições em estudo (quadro 5.4):

**Quadro 5.4** - Resultados das emissões das transições de classes em estudo

Classe (t1)	Classe (t2)	Equação	Estoque Inicial (tC/ha)	Estoque Final (tC/ha)	Incremento (tC/ha/ano)	Área (ha)	Resultado (tCO <sub>2</sub> )
Formação Florestal	Silvicultura	$A*(Ct1-Cit2) * (44/12)$	121,78	42,05	0	6	2679,16
Formação Florestal	Pastagem	$A*(Ct1-Cit2) * (44/12)$	121,78	2,60	0	13	5804,85
Formação Florestal	Mosaico de Usos	$A*(Ct1-Ct2)* (44/12)$	121,78	3,83	-	138	59682,7
Formação Florestal	Área Urbanizada	$A*(Ct1-Ct2)* (44/12)$	121,78	0	-	14	6251,37
Formação Florestal	Outras Áreas não Vegetadas	$A*(Ct1-Ct2)* (44/12)$	121,78	0	-	4	1786,11
Formação Florestal	Mineração	$A*(Ct1-Ct2)* (44/12)$	121,78	0	-	4	1786,11
Formação Campestre	Silvicultura	$A*(Ct1-Cit2) * (44/12)$	13,91	42,05	0	7	357,02
Formação Campestre	Pastagem	$A*(Ct1-Ct2)* (44/12)$	13,91	2,6	-	10	414,7
Formação Campestre	Mosaico de Usos	$A*(Ct1-Ct2)* (44/12)$	13,91	3,83	-	72	2661,12

Classe (t1)	Classe (t2)	Equação	Estoque Inicial (tC/ha)	Estoque Final (tC/ha)	Incremento (tC/ha/ano)	Área (ha)	Resultado (tCO <sub>2</sub> )
Formação Campestre	Área Urbanizada	$A*(Ct1-Ct2)* (44/12)$	13,91	0	-	92	4692,31
Formação Campestre	Outras Áreas não Vegetadas	$A*(Ct1-Ct2)* (44/12)$	13,91	0	-	33	1683,11
Formação Campestre	Mineração	$A*(Ct1-Ct2)* (44/12)$	13,91	0	-	9	459,03
Pastagem	Mosaico de Usos	$A*(Ct1-Ct2)* (44/12)$	2,60	3,83	-	321	-1447,71
Pastagem	Área Urbanizada	$A*(Ct1-Ct2)* (44/12)$	2,60	0	-	34	324,13
Pastagem	Outras Áreas não Vegetadas	$A*(Ct1-Ct2)* (44/12)$	2,60	0	-	5	47,67
Pastagem	Mineração	$A*(Ct1-Ct2)* (44/12)$	2,60	0	-	3	28,6

Legenda: A=área da transição; Ci=incremento de estoque de carbono; Ct1=estoque de carbono antes da transição; Ct2=estoque de carbono depois da transição. O termo (44/12) é o fator aplicado para transformar de estoque de carbono (tonelada de C) em dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Fonte: Autor (2025)

Dentre as transições consideradas, apenas três consideram o incremento de carbono (Ci) em seus cálculos de emissão. De acordo com a Nota Metodológica SEEG 11 (Versão 2), para as transições que envolvem pastagens e silvicultura, considera-se que o incremento de carbono (Ci) é igual a zero após o estabelecimento dessas coberturas, pois o estoque de carbono se estabiliza rapidamente e não apresenta variações significativas ao longo do tempo nessas condições estáveis.

Para a classe “Mosaico de Usos” não havia uma classe específica discriminada pela metodologia SEEG, logo foi utilizado a classe “outros tipos de uso da terra”. Porém, não foi

possível analisar a transição de Mosaico de Usos para Área Urbanizada, Mineração e Outras Áreas Não Vegetadas, pois todas essas classes estariam na classe “outros tipos de uso da terra” e a metodologia do SEEG não estabelece uma equação para esse tipo de transição de uso do solo.

Após os cálculos realizados com base na metodologia do SEEG, foi estimado um total de 88.657,99 tCO<sub>2</sub> para o período de 2012 a 2023, considerando apenas as transições classificadas como emissões brutas. Em que foi feito a soma de todas as emissões resultantes do quadro 5.4, porém não foram somados os valores negativos, pois neste estudo não foram consideradas as remoções.

No contexto da Serra do Curral, localizada em área de transição entre os dois biomas, as pressões exercidas pela urbanização e pela mineração refletem as principais tendências estaduais. Como demonstrado nos cálculos realizados neste estudo, a emissão acumulada de 88.657,99 tCO<sub>2</sub> no período de 2012 a 2023 representa uma parcela de emissões exclusivas da mudança de uso e cobertura do solo, sem considerar remoções naturais por regeneração. Isso equivale a uma média de 7.388 tCO<sub>2</sub> por ano.

Trata-se de uma emissão territorial significativa, especialmente ao se considerar que se refere exclusivamente às mudanças no uso do solo, setor crítico para o entendimento da dinâmica de emissões associadas à perda de cobertura vegetal e processos antrópicos como urbanização e mineração. Tais dados reforçam que, mesmo em áreas já bastante antropizadas, como a RMBH, os remanescentes de vegetação nativa desempenham papel crítico na regulação climática local e regional, e sua conversão impacta diretamente os esforços de mitigação climática em escalas subnacionais.

## **6 CONCLUSÃO**

A análise geoespacial das mudanças do uso e cobertura do solo na Serra do Curral, realizada entre os anos de 2013 e 2023, revelou transformações significativas que impactam diretamente as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) na região. Pelo uso de técnicas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e análise de dados geoespaciais, foi possível mapear e quantificar as alterações ocorridas, que evidenciam a pressão exercida pela urbanização e a mineração sobre o ecossistema local.

A pesquisa demonstrou um aumento nas áreas urbanizadas, que cresceram 4,21% (2,87 ha) no período analisado, refletindo a crescente demanda por moradia e infraestrutura na Região Metropolitana de Belo Horizonte. Este crescimento urbano, associado à especulação imobiliária, tem levado à substituição de áreas naturais por edificações, comprometendo a integridade ambiental da Serra do Curral.

A atividade mineradora também apresentou um crescimento de 4,21% (0,27 ha), intensificando a degradação ambiental e a perda de cobertura vegetal nativa. As áreas de mineração, que já ocupavam grandes extensões em 2013, mostraram uma tendência de ampliação, o que representa uma ameaça direta à biodiversidade e à qualidade dos recursos hídricos da região.

A análise permitiu estimar que, entre 2012 e 2023, a partir das transições de uso na Serra do Curral foram emitidas aproximadamente 88.657,99 toneladas de CO<sub>2</sub>, o que equivale a uma média anual de cerca de 7.388 toneladas. Este valor representa uma fração significativa das emissões totais da região, destacando a importância de considerar as mudanças no uso da terra como um fator crítico nas estratégias de mitigação das mudanças climáticas.

Diante das evidências apresentadas, torna-se evidente a necessidade urgente de implementar políticas de conservação e manejo sustentável na Serra do Curral. A proteção dessa área não é apenas crucial para a preservação da biodiversidade local, mas também para a manutenção dos serviços ecossistêmicos que ela oferece, como a regulação hídrica e a mitigação das ilhas de calor urbanas.

Para garantir a proteção da Serra do Curral, recomenda-se a adoção de um planejamento urbano mais integrado e sustentável, que leve em consideração as características ambientais da região. Além disso, é fundamental promover a conscientização da população sobre a importância da preservação ambiental e a implementação de tecnologias de monitoramento contínuo para acompanhar as mudanças no uso do solo.

Os resultados deste estudo evidenciam que, mesmo em áreas tombadas, pressões como a expansão urbana e a mineração continuam a provocar significativas alterações no uso da terra e perdas de vegetação nativa, colocando em risco não apenas a biodiversidade, mas também a própria integridade do sítio protegido. Diante disso, destaca-se a necessidade de fortalecer instrumentos de fiscalização e planejamento, além da valorização permanente do tombamento

como um importante mecanismo de proteção, capaz de conciliar a preservação ambiental e a memória coletiva diante das pressões antrópicas crescentes sobre a Serra do Curral.

Em suma, a Serra do Curral, como um patrimônio natural e cultural, requer atenção e ações efetivas para assegurar sua integridade e funcionalidade ecológica, contribuindo assim para a mitigação das mudanças climáticas e a promoção de um desenvolvimento urbano sustentável.

## 7 REFERÊNCIAS

ADIRI, Zakaria et al. **Recent advances in the use of public domain satellite imagery for mineral exploration: A review of landsat-8 and Sentinel-2 applications**, Ore Geology Reviews, [s.l.], 2020.

AFUYE, G. A.; NDUKU, L.; KALUMBA. A. M.; SANTOS, C. A. G.; ORIMOLOYE, I. R.; OJEH, V. N.; THAMAGA, K. H.; SIBANDZE, P. **Global trend assessment of land use and land cover changes: A systematic approach to future research development and planning**. Journal of King Saud University - Science, v. 36, n. 7, p. 103262, ago. 2024.

AMARAL, Fernanda Moreira. **Avaliação de impacto ambiental na mineração: Estudo de caso do município de Nova Lima - Minas Gerais**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

AGÊNCIA BRASIL. Justiça suspende licenças de complexo minerário na Serra do Curral. Agência Brasil, 12 dez. 2022. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/justica/noticia/2022-12/justica-suspende-licencas-de-complexo-minerario-na-serra-do-curral>. Acesso em: 22 jul. 2025.

BELO HORIZONTE. Deliberação municipal nº147/2003, de 07 de janeiro de 2004. Torna definitivo o tombamento da Serra do Curral, em Belo Horizonte. Diário Oficial do Município de Belo Horizonte, Belo Horizonte, 2004.

BELO HORIZONTE. Serra do Curral. Portal Belo Horizonte, 2021. Disponível em: <https://portalbelohorizonte.com.br/o-que-fazer/ao-ar-livre-e-esportes/paisagem/serra-do-curral>. Acesso em: 24 jul. 2025.

BHAT, P. A.; SHAFIQ, M. ul; MIR, A. A.; AHMED, P. **Urban sprawl and its impact on landuse/land cover dynamics of Dehradun City, India**. *International Journal of Sustainable Built Environment*, [s. l.], v. 6, n. 2, p. 513–521, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212609016302199>. Acesso em: 2 dez. 2024.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. **Geoprocessamento para projetos ambientais: tutorial**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1998.

CARMO, Roberto Luiz do. 2007. **População e Mudanças Ambientais Globais**. Revista Multiciência, Campinas, ed. 8, Mudanças Climáticas.

CARSALADE, F. L.; ABREU, R. R. Mineração em Minas Gerais: território e paisagem cultural. **Anais do I Seminário Internacional de Reversão de Territórios**. Belo Horizonte, 2012.

CASIMIRO, Pedro Cortesão. **Acerca do conceito de uso do solo e mudança de uso do solo**. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, 2007.

CHASE, T.N., PIELKE, R.A., KITTEL, T.G.F., NEMANI, R.R., RUNNING, S.W. **Simulated impacts of historical land cover changes on global climate in northern winter.** *Climate Dynamics* 16, 93–105, 1999.

COELHO, M. R., SANTOS, H. G., SILVA, É. F., & AGLIO, M. L. D. 2002. **O recurso natural solo.** In: Manzatto, C. V.; Freitas Júnior, E. de; Peres, J. R. R. (Eds.), *Uso agrícola dos solos brasileiros* (cap. 1, p. 1-12). Rio de Janeiro: Embrapa Solos

COMBER, A. J. **Land use or land cover?** *Journal of Land Use Science*, v. 3, p. 199–201, 2008.

CORREIA, Bruno Araújo. **Mudanças no uso e ocupação do solo e suas implicações para a cadeia produtiva do Babaçu (*Attalea speciosa*) na região dos Cocais, Estado do Maranhão, Brasil.** 2022. 55f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Agrícola de Jundiá, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto.** IG/UNICAMP. Campinas, SP. 1992.

CUSTÓDIO, M. M.; JUNQUEIRA, C. **Serra do Curral: significados e importância de proteção.** *Veredas do Direito: Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável*, v. 18, n. 42, 2021.

DORR, J. **Geologia do Quadrilátero Ferrífero.** Belo Horizonte: Instituto de Geociências, 1969.

DUARTE, André Ricardo Barbosa. **Histórico da urbanização de Belo Horizonte a partir da década de 70: uma análise das políticas públicas ambientais e de urbanização do município.** *Revista Alpha*, n. 10, p. 21-31, 2009.

EJUSP. Qual a nossa relação com o espaço? A serra do curral como elemento de cidadania em Belo Horizonte. 2021. Disponível em: <https://ejusp.com.br/noticias.aspx?id=NDRoeXdtSmpoNIE9>. Acesso em: 1 dez. 2024.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Agro-ecological zoning – guidelines.** *FAO Soils Bulletin*, n. 73. Roma: FAO, 1996.

FARHAN, M.; WU, T.; AMIN, M.; TARIQ, A.; RUFAT GULUZADE; ALZHRANI, H. **Monitoring and prediction of the LULC change dynamics using time series remote sensing data with Google Earth Engine.** *Physics and Chemistry of the Earth Parts A/B/C*, [s. l.], v. 136, p. 103689–103689, 2024.

FERNANDES, G. W., GOULART, F. F., RANIERI, B. D., et al. (2016). **Deep into the mud: ecological and socio-economic impacts of the dam breach in Mariana, Brazil.** *Natureza & Conservação*, 14(2), 35-45.

FERNANDES, G. W., BARBOSA, N. P. U., ALBERTON, B., et al. (2018). **The deadly route to collapse and the uncertain fate of Brazilian rupestrian grasslands.** *Biodiversity and Conservation*, 27, 2587–2603.

FIGUEIREDO, A. B. F. et al. **Uso e cobertura do solo e prevalência de leishmaniose visceral canina em Teresina, Piauí, Brasil: uma abordagem utilizando sensoriamento remoto orbital.** *Cadernos de Saúde Pública*, v. 33, n. 10, 6 nov. 2017.

FLANNERY, Tim F. **Os senhores do clima: como o homem está alterando as condições climáticas e o que isso significa para o futuro do planeta.** Rio de Janeiro: Record, 2007.

FREITAS, D. M.; MELO, A. C. V. **Caminhos da Serra: Leitura da paisagem e diretrizes projetuais transescalares para a preservação ambiental.** *Cadernos do PROARQ (UFRJ)*, 1. 191. 10.37180/2675-0392-n41-12. 2023.

FROIS, Andréia Rodrigues. **Uso e cobertura do solo na região da Serra do Curral/MG: abordagem a partir de imagens de sensoriamento remoto.** 52 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Belo Horizonte, 2013.

GARCIAS, C. M.; MARQUES, C. Meio urbano e mudanças climáticas - estudo de caso do município de Castro, PR. **Risco Revista de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo (Online)**, n. 14, p. 28–40, 1 jul. 2011.

GORELICK, N. et al. **Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone.** *Remote Sensing of Environment*, v. 202, p. 18–27, 2017.

GUILARDUCCI, P. J.; VILLANI, P. M. **A omissão do governo estadual diante do processo de tombamento e proteção da Serra do Curral: uma análise do rito jurídico contra a defesa do meio ambiente.** *LIBERTAS DIREITO, [S. l.]*, v. 4, n. 1, 2023.

HALDAR, S.; MANDAL, S.; BHATTACHARYA, S.; PAUL, S. **Dynamicity of Land Use/Land Cover (LULC) An analysis from peri-urban and rural neighbourhoods of Durgapur Municipal Corporation (DMC) in India.** *Regional Sustainability, [s. l.]*, v. 4, n. 2, p. 150–172, 2023.

HALL, Jim W. et al. **Engineering Cities: how can cities grow whilst reducing emissions and vulnerability?** Newcastle University: Oct., 2009. Disponível em: . Acesso em: 30 nov 2024.

HOGAN, Daniel Joseph. População e mudanças ambientais globais. In: HOGAN, Daniel Joseph; MARANDOLA Jr, Eduardo (Org.). **População e mudança climática: dimensões humanas das mudanças ambientais globais.** Campinas: Núcleo de Estudos da População - NEPO/ Unicamp; Brasília: UNFPA, 2009.

HOUGHTON, R.A., HACKLER, J.L., LAWRENCE, K.T., 1999. **The U.S. carbon budget: contribution from land-use change.** *Science* 285, 574–578

HUSSAIN, S.; ATTA, A.; GUO, C.; HUSSAIN, W.; ALI, N.; CHENG, G.; FNAIS, M. S.; TARIQ, A. **A Comprehensive Study on Optimizing Reservoir Potential: Advanced Geophysical Log Analysis of Zamzama Gas Field, Southern Indus Basin, Pakistan.** *Physics and Chemistry of the Earth Parts A/B/C*, [s. l.], v. 135, p. 103640–103640, 2024.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Biomass do Brasil: visualizador geográfico.* [Rio de Janeiro], [2025?]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/biomass/#/home>. Acesso em: 24 jun. 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Cidades e Estados: Belo Horizonte – MG.* [Rio de Janeiro], [2025?]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/belo-horizonte.html>. Acesso em: 24 jun. 2025.

IBRAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. Em 2023, mineração repete faturamento do ano anterior e pretende ampliar investimentos até 2028. Brasília, DF, 2024. Disponível em: <https://ibram.org.br/release/em-2023-mineracao-repete-faturamento-do-ano-anterior-e-pretende-ampliar-investimentos-ate-2028/>. Acesso em: 24 jun. 2025.

IEPHA - Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico de Minas Gerais - Governo do Estado de Minas Gerais. **Dossiê para Tombamento da Serra do Curral, localizada nos municípios de Belo Horizonte, Nova Lima e Sabará.** Belo Horizonte, 2020.

IM, J.; JENSEN, J.; TULLIS, J. **Object-based change detection using correlation image analysis and image segmentation.** *Int. J. Remote Sens.*, 29 (2) (2008).

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS – IEF/SISEMA. *Complexo Ambiental da Serra do Curral: integração das unidades de conservação na APA Sul RMBH.* Belo Horizonte, MG: IEF/Sisema, 2023.

IBRAM - INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. *Atividades extrativas no Brasil e mudanças climáticas.* Disponível em: <https://ibase.br/wp-content/uploads/2021/10/Atividades-extrativas-no-Brasil-e-mudancas-climaticas.pdf>. Acesso em: 2 dez. 2024.

LAMBIN, E. F.; TURNER, B. L.; GEIST, H. J.; ANGLADE, S. B.; ANGELSEN, A.; BRUCE, J. W.; COOMES, O. T.; DIRZO, R.; FISCHER, G.; FOLKE, C.; GEORGE, P. S.; HOMEWOOD, K.; IMBERNON, J.; LEEMANS, R.; LIN, X.; MORANO, E. F.; MORTIMORE, M.; RAMAKRISHNAN, P. S.; RICHARDS, J. F.; SKANES, H.; STEENT, W.; STONE, G. D.; SVEDIN, U.; VELDKAMP, T. A.; VOGEL, C.; XUY, J. **The causes of land-use and land-cover change moving beyond the myths.** *Global Environmental Change*, v. 11, p. 261-9, 2001.

SAMPAIO, J. A. L., MONTEIRO, T. L. M. M. Mineração em Serras Tombadas. **Revista de Direito Ambiental e Socioambientalismo**, v. 2, n. 1, p. 75, 31 out. 2016.

LIMA, Matheus Felipe Alves Dos Santos et al. Transformação da cobertura urbana na região metropolitana e no colar metropolitano de Belo Horizonte-Minas Gerais. **Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia**, v. 20, n. 3, p. 165-179, 2022.

LOPES, A. D. C. **A flora vascular da crista da Serra do Curral**. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Ciências Biológicas, Programa de Pós-graduação em Biologia Vegetal, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

MANZATTO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E. de; PERES, J. R. R. (ed.). **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 174 p.

MAPBIOMAS. Coleção anual de mapas de cobertura e uso do solo do Brasil. [S. l.]: MapBiomas, [2025?]. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/>. Acesso em: 24 jun. 2025.

MAPBIOMAS. Coleção 9 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso do Solo do Brasil: Metodologia e Acurácia. Disponível em: <https://mapbiomas.org/metodologia>. Acesso em: 05 jul. 2025.

MAPBIOMAS. Estatística de acurácia – Coleção 9. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/estatistica-de-acuracia/colecao-9/>. Acesso em: 05 jul. 2025.

MAPBIOMAS. Legenda da Coleção 9 – Códigos de Classes e Transições. [v. 1.0]. São Paulo: MapBiomas, 2024. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2024/08/Legenda-Colecao-9-LEGENDA-CODE.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2025.

MAPBIOMAS. MapBiomas Brasil – Coleção 9: cobertura e uso do solo – 2013 (arquivo .tif). [S. l.]: MapBiomas, 2013. Disponível em: [https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/initiatives/brasil/collection\\_9/lclu/coverage/brasil\\_coverage\\_2013.tif](https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/initiatives/brasil/collection_9/lclu/coverage/brasil_coverage_2013.tif). Acesso em: 24 jun. 2025.

MAPBIOMAS. MapBiomas Brasil – Coleção 9: cobertura e uso do solo – 2023 (arquivo .tif). [S. l.]: MapBiomas, 2023. Disponível em: [https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/initiatives/brasil/collection\\_9/lclu/coverage/brasil\\_coverage\\_2023.tif](https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/initiatives/brasil/collection_9/lclu/coverage/brasil_coverage_2023.tif). Acesso em: 24 jun. 2025.

MAPBIOMAS. RAD2024: Relatório Anual do Desmatamento no Brasil 2024 - São Paulo, Brasil - MapBiomas, 2025 - 209 p. Disponível em: [https://alerta.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/17/2025/05/RAD2024\\_15.05.pdf](https://alerta.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/17/2025/05/RAD2024_15.05.pdf)

MARENT, B. R.; LAMOUNIER, W. L.; GONTIJO, B. M. **Conflitos ambientais na Serra do Gandarela, Quadrilátero Ferrífero – MG: mineração x preservação.** *Revista Geografias*, v.7 n.1, pp. 99-113. 2011.

MEYER, W.B.; TURNER II, B.L. Eds. 1994. **Changes in Land Use and Land Cover – A global Perspective.** Cambridge, Cambridge University Press, 537 p.

MINISTÉRIO PÚBLICO DE MINAS GERAIS. Processo Judicial Eletrônico – 1ª instância: decisão em ação civil pública nº 0800366-79.2016.4.05.8500, movida pelo MP/MG contra o Município de Belo Horizonte. Belo Horizonte, 3 dez. 2021. Disponível em: <https://patrimoniocultural.org/wp-content/uploads/2021/12/Processo-Judicial-Eletronico-1-Gr au.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2025.

MÜCHER, C.A.; STOMPH, T. J.; FRESCO, L. O. **Proposal for a global land use classification.** Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations/Enschede: International Institute For Aerospace Survey and Earth Sciences/Wageningen: Wageningen Agricultural University; 1993.

HASEEB, M., TAHIR, Z., MAHMOOD, S. A., BATOOL, S., TARIQ, A. LU, L.; WALID SOUFAN. **Spatio-temporal assessment of aerosol and cloud properties using MODIS satellite data and a HYSPLIT model: Implications for climate and agricultural systems.** *Atmospheric Environment X*, [s. l.], p. 100242–100242, 2024.

MOTA, Suetônio R. **Urbanização e meio ambiente.** Rio de Janeiro: ABES, 1999.

MUHAMMAD, Farhan; TAIXIA, Wu; MUHAMMAD, Amin; AQIL, Tariq; RUFAT, Guluzade; HASSAN, Alzahrani. **Monitoring and prediction of the LULC change dynamics using time series remote sensing data with Google Earth Engine.** *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, v 136, n. 103689, 2024.

NOVAIS, Andrea Lanna Mendes; DUARTE, Neise Mendes; MAFFRA, Marcelo Azevedo. et al.. **SERRA DO CURRAL: PATRIMÔNIO CULTURAL E AMBIENTAL..** In: **Anais do 13º Mestres e Conselheiros: o futuro do patrimônio.** Anais.Belo Horizonte(MG) UFMG, 2022.

OBODAI, J.; BHAGWAT, S.; MOHAN, G. **Gold mining’s environmental footprints, drivers, and future predictions in Ghana.** *Remote Sensing Applications Society and Environment*, v. 33, n. 101103, p. 101103, 2024.

OJIMA, Ricardo; HOGAN, Daniel Joseph. **Crescimento Urbano e Mudança Climática: pontos de convergência nos limites da urbanização contemporânea.** In: III Congresso da Associação Latino Americana de População. 2008.

INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL. Parque da Serra do Curral completa dois anos. Notícia publicada em 12 de setembro de 2014. Disponível em: <https://uc.socioambiental.org/pt-br/noticia/143013>. Acesso em: 20 jul. 2025.

- PORTELLA, Márcio Oliveira. Efeitos colaterais da mineração no meio ambiente. **Revista Brasileira de Políticas Públicas**, Brasília, v. 5, nº 2, 2015 p.263-276
- RAMACHANDRA, T. V.; KUMAR, U. (2004). **Geographic Resources Decision Support System for land use/land cover dynamics analysis**. In: Proceedings of the FOSS/GRASS Users Conference – Bangkok, Thailand, 12–14 September 2004.
- RAZIQ, A.; XU, A.; LI, Y.; ZHAO, Q. **Monitoring of land use/land cover changes and urban sprawl in Peshawar City in Khyber Pakhtunkhwa: an application of geo-information techniques using of multi-temporal satellite data**. *J. Remote Sens. GIS*, 5 (2016), p. 174, 10.4172/2469-4134.1000174
- REZENDE, V. L. **A mineração em Minas Gerais: uma análise de sua expansão e os impactos ambientais e sociais causados por décadas de exploração**. *Sociedade & Natureza*, v. 28, n. 3, p. 375–384, dez. 2016.
- RIBEIRO, Edson Leite. **Cidades (in)sustentáveis: reflexões e buscas de modelos urbanos de menor entropia**. João Pessoa: Universitária, 2006.
- RIBEIRO, M. C. et al. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p. 1141–1153, jun. 2009.
- ROCHA, G. H. R. R.; WILD, P. M. V.; REIS, J. E.; ANDRINO, M. A.; GONÇALVES, F.; RODRIGUES, L.; CORREA, B. S. **Uso e ocupação do solo: um estudo sobre a expansão urbana do município de Santo Antônio do Monte/MG**. II Seminário Dos Estudantes De Pós-Graduação - IFMG Campus Bambuí, 2016.
- RUHOFF, A. RISSO, A. MEIRELLES, F. BELTRAME, L. Cenários de uso do solo. **Efeitos das mudanças climáticas na geração de energia elétrica**. São Paulo: AES Sul, p. 6085-6098, 2014.
- SALA, Osvaldo et al. 2000. Biodiversity - **Global biodiversity scenarios for the year 2100**. *Science (New York, N.Y.)*. 287. 1770-4. 10.1126/science.287.5459.1770.
- SCHLINDWEIN, J. R. et al. **Mapeamento do uso e cobertura do solo do município de Caxias do Sul (RS) através de imagens do satélite CBERS**. 2007. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 1103-1107.
- SEEG – SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. Nota metodológica nº 11: Setor de Mudanças de Uso da Terra e Florestas (MUT). São Paulo: Observatório do Clima, SEEG, abr. 2024. Disponível em: <https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2024/04/SEEG-NM-MUT.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2025.

SEEG – SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. Relatório analítico SEEG 12: panorama das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil. São Paulo: Observatório do Clima, 2024. Disponível em:  
<https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2024/11/SEEG-RELATORIO-ANALITICO-12.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2025.

SEEG – SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. Território: Minas Gerais. [S. l.]: SEEG, [2025?]. Disponível em:  
<https://plataforma.seeg.eco.br/territorio/minas-gerais>. Acesso em: 20 jun. 2025.

SILVA, Camila Galdino da. **Dinâmicas do uso e cobertura do solo em área de mineração de quartzo em Capitão Poço- Pa, utilizando dados do projeto Mapbiomas**. Orientadora: Helaine Cristine Gonçalves Pires. 2023. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Capitão Poço, 2023.

SOUZA, J. BRITO, F. R. A. A expansão urbana de Belo Horizonte e da RMBH em direção ao Vetor Norte Central, nos períodos 1986-1991 e 1995-2000. In: ENCONTRO NACIONAIS DE ESTUDOS POPULACIONAIS. **Anais do XVI Encontro Nacional de Estudos Populacionais**, ABEP, Caxambu: 2008.

TOLBA, M.K., EL-KHOLY, O.A. (Eds.), 1992. *The World Environment 1972–1992: Two Decades of Challenge*. Chapman & Hall, London.

TONIETTO, A.; SILVA, J. J. M. C. **Valoração de danos nos casos de mineração de ferro no Brasil**. *Revista brasileira de criminalística*, v.1, n.1, pp. 31-38. 2011

TURNER, B.L.; SKOLE, D.; SANDERSON, S.; FISCHER, G.; FRESCO, L.; LEEMANS, R. (1995) “**Land-Use and Land-Cover Change**”, Science – Research Plan, IGBP Report No.35, HDP Report No.7, Estocolmo e Genebra, IGBP e HDP.

VICTOR, M.A.M.; CAVALLI, A.C.; GUILLAUMON, J.R.; FILHO, R.S. **Cem anos de devastação: Revisitada 30 anos depois**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2005.

VITOUSEK, P.M., MOONEY, H.A., LUBCHENCO, J., MELILLO, J.M., 1997. **Human domination of earth’s ecosystems**. *Science* 277, 494–499.

WOLMAN, M.G. (1987) “Criteria for Land Use”, in MCLAREN, D.J.; SKINNER, B.J. Eds. (1987) “**Resources and World Development**”, Nova Iorque, John Wiley & Sons., pp. 643-657.

XAVIER, R. L; MENEZES, D. B.; SILVA, F. L. **Mapeamento de uso e ocupação do solo utilizando dados do MapBiomas: uma abordagem manual para aumento de precisão aplicada em Meridiano, São Paulo**. *Revista Brasileira de Geografia Física* v.17, n.3, p. 1992-2000, 2024.

**YEH, A.G. & LI, X. An integrated remote sensing and GIS approach in the monitoring and evaluation of rapid urban growth for sustainable development in the Pearl River Delta, China. Int. Plann. Stud., 2 (2) (1997).**

## ANEXO A - Código em JavaScript para geração das transições de uso do solo na plataforma Google Earth Engine

```
var aoi = table;
var transicoes = ee.Image(

'projects/mapbiomas-public/assets/brazil/lulc/collection9/mapbiomas_collection90_transition
s_v1'
);

var transicao = transicoes.select('transition_2012_2023');

Map.centerObject(aoi, 11);
Map.addLayer(transicao.clip(aoi), {}, 'Transição 2012–2023');

var pixelArea = ee.Image.pixelArea().divide(10000);

var areaPorClasse = pixelArea.addBands(transicao)
.reduceRegion({
  reducer: ee.Reducer.sum().group({
    groupField: 1, // banda 1 é transicao
    groupName: 'transicao'
  }),
  geometry: aoi,
  scale: 30,
  maxPixels: 1e13
});

print('Área por tipo de transição (ha):', areaPorClasse);

var grupos = ee.List(areaPorClasse.get('groups'));

var tabela = ee.FeatureCollection(grupos.map(function(grupo) {
  grupo = ee.Dictionary(grupo);
  var codigo = grupo.get('transicao');
  var area = ee.Number(grupo.get('sum')).round();
  return ee.Feature(null, {
    'codigo_transicao': codigo,
    'area_ha': area
  });
}));

Export.table.toDrive({
```

```
collection: tabela,  
description: 'Transicoes_MapBiomias_2012_2023_SERRA',  
fileFormat: 'CSV'  
});
```