

Qual será o futuro do Cerrado Norte Mineiro?

Luan de Oliveira Queiroz – UFMG (luanqoliveira@ufmg.br)

Marcos Antônio Timbo Elmiro – UFMG (mtimbo@ufmg.br)

Argemiro Teixeira Leite Filho – UFMG (argemirotlf@gmail.com)

Sônia Maria Carvalho Ribeiro – UFMG (soniacarvalhoribeiro@cart.igc.ufmg.br)

Resumo: Este estudo se assenta na discussão entre as pautas de Desenvolvimento Econômico, de Infraestrutura e de Conservação do bioma Cerrado, por meio de um estudo de caso, de modo a refletir sobre uma gestão da paisagem que melhor alinhe crescimento econômico e sustentabilidade ambiental. O objetivo é entender as alterações do uso do solo e suas tendências nos municípios de Pirapora/MG e de Buritizeiro/MG, de modo a construir um quadro da realidade econômica e das principais forças antrópicas que afetam não só as cidades, mas o Cerrado como um ecossistema valioso. Foi estimado um Modelo de Mudança no Uso do Solo e Cobertura (LUCC) para simular os padrões de uso sobre a vegetação nativa da paisagem até 2030, caso as tendências, que estão se conformando na região de estudo, tornem efetivas no longo prazo. Os dados e os cenários projetados vêm mostrando a necessidade de se pensar modelos econômicos e de governança que priorizem a proteção e conservação do Cerrado. Caso contrário, o mais provável seja a consolidação de um cenário pessimista, com a intensificação do processo de fragmentação do Cerrado.

Palavras-chave: Cenários; Conservação do meio ambiente; Desenvolvimento econômico; Cerrado.

What will be the future of Cerrado in the Northern of Minas Gerais?

Abstract: This study is based on the discussion between the guidelines of Economic Development, Infrastructure, and Conservation of the Cerrado biome, through a case study, in order to reflect on a landscape management that better aligns economic growth and environmental sustainability. The objective is to understand changes in land use and their trends in the municipalities of Pirapora/MG and Buritizeiro/MG, in order to build a picture of the economic reality and the main anthropogenic forces that affect not only the cities, but the Cerrado as well, a valuable ecosystem. A Land Use and Cover Change Model (LUCC) was estimated to simulate land use patterns on the landscape's native vegetation until 2030, in case the trends, which are shaping up in the study region, become effective in the long term. The data and projected scenarios have shown the need to think about economic and governance models that prioritize the protection and conservation of the Cerrado. Otherwise, the most likely scenario will be the consolidation of a pessimistic scenario, with the intensification of the Cerrado fragmentation process.

Keywords: Scenarios; Conservation; Economic development; Cerrado.

1 - INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

A mudança política sobre o entendimento da preservação ambiental, principalmente do bioma Amazônico, tem representado, de uma lado o recrudescimento do aparato legal entorno da proteção da Floresta Amazônica, porém, de outro, estímulo ao desmatamento e

uso intensivo do solo de outros biomas, na qual a legislação é mais permissiva, como é o caso do Cerrado.

Segundo os dados da Coordenação-Geral de Observação da Terra, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, entre a data de 01 de janeiro de 2023 a 15 de junho de 2023, foi desmatada uma área igual a 3.966,08 km² (396.608 hectares) do bioma Cerrado (INPE, 2023). No mesmo período, em 2022, esse valor foi igual a 3.054,24, definindo um aumento de 29,9% de um ano para o outro (INPE, 2023).

Inclusive, os resultados do estudo de Alencar et al. (2020), sobre as mudanças de uso e cobertura do Cerrado brasileiro, dos anos de 1985 a 2017, indicaram uma conversão de aproximadamente 45% da vegetação nativa do Cerrado para algum tipo de uso e ocupação do solo no período de análise da pesquisa.

Em Minas Gerais, no período de referência (01/01 a 15/06), em 2023, registrou uma área desmatada do bioma de 161,39 km² (INPE, 2023). Cabe destacar que Buritizeiro/MG, neste período, estava entre as 10 cidades mineiras que mais desmataram o bioma, ficando na 6ª colocação (INPE, 2023). No ano de 2022, o município ficou em 3º lugar com uma área desmatada de 19,55 km² (INPE, 2023). Deste modo, estes fatos demarcam a importância do estudo e revelam um cenário alarmante não só para a área de estudo, como para todo o ecossistema do Cerrado.

Neste sentido, entender as alterações do uso do solo e suas tendências, por meio da construção e avaliação de um Modelo de Mudança no Uso do Solo e Cobertura (LUCC) para a localidade, permitiria construir um quadro da realidade econômica e das principais forças antrópicas que afetam não só os municípios Pirapora/MG e Buritizeiro/MG, mas o Cerrado como um ecossistema valioso.

Os modelos de mudança de uso do solo e cobertura permitem avaliar as principais conversões que ocorrem entre as classes de uso e cobertura do solo num determinado território, mostrando uma perspectiva dinâmica não só temporal, mas espacial (BRANCO *et al.*, 2022; REN *et al.*, 2019; SOARES-FILHO *et al.*, 2009; SOUZA *et al.*, 2019; SUAREZ; SOARES-FILHO, 2013).

Além do mais, com as definições das tendências espaciais das movimentações entre as classes em uma área de estudo, possibilita, a partir destas, estimar possíveis cenários, considerando um vetor explicativo de determinantes espaciais que afetam estas relações (BRANCO *et al.*, 2022; REN *et al.*, 2019; SOARES-FILHO *et al.*, 2009; SOUZA *et al.*, 2019; SUAREZ; SOARES-FILHO, 2013). Isto torna a técnica adequada para buscar respostas para as seguintes questões: Os serviços ecossistêmicos e a biodiversidade do Cerrado Norte

Mineiro estarão sob ameaça? Em termos de área, quais são as tendências e os cenários possíveis? O que nos espera no futuro?

De modo legal, estas ameaças parecem estar blindadas pelo Novo Código Florestal (Lei nº 12.651 de 25 de Maio de 2012), que prevê a necessidade de proteção à vegetação nativa, por meio da manutenção dos percentuais de reserva legal (80% Amazônia Legal, 20% Cerrado e Caatinga) e de outros elementos reguladores (BRASIL, 2012).

Porém, por se tratar de uma região afastada dos olhares das instâncias fiscalizadoras e dos grandes centros econômicos, cria ambiente ideal para o desmatamento imprudente da cobertura vegetal nativa. Além das outras questões que envolvem a mesorregião como, o grande volume de incêndios florestais, a desertificação, a crise hídrica (CERQUEIRA *et al.*, 2021; LATUF *et al.*, 2022; MARQUES *et al.*, 2017), os desmatamentos ilegais para produção de carvão vegetal, e a existência de trabalhos precários em condições análogas à escravidão.

Numa outra perspectiva, as decisões que remetem aos crimes desta natureza tem seguido a abordagem de sobrepor o interesse social coletivo ao desejo de conservação e manutenção dos serviços ecossistêmicos do bioma, indo em direção contrária ao preconizado nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e na Convenção sobre Diversidade Biológica quanto à formulação do planejamento territorial e da previsão de sustentabilidade ambiental e econômica para o planeta (CBD, 2020; ONU, 2018, 2022), representando até mesmo na ruptura (e fragilização) de estruturas econômicas e sociais que dependem do bioma para sua sobrevivência.

Adicionalmente, a região tem atraído investimentos infraestruturais para ampliar a acessibilidade e a logística de transporte entre as diversas regiões do Brasil que se integram via rodovias ao estado de Minas Gerais, e a instalação de usinas produtoras de energia solar, representando mais um drive de supressão de vegetação nativa (MINAS GERAIS, 2018; OLIVEIRA *et al.*, 2021).

Além disso, todo este contexto parece estar alinhado com o fortalecimento de um modelo agroexportador, com a expansão das culturas de soja, café, e citrus, formando pressões sobre a paisagem e a vegetação nativa, de modo a questionar qual destino estará guardado para o Cerrado no Norte de Minas no futuro.

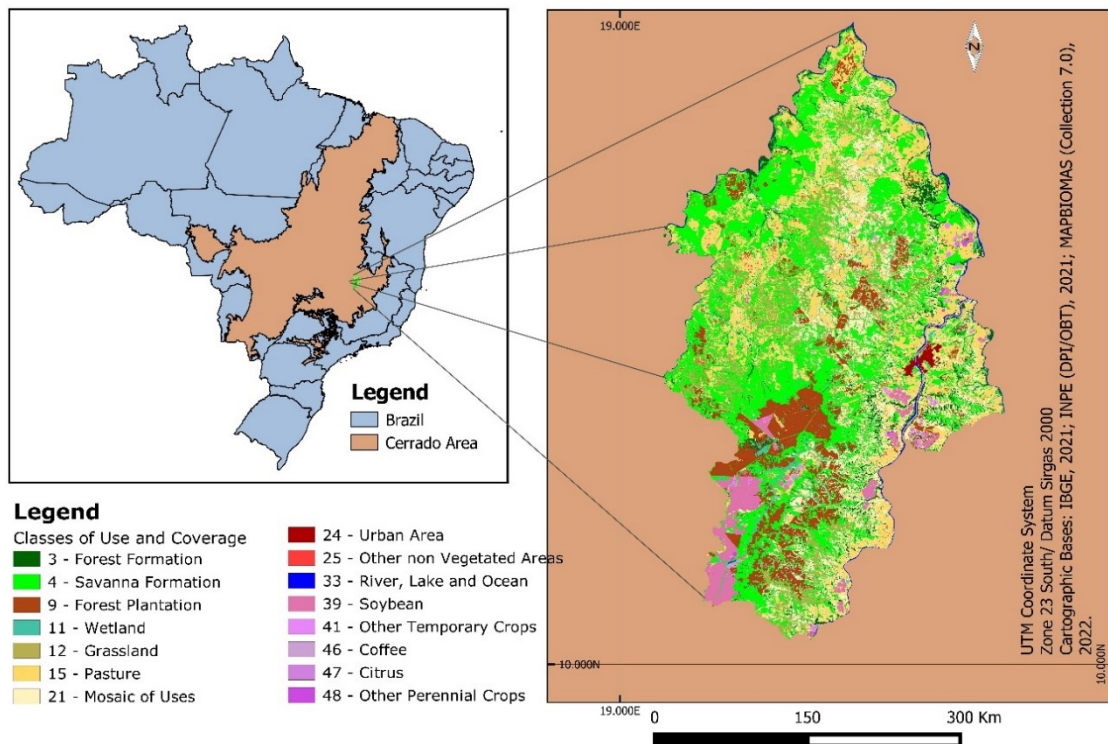
2 - METODOLOGIA

2.1 Área de Estudo e Dados

Para entender as alterações ocorridas nos últimos anos no Cerrado Norte Mineiro, avaliou-se a paisagem de Pirapora/MG e de Buritizeiro/MG. Estas cidades estão numa

região geograficamente privilegiada por diversos fluxos de transporte e de mercadorias, tornando esta área estratégica em termos econômicos (SANTOS, 2017). Além disso, estas cidades são estabelecidas na extensão do Alto Médio da Bacia do Rio São Francisco, no Norte de Minas Gerais, (ver Figura 01), sendo o recurso hídrico um atrativo para o desenvolvimento de atividades agropecuárias.

Figura 01. Localização da área de estudo e as classes de uso e cobertura do solo em 2021.



Fonte: Elaborado pelos autores

Adicionalmente, estas localidades vêm passando por grandes transformações infraestruturais nos últimos anos, como a revitalização da ferrovia pela VLI para transbordo de grãos de milho e de soja para o porto de Tubarão em Vitória no Espírito do Santo; a instalação de usinas produtoras de energia solar, devido a incidência de raios solares nesta faixa do território; a duplicação da BR-135 para facilitar a logística de transporte da mesorregião (Norte de Minas) com as outras mesorregiões de Minas Gerais e os outros estados do país; e por último, os investimentos em reabilitação e manutenção da BR-365 (MINAS GERAIS, 2018; OLIVEIRA *et al.*, 2021; VLI, 2022).

O município de Pirapora/MG apresentou uma população calculada para 2021 de 56.845 habitantes e extensão territorial de 549,514 km² (IBGE 2022b) e tem na atividade econômica industrial (e.g. produção têxtil e metalúrgica) o vetor dinâmico da sua economia. De forma complementar, a cidade de Buritizeiro/MG, com uma extensão territorial de

7.218,401 km² e população estimada em 2021 de 28.184 pessoas (IBGE 2022c), tem como elemento dinâmico, o setor econômico primário, constituído pelas atividades de silvicultura e de agropecuária (e.g. cultivo de eucalipto, de milho, de café e de soja e a produção bovina, suína e de galináceos).

Os dados de uso e cobertura do solo usados no modelo provieram da coleção 7.0 da plataforma do MAPBIOMAS. Para a composição dos mosaicos da área de estudo, foram baixadas 06 bases cartográficas, 03 bases para cada município, identificadas nos anos de 2014, 2018, e 2021 (MAPBIOMAS, 2022). Essas bases geraram 06 rasters de resolução de 30m/pixel reprojatados no Datum Sirgas 2000/UTM 23S no QGIS, versão 3.18.

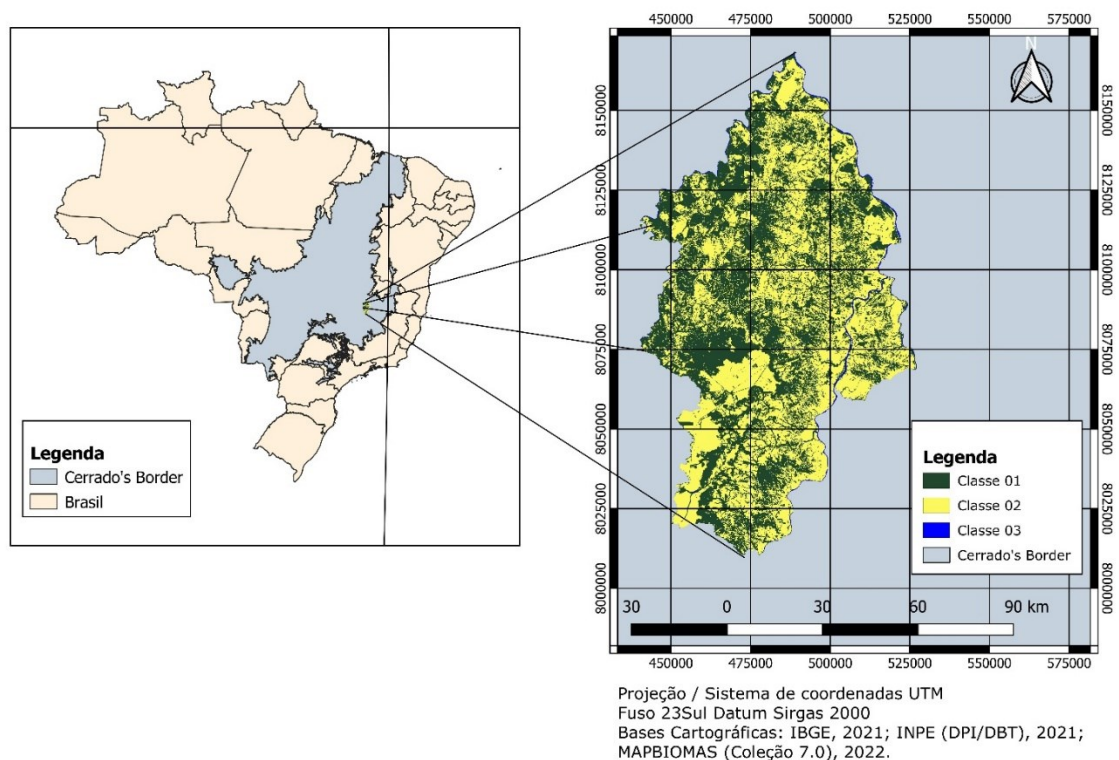
2.2 Modelo de Mudança no Uso do Solo e Cobertura

Os Modelos de Simulação de Mudança no Uso do Solo e Cobertura (LUCC) podem ser usados para emular o comportamento de um conjunto de condutores no espaço-tempo para representar fenômenos dinâmicos que influenciam a paisagem (SOARES-FILHO et al. 2009). No estudo, tal técnica, foi utilizada para simular a pressão dos padrões de uso da paisagem sobre as classes de cobertura características do Cerrado (Formação Florestal, Formação Savânica, Formação Campestre, Campo Alagado e Área Pantanosa), caso as tendências, que estão se conformando na região de estudo, tornem efetivas no longo prazo.

Deste modo, as 15 classes de uso e cobertura da região de estudo foram reclassificadas em 03 classes. A Classe 01 representa as classes de cobertura da área de estudo, a saber: Formação Florestal, Formação Savânica, Formação Campestre, Campo Alagado e Área Pantanosa. A Classe 02 é formada pelas classes de uso e ocupação do solo, simulando as pressões antrópicas sobre o Cerrado, a saber: Pastagem, Mosaico de Agricultura e Pastagem, Silvicultura, Outras Lavouras Temporárias, Soja, Cana, Café, Citrus, Outras Lavouras Perenes, Área Urbanizada, e Outras Áreas não Vegetadas. A Classe 03 é constituída pela classe de Rios, Lagos e Oceanos.

Para a construção do modelo utilizou o software Dinamica EGO do Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Minas Gerais (CSR/UFMG) (SOARES-FILHO et al., 2009). O corte temporal levou em conta os mapas de uso e cobertura do solo dos anos de 2014 e de 2021 para considerar um cenário mais atual de transições entre as classes. Na estimação deste método, quatro etapas foram fundamentais na modelagem do estudo: parametrização, determinação dos fatores espaciais, calibragem e validação.

Figura 02. Mapa reclassificado da área de estudo em 2021.



Fonte: Elaborado pelos autores.

2.2.1 Parametrização

A parametrização do modelo consiste na adequação dos dados para a finalidade pretendida com o mesmo. Dois momentos são relevantes nesta adaptação: o cálculo da Matriz de Transição e a determinação dos Pesos de Evidência e seus coeficientes. Na primeira etapa, calcularam-se as taxa de mudança ou de transição entre as classes de uso e cobertura do solo com base nos mapas da área de estudo dos anos de 2014 e de 2021 que foram informadas para o modelo LUCS como os parâmetros fixos que estão conformando a paisagem (SOARES-FILHO *et al.* 2009). Logo, esta fase determinou as tendências de transformação do uso e cobertura do solo na paisagem estudada e sua estimativa esteve alinhada com o contexto verificado, principalmente com o objetivo de simulação de cenários futuros (BRANCO *et al.*, 2022; REN *et al.*, 2019; SOARES-FILHO *et al.*, 2009).

Como o modelo prevê a utilização de variáveis explicativas (Determinantes Espaciais) que podem influenciar essas mudanças de uso do solo e cobertura, a segunda etapa consistiu na determinação dos Pesos de Evidência e seus coeficientes. O cálculo destes pesos utilizou o método Bayesiano e estimou os efeitos dos Determinantes Espaciais sobre as

transições do uso e cobertura do solo da paisagem, sendo independente da solução encontrada (Soares-Filho et al. 2009).

Deste modo, esta etapa gerou os elementos para a produção do mapa de probabilidade de transição e colocou na escolha das variáveis explicativas o imperativo para se entender estas transições (SOARES-FILHO *et al.*, 2009). Outro aspecto, foi a possibilidade de utilização de variáveis explicativas categóricas. Isto impôs no processo de categorização dos mapas a preocupação com a preservação da estrutura de dados (SOARES-FILHO *et al.*, 2009).

2.2.2 Vetor de Determinantes Espaciais

Para o estudo, foram escolhidas sete variáveis estáticas e uma variável dinâmica. A primeira variável é a declividade. A área de estudo está contida no Vale do Alto Médio do Rio São Francisco, o que torna a declividade do território um potencial influenciador das transições estudadas. A segunda variável é o Tipo de Solo. Neste fator, houve a reclassificação do recorte da área de estudo para considerar somente as classes dominantes de solos: Classe 01 (CXbd - Cambissolos Háplicos Tb Distróficos), Classe 02 (LVd - Latossolos Vermelhos Distróficos), Classe 03 (LVAd - Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos), Classe 04 (RLd - Neossolos Litólicos Distróficos), e Classe 05 (RQo - Neossolos Quartzarênicos Órticos).

O terceiro determinante é a Distância de Estradas. Este mapa representa as distâncias euclidianas dos pixels (ou áreas) em relação às estradas do território. É uma co-variável comumente utilizada nos estudos desta linha de modelos, pois representa a conectividade entre os fragmentos, a facilidade logística de distribuição, a proximidade aos centros urbanos, entre outros fatores importantes para a conformação das classes no território.

O quarto fator é a Distância da Ferrovia. Sob os cuidados da VLI, a ferrovia, nesta região, representa um importante canal de escoamento de grãos secos (i.e. soja e milho) (VLI, 2022). Logo, a proximidade, em termos de distância, pode representar redução dos custos de transportes e de escoamento de produção, podendo estimular, principalmente, o cultivo de soja na região.

A quinta variável é a Distância do Rio. A presença do Rio São Francisco, dividindo os dois municípios, pode representar um custo de oportunidade interessante para as classes de uso e ocupação. A proximidade da água para as atividades agropecuárias e para o desenvolvimento urbano é um fator relevante para seus desenvolvimentos, sendo sua incorporação crucial para o modelo.

O sexto determinante é a Distância de Redes de Transmissão de Energia. Por existir uma rede de transmissão de energia da principal geradora do Estado, escolheu-se a covariável para verificar sua influência quanto à capacidade de atração (repulsão) das atividades humanas, podendo sua existência ser um indicativo de facilidade de acesso à energia elétrica para o desenvolvimento destas.

A sétima variável é a Distância dos Segmentos de Drenagem (rede de drenagem). Este fator foi derivado do mapa de declividade, com intuito de avaliar o peso da proximidade destes segmentos de drenagem sobre as transições estudadas, como por exemplo, a relação entre drenagem e atividades humanas irrigadas.

Por último, foi escolhida a distância de áreas previamente antropizadas (ou de uso e ocupação) como variável dinâmica do modelo. Ou seja, se a proximidade a estas áreas impõem força de atração para instalação de outras classes de uso e ocupação do solo, de modo a representar as tendências observadas para a área de estudo.

Cabe destacar que boa parte destas variáveis são recorrentemente utilizadas nestes tipos de estudo, tornando suas inclusões justificadas dadas as suas influências, extensivamente comprovadas, nas conformações espaciais das classes de uso e cobertura (BRANCO *et al.*, 2022; GRAÇA *et al.*, 2009; HINATA *et al.*, 2023; REN *et al.*, 2019; SOUZA *et al.*, 2019; SUAREZ; SOARES-FILHO, 2013).

Quadro 01. Determinantes Espaciais utilizados no modelo.

Determinantes Espaciais	Formato de Origem	Fonte de Dados
Declividade	Raster	INPE – TOPODATA (Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil)
Tipos de Solo	Shapefile	EMBRAPA – GEOINFO – Mapa de Solos do Brasil
Distância de Estradas	Shapefile	IBGE MAPAS
Distância da Ferrovia		
Distância de Rios		
Distância de Rede de Transmissão de Energia		
Distância dos Segmentos de Drenagem	Raster	Derivado do mapa de declividade

Fonte: EMBRAPA (2022), IBGE (2022a) e INPE (2022).

2.2.3 Calibragem

A etapa de calibragem consiste nos ajustes necessários ao modelo para emular um comportamento mais próximo da realidade. No modelo inicial, além das variáveis explicativas apresentadas anteriormente, foram considerados, os mapas de relevo, de altitude, de gravitação populacional, e de desmatamento. No entanto, pela apresentação de multicolinearidade, por meio de análise do Coeficiente de Cramer e do Joint Information

Uncertainty (JIU), destes com as outras variáveis, foram retiradas, ampliando o desempenho do modelo (BRANCO *et al.*, 2022; SOARES-FILHO *et al.*, 2009).

Como a intenção é simular diferentes cenários, a transição de foco do modelo foi a da Classe 01 para a Classe 02, ou seja, a alteração da classe de cobertura vegetal para a classe de uso e ocupação (proxy das pressões humanas sobre a paisagem). Com a determinação desta, foram calibrados os algoritmos de transição “Expander” e “Patcher”. Estes algoritmos simularam os processos de expansão/contração e de criação dos fragmentos, com base no tamanho médio do fragmento (em hectares), na variância do fragmento (em hectares²) e do Índice de Isometrias (BRANCO *et al.*, 2022; SOARES-FILHO *et al.*, 2009). Obtiveram-se os dados do tamanho médio das manchas e da variância a partir do Fragstats 4.0.

Para definição da porcentagem de transições para expansão e para o Índice de Isometria, seguiram-se os valores que produziram maior desempenho, no caso, a porcentagem de 20% para o algoritmo de “Expander” e o valor 1 para isometria das manchas.

2.2.4 Validação

Para a validação do modelo, consideraram-se dois testes estatísticos. O primeiro teste, e mais utilizado, é o Índice de Similaridade Fuzzy (ISF), criado por Hagen (2003) e incorporado no Dinamica EGO. Este operador estima, via função de decaimento constante e diferentes janelas de tamanho, a similaridade fuzzyana mínima e máxima entre os mapas de diferenças do mapa inicial e o mapa final da série com o mapa inicial e o mapa simulado para o último ano da série (BRANCO *et al.*, 2022; SOARES-FILHO *et al.*, 2009). Para o cálculo do mapa final simulado, utilizou-se o mapa do ano de 2018. Determinaram-se, ainda, os índices de similaridade, considerando como mapa inicial o ano de 2018 e o ano de 2014.

O segundo teste, consiste na elaboração da matriz de erros e avaliação do Coeficiente Kappa (BONHAM-CARTER, 1994). O coeficiente estimado partiu da comparação entre o mapa de 2021 observado (último ano da série) e mapa de 2021 simulado, sendo a carta geográfica de referência o mapa observado. Esta análise foi importante para avaliar o grau de acerto do modelo, e, portanto, seu desempenho.

2.3 Cenários

Após a validação do modelo, estimaram-se três cenários possíveis com base nas tendências explicitadas pela matriz de transição. O primeiro cenário (cenário estimado) revelaria a manutenção do *status quo*, ou seja, ao manter a atual taxa de conversão de vegetação

nativa em uso e ocupação destinada a atividade humana, qual seria o destino das classes de cobertura características do Cerrado?

O segundo cenário (visão pessimista) representaria a intensificação da pressão antrópica sobre a paisagem, para isto, a taxa de conversão anual da classe 01 para a classe 02 foi dobrada. Ou seja, caso haja ampliação dos investimentos e infraestrutura, implicando em crescimento das atividades econômicas, qual seria o impacto do aumento desta ação humana sobre a região?

O terceiro cenário (visão otimista) seria a implementação de uma política ou ação pública que redirecionasse a matriz de pay-offs para a conservação do Cerrado Norte Mineiro, para isto reduziu-se pela metade a taxa de conversão anual. Qual seria o impacto da ação coletiva, reduzindo o trade-off entre interesse coletivo e preservação do meio ambiente, em torno da manutenção e conservação do Cerrado? Como a ideia é pensar sobre a implementação de estratégias de conservação e políticas municipais de sustentabilidade territorial para redução do impacto da ação antrópica sobre o Cerrado, a simulação remete-se a um período de curto a médio prazo, sendo o horizonte temporal de 2014 a 2030.

3 – RESULTADOS

3.1 Análise Inicial

A tabela 01 mostra os valores da matriz de transição das classes usados para parametrização do modelo. No período de 2014 a 2021, 11,91% (1,72% por ano) das células da classe que representavam a vegetação característica do Cerrado em 2014 foram convertidas em áreas de uso e ocupação do solo em 2021. Em contrapartida, 9,24% (1,30% por ano) das áreas de uso e ocupação do solo retornaram ao estado de cobertura vegetal no período. Em termos líquidos, a pressão dos padrões vigentes de uso da paisagem sobre as classes de cobertura características do Cerrado tem representado maior supressão de vegetação nativa (em torno de 2,7%) do que sua restauração no período avaliado. Cabe destacar ainda a heterogeneidade e a capacidade de resiliência do bioma, que mesmo sob essas tendências, consegue criar mecanismos para sua restauração.

Na matriz pode-se perceber também a alteração da classe de identificação do Rio São Francisco e lagos para a classe de cobertura vegetal, no valor de 7,33% no período avaliado, e a mudança desta classe 03 para áreas de uso e ocupação do solo, igual a 3,04%. O primeiro comportamento revela a possibilidade da transformação das áreas de lagos e destinadas ao curso do Rio para áreas de Campos Alagados e Áreas Pantanosas, implicando o valor encontrado para a transição da classe 03 para a classe 01. O segundo seria a formação de

ilhas de sedimentos arenosos formadas ao longo do rio, sendo identificadas como áreas não vegetadas, refletindo a transição da classe 03 para a classe 02.

Tabela 01. Matriz de Transição da Área de Estudo considerando os valores das classes dos mapas de 2014 e 2021.

Matriz de Transição				
De	Transição Para	Taxa de Mudança		
		Período	Anual	
	1	2	11,91%	1,72%
	1	3	0,04%	0,01%
	2	1	9,24%	1,30%
	2	3	0,017%	0,002%
	3	1	7,33%	1,08%
	3	2	3,04%	0,45%

Fonte: Elaborado pelos autores.

Estes dois comportamentos podem ser consequências dos últimos fenômenos presenciados na região como alternância de períodos longos de secas, indicando processos semelhantes a desertificação, redução da vazão do rio e crises hídricas, com períodos curtos de grande volume de chuvas e cheias, impactando em formação de praias de areias e sedimentos, além dos desmatamentos imprudentes, do grande número de incêndios florestais, entre outras intempéries que são recorrentes na região (CERQUEIRA et al., 2021; CRUZ et al., 2018; LATUF et al., 2022; MARQUES et al., 2017).

Na tabela 02, estão os coeficientes de Cramer e do Joint Information Uncertainty (JIU) para os determinantes espaciais do modelo calculado. O Coeficiente de Cramer indica, no intervalo de 0 e 1, a medida de correlação, par a par, dos mapas utilizados (BONHAM-CARTER, 1994). Para valores maiores que 0,5 é recomendável a exclusão de uma das variáveis do modelo, uma vez que a presença de multicolinearidade no modelo implica em estimativas não confiáveis e, possivelmente, insignificantes, quando estas são (BRANCO et al., 2022; SOARES-FILHO et al., 2009).

Ao considerar as variáveis usadas, verifica-se a baixa correlação entre os mapas, obedecendo a recomendação para a exclusão. Outra medida de independência entre os mapas é o Coeficiente do Joint Information Uncertainty (JIU). Nesta medida, o valor 0 indica independência completa entre os mapas (BONHAM-CARTER, 1994). Deste modo, para a estimação, é preferível que estes valores estejam mais próximos de 0, como é o caso dos registros observados para as comparações par a par do modelo estimado.

Tabela 2. Coeficiente de Cramer e do Joint Information Uncertainty (JIU) para as variáveis explicativas do modelo estimado.

Transition		Variable		Chi_2	Cramer	Contingency	Joint Entropy	Joint Uncert.
From	To	First	Second					
1	2	Solo	Declividade	1.142.609,92	0,179	0,336	3,687	0,033
1	2	Solo	Distance_to_2	117.379,17	0,057	0,114	1,455	0,009
1	2	Solo	Estradas	742.711,30	0,144	0,277	4,431	0,017
1	2	Solo	Ferrovia	5.513.260,95	0,392	0,617	6,525	0,057
1	2	Solo	Drenagem	60.585,04	0,041	0,082	2,232	0,003
1	2	Solo	Rios	7.141.961,02	0,446	0,666	5,691	0,114
1	2	Solo	Torre_Energia	3.261.336,13	0,302	0,517	6,355	0,047
1	2	Declividade	Distance_to_2	86.733,41	0,037	0,098	3,190	0,003
1	2	Declividade	Estradas	273.139,17	0,023	0,172	6,188	0,005
1	2	Declividade	Ferrovia	778.476,83	0,036	0,283	8,411	0,009
1	2	Declividade	Drenagem	74.868,61	0,029	0,091	3,965	0,002
1	2	Declividade	Rios	1.482.190,99	0,050	0,377	7,688	0,021
1	2	Declividade	Torre_Energia	435.504,09	0,027	0,215	8,217	0,006
1	2	Distance_to2	Estradas	199.666,80	0,056	0,148	3,907	0,005
1	2	Distance_to2	Ferrovia	744.109,43	0,109	0,277	6,133	0,009
1	2	Distance_to2	Drenagem	8.528,08	0,012	0,031	1,681	0,000
1	2	Distance_to2	Rios	550.623,49	0,094	0,241	5,457	0,009
1	2	Distance_to2	Torre_Energia	844.964,48	0,116	0,294	5,929	0,008
1	2	Estradas	Ferrovia	4.023.132,16	0,089	0,557	9,017	0,033
1	2	Estradas	Drenagem	174.421,66	0,049	0,138	4,683	0,003
1	2	Estradas	Rios	1.925.943,35	0,061	0,421	8,389	0,024
1	2	Estradas	Torre_Energia	4.203.934,74	0,091	0,565	8,813	0,033
1	2	Ferrovia	Drenagem	349.519,14	0,062	0,194	6,924	0,004
1	2	Ferrovia	Rios	13.311.274,36	0,089	0,773	10,240	0,092
1	2	Ferrovia	Torre_Energia	48.008.805,98	0,000	0,918	10,325	0,158
1	2	Drenagem	Rios	227.875,94	0,050	0,157	6,244	0,004
1	2	Drenagem	Torre_Energia	302.641,61	0,058	0,181	6,718	0,003
1	2	Rios	Torre_Energia	43.20.620,47	0,051	0,570	10,335	0,036

Fonte: Elaborado pelos autores.

3.2 Entendendo os pesos

O estudo dos efeitos dos Determinantes Espaciais sobre as transições do uso e cobertura do solo da paisagem, por meio dos seus pesos, traz elementos importantes para a avaliação das transformações espaciais no território. No modelo, como percebido na figura 03, a menor declividade produz um maior peso sobre a conversão da classe de cobertura vegetal em áreas antropizadas. Por ser um relevo formado no Vale do Rio São Francisco, a menor declividade implica em facilidade de implementação de atividades de agropecuária e em trajetos de deslocamento de menor custo, e na área de estudo, estas características parecem estimular esta transição.

No Cerrado Norte Mineiro, com base no modelo, os solos classificados como Latossolos Vermelhos Distróficos, Neossolos Quartzarênicos Órticos, e Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos tendem a atrair as classes de uso e ocupação, ampliando as chances da transição avaliada. Os latossolos, compondo boa parte do solo do território, naturalmente apresentam baixa fertilidade, porém, com manejo direcionado a correção de acidez e adubação fertilizante, cria o ambiente necessário para instalação das atividades

agrícolas (ex. pastagens, silvicultura), tornando os investimentos viáveis, considerando o baixo preço da terra na região (KER, 1997; RODRIGUES et al., 2015).

Com base nos dados da figura 05, percebeu-se que a proximidade a estradas representa um fator influenciador em torno da transição avaliada. No Cerrado, a conectividade entre os fragmentos implica em queda significativa dos custos de transporte, de deslocamento de mão de obra, de logística, e de trânsito de grandes máquinas agrícolas. Além disso, os custos locacionais são consideravelmente reduzidos devido a facilidade de acesso às rodovias (BR-135 e BR-365).

Na proximidade das margens do Rio São Francisco foi captado um fenômeno de repulsão para a transição da classe 01 para a classe 02. Provavelmente, este comportamento está ligado à normativa do Código Florestal que indica faixas às margens de rios e córregos como Áreas de Preservação Permanente – APPs (BRASIL, 2012). Além disso, estruturas institucionais como, a Delegacia Fluvial de Pirapora/MG, podem exercer um papel intimidador para tais ações.

No entanto, cumprindo com extensão legal, as áreas próximas ao Rio São Francisco apresentam estímulos à atração de atividades agropecuárias e de desenvolvimento urbano, implicando em maior peso sobre a conversão de áreas com vegetação nativa para áreas de ocupação humana. A trajetória dos pesos da variável Proximidade ao Rio está disposta na figura 06.

A proximidade da Ferrovia induz a conversão de áreas de cobertura em áreas antropizadas, como de fato é observado na figura 07. No modelo, esta variável, de forma complementar, acaba captando também, os efeitos de proximidade dos centros urbanos do território, pois a Ferrovia encontra-se bem próxima do centro urbano de Pirapora/MG. Logo, a ocupação de culturas, como soja e milho, acaba por competir por áreas próximas à ferrovia, sendo o caminho mais fácil a supressão de vegetação nativa, uma vez que a formação vegetativa da região tende a ser savânica.

A proximidade da Rede de Transmissão de Energia mostrou pesos positivos sobre a conversão da classe 01 em classe 02 na medida em que as distâncias às torres se tornaram menores. Cabe destacar, que esta rede transmissão corta horizontalmente o território ao meio. Logo, a presença destas torres representa maior facilidade de acesso à energia elétrica, elemento fundamental para o desenvolvimento de atividades agrícolas e para o desenvolvimento de vilarejos e áreas urbanas.

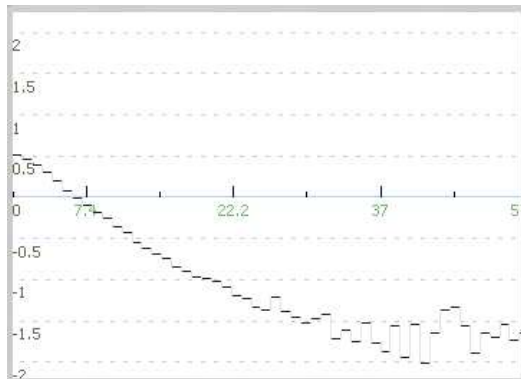
Para o fator Distância dos Segmentos de Drenagem, próximo aos segmentos os pesos tendem a ser positivos. Este fato pode estar relacionado com a possibilidade das áreas

com boa drenagem serem mais propícias às atividades humanas irrigadas, sendo alvo mais suscetíveis para a ocorrência da conversão das classes.

A distância de áreas previamente antropizadas (ou de uso e ocupação) é um componente relevante sobre a transição modelada somente nas suas imediações, havendo repulsão à medida que a distância dessas áreas aumenta. Este comportamento pode estar vinculado a um fenômeno que vem se instaurando no Cerrado da região.

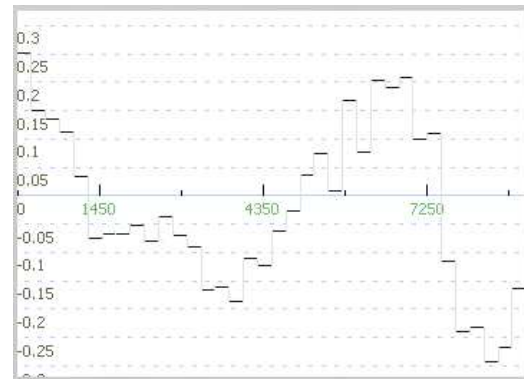
Devido ao Código Florestal vigente e os preços baixos da terra, grandes parcelas de terreno estão sendo compradas com a garantia de supressão de vegetação nativa até a Reserva Legal de 20% da propriedade (BRASIL, 2012). O impasse desta estratégia está na ampliação da fragmentação do bioma a longo prazo, colocando em risco os serviços ecossistêmicos e a sua sustentabilidade. Deste modo, os pesos podem estar refletindo esta tática.

Figura 03. Trajetória dos pesos da variável Declividade.



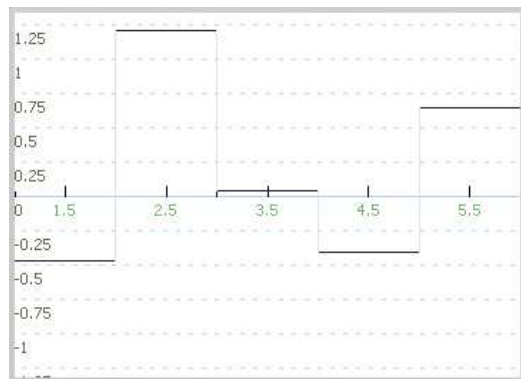
Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 05. Trajetória dos pesos da Proximidade à Estradas.



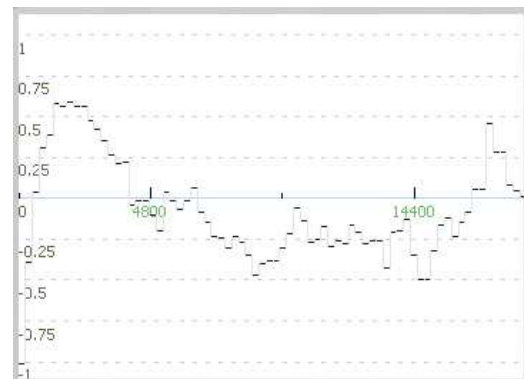
Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 04. Trajetória dos pesos da variável Solo.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 06. Trajetória dos pesos da variável Proximidade ao Rio.



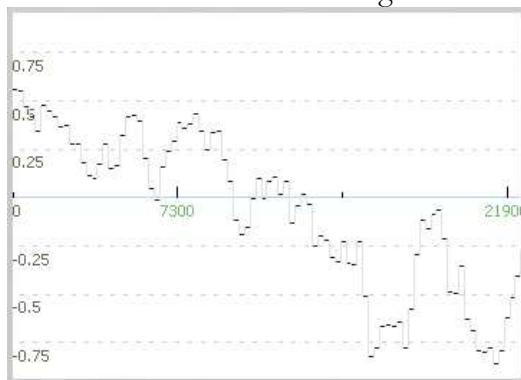
Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 07. Trajetória dos pesos da variável Proximidade da Ferrovia.



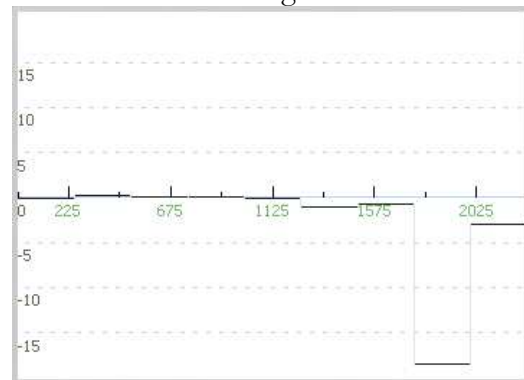
Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 08. Trajetória dos pesos da variável Proximidade das Torres de Transmissão de Energia.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 09. Trajetória dos pesos da variável Proximidade aos Segmentos de Drenagem.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 10. Trajetória dos pesos da variável Distância da Classe 02.



Fonte: Elaborado pelos autores.

3.3 Estimação do Modelo de Uso e Cobertura do Solo

Como uma das medidas de desempenho do modelo estimado, foi construída a matriz de erros e o Coeficiente Kappa da comparação do mapa de 2021 observado e do mapa de 2021 simulado – Ver tabela 03. Por meio das abordagens do produtor e do usuário, pode-se observar que o modelo teve facilidade em estimar as três classes. Por exemplo, na acurácia do produtor, ficaram evidentes as compatibilidades das classificações nos valores de 90,40% para a classe 01, 90,68% para a classe 02, e 93,28% para a classe 03. Isto implicou num grau de acerto (ou acurácia global) de 90,57%.

O Coeficiente Kappa para a comparação apresentou um valor igual a 0,814. Dentro do intervalo de desempenho desta estatística, o modelo pode ser classificado como excelente (0,8 a 1). Para esta análise, estes resultados apontam para uma estimação adequada do modelo considerando o processo de parametrização e de calibragem.

Tabela 03. Matriz de Confusão (Erros), acurácia global e o Coeficiente Kappa.

		Dados de Referência			Soma - Linha
		1	2	3	
Dados de Classificação	1	3.893.433	418.750	3.565	4.315.748
	2	408.701	4.091.793	1.550	4.502.044
	3	4.608	1.803	70.966	77.377
Soma - Coluna		4.306.742	4.512.346	76.081	8.895.169

Accuracy (%)				
Classification	User	Comission	Producer	Omission
1	90,21%	9,79%	90,40%	9,60%
2	90,89%	9,11%	90,68%	9,32%
3	91,71%	8,29%	93,28%	6,72%
Overall Accuracy		90,57%		
Kappa Estimated	Local	Kappa Variance		
1	0,810	-		
2	0,815	-		
3	0,916	-		
Global	0,814	0,000		

Fonte: Elaborado pelos autores.

Na primeira janela de tamanho, tabela 04, observando o Índice de Similaridade Fuzzyana com base no mapa inicial de 2014, foi observado um bom desempenho do modelo (66,35%). Na janela de referência (11x11), colocando o mapa de 2018 como mapa inicial, o modelo também apresentou bom desempenho (67,15%). Com estes indicadores, a preocupação é sempre ajustar o modelo de forma que ele possa ter o maior grau de predição possível, haja vista que o interesse é a construção dos cenários.

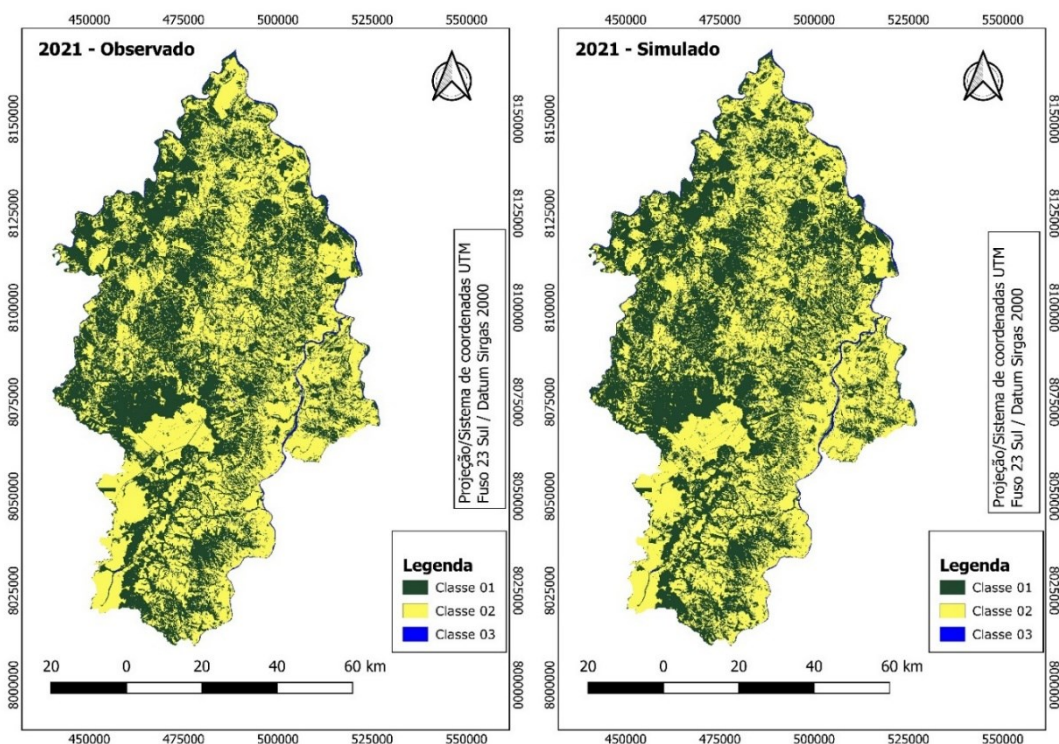
Tabela 04. Índice de Similaridade Fuzzy (ISF) para o modelo estimado.

Window Sizes	Mapa Inicial = 2018		Mapa Inicial = 2014	
	Minimum Similarities	Maximum Similarities	Minimum Similarities	Maximum Similarities
1	8,19%	18,08%	61,42%	66,35%
3	10,28%	28,81%	73,97%	74,41%
5	11,73%	40,02%	79,63%	80,06%
7	12,97%	50,41%	83,78%	84,23%
9	14,12%	59,47%	87,17%	87,42%
11	15,20%	67,15%	89,87%	89,90%
13	16,25%	73,47%	91,88%	92,04%
15	17,27%	78,48%	93,44%	93,66%
17	18,24%	82,34%	94,68%	94,88%
19	19,16%	85,35%	95,66%	95,83%
21	20,03%	87,73%	96,47%	96,58%

Fonte: Elaborado pelos autores.

Além disso, estes valores são esperados, pois o modelo é simples, pois avalia somente uma transição num total de 03 classes. Logo, a complexidade do modelo é reduzida, porém, num tom parcimonioso, seus resultados implicam num cenário complexo que vem sendo construído em volta do bioma, de modo a localizar a validade desta estimação. Os mapas, observado e simulado para o ano de 2021, estão contidos na figura 11.

Figura 11. Área de estudo observada e simulada em 2021.

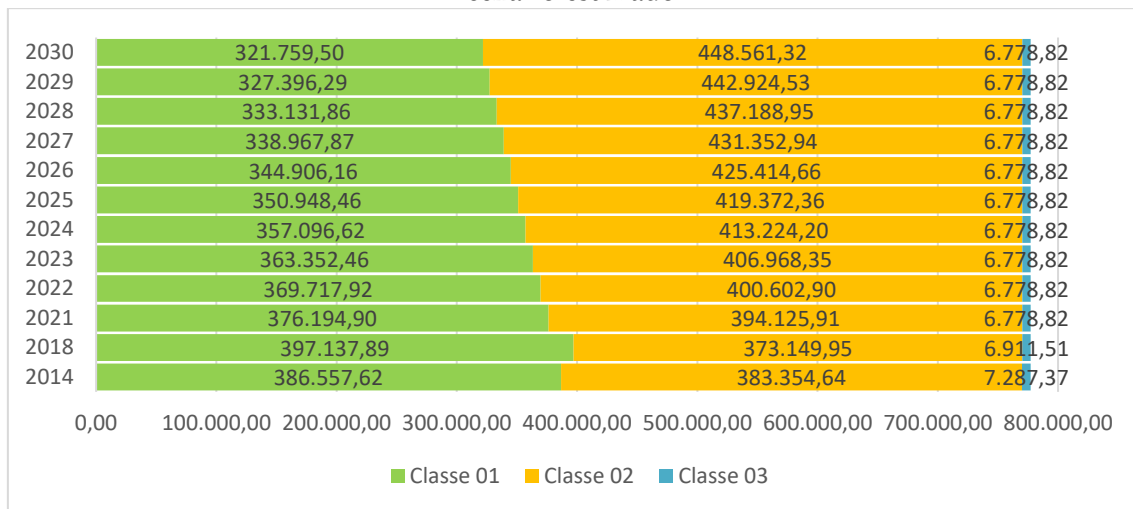


Fonte: Elaborado pelos autores.

3.3 Cenários e perspectivas de futuros

O gráfico 01 mostra o comportamento das classes para o cenário estimado. Este cenário representa o futuro provável, caso as pressões sobre a paisagem continuem seguindo o padrão vigente. Com base nos dados, é possível verificar a redução da classe 01 (áreas de cobertura vegetal) de 376.194,90 hectares em 2021 para 321.759,50 hectares em 2030, representando uma redução da vegetação nativa característica do Cerrado em 14,5% em 09 anos.

Gráfico 01. Áreas (em hectares) das classes entre o período de 2014 e de 2030 para o cenário estimado.



Fonte: Elaborado pelos autores.

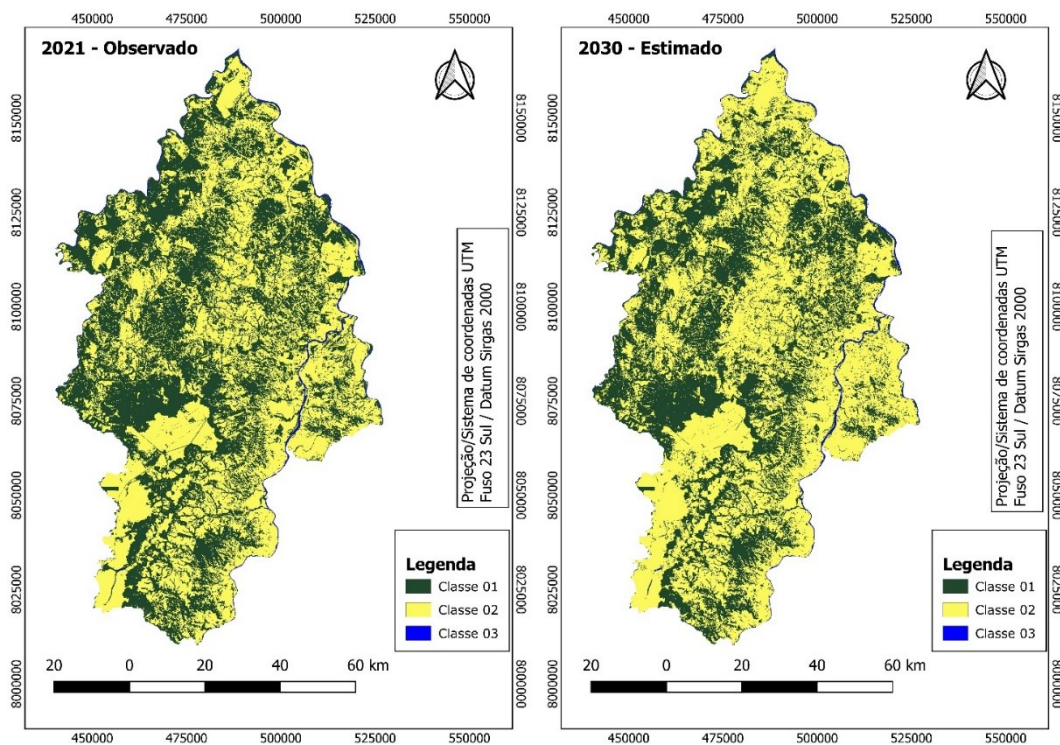
Estes dados corroboram com a ideia de que a especialização produtiva em culturas agroexportadoras na região de estudo pode ser um ponto de inflexão sobre as discussões de conservação e preservação do bioma. Os investimentos infraestruturais e a facilidade de implementação de culturas, como café, soja, citrus, entre outras culturas de exportação, em conjunto com o baixo preço da terra e a localização da mesorregião, criam um ambiente propício para a sedimentação de um modelo agroexportador às custas de grandes supressões de vegetação nativa. A curvatura deste ponto está na capacidade de compra pelos produtores de grandes parcelas de terras, que associada a uma fiscalização aquém da necessária e uma legislação contraproducente à preservação, permite a supressão de grandes quantidades de áreas de vegetação nativa, desde que obedeça a manutenção da Reserva Legal de 20% (BRASIL, 2012).

Além disso, a região, devido seu potencial de irradiação solar, tem atraído a atenção de grandes produtoras de usina solar, inclusive, a área de estudo, já se observa algumas (OLIVEIRA *et al.*, 2021). O dilema da instalação das usinas é a ocupação de grandes áreas para a geração de energia elétrica numa quantidade significativa. Deste modo, o alojamento destas usinas tem determinado a supressão de grandes áreas de cobertura vegetal, adicionando mais um drive de pressão sobre o ecossistema local.

Á área de estudo contempla ainda uma grande parcela de estruturas de vegetação nativa características do Cerrado, porém, caso o Estado ou os municípios não repensem as estratégias econômicas, considerando um adequado planejamento territorial, boa parte da flora, da fauna, e dos serviços ecossistêmicos do bioma, estarão ameaçados. Provavelmente,

as populações e as estruturas tradicionais também seguirão este mesmo percurso. O mapa resultante para o ano de 2030 pode ser verificado na figura 12.

Figura 12. Áreas de cobertura natural (em verde) observado em 2021 e projetado para 2030.



Fonte: Elaborado pelos autores.

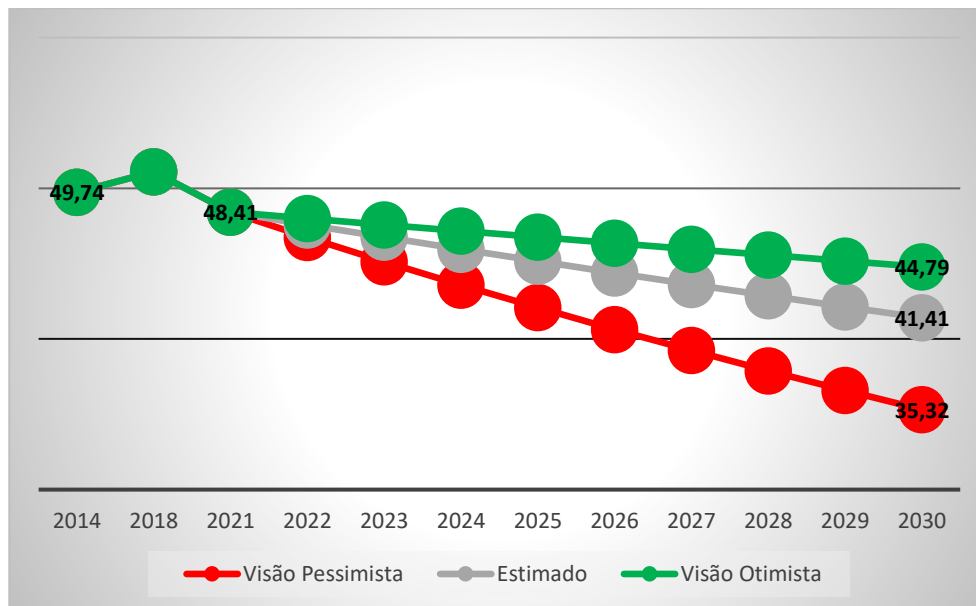
O gráfico 02 exibe as projeções das áreas de cobertura da região de estudo em termos de proporção. Com base nestas informações, é possível observar que quanto mais estimulado for as atividades de uso e ocupação do solo no território maior será a supressão de vegetação. Por exemplo, considerando o cenário pessimista (dobro da taxa de conversão), até 2030, é possível que a área de representação do Cerrado em relação à paisagem analisada caía de próximo da metade do território (48,41%) para pouco mais de um terço no ano de 2030 (35,32%), seriam perdas significativas.

Ao observar que neste período (2014 a 2021) o quadro econômico de referência era de recessão econômica e estagnação (BALASSIANO; PESSÔA, 2021; HORTA; GIAMBIAGI, 2018), bastaria a alteração desta tela para um panorama positivo para que este cenário tornasse provável de ocorrência.

O cenário otimista (metade da taxa de conversão) seria a trajetória mais aceitável em termos do que se espera para o futuro, ou seja, uma queda de 3,62% de 2014 para 2030 – Ver a figura 13. Porém, para a ocorrência deste cenário, não teria outro caminho que a

transformação do modelo de uso e ocupação vigente, sendo estimulado por uma política territorial e ambiental local imperativa, ou por uma nova lógica coletiva (de governança) em torno da sustentabilidade ambiental.

Gráfico 02. Proporção (%) das áreas de cobertura natural em relação à área da paisagem entre o período de 2014 a 2030 para o cenário pessimista, estimado e otimista.



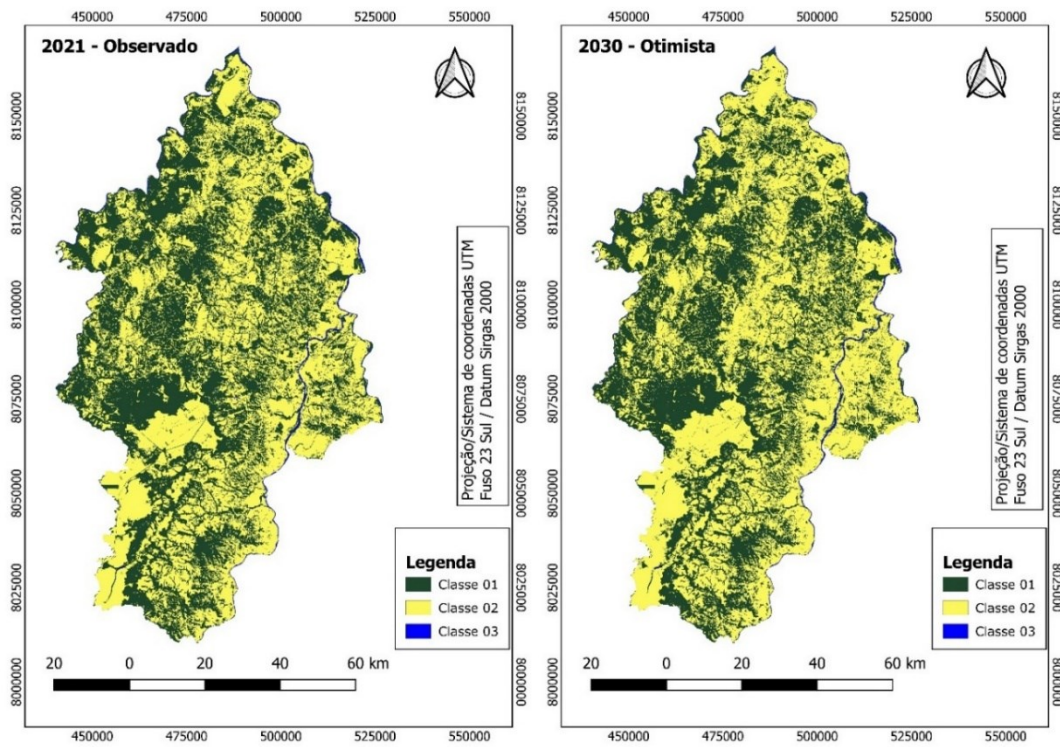
Fonte: Elaborado pelos autores.

Adicionalmente, Martine e Alves (2015, p. 455) ressaltam que as “crises econômicas, sociais e ambientais refletem a incapacidade de se gestar os graves problemas planetários provocados pelo modelo de desenvolvimento”. Isto é, se não houver a incorporação da biocapacidade da terra e da manutenção da biodiversidade nos modelos de crescimento econômico, não há possibilidade de concretizar as três bases necessárias (econômica, social e ambiental) para a sustentabilidade (MARTINE; ALVES, 2015).

Nos cenários calculados, as áreas de cobertura vegetal seriam de 274.440,91 hectares em 2030 para o cenário pessimista e de 348.032,42 hectares em 2030 para o cenário otimista. Deste modo, as reduções das áreas do Cerrado no período de 9 anos ficariam circunscritas num intervalo de 7,5% (no melhor cenário) e de 27% (no pior cenário).

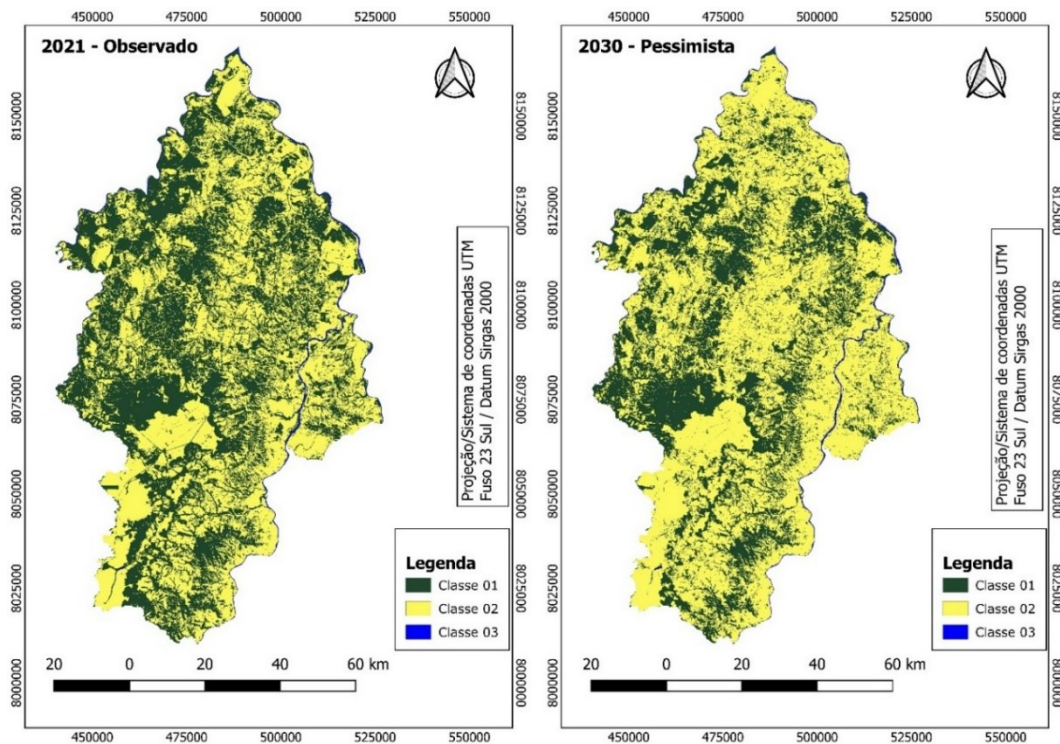
Isto é, a forma como serão conduzidos os investimentos e os estímulos à ocupação do solo na região ditará o processo de supressão da vegetação do Cerrado. Desta forma, a pergunta orientadora deste processo deve ser: Qual o cenário que queremos para os próximos anos? O mapa da área de estudo para o ano de 2030, ponderando a visão sobre o futuro pessimista, pode ser observado na figura 14.

Figura 13. Áreas de cobertura natural (em verde) observado em 2021 e projetado para 2030 no cenário otimista.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 14. Áreas de cobertura natural (em verde) observado em 2021 e projetado para 2030 no cenário pessimista.



Fonte: Elaborado pelos autores.

4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os cenários são imprescindíveis, na modelagem ambiental, por indicar possíveis dilemas e pontos de reflexão sobre o que esperamos para o futuro quanto ao objeto de avaliação. Em um mundo cada vez mais povoado e poluído, os cuidados com os ecossistemas e seus serviços precisam estar em pauta e sair da agenda de discussão internacional e passar a compor a agenda de discussão local.

Mais do que isso, é imperativo já o poder público local promover ações e aprimoramentos nas legislações municipais para proteção e conservação do ecossistema em questão. Os dados e os cenários projetados vêm mostrando exatamente este panorama da necessidade de se pensar modelos econômicos e de governança que priorizem a proteção e conservação do Cerrado.

Além do mais, a solidificação de um modelo agroexportador na mesorregião, reforçado pelos grandes projetos de usinas solares e investimentos infraestruturais, vem colocando elementos adicionais sobre a discussão da necessidade planejamento territorial para preservação das estruturas produtivas locais e conservação do Bioma Cerrado. Fora os problemas recorrentes da região em relação ao processo de desertificação, crise hídrica, alto volume de incêndios, desmatamentos ilegais e a existência de trabalhos precários em condições análogas à escravidão.

Cabe destacar que apesar da simplicidade do modelo apresentado, o quadro que vem se mostrando na região é bem complexo. O crescimento econômico da região tem que ser promovido, no entanto, deve estar comprometido com a sustentabilidade ambiental e a manutenção dos serviços ecossistêmicos promovidos pelo bioma.

Adicionalmente, com o preparo e a gestão dos recursos naturais agora, permitirá, com a possível mudança de conjuntura econômica, direcionar os projetos que mais favoreçam o desenvolvimento econômico regional sustentável, como previsto nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e na Convenção sobre Diversidade Biológica. Caso contrário, o mais provável seja a consolidação do cenário pessimista, com a intensificação do processo de fragmentação do Cerrado.

5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, A. et al. Mapping Three Decades of Changes in the Brazilian Savanna Native Vegetation Using Landsat Data Processed in the Google Earth Engine Platform. *Remote Sensing*, v. 12, n. 6, p. 924, jan. 2020.

BALASSIANO, M. G.; PESSÔA, S. DE A. Desempenho da economia brasileira nos últimos oito quadriênios (1987-2018): um estudo em painel comparando os dados observados e

previsto. XXIV Encontro de Economia da Região Sul. *Anais...* In: ANPEC SUL. Florianópolis, Brasil: 2021. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/https://www.anpec.org.br/sul/2021/submissao/files_I/i6-0e903480b394a0e4be63b63df9a6c313.pdf>

BONHAM-CARTER, G. F. CHAPTER 8 - Tools for Map Analysis: Map Pairs. In: _____ . *Geographic Information Systems for Geoscientists*. [s.l.] Pergamon, 1994. p. 221–266.

BRANCO, T. L.; ALMEIDA, C. M. DE; FRANCISCO, C. N. Modelagem Dinâmica Espacial das Mudanças de Uso e Cobertura da Terra na Região Hidrográfica da Baía da Ilha Grande-RJ: um Enfoque Sobre Comunidades Tradicionais e Unidades de Conservação. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 74, n. 1, p. 137–158, 2 fev. 2022.

BRASIL. Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 25 Mai. 2012. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm>. Acesso em: 1 jul. 2023.

CBD. **Convention on Biological Diversity (CBD): Aichi Biodiversity Targets**. 2020. Disponível em: <https://www.cbd.int/sp/targets/>. Acesso em: 7 nov. 2022.

CERQUEIRA, M. C. et al. Landscape fragmentation in a buffer zone and the Nascentes das Geraizeiras Sustainable Development Reserve, Minas Gerais. *Ciência Florestal*, v. 31, p. 607–633, jun. 2021.

CRUZ, G. C. DA; RIBEIRO, E. M.; GALIZONI, F. M. Semiárido, seca e “gerais” do Norte de Minas: uma revisão da bibliografia sobre o Alto-Médio São Francisco. *CAMPO-TERRITÓRIO: revista de geografia agrária*, 31. v. 13, n. 31, p. 29–56, 2018.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Mapa de solos do Brasil**. 2022. Disponível em: <http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode/%3Abrasil_solos_5m_20201104>. Acesso em: 6 jul. 2023.

GRAÇA, P. et al. Modelagem de desmatamento e emissões de gases de efeito estufa na região sob influência da Rodovia Manaus-Porto Velho (BR-319). *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 24, n. 2, p. 208–233, 2009.

HINATA, S. D. S.; BASSO, L. A.; REKOWSKY, I. C. Transformações espaciais na Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba/RS no período 1985 a 2020 e cenários para 2030 e 2050. *Geoumbrasil*, n. 42, p. 70767, 18 maio 2023.

HORTA, G. T. DE L.; GIAMBIAGI, F. **Perspectivas DEPEC 2018: o crescimento da economia brasileira 2018-2023**. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, Rio de Janeiro, abr. 2018. Disponível em: <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/14760>. Acesso em: 6 jul. 2023

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Portal de mapas do IBGE**. 2022a. Disponível em: <<https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#homepage>>. Acesso em: 6 jul. 2023.

IBGE. **Portal Cidades: Pirapora/MG**. 2022b. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/pirapora/panorama>>. Acesso em: 6 nov. 2022.

IBGE. **Portal Cidades: Buritizeiro/MG**. 2022c. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/buritizeiro/panorama>>. Acesso em: 5 nov. 2022.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **TOPODATA - Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil**. 2022 Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acesso em: 6 jul. 2023.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Coordenação Geral de Observação da Terra. **Programa de Monitoramento da Amazônia e demais Biomas. Avisos – Bioma Cerrado**. 2023. Disponível em: <<http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/alerts/biomes/cerrado-nb/daily/>>. Acesso em: 29 jun. 2023.

KER, J. C. Latossolos do Brasil: uma revisão. *Geonomos*, 1. v. 5, n. 1, p. 17–40, 1 jul. 1997.

LATUF, M. DE O.; RIOS, G. DA S.; PEREIRA, R. C. Análise multitemporal de incêndios florestais ocorridos no Estado de Minas Gerais entre 2001 e 2020. *Revista Cerrados*, v. 20, n. 01, p. 120–148, 1 fev. 2022.

MAPBIOMAS. **Mapbiomas Brasil: Coleções MapBiomas**. 2022. Disponível em: <https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR>. Acesso em: 5 dez. 2022.

MARQUES, M. V. A.; MOREIRA, A. A.; NERY, C. V. M. Diagnóstico da desertificação na região Norte de Minas Gerais por meio de técnicas de geoprocessamento. *Boletim de Geografia*, v. 35, n. 2, p. 99–116, 1 dez. 2017.

MARTINE, G.; ALVES, J. E. D. Economia, sociedade e meio ambiente no século 21: tripé ou trilema da sustentabilidade? *Revista Brasileira de Estudos de População*, v. 32, p. 433–460, dez. 2015.

MINAS GERAIS. **Secretaria de Estado de Transportes e Obras Públicas de Minas Gerais (SETOP-MG): Contrato Concessão BR-135**. 2018. Disponível em: <<http://www.ppp.mg.gov.br/images/2020/BR-135/Contrato%20Concessão%20BR-135.pdf>>. Acesso em: 7 nov. 2022.

OLIVEIRA, A. M. DE; MARIO, M. C.; PACHECO, M. T. T. Renewable electric energy sources: evolution of the supply of photovoltaic energy in Brazil until 2050. *Brazilian Applied Science Review*, v. 5, n. 1, p. 257–272, 11 fev. 2021.

ONU. **The Sustainable Development Goals Report 2018**. United Nations, New York. 2018. Disponível em: <<https://unstats.un.org/sdgs/files/report/2018/thesustainabledevelopmentgoalsreport2018-en.pdf>>. Acesso em: 7 nov. 2022.

ONU. **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development**. 2022. Disponível em: <<https://sdgs.un.org/2030agenda>>. Acesso em: 7 nov. 2022.

REN, Y. et al. Spatially explicit simulation of land use/land cover changes: Current coverage and future prospects. *Earth-Science Reviews*, v. 190, p. 398–415, 1 mar. 2019.

RODRIGUES, P. M. S. et al. Solos, relevo e vegetação determinam os geoambientes de unidade de conservação do norte de Minas Gerais, Brasil. *Neotropical Biology and Conservation*, v. 10, n. 1, p. 31–42, 2015.

SANTOS, R. J. N. DOS. *A trajetória de desenvolvimento do município de Pirapora: dos vapores ao turismo*. 2017. 117f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Social) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Social/PPGDS, Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES), Montes Claros.

SOARES-FILHO, B. S.; RODRIGUES, B. S.; COSTA, W. L. S. **Modeling Environmental Dynamics with Dinamica EGO**. Belo Horizonte: Britaldo Silveira Soares-Filho, 2009.

SOUZA, Í. N. P. DE; NÓBREGA, R. A. DE A.; RIBEIRO, S. M. C. O Papel das Infraestruturas Ferroviárias nas Mudanças de Uso e Cobertura do Solo no MATOPIBA. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 38, p. 123–136, 13 dez. 2019.

SUAREZ, A. F.; SOARES-FILHO, B. S. Estudo da Mudança de Uso e Cobertura do Solo na Bacia do Rio Formiga - MG. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 65, n. 3, p. 417–429, 24 maio 2013.

VLI. **Terminal Integrador Pirapora (TIPI)**. 2022 Disponível em: <<https://www.vli-logistica.com.br/ativos-mapa/terminal-integrador-pirapora-tipi/>>. Acesso em: 7 nov. 2022.

Agradecimentos

Ao apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 – e a toda estrutura do Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil.