UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
COORDENADORIA DO CURSO DE GEOGRAFIA

MODELAGEM DE USO E COBERTURA DA TERRA: ANÁLISE AMBIENTAL DA BACIA DO RIO DOCE (MG/ES)

Autor: Jean Euzébio Lima Oliveira

Orientador: Dr. Gabriel Pereira

SÃO JOÃO DEL-REI - MG
2025

MODELAGEM DE USO E COBERTURA DA TERRA: ANÁLISE AMBIENTAL DA BACIA DO RIO DOCE (MG/ES)

Monografia apresentada à Coordenadoria do Curso de Geografia da Universidade Federal de São João del-Rei, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geografia.

Aluno: Jean Euzébio Lima Oliveira

Orientador: Prof. Dr. Gabriel Pereira

SÃO JOÃO DEL-REI - MG

2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus que me abençoou para a realização desse curso, a minha amada mãe Joselma Dourado Lima Oliveira, que permitiu que seu filho caçula pudesse estudar distante de casa e continuou me dando total apoio durante meu curso. Sou grato pelo pai que tive, Giuliano Gemma Oliveira, que durante seus anos de vida me ajudou a moldar o meu caráter e me ensinou a como depender de Deus e a confiar nEle em todos os momentos difíceis e felizes da minha vida. Agradeço também ao meu tio, Prof. Dr. Vagson Luiz de Carvalho Santos, o qual eu tenho total admiração tanto como pesquisador como ser humano, por todo apoio e inspiração para que eu pudesse continuar avançando na vida acadêmica. A minha tia Josemeire Dourado que juntamente ao meu tio citado anteriormente me fizeram seu "filho" na sua família, e ao longo desses anos tem me dado amor e carinho. Agradeço aos meus irmãos Jhonatan e Jessica Raisa que muitas vezes me ajudaram financeiramente durante o curso, como também a toda minha família pelo amor e carinho.

Agradeço a Bia Ferrarezi que foi minha companheira desde que comecei a graduação presencial, nunca me deixou desistir dos meus sonhos e foi paciente comigo em todos os momentos difíceis da minha vida, me dando apoio, carinho e inspiração para que eu prosseguisse com os meus objetivos.

Agradeço a minha segunda "família", Andréa, Ma. Débora, Davi, Isabelle, Peter e Pr. Paulo. A Igreja Adventista do Sétimo Dia de São João del-Rei e ao Clube de Desbravadores Del Rei. Agradeço também aos meus sogros, Celso Ferrarezi e Rosilene, por me receberem em sua família e todo o carinho e amor. Agradeço também aos meus cunhados Wagner e Lucas, e suas esposas Elaine e Suelen.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Gabriel Pereira que aceitou me orientar durante parte de meu curso, onde me ajudou no meu crescimento acadêmico e como pesquisador, como também as os conselhos recebidos durante nossas viagens de campo.

Agradeço ao meu amigo e "coorientador" Me. Paulo Ricardo Rufino pela dedicação e ajuda nos projetos que fui desenvolvendo, como também pelo ensinamento e conselhos profissionais e acadêmicos.

Meus agradecimentos à banca examinadora composta pelo Me. Paulo Ricardo Rufino e o Prof. Dr. Björn Gücker pela disponibilidade para a avaliação desse projeto. Aos meus colegas do LABSER- Laboratório de Sensoriamento Remoto Aplicado ao Clima.

Aos meus amigos/amigas de curso, Rafael Henrique Hordones, Heloísa Leão, Heloísa Alves, Karen Vitória, Maria Eduarda, Rafael Quetz, Beatriz, Marcus Vinicius e Livia Nascimento, agradeço a todos pela amizade que desenvolvemos durante o curso. A agências financiadoras CNPq e FAPEMIG, pelas bolsas fornecidas durante a graduação e a instituição da Universidade Federal de São João del-Rei, com também a secretária do curso Wania Ferreira, que me auxiliou na parte administrativa durante o curso.

"Se você semeia o pensamento você semeia a ação ou ato, a ação semeia o hábito, o hábito semeia o caráter, o caráter semeia o destino." *Giuliano Gemma Oliveira, 2010.*

RESUMO

A Bacia Hidrográfica do Rio Doce, localizada entre os estados de Minas Gerais e Espírito Santo, desempenha um papel crucial tanto no contexto ambiental quanto no desenvolvimento socioeconômico da região. No entanto, desafios como a expansão agropecuária, a mineração e o crescimento urbano têm impulsionado a conversão de áreas naturais, resultando em desmatamento, degradação ambiental e fragmentação dos ecossistemas. Utilizando ferramentas de geoprocessamento e modelagem espacial, como Google Earth Engine, QGIS e Dinamica EGO, foram analisados dados de uso da terra entre 2000 e 2020, visando compreender as transformações na paisagem e seus desdobramentos ambientais. Os resultados evidenciaram a predominância da conversão de áreas florestais para agropecuária, um processo que acelera a fragmentação dos ecossistemas e compromete a biodiversidade. Além disso, as projeções para os anos de 2030 e 2050 indicam a continuidade dessas tendências, embora apontem também possibilidades de reflorestamento em determinadas áreas. Essas dinâmicas ressaltam a necessidade de estratégias eficazes de conservação e uso sustentável da terra, especialmente em uma bacia hidrográfica de grande importância ecológica e socioeconômica. A modelagem espacial permitiu não apenas identificar padrões de transformação da paisagem, mas também subsidiar discussões sobre políticas de mitigação e planejamento ambiental voltadas à redução dos impactos do desmatamento.

Palavras-chave: Bacia do Rio Doce; Geoprocessamento; Modelagem; Uso e Cobertura do Solo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de Localização.---------- 12
Figura 2 - Gráfico de distribuição de classes em porcentagem na Bacia do Rio Doce.---------- 13
Figura 3 - Mapa de uso e cobertura, 2023 (produzido pelo autor).---------- 14
Figura 4 - Comparação de entre classes disponibilizadas e classes utilizadas no trabalho.---------- 17
Figura 5 – Distribuição espacial das variáveis.---------- 19
Figura 6 - Etapas Dinamica EGO.----------21
Figura 7 - Interface Dinamica EGO.---------- 22
Figura 8 - Estrutura para criação de simulação e probabilidade.----------24
Figura 9 - Mapa de similaridade gerado no Dinamica EGO.---------- 24
Figura 10 - Comparação do mapa real e simulado uso e cobertura 2015.---------- 25
Figura 11 - Comparação do mapa real e simulado uso e cobertura 2020.----------26
Figura 12 - Simulação de uso e cobertura para o ano de 2030.----------28
Figura 13 - Modelo futuro de uso e cobertura 2050.----------28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Aquisição de dados.---------- 14
Tabela 2 - Adaptado da tabela de códigos do MapBiomas coleção 9 (2023).---------- 15
Tabela 3 - Transição dos anos de 2000 a 2015.---------- 22
Tabela 4 - Dados comparativos entre dados reais e simulados 2015 em porcentagem.---------- 25
Tabela 5 - Dados comparativos entre dados reais e simulados 2020 em porcentagem.---------- 26
Tabela 6 - Dados comparativos de 2023, 2030 e 2050 em porcentagem.---------- 29

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO---------- 8
1.1 Objetivo geral---------- 9
1.2 Objetivos específicos---------- 9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA---------- 9
2.1 Uso e Cobertura da Terra---------- 9
2.2 Modelagem Espacial---------- 10
3. MATERIAIS E MÉTODOS---------- 11
3.1 Área de estudo - Bacia hidrográfica do Rio Doce (MG/ES)---------- 11
3.2 Coleta dos dados.---------- 14
3.3 Processamento e análise espacial---------- 17
3.4 Modelagem e cenários futuros---------- 19
3.4.1 Validação e interpretação dos resultados---------- 20
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES---------- 24
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS---------- 30
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS---------- 32

1. INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas desempenham um papel muito importante nos ecossistemas terrestres, pois além da regulação hidrológica e suporte fornecido a biodiversidade, elas também influenciam no regime de chuvas e na temperatura das regiões onde estão localizadas, afetando diretamente o clima local (CARVALHO BRAGA, 2012; ROCHA et al., 2014; PIROLI e DE ÁVILA, 2014; LOLLO et al., 2018). As bacias hidrográficas saudáveis e com suas funções ecológicas e biodiversidade mantidas, contribuem para a segurança hídrica e, consequentemente, para os usos múltiplos da água, o bem-estar e a qualidade de vida da população, para atividades humanas, como abastecimento público, agricultura e indústria (TOLEDO PIZA et al., 2015; PACHECO e GOMES, 2024). Sendo um pilar estratégico do desenvolvimento econômico, a preservação dessas áreas é essencial para garantir a disponibilidade de água limpa e saudável e para a preservação da biodiversidade (CAMPOS et al., 2018). A má gestão das bacias hidrográficas pode afetar diretamente os serviços ecossistêmicos fornecidos pelas bacias, comprometendo a sustentabilidade ambiental e a qualidade de vida das populações dependentes desses recursos (SANTOS e LEAL, 2014; PIROLI, 2022).

As mudanças no uso da terra podem desencadear uma série de problemas ambientais, incluindo a degradação do solo, o aumento da probabilidade de erosão, a perda de biodiversidade e a contaminação dos corpos d'água (HERNANI et al., 2002; FUSHIMI et al., 2024), além disso, a conversão de pastagens em lavouras pode aumentar as emissões de gases de efeito estufa (BENTO et al., 2017). De acordo com o PNUMA (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente) “Potencial do solo e da agricultura no combate às mudanças do clima” (2019), práticas inadequadas de manejo do solo e mudanças no uso da terra são fatores determinantes para a degradação ambiental. Além disso, a conversão de áreas naturais em pastagens, lavouras ou espaços urbanos reduz a capacidade das bacias hidrográficas de desempenharem suas funções essenciais, como a recarga de aquíferos e a regulação de cheias (VANZELA et al., 2010).

Diante das interações entre os fatores que influenciam o uso e a ocupação do solo, torna-se essencial o emprego de metodologias que permitam simular diferentes cenários futuros. A modelagem de cenários futuros para bacias hidrográficas, em particular, é uma metodologia que permite simular diferentes possibilidades de uso da terra. Para a realização de estudos e análises relacionados a utilização e mudança no uso do solo, as ferramentas de

geoprocessamento e modelagem espacial trazem bastante contribuição para entender a dinâmica do uso e ocupação do solo, bem como para prever os impactos futuros sobre os recursos naturais (SOARES-FILHO et al., 2004; SOARES-FILHO et al., 2006; XAVIER e SILVA, 2018; SANTOS et al., 2024). Esses cenários auxiliam na identificação de áreas prioritárias para a conservação, no planejamento territorial e na implementação de estratégias que visem mitigar os impactos negativos do desmatamento e de outras atividades humanas (LEITE-FILHO et al., 2020; COELHO, 2009; NASCIMENTO, 2019; BRANCO et al., 2022; SOUZA et al., 2024).

O papel das bacias hidrográficas no contexto socioambiental é de extrema relevância, sobretudo diante da crescente pressão antrópica sobre os ecossistemas. Compreender as relações entre os processos antrópicos e as dinâmicas naturais é fundamental para promover um desenvolvimento mais equilibrado e sustentável. É nesse contexto que se insere o presente estudo, cujo objetivo é desenvolver modelos de cenários futuros de uso e cobertura para o entendimento dos impactos do uso do solo na Bacia do Rio Doce.

1.1 Objetivo geral

Este trabalho teve como objetivo a criação de cenários de mudança do uso e cobertura da terra, com base nos dados anuais de 2000 a 2020 do MapBiomas, para analisar o desmatamento na Bacia do Rio Doce. A partir dos dados de uso e cobertura, variáveis de distâncias urbanas, rodovias, rios e de conservação ambiental, foram realizadas projeções para os anos de 2030 e 2050, utilizando o software Dinamica EGO, a fim de compreender as tendências e impactos futuros do desmatamento na região.

1.2 Objetivos específicos

- Análise da distribuição geográfica do desmatamento e detecção de hotspots das mudanças.
- Criação de cenários futuros de uso e cobertura para os anos de 2030 e 2050.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Uso e Cobertura da Terra

Estudar sobre o uso e cobertura da terra é bastante importante para compreender as transformações ambientais e socioeconômicas em diferentes regiões. Os dados disponíveis servem como base para modelos hidrológicos e de cenários futuros, auxiliando na gestão ambiental ao mapear padrões de uso e cobertura da terra, caracterizar paisagens e desvendar

os processos que as moldam (FERRARI, 2008; SILVA, 2020; SANTOS e NUNES, 2021). Esses dados são fundamentais para o planejamento territorial, pois fornecem informações detalhadas sobre a distribuição espacial de diferentes tipos de cobertura e uso da terra, como florestas, áreas agrícolas, áreas urbanas e corpos hídricos (CÔRTES e D'ANTONA, 2014; GOMES et al., 2020).

Estudos indicam que as mudanças no uso e cobertura da terra no Brasil estão diretamente relacionadas às emissões de gases de efeito estufa e à perda de biodiversidade. O desmatamento para a expansão agropecuária, por exemplo, tem sido um dos principais fatores que contribuem para o aumento das emissões de dióxido de carbono (CO_2) e a fragmentação dos habitats naturais (DE SOUSA et al., 2020). A perda de áreas florestais não apenas reduz a biodiversidade, mas também compromete os serviços ecossistêmicos, como a regulação do clima, a qualidade e disponibilidade da água e a proteção do solo contra a erosão (BUSTAMANTE et al., 2019; PARENTE et al., 2019).

O MapBiomas tem se consolidado como uma ferramenta essencial para o monitoramento das mudanças de uso e cobertura da terra no Brasil. A plataforma fornece dados detalhados que permitem análises multitemporais, essenciais para a compreensão das dinâmicas ambientais (NUNES e SANTOS, 2022; ROCHA et al., 2024; FRANCISCO et al., 2023; SOUZA JR et al., 2023; NETO et al., 2024). Estudos têm utilizado os dados do MapBiomas para avaliar a efetividade de normativas legais na proteção de áreas naturais, demonstrando variações significativas nos índices de vegetação ao longo do tempo (COELHO-JUNIOR et al., 2022; ARRUDA et al., 2024).

Além disso, a plataforma auxilia na identificação de padrões de desmatamento e na avaliação de políticas públicas relacionadas à conservação ambiental. A precisão e a abrangência dos dados fornecidos pelo MapBiomas tornam-no uma ferramenta valiosa para pesquisadores, gestores públicos e organizações não governamentais engajadas na preservação dos recursos naturais (ALENCAR et al., 2022; BAEZA et al., 2022).

2.2 Modelagem Espacial

A modelagem espacial é uma abordagem essencial para compreender e prever as dinâmicas ambientais e territoriais, permitindo a representação de fenômenos geográficos em formatos digitais (KAWASHIMA et al., 2016). A criação de modelos facilita a análise de padrões espaciais e temporais, auxiliando na tomada de decisões relacionadas ao planejamento urbano, gestão ambiental e uso sustentável dos recursos naturais (SABOYA,

2000; TRENTIN e FREITAS, 2011; PISANI et al., 2016; ALMINO e RUFINO, 2020).

Entre as diversas ferramentas disponíveis para modelagem espacial, destaca-se o Dinamica EGO, uma plataforma desenvolvida para simular dinâmicas de paisagens e sistemas ambientais. O Dinamica EGO permite a construção de modelos espaciais complexos por meio de uma interface gráfica intuitiva, onde os usuários podem criar fluxos de dados conectando diferentes operadores (RODRIGUES et al, 2007; FERREIRA et al., 2018; BRANCO et al., 2022). As aplicações do Dinamica EGO são amplas, podendo auxiliar em estudos de crescimento urbano, desmatamento e análise climática (SOARES-FILHO et al, 2006; ANDRADE et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2021; MARQUES-CARVALHO et al., 2023).

A estrutura modular do Dinamica EGO permite a integração de diversos tipos de dados espaciais, facilitando a incorporação de variáveis ambientais, socioeconômicas e físicas nos modelos. Essa característica é particularmente útil em estudos que buscam entender as interações entre diferentes fatores que influenciam as mudanças na paisagem. Além disso, a plataforma oferece métodos de calibração e validação que aumentam a confiabilidade das simulações, permitindo ajustes finos nos modelos para melhor representar a realidade observada (LEITE-FILHO et al., 2020; MACEDO et al., 2013; NASCIMENTO, 2019; DUTRA et al., 2022; SILVA et al.,2023).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia deste estudo baseia-se nos trabalhos de Soares-Filho (2006), Davidson (2012) e Guimberteau (2017), que defendem a criação de cenários relacionados às mudanças climáticas e ao desmatamento sendo realizada com base em dados precisos sobre o uso da terra. A modelagem foi conduzida por meio do software Dinamica EGO, que possibilita a construção de modelos detalhados para desmatamento, expansão agrícola, degradação florestal, expansão urbana, entre outras alterações no uso e cobertura da terra. O guia do próprio Dinamica EGO, disponível gratuitamente no site, foi utilizado para orientar o processo (LEITE-FILHO et al., 2020).

Para que o trabalho fosse realizado foram utilizadas as seguintes ferramentas, Google Earth Engine (GEE), Qgis e Dinamica EGO. Através do Google Earth Engine foram baixados os dados de uso e cobertura do MapBiomas em formato “.tif”, os dados em formato .shp e o modelo digital de elevação foram obtidos em diferentes sites oficiais disponíveis por órgãos governamentais que serão detalhados ao decorrer do desenvolvimento.

3.1 Área de estudo - Bacia hidrográfica do Rio Doce (MG/ES)

A Bacia Hidrográfica do Rio Doce, situada entre as latitudes 17°43'890" S e 21°12'690" S, e longitudes 43°50'51,000" O e 39°40'32,520" O, possui uma área de drenagem de 84.000 km² distribuída pelos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, sendo 86% presentes no Estado de Minas Gerais e 14% no Espírito Santo (ANA, 2016). Esta bacia possui uma grande biodiversidade e engloba 98% do bioma Mata Atlântica e 2% do Cerrado, influenciando diretamente 255 municípios, dos quais 200 estão em Minas Gerais e 55 no Espírito Santo, o que totaliza uma população de aproximadamente 3,6 milhões de habitantes (IBGE, 2010).

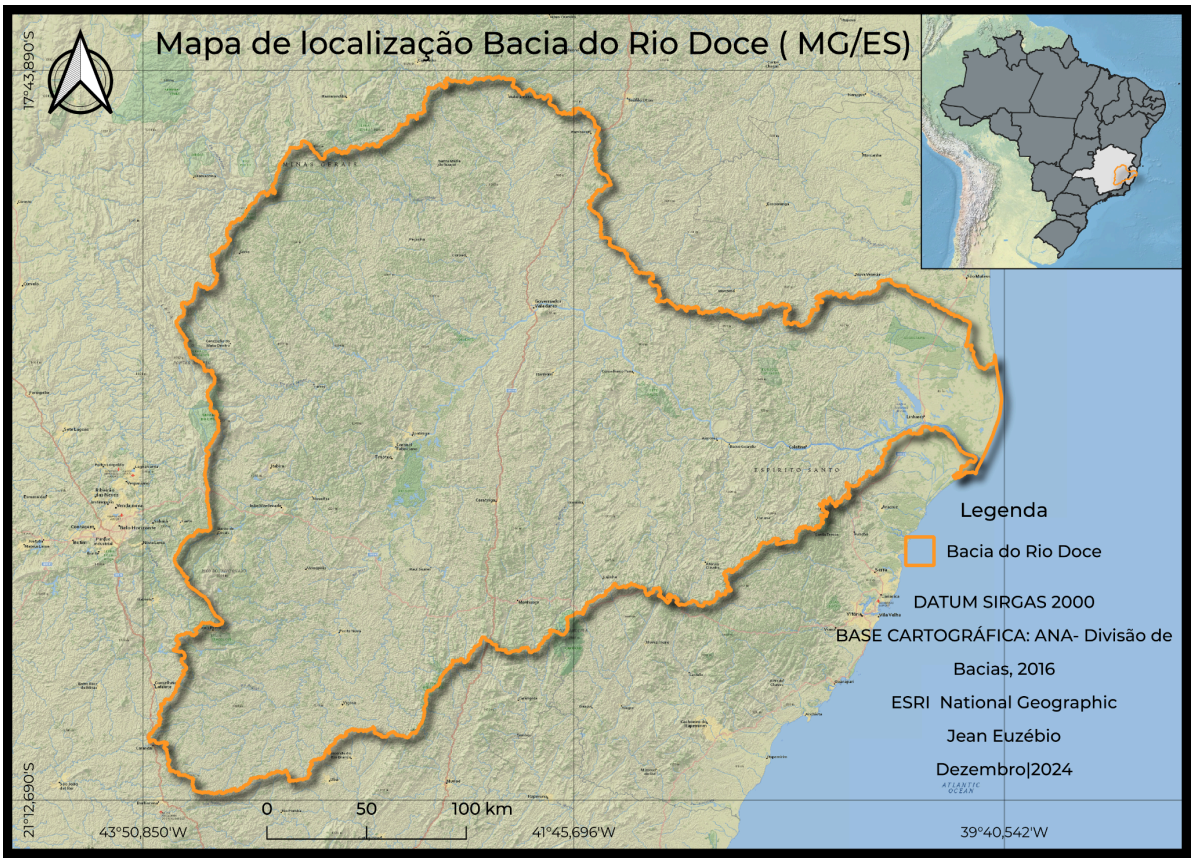


Figura 1 - Mapa de Localização (produzido pelo autor).

De acordo com os dados do MapBiomas referentes a 2023, a Bacia do Rio Doce apresenta uma distribuição de 66,43% de sua área destinada à agropecuária, enquanto apenas 29,62% é coberta por florestas (Figura 2). Essa redução na cobertura vegetal aumenta significativamente as áreas suscetíveis à erosão na região. Estudos indicam que 64,3% da bacia está sendo utilizada acima de sua capacidade de uso, resultando em consequências diretas, como a redução da fertilidade natural do solo. Essa diminuição da fertilidade compromete a estrutura do solo e reduz a cobertura vegetal, fatores que aumentam a suscetibilidade à erosão. Além disso, ocorre uma diminuição na infiltração de água, o que

intensifica os processos erosivos. (CALEGARIO et al., 2019).

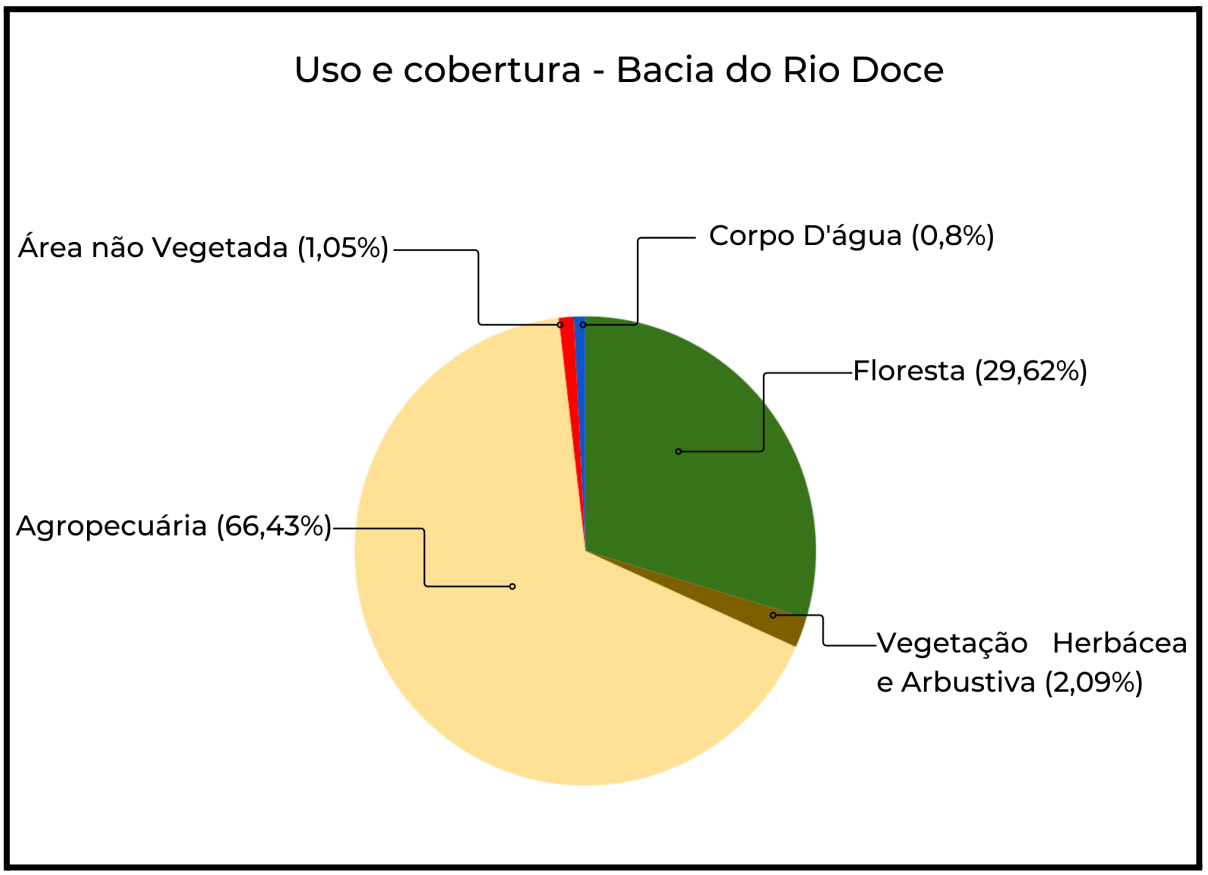


Figura 2 - Gráfico de distribuição de classes em porcentagem na Bacia do Rio Doce (produzido pelo autor).

A bacia do Rio Doce enfrenta grandes desafios devido ao impacto ambiental causado pelo rompimento da barragem de Fundão, em 2015, que contaminou a água e o solo e comprometeu ecossistemas locais. A região destaca-se pela diversidade de usos do solo (Figura 3), incluindo atividades agrícolas, pecuárias e minerárias, além de abrigar um dos maiores complexos siderúrgicos da América Latina e diversas usinas hidrelétricas. Esse contexto ressalta a importância da bacia para o desenvolvimento regional e a necessidade de ações voltadas à preservação ambiental (CARDOSO et al., 2016; de ALMEIDA et al., 2020; SOUZA et al., 2021).

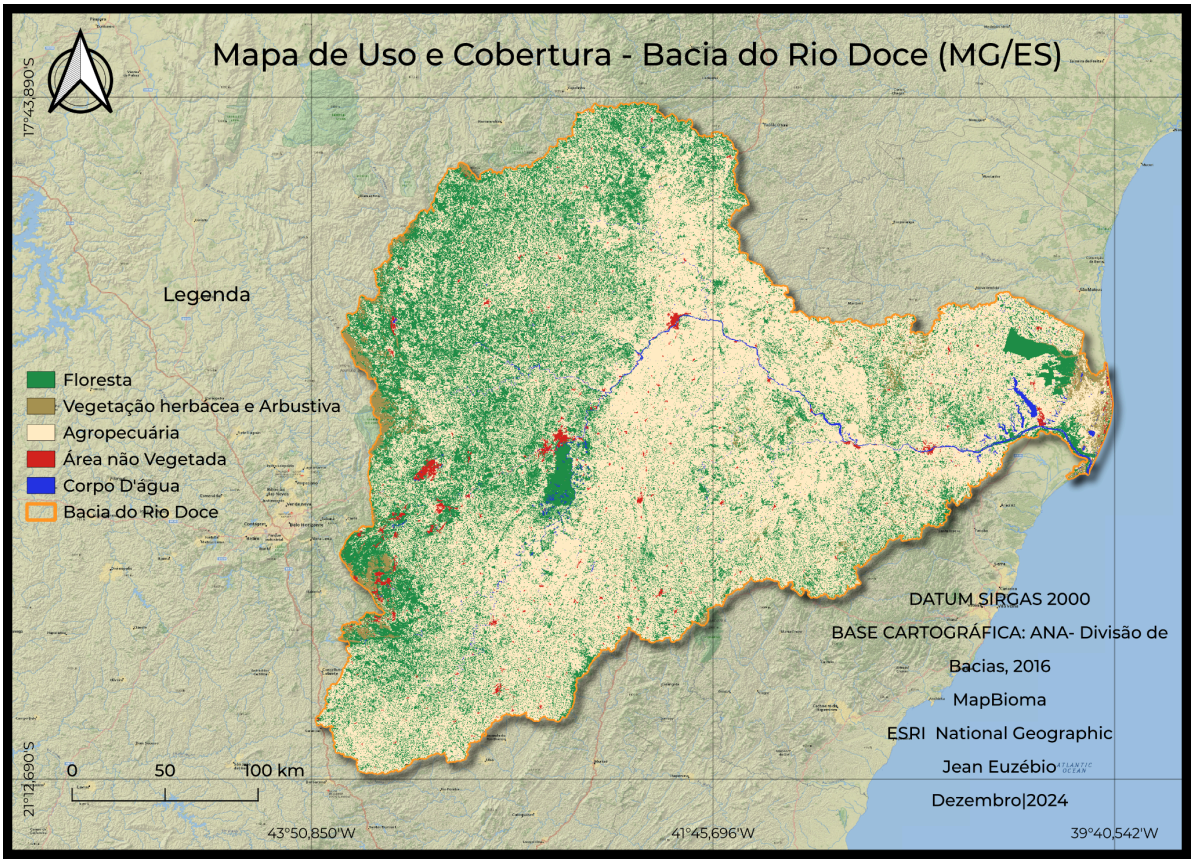


Figura 3 - Mapa de uso e cobertura, 2023 (produzido pelo autor).

3.2 Coleta dos dados.

Os seguintes dados foram adquiridos para a realização do trabalho (Tabela 1):

Tabela 1 - Aquisição de dados (produzida pelo autor).

DADOS ADQUIRIDOS	BASE DE DADOS
Delimitação da Bacia do Rio Doce	IBGE
Hidrografia do Rio Doce	ANA
Rodovias Federais e Estaduais - DNIT	DNIT - ANA
Áreas Urbanizadas	IBGE
Unidades de Conservação	Ministério do Meio Ambiente (MMA) - ANA
Modelo Digital de Elevação	TOPODATA - Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil
Declividade	TOPODATA - Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil

Dados de uso e cobertura 2000 - 2020	MapBiomas Brasil

O MapBiomas é uma plataforma que possui a colaboração de múltiplas instituições, que realizam o mapeamento anual da cobertura da terra em toda a América do Sul. São utilizadas imagens de satélite para que seja possível a identificação e classificação de diferentes categorias de cobertura da terra, divididos em grupos e subgrupos mais detalhados do uso e cobertura analisados. Os dados gerados pelo MapBiomas são disponibilizados gratuitamente para pesquisadores, gestores públicos e a sociedade em geral.

A precisão e a eficácia do MapBiomas têm sido reiteradamente validadas por investigações científicas. Em uma análise conduzida sobre as coleções do MapBiomas no estado de São Paulo, a acurácia global alcançou 96% na coleção 7.0, demonstrando a confiabilidade da plataforma para análises em nível de paisagem (OLIVEIRA e ARRAUT, 2024). Adicionalmente, o MapBiomas implementou o sistema "MapBiomas Alerta", que consiste em uma ferramenta de validação e refinamento de alertas de desmatamento, degradação e regeneração da vegetação nativa. Utilizando imagens de alta resolução, esse sistema tem se mostrado uma estratégia eficiente no monitoramento ambiental e na identificação de alterações na paisagem (Instituto Arapyaú, 2019). Para a realização do trabalho, foi utilizado a coleção 9 do MapBiomas, visto que é a mais recente e utilizada atualmente.

A bacia do Rio Doce apresentou 21 classes distintas nos dados de uso e cobertura do solo fornecidos pelo MapBiomas. Para facilitar a visualização e focar na análise do desmatamento, inicialmente considerou-se agrupar essas classes em três categorias amplas: Floresta, Áreas não vegetadas e Corpo D'água. No entanto, visando uma compreensão mais detalhada de outras categorias relevantes, optou-se por uma reclassificação mais específica dos dados, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Adaptado da tabela de códigos do MapBiomas coleção 9 (2023).

ID	Classes	ID	Reclassificação
3	Formação Florestal	1	Floresta
4	Formação Savânica		
49	Restinga Arbórea		
11	Campo Alagado e Área		

	Pantanosa	2	Vegetação Herbácea e Arbustiva
12	Formação Campestre		
29	Afloramento Rochoso		
50	Restinga Herbácea		
15	Pastagem	3	Agropecuária
39	Soja		
20	Cana de Açúcar		
41	Outras Lavouras Temporárias		
46	Café		
48	Outras Lavouras Perenes		
9	Silvicultura		
21	Mosaico de Usos		
23	Praia, Duna e Areal	4	Área não Vegetada
24	Área Urbanizada		
30	Mineração		
25	Outras Áreas não Vegetadas		
33	Rio, Lago e Oceano	5	Corpo D'água
31	Aquicultura		

Como cada classificação é dividida em grupos e subgrupos, foram utilizados somente os grupos principais para a realização da análise dos dados: Floresta, Vegetação Herbácea e Arbustiva, Agropecuária, Área não Vegetada e Corpo D'água. Isso permitiu melhor clareza na visualização do mapa (Figura 4). Os dados adquiridos do MapBiomas foram baixados pelo Google Earth Engine (GEE), através dos "*Toolkits*" que são ferramentas, bibliotecas ou pacotes que fornecem funções específicas para o desenvolvimento e execução de processos.

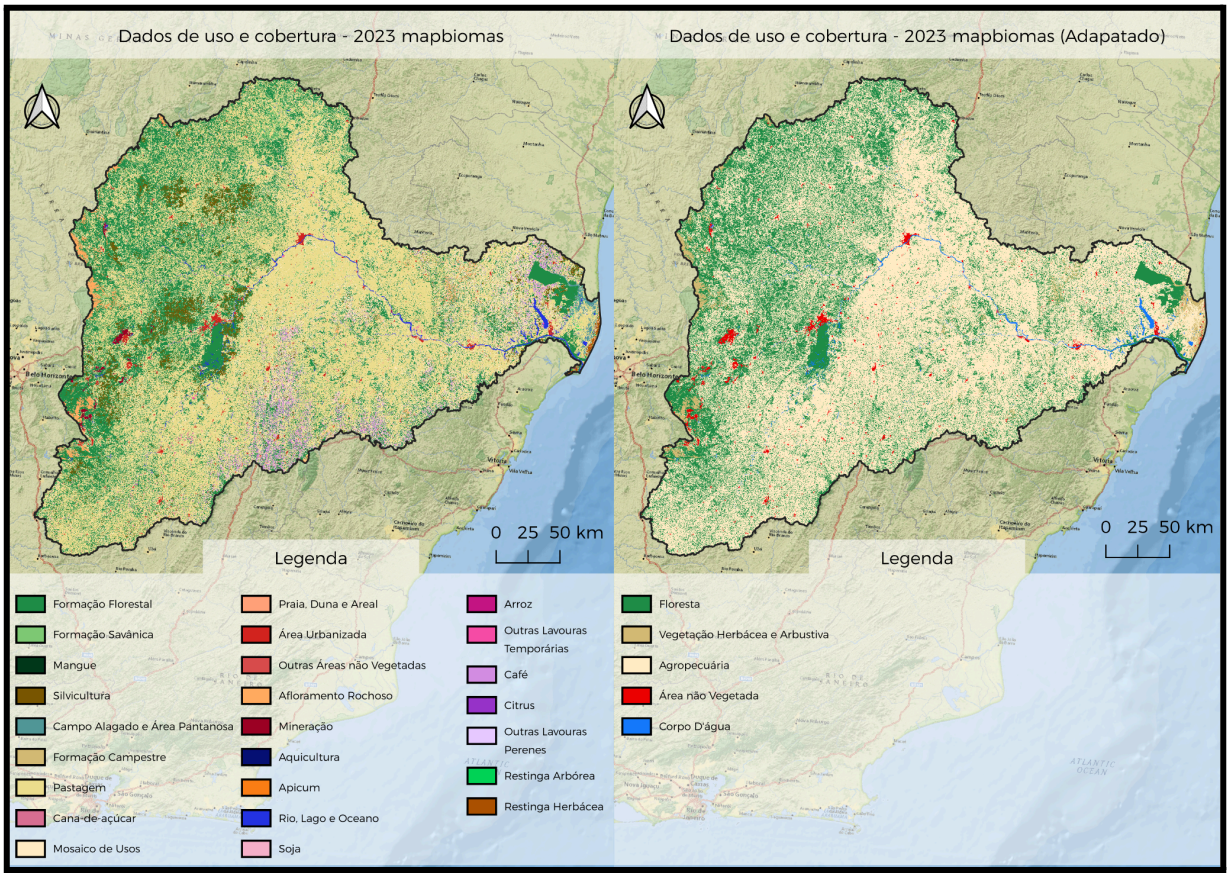


Figura 4 - Comparação de entre classes disponibilizadas e classes utilizadas no trabalho (adaptado pelo autor).

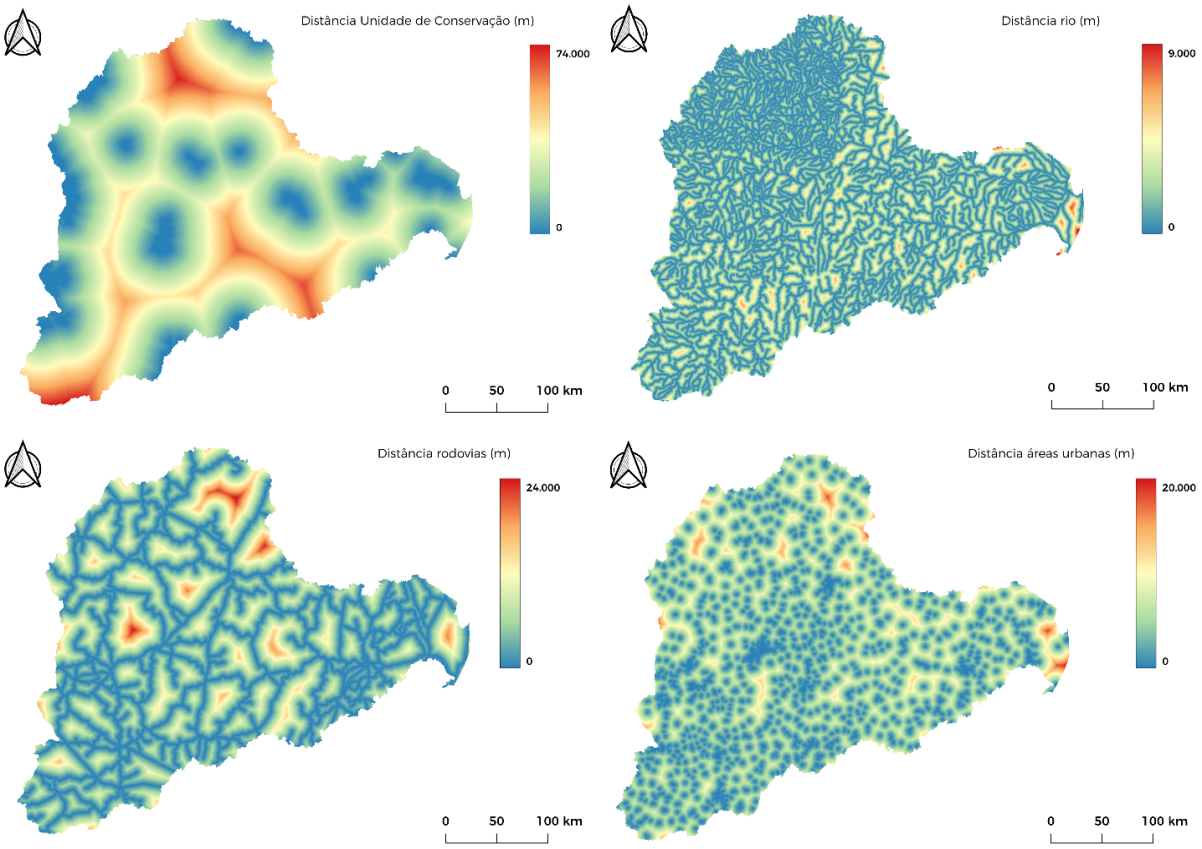
O Google Earth Engine é uma plataforma de computação em nuvem, que permite o gerenciamento de uma grande quantidade de dados geoespaciais, sem que force a máquina do usuário, já que sua infraestrutura de computação em nuvem do Google, disponibiliza milhares de CPUs e petabytes de armazenamentos. Oferece ferramentas avançadas para o processamento de imagens, análises estatísticas e como foi utilizado nesse trabalho, oferece também visualização e obtenção de dados (GORELICK et al., 2017; ZHAO et al., 2021).

3.3 Processamento e análise espacial

Para o processamento dos dados foi utilizado o QGIS, que é um software de SIG (Sistema de Informações Geográficas) de código aberto e gratuito, utilizado para a visualização, edição e análise de dados geoespaciais. A flexibilidade do QGIS também é evidenciada em estudos que exploram suas funcionalidades para análises específicas, sendo uma ferramenta poderosa e versátil para a análise geoespacial, amplamente reconhecida e utilizada na comunidade científica e educacional. Sua natureza de código aberto e a ativa comunidade de desenvolvedores garantem atualizações constantes e a adaptação às demandas

emergentes no campo das geotecnologias (ROSAS-CHAVOYA et al., 2022). O QGIS utiliza a opção de incorporar plugins ao software, o que permite que ele possa trabalhar com várias análises diferentes, não somente relacionada a criação e confecção de mapas.

Os dados de hidrografia e de unidades de conservação foram tratados como variáveis categóricas. Utilizando o QGIS, os dados vetoriais de rodovias, rios, áreas urbanas e unidades de conservação foram convertidos em raster. As variáveis mais recorrentes incluem a distância de estradas, devido ao impacto direto na dinâmica da paisagem, e a proximidade de áreas urbanas, rios e unidades de conservação (MASSABKI et al., 2017; BRANCO et al., 2022). Além disso, dados de altimetria e declividade são fundamentais, pois regiões com maior inclinação tendem a limitar a expansão urbana e agrícola. Em seguida, foram calculadas as distâncias euclidianas dos dados de rios, rodovias, áreas urbanas e unidades de conservação (Figura 5), permitindo uma representação espacial precisa das variáveis no modelo.



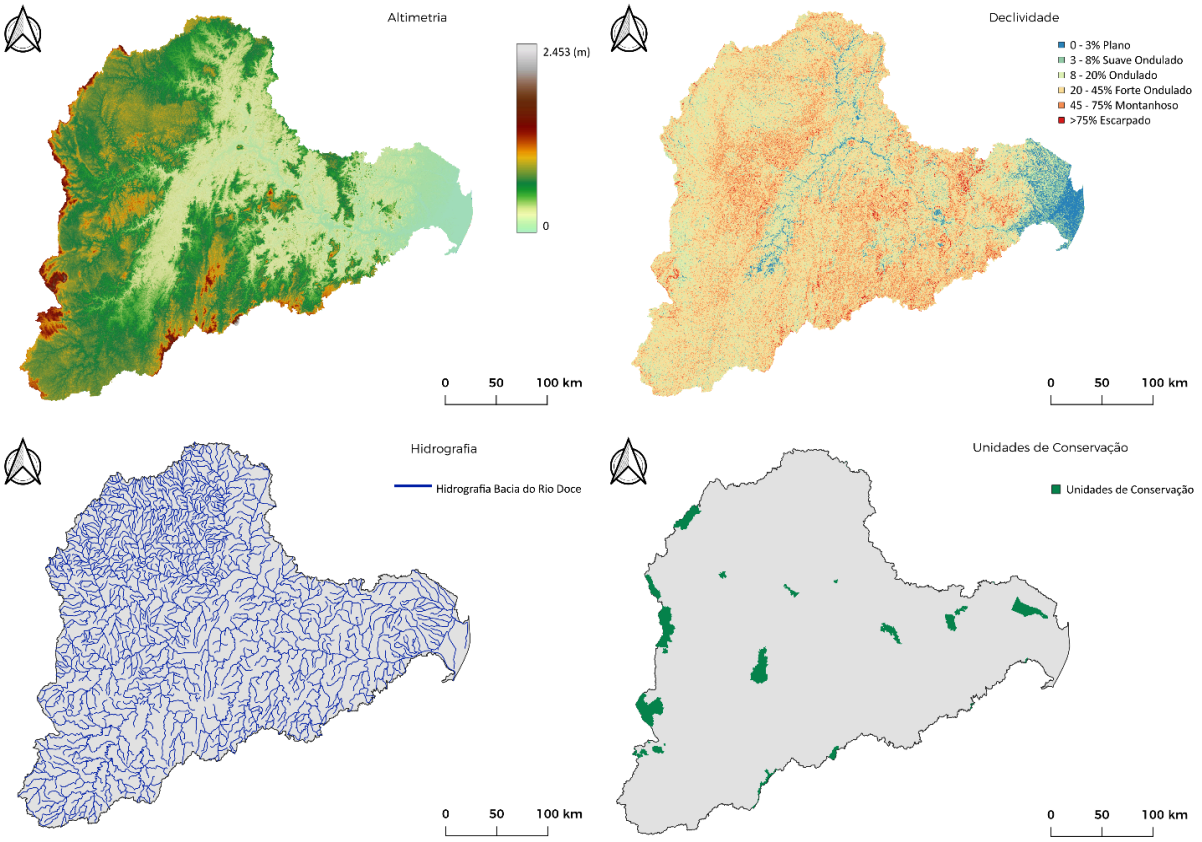


Figura 5 – Distribuição espacial das variáveis (produzido pelo autor).

A definição das variáveis do modelo baseou-se em uma revisão bibliográfica de estudos que utilizam o Dinamica EGO para modelagem futura de uso e cobertura da terra (ANDRADE et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2021; MARQUES-CARVALHO et al., 2023; RAMOS et al., 2024). O guia oficial do Dinamica EGO, disponível no portal do programa, juntamente com artigos e trabalhos analisados (SOARES-FILHO et al., 2006; LEITE-FILHO et al., 2020; XAVIER e SILVA, 2018; NASCIMENTO, 2019; DUTRA et al., 2022; SILVA et al., 2023), destacam variáveis essenciais que influenciam o desenvolvimento do modelo.

3.4 Modelagem e cenários futuros

Para a realização da criação dos modelos futuros foi utilizado o Dinamica EGO que é um software livre e de código aberto desenvolvido pelo Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Minas Gerais (CSR/UFMG). O Dinamica EGO foi utilizado pois ele facilita a construção de modelos espaciais dinâmicos, abrangendo desde simulações simples até análises complexas de fenômenos espaço-temporais. Uma das principais características do Dinamica EGO é sua capacidade de integrar diversos algoritmos espaciais, facilitando a análise e simulação de mudanças no uso e cobertura da terra, modelagem hidrológica,

avaliação de impactos ambientais e planejamento territorial (SOARES-FILHO et al., 2004; RODRIGUES et al., 2007; LEITE-FILHO et al., 2020; SOARES-FILHO et al, 2010)

Os autômatos celulares empregados pelo Dinamica EGO permitem que as simulações incorporem variáveis espaciais, como distância de estradas, declividade e proximidade de áreas desmatadas, para gerar cenários futuros que refletem a complexidade dos processos naturais e antrópicos (ABDALLA et al., 2015; NASCIMENTO, 2019; OLIVEIRA et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2021; BRANCO et al., 2022).

O Dinamica EGO reconhece e aceita dados em graus, porém o software não estava apresentando os resultados esperados, o que levava a cada ação dentro do programa uma realização de cálculos de conversões de graus para metros. Apesar dos cálculos, os resultados não demonstraram clareza. Diante disso, foi necessário alterar para uma reprojeção projetada. Após vários testes a projeção EPSG:5880 - SIRGAS 2000 / Brazil Polyconic, apresentou melhores resultados e tornou possível seguir os passos que o guia do Dinamica EGO apresentava, como também replicar métodos estudados em outros trabalhos que utilizaram dados em metros.

3.4.1 Validação e interpretação dos resultados

Após a aquisição e transformação dos dados em variáveis, o próximo passo crucial foi utilizá-los dentro da plataforma Dinamica EGO. Para a realização do modelo, foram realizadas nove etapas, conforme ilustrado na Figura 6. O Dinamica EGO disponibiliza cada etapa do modelo, que foi projetada para serem altamente flexíveis, permitindo que o usuário edite e insira os dados e informações necessárias para a execução do projeto de forma personalizada.

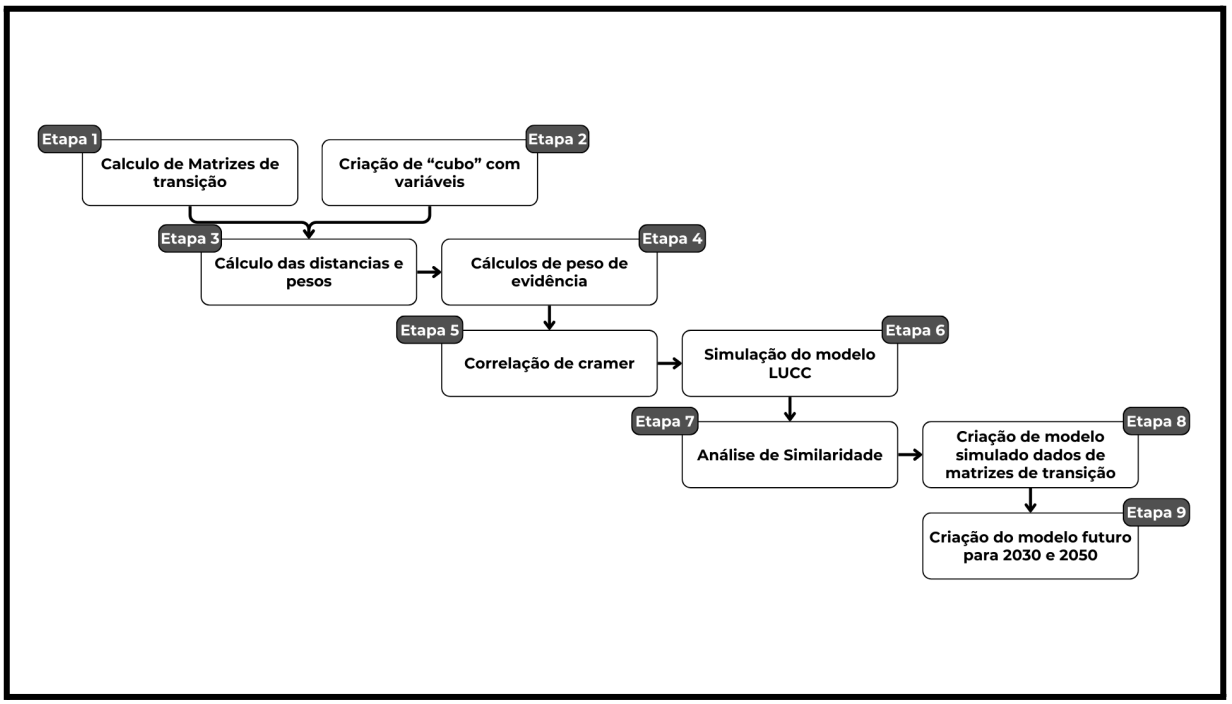


Figura 6 - Etapas Dinamica EGO (adaptado pelo autor).

A construção do modelo dentro do Dinamica EGO é realizada em um formato de "mapa mental", o que proporciona uma visualização clara e intuitiva das etapas envolvidas (Figura 7). Esse formato não só facilita a montagem e a compreensão das etapas do modelo, mas também permite uma rápida identificação de possíveis ajustes ou otimizações necessárias. Além disso, o design modular do Dinamica EGO oferece uma grande adaptabilidade, possibilitando que diversos tipos de dados e variáveis sejam integrados de maneira eficaz ao longo do processo de modelagem.

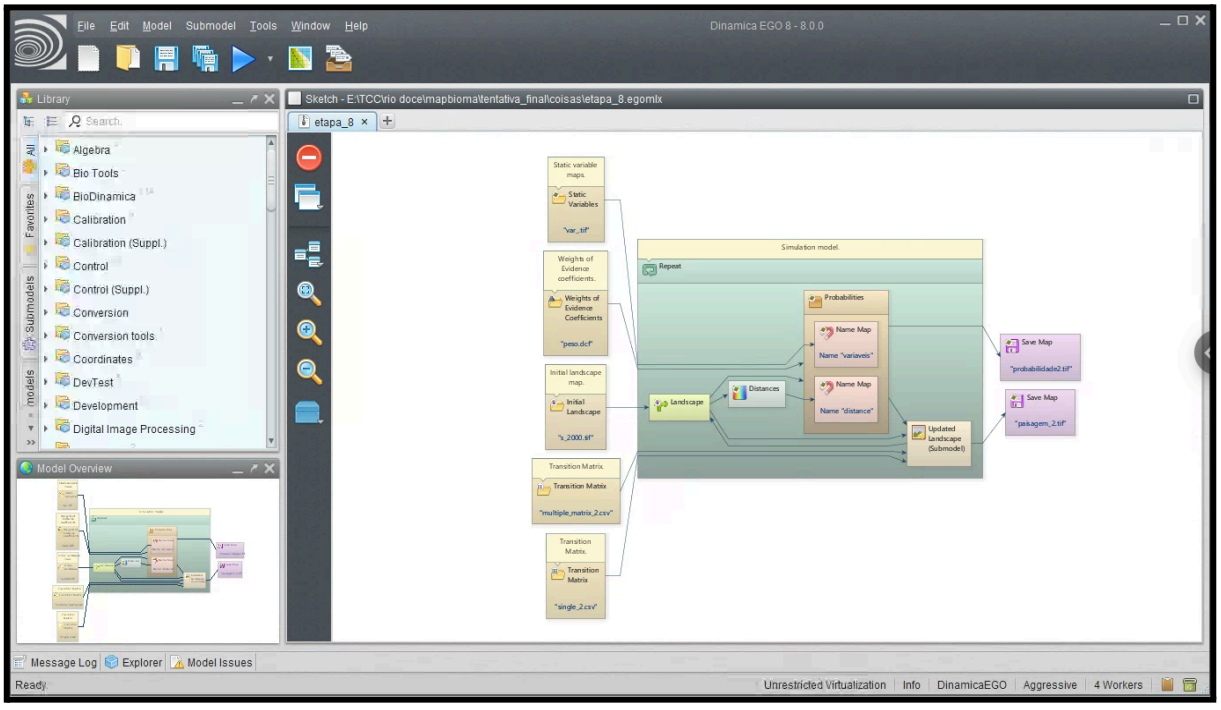


Figura 7 - Interface Dinamica EGO.

A primeira etapa do trabalho consistiu na elaboração de matrizes de transição, que permitem calcular as taxas de mudança de uma classe de uso e cobertura da terra para outra ao longo do tempo. Por exemplo, essas matrizes indicam a probabilidade de uma área classificada como 'Floresta' em um ano ser convertida em 'Área Agrícola' no ano seguinte. Essas informações são essenciais para entender as dinâmicas de mudança na paisagem e foram sintetizadas na Tabela 3, intitulada 'single_step' como apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Transição dos anos de 2000 a 2015 (produzida pelo autor).

Matriz de etapa única (2000 - 2015)		
De	**Para**	**Porcentagem de transição**
1	2	0,02%
1	3	13,89%
1	4	0,16%
1	5	0,06%
2	1	0,25%
2	3	3,81%
2	4	1,07%
2	5	0,23%
3	1	7,07%
3	2	0,10%
3	4	0,27%
3	5	0,13%
4	1	0,14%
4	2	0,78%
4	3	1,91%
4	5	0,24%
5	1	3,24%
5	2	0,79%
5	3	9,73%
5	4	1,74%

As matrizes de transição são ferramentas para análise de mudanças de uso e cobertura da terra, quantificando transformações entre diferentes classes ao longo do tempo. No software Dinamica EGO, essas matrizes são combinadas com variáveis explicativas e regras de transição baseadas em pesos de evidência para modelar a dinâmica da paisagem. Isso permite uma representação detalhada das interações espaciais e dos fatores que influenciam as mudanças, resultando em uma modelagem mais realista para a projeção de cenários futuros.

Em seguida foi criado o “Cubo” de variáveis, que consiste em reunir todas as variáveis e colocá-las em somente um arquivo “.tif” para a realização da terceira etapa, que foi a criação do “esqueleto”. O “esqueleto” monta os dados das variáveis para cada distância que será analisada. Como o foco deste trabalho foi de análise ambiental, então as transições escolhidas foram de Floresta para Agropecuária, Floresta para Áreas não Vegetadas, que demonstrariam resultados de desmatamentos. Foram também escolhidos de Vegetação Herbácea e Arbustiva para Floresta e Agropecuária para Floresta, o que demonstraria um reflorestamento.

Após a criação do “esqueleto” contendo as variáveis e distâncias de cada classe, o quarto passo foi a correlação desses pesos e distâncias com as variáveis para determinar a possibilidade de transição que uma classe teria para se tornar outra. Logo em seguida, é realizada a montagem do modelo para a criação do primeiro mapa de simulação da paisagem e probabilidades (Figura 8).

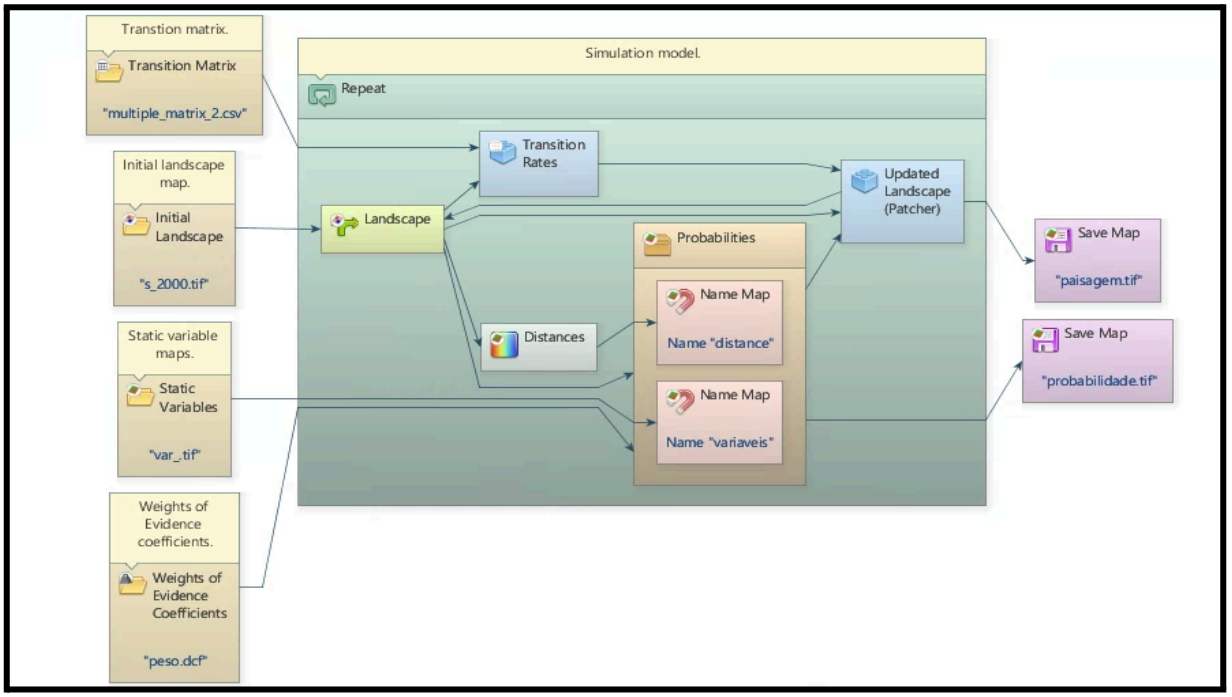


Figura 8 - Estrutura para criação de simulação e probabilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a simulação do modelo, foi possível realizar a etapa de similaridades, que consiste em analisar os dados iniciais de uso e cobertura, os dados finais e o modelo da paisagem simulada. Conforme a coloração azul, a similaridade é baixa e conforme a coloração vermelha, a similaridade é alta (Figura 9).

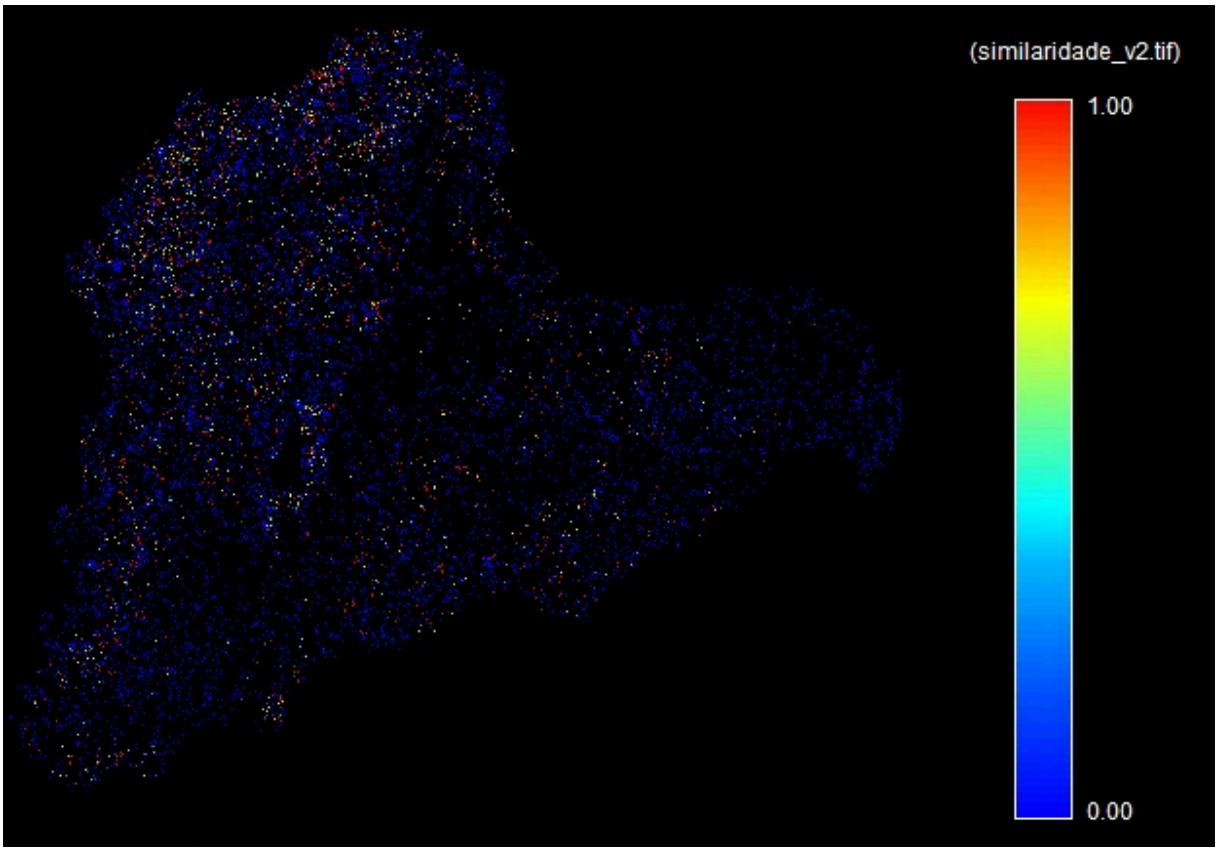


Figura 9 - Mapa de similaridade gerado no Dinamica EGO.

Segundo o mapa de similaridade, a região que possui maiores concentrações de floresta apresentou uma alta similaridade, enquanto em outras partes do mapa que possui uma forte presença da agropecuária, possui uma similaridade mais baixa. Como as variáveis só levavam em consideração fatores físicos e a floresta possuía uma transição de 13,89% para agropecuária, foi gerado um mapa simulado que demonstrou um desmatamento nas regiões de floresta. Porém o modelo também gerou dados de reflorestamento para algumas áreas da agropecuária (Figura 10).

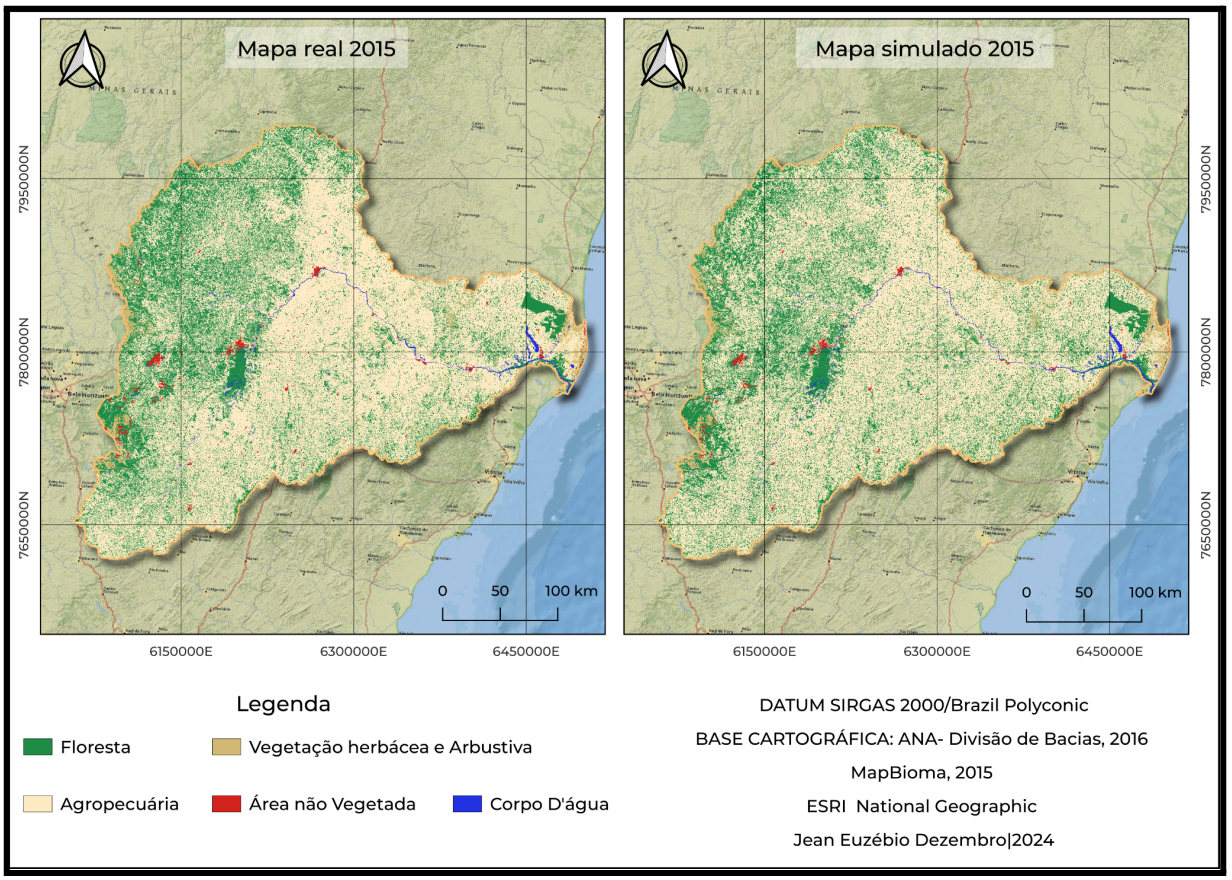


Figura 10 - Comparação do mapa real e simulado uso e cobertura 2015 (produzido pelo autor).

Os resultados indicam mudanças na distribuição das áreas florestais, com destaque para regiões de alta concentração de vegetação, onde o desmatamento foi mais intenso (Tabela 4).

Tabela 4 - Dados comparativos entre dados reais e simulados 2015 em porcentagem (produzido pelo autor).

Tabela comparativa de Uso e Cobertura da terra - Bacia do Rio Doce 2015 (%)		
Classes de uso e cobertura	Cenário real 2015	Cenário simulado 2015
Floresta	28,66%	28,72%
Vegetação herbácea e Arbustiva	2,13%	2,15%
Agropecuária	67,58%	67,70%
Área não Vegetada	0,88%	0,68%
Corpo D’água	0,75%	0,75%

O programa funcionou perfeitamente durante a criação dos modelos, sem apresentar

qualquer erro. Na nona etapa, foi possível realizar a simulação de cenários futuros com os dados gerados. Para comparação, o ano de 2020 foi utilizado como parâmetro em uma simulação de 5 anos, baseada nos dados de 2000 a 2015, variáveis e pesos de evidência (Figura 11).

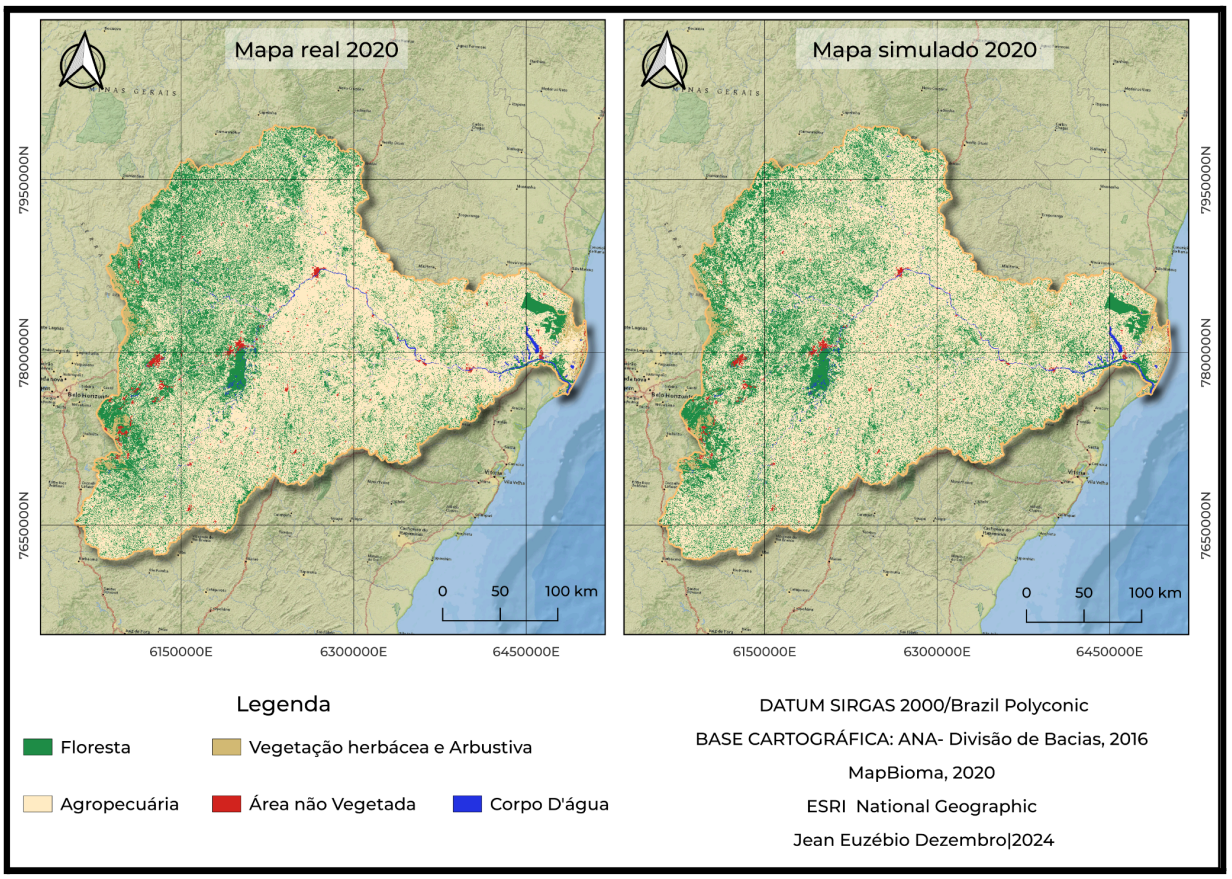


Figura 11 - Comparação do mapa real e simulado uso e cobertura 2020 (produzido pelo autor).

O modelo simulado novamente apresentou uma diferença perceptível em relação ao mapa real, mostrando uma maior distribuição de florestas e um aumento do desmatamento nas regiões com alta concentração de florestas (Tabela 5). Essa tendência de desmatamento reflete uma maior transição da classe de Floresta para Agropecuária. Ajustes nos parâmetros foram realizados para tornar o mapa simulado mais semelhante aos mapas existentes, porém como o Dinamica EGO leva em consideração a probabilidade calculada ao longo dos 15 anos de dados, ele continuou gerando simulações com maiores desmatamentos.

Tabela 5 - Dados comparativos entre dados reais e simulados 2020 em porcentagem (produzido pelo autor).

Tabela comparativa de Uso e Cobertura da terra - Bacia do Rio Doce 2020 (%)		
Classes de uso e cobertura	Cenário real 2020	Cenário simulado 2020

Floresta	29,41%	29,49%
Vegetação herbácea e Arbustiva	2,10%	2,15%
Agropecuária	66,79%	66,89%
Área não Vegetada	0,94%	0,72%
Corpo D'água	0,78%	0,75%

A partir dos dados obtidos anteriormente, foi possível a criação do modelo para o ano de 2030 (Figura 12). A análise desses mapas revelou padrões interessantes e consistentes com simulações anteriores, especificamente as realizadas para os anos de 2015 e 2020. Assim como nas simulações anteriores, observou-se um aumento do desmatamento em algumas áreas da Bacia do Rio Doce. Esse fenômeno indica uma continuidade na tendência de conversão de áreas florestais para usos alternativos, possivelmente relacionados à expansão agrícola ou outros tipos de desenvolvimento. Ao mesmo tempo, em outras regiões, o programa mostrou uma concentração do reflorestamento. Isso sugere que certas áreas estão sendo preservadas ou restauradas, resultando em um aumento da cobertura florestal. Além disso, os modelos de cenários simulados distribuíram o reflorestamento de maneira mais dispersa ao longo da Bacia do Rio Doce, o que poderia indicar um resultado otimista na visão da recuperação ambiental sendo implementado em várias partes da região.



Figura 12 - Simulação de uso e cobertura para o ano de 2030 (produzido pelo autor).

O modelo futuro de uso e cobertura da terra para 2050 na Bacia do Rio Doce revela tendências significativas que podem impactar o planejamento ambiental e territorial da região (Figura 13). A análise inicial do mapa destaca a preservação de áreas de vegetação nativa, representadas em verde, indicando esforços de conservação. No entanto, a fragmentação florestal sugere desafios para a continuidade dos ecossistemas, podendo afetar a biodiversidade local. As áreas vermelhas apontam para a expansão urbana e de infraestrutura, concentrando-se próximas a centros urbanos já existentes. Esse crescimento, embora previsível, exige atenção aos impactos em áreas sensíveis. Os corpos hídricos, destacados em azul, permanecem visíveis no cenário futuro, mas a proximidade com regiões de crescimento urbano pode indicar riscos ambientais, como assoreamento e poluição. Isso reforça a necessidade de políticas de proteção para áreas ao redor de rios e nascentes.



Figura 13 - Modelo futuro de uso e cobertura 2050 (produzido pelo autor).

Através dos dados simulados, foi gerado uma tabela de comparação (Tabela 6) para permitir a observação da perda ou reflorestamento em porcentagem.

Tabela 6 - Dados comparativos de 2023, 2030 e 2050 em porcentagem (produzido pelo autor).

Tabela comparativa de Uso e Cobertura da terra - Bacia do Rio Doce (%)			
Classes de uso e cobertura	Cenário real 2023	Cenário simulado 2030	Cenário simulado 2050
Floresta	29,62%	29,49%	30,26%
Vegetação herbácea e Arbustiva	2,09%	2,15%	2,15%%
Agropecuária	66,43%	66,89%	66,04%
Área não Vegetada	1,05%	0,72%	0,78%
Corpo D'água	0,8%	0,75%	0,75%

Observa-se um aumento no desmatamento até 2030, impulsionado principalmente pela expansão agropecuária. As projeções para 2050 indicam uma possível redução na taxa de desmatamento e um leve aumento na regeneração florestal. Esse comportamento é influenciado pelas variáveis utilizadas no modelo, como distâncias a áreas previamente desmatadas, declividade e hiposometria, que afetam a acessibilidade e a viabilidade da conversão do solo. Assim, o cenário projetado reflete as tendências espaciais inerentes ao modelo, sem considerar diretamente a influência de políticas públicas ou incentivos econômicos. Contudo, até 2030, a tendência de desmatamento persiste. Para mitigar esse avanço, é fundamental que os órgãos fiscalizadores intensifiquem a vigilância sobre as áreas agropecuárias existentes e implementem legislações que protejam as florestas remanescentes. Segundo o que foi apresentado pelo governo brasileiro na 26ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP26), o Brasil comprometeu-se a restaurar e reflorestar 18 milhões de hectares de florestas até 2030, além de zerar o desmatamento ilegal até 2028 (Governo do Brasil, 2021).

A efetividade das metas de recuperação ambiental no Brasil depende da integração de várias políticas públicas. Uma dessas políticas é o Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (Planaveg), estabelecido pelo Decreto nº 8.972/2017, que visa à recuperação de 12 milhões de hectares de vegetação nativa até 2030 por meio de ações coordenadas. O Planaveg utiliza as seguintes ferramentas:

Código Florestal (Lei nº 12.651/2012):

- O Código Florestal introduz instrumentos essenciais como o Cadastro Ambiental Rural (CAR), o Programa de Regularização Ambiental (PRA) e o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas e Alteradas (PRADA).
- CAR: Cadastro eletrônico obrigatório para todas as propriedades rurais, fornecendo dados estratégicos para monitoramento e planejamento ambiental.

Política Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (Proveg):

- A Proveg promove a recuperação de florestas e vegetação nativa, coordenada pela Comissão Nacional para a Recuperação da Vegetação Nativa (Conaveg).
- O principal instrumento da Proveg é o Planaveg, que visa à recuperação ambiental integrada.

Lei de Gestão de Florestas Públicas (Lei nº 11.284/2006):

- Promove a concessão de florestas públicas para manejo sustentável e extração de produtos, contribuindo para a economia sustentável e combate ao desmatamento.
- O projeto apoia planos de manejo, capacitação profissional e desenvolvimento de mecanismos para monitoramento da madeira, combatendo o comércio ilegal.

A recuperação da vegetação nativa no Brasil exige uma abordagem integrada, que combine políticas públicas e ações coordenadas para alcançar a meta de restaurar 12 milhões de hectares de vegetação nativa até 2030. Estudos indicam que, sem intervenções significativas, o país poderá desmatar cerca de 64 milhões de hectares até 2050 (MACHADO, 2025). Portanto, é fundamental fortalecer as políticas de conservação e reflorestamento para reverter essa projeção alarmante.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora o modelo desenvolvido tenha gerado dados consistentes para a análise ambiental da Bacia do Rio Doce, a similaridade entre o mapa simulado e o mapa real apresentou limitações em algumas áreas específicas. Esses desafios evidenciam a complexidade das dinâmicas espaciais e ambientais da região, influenciadas por múltiplos fatores, como a interação entre condições ecológicas, padrões de ocupação do solo e atividades econômicas. A necessidade de calibração mais refinada ressalta a importância de incorporar variáveis adicionais em pesquisas futuras, especialmente aquelas relacionadas a aspectos socioeconômicos e climáticos.

Mesmo com essas limitações, os resultados forneceram informações relevantes sobre a expansão agropecuária e a conversão de florestas, além de indicarem áreas com potencial para reflorestamento. As projeções para 2030 e 2050 apontam para a continuidade do desmatamento em algumas regiões, o que reforça a necessidade de estratégias eficazes de conservação e manejo sustentável. Esses achados também destacam o papel fundamental da modelagem espacial como suporte à gestão ambiental, permitindo não apenas identificar tendências, mas também subsidiar ações preventivas e mitigadoras.

Por fim, este estudo reafirma a importância da modelagem ambiental como ferramenta para a compreensão dos impactos das mudanças no uso da terra e para o planejamento territorial sustentável. Os resultados obtidos devem ser interpretados como um passo inicial para a construção de cenários mais abrangentes, que possam apoiar a formulação de políticas públicas e iniciativas de conservação na Bacia do Rio Doce. Estudos futuros poderão aprimorar a abordagem utilizada, integrando novos fatores que ampliem a precisão das projeções e fortaleçam a aplicabilidade desses modelos em decisões estratégicas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALLA, L. dos S.; OLIVEIRA, L. C. de; VOLOTÃO, C. F. de S. **MODELAGEM DINÂMICA DA VEGETAÇÃO BASEADA EM AUTÔMATOS CELULARES: UM ESTUDO DE CASO DA REGENERAÇÃO DA MATA ATLÂNTICA NO DISTRITO DE ALDEIA VELHA - RJ.** Revista Brasileira de Cartografia, *[S. l.]*, v. 67, n. 3, 2015. DOI: 10.14393/rbcv67n3-44656. Disponível em: https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44656. Acesso em: 19 dez. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Encarte especial sobre a Bacia do Rio Doce: rompimento da barragem de Mariana/MG. Conjuntura dos Direitos Hídricos no Brasil - Infome 2015**. Brasília, DF: Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos - SPR, 2016. Disponível em: http://arquivos.ana.gov.br/RioDoce/EncarteRioDoce_22_03_2016v2.pdf. Acesso em: 18 dez. 2020.

ALENCAR, A. A. C.; ARRUDA, V. L. S.; SILVA, W. V. d.; CONCIANI, D. E.; COSTA, D. P.; CRUSCO, N.; DUVERGER, S. G.; FERREIRA, N. C.; FRANCA-ROCHA, W.; HASENACK, H.; MARTENEXEN, L. F. M.; PIONTEKOWSKI, V. J.; RIBEIRO, N. V.; ROSA, E. R.; ROSA, M. R.; SANTOS, S. M. B. dos; SHIMBO, J. Z.; VÉLEZ-MARTIN, E. **Conjunto de dados mensais de área queimada baseados em Landsat de longo prazo para os biomas brasileiros usando aprendizado profundo**. *Sensoriamento Remoto*, v. 14, n. 11, p. 2510, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/rs14112510.

ALMINO, L. M. O.; RUFINO, I. A. A. **Modelagem dinâmica e cenários urbanos de demanda de água: Simulações em Campina Grande (PB)**. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 26, n. 5, p. 915-925, 2021. DOI: https://doi.org/10.1590/S1413-415220190015.

ANDRADE, M. P. de; RIBEIRO, C. B. de M.; LIMA, R. N. de S. **MODELAGEM DINÂMICA DA MUDANÇA DO USO E COBERTURA DO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL A PARTIR DE IMAGENS MODIS E UM MODELO DE SUB-REGIÕES**. Revista Brasileira de Cartografia, [S. l.], v. 68, n. 5, 2016. DOI: 10.14393/rbcv68n5-44429. Disponível em: https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44429. Acesso em: 19 set. 2024.

ARRUDA, V. L. S.; ALENCAR, A. A. C.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; et al. **Assessing four decades of fire behavior dynamics in the Cerrado biome (1985 to 2022)**. *Fire Ecology*, v. 20, p. 64, 2024. DOI: https://doi.org/10.1186/s42408-024-00298-4.

BAEZA, S.; VÉLEZ-MARTIN, E.; DE ABELLEYRA, D.; BANCHERO, S.; GALLEGO, F.; SCHIRMBECK, J.; VERON, S.; VALLEJOS, M.; WEBER, E.; OYARZABAL, M.; BARBIERI, A.; PETEK, M.; GUERRA LARA, M.; SARRAILHÉ, S. S.; BALDI, G.; BAGNATO, C.; BRUZZONE, L.; RAMOS, S.; HASENACK, H. **Two decades of land cover mapping in the Río de la Plata grassland region: The MapBiomas Pampa initiative**. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v. 28, 2022, p. 100834. ISSN 2352-9385. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100834.

BENTO, C. B.; FILOSO, S.; PITOMBO, L. M.; CANTARELLA, H.; ROSSETTO, R.; MARTINELLI, L. A.; DO CARMO, J. B. **Impacts of sugarcane agriculture expansion over low-intensity cattle ranch pasture in Brazil on greenhouse gases**. *Journal of Environmental Management*, v. 206, p. 980-988, 2018. ISSN 0301-4797. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.085.

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, [S. l.], v. 74, n. 1, p. 137–158, 2022. DOI: 10.14393/rbcv74n1-59436. Disponível em: https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/59436. Acesso em: 4 set. 2024.

BUSTAMANTE, M. M. C.; METZGER, J. P.; SCARIOT, A.; BAGER, A.; TURRA, A.; BARBIERI, A.; NEVES, A.; BOESING, A. L.; AGOSTINHO, A. A.; MARQUES, A. C.; DIAS, B.; GRELLE, C. E. V.; CAIXETA, D.; SAWYER, D.; SCARANO, F. R.; SOUSA, F. D. R.; FERNANDES, G. W.; QUEIROZ, H.; MIRANDA, H. S.; SCHONGART, J.; QUINTÃO, J. M. B.; MARTINELLI, L. A.; GOMES, L. C.; DA CUNHA, M. C.; PIEDADE, M. T. F.; SATO, M. N.; VALE, M. M.; AQUINO, M. F. S.; VOGT, N.; MAY, P.; FEARNSIDE, P.; PRADO, R. B.; RODRIGUES, R. R.; THOMAZ, S. M.; PIVELLO, V. R.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; FARJALLA, V. F. Capítulo 3: **Tendências e impactos dos vetores de degradação e restauração da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos**. In: JOLY, C. A.; SCARANO, F. R.; SEIXAS, C. S.; METZGER, J. P.; OMETTO, J. P.; BUSTAMANTE, M. M. C.; PADGURSCHI, M. C. G.; PIRES, A. P. F.; CASTRO, P. F. D.; GADDA, T.; TOLEDO, P. (eds.). *1° Diagnóstico Brasileiro de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos*. Editora Cubo, São Carlos, 2019. p. 351.

CALEGARIO, A. T.; COELHO, C. D.; SILVA, F. B.; SILVA, D. D. da; SILVA, E. I. F.; FERREIRA NETO, J. A. **Adequação do uso da terra na bacia do rio Doce: potencialidades e limitações. In: V Simpósio Mineiro de Ciência do Solo: Agroecologia e a Compreensão do Solo como Fonte e Base para a Vida**. Cadernos de Agroecologia, v. 15, n. 1, mar. 2020. Disponível em: https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/6271. Acesso em: 10 jan. 2025

CAMPOS, S.; CAMPOS, M.; SOUZA, T. L. de; LEME, M. de C.; CURY, L. D. **Sistema de informação geográfica aplicado na discriminação morfométrica de bacias hidrográficas**. In: AMÉRICO-PINHEIRO, Juliana Heloisa Pinê; BENINI, Sandra Medina (org.). Bacias hidrográficas: fundamentos e aplicações. 1.ed. Tupã (SP): ANAP, 2018. cap. 2, p. 41- 56. ISBN 9788568242827. Disponível em: https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/acervo/detalhe/78860. Acesso em: 10 jan. 2025.

CARDOSO, F. A. C.; PAULA, D. L. P. de; MONTE MOR, R. C. de A.; MAIA, J. L.; VIEIRA, E. M. **Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente para a bacia do rio Doce: Elaboração e Análise (Conditioning hydrographic digital elevation model to rio Doce watershed: preparation and analysis)**. Revista Brasileira de Geografia Física, [S. l.], v. 9, n. 6, p. 1978–1989, 2016. DOI: 10.26848/rbgf.v9.6.p1978-1989. Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/233912. Acesso em: 19 dez. 2024

CARVALHO BRAGA, C. **Distribuição espacial e temporal de sólidos em suspensão nos afluentes do reservatório da Usina Hidrelétrica Barra dos Coqueiros - GO**. *Boletim Goiano de Geografia*, Goiânia, v. 33, n. 2, p. 279–292, 2013. DOI: 10.5216/bgg.v33i2.25560. Disponível em: https://revistas.ufg.br/bgg/article/view/25560. Acesso em: 10 jan. 2025.

COELHO, A. dos S. **Modelagem de dinâmica do uso da terra e cobertura vegetal na região de Santarém, oeste do Pará**. Orientadora: Ana Paula Dutra de Aguiar. 2009. 128 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emílio Goeldi, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Belém, 2009. Disponível em: http://repositorio.ufpa.br:8080/jspui/handle/2011/6828. Acesso em: 10 jan. 2025.

COELHO-JUNIOR, M. G.; VALDIONES, A. P.; SHIMBO, J. Z.; SILGUEIRO, V.; ROSA, M.; MARQUES, C. D. L.; OLIVEIRA, M.; ARAÚJO, S.; AZEVEDO, T. **Unmasking the impunity of illegal deforestation in the Brazilian Amazon: a call for enforcement and accountability**. *Environmental Research Letters*, v. 17, n. 4, 2022. DOI: 10.1088/1748-9326/ac5193.

CÔRTES, J. C.; D'ANTONA, Á. DE O. **Dinâmicas no uso e cobertura da terra: perspectivas e desafios da Demografia**. Revista Brasileira de Estudos de População, v. 31, n. 1, p. 191–210, jan. 2014. DOI: https://doi.org/10.1590/S0102-30982014000100011.

DAVIDSON, E. A.; ARAÚJO, A. C. de; ARTAXO, P.; BALCH, J. K.; BROWN, I. F.; BUSTAMANTE, M. M. C.; COE, M. T.; DEFRIES, R. S.; KELLER, M.; LONGO, M.; MUNGER, J. W.; SCHROEDER, W.; SOARES-FILHO, B. S.; SOUZA, C. M.; WOFSY, S. C. **The Amazon basin in transition**. Nature, v. 481, p. 321–328, 2012. DOI: 10.1038/nature10717.

DE ALMEIDA, F. C.; SILVEIRA, E. M. de O.; ACERBÍ JUNIOR, F. W.; FRANÇA, L. C. de J.; BUENO, I. T.; TERRA, B. J. O. **ANÁLISE MULTICRITÉRIO NA DEFINIÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA RECUPERAÇÃO FLORESTAL NA BACIA DO RIO DOCE, EM MINAS GERAIS**. Nativa, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 81–90, 2020. DOI: 10.31413/nativa.v8i1.8130. Disponível em: https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/8130. Acesso em: 22 de dez. 2024.

DE SOUSA, J. A. P.; LOPES, E. R. do N.; DE SOUZA, J. C.; LOURENÇO, R. W. **Land use changes and estimates of anthropogenic CO2 emissions in a watershed**. Sociedade & Natureza, *[S. l.]*, v. 32, p. 262–278, 2020. DOI: 10.14393/SN-v32-2020-44054.

DUTRA, D. J.; ANDERSON, L. O.; FEARNSIDE, P. M.; YANAI, A. M.; GRAÇA, P. M. L. A.; DA SILVA, R. D.; PESSÔA, A. C. M.; DE ARAGÃO, L. E. O. E. C. **Comparison of regional scale burned area products for southwestern Brazilian Amazonia**. In: Proceedings of the 23rd Brazilian Symposium on GeoInformatics, São José dos Campos, SP, November 29 to 30, 2022. MCTI/INPE, São José dos Campos, SP: ID: Number 1668. http://www.geoinfo.info/geoinfo_series.htm (in press).

FERRARI, R. **Modelagem dinâmica do uso e cobertura da terra da Quarta Colônia, RS**. Orientador: Rudiney Soares Pereira. 2008. Dissertação (Mestrado em Geomática) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/handle/1/9514. Acesso em: 10 jan. 2025.

FERREIRA, B. M.; SOARES-FILHO, B. S.; PEREIRA, F. M. Q. **The Dinamica EGO virtual machine**. *Science of Computer Programming*, v. 173, p. 3-20, 2019. ISSN 0167-6423. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scico.2018.02.002.

FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D.; RIBEIRO, G. do N.; SILVA, V. F.; AYRES, G. D. J.; RODRIGUES, R. C. M. **Dinâmica temporal da cobertura e uso das terras do Estado da Paraíba utilizando Mapbiomas©**. *Revista Geama*, [S. l.], v. 9, n. 3, p. 57–66, 2023. Disponível em: https://www.journals.ufrpe.br/index.php/geama/article/view/5442. Acesso em: 10 jan. 2025.

FUSHIMI, M.; DE LIMA, G. N.; CAPOANE, V. **Changes in land use and cover and their environmental impacts in the Cerrado of Mato Grosso do Sul, Brazil**. *Sustainability*, v. 16, n. 10, p. 4266, 2024. ISSN 2071-1050. DOI: https://doi.org/10.3390/su16104266.

GOMES, W. B.; CORREIA, F. W. S.; CAPISTRANO, V. B.; VEIGA, J. A. P.; VERGASTA, L. A.; CHOU, S. C.; LYRA, A. A.; ROCHA, V. M. **Avaliação dos impactos das mudanças na cobertura da terra e cenário de emissões (RCP 8.5) no balanço de água na bacia do rio Madeira**. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 35, n. 4, p. 689-702, 2020. DOI: https://doi.org/10.1590/0102-77863540076.

GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. **Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone**. Remote Sensing of Environment, v. 202, p. 18-27, 2017. ISSN 0034-4257. DOI: 10.1016/j.rse.2017.06.031. Disponível

em:https://www-sciencedirect-com.ez32.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0034425717302900?via%3Dihub. Acesso em 3 out. 2024.

GOVERNO DO BRASIL (2021). ***Brasil se compromete a reduzir emissões de carbono em 50% até 2030***. Disponível em: https://www.gov.br/casacivil/pt-br/assuntos/noticias/2021/novembro/brasil-se-compromete-a-reduzir-emissoes-de-carbono-em-50-ate-2030?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 10 jan. 2025.

GUIMBERTEAU, M.; CIAIS, P.; DUCHARNE, A.; BOISIER, J. P.; DUTRA AGUIAR, A. P.; BIEMANS, H.; DE DEURWAERDER, H.; GALBRAITH, D.; KRUIJT, B.; LANGERWISCH, F.; POVEDA, G.; RAMMIG, A.; RODRIGUEZ, D. A.; TEJADA, G.; THONICKE, K.; VON RANDOW, C.; VON RANDOW, R. C. S.; ZHANG, K.; VERBEECK, H. **Impacts of future deforestation and climate change on the hydrology of the Amazon Basin: a multi-model analysis with a new set of land-cover change scenarios**. Hydrology and Earth System Sciences, v. 21, n. 3, p. 1455-1475, mar. 2017. DOI: 10.5194/hess-21-1455-2017. Disponível em: https://hess.copernicus.org/articles/21/1455/2017/. Acesso em: 8 dez. 2023.

HERNANI, L. C.; FREITAS, P. L.; PRUSKI, F. F.; MARIA, I. C.; FILHO, C. C.; LANDERS, J. N. L. **A erosão e seu impacto**. In: MANZATTO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E. de; PERES, J. R. R. (ed.). *Uso agrícola dos solos brasileiros*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. cap. 5, p. 47-60. Disponível em:https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1124240/1/A-erosao-e-seu-impacto-2002.pdf. Acesso em: 10 jan. 2025.

INSTITUTO ARAPYAU. **Sistema MapBiomas Alerta é lançado e permite rapidez e eficácia no monitoramento e responsabilização do desmatamento dos biomas brasileiros**. Instituto Arapyaú, 7 jun. 2019. Disponível em: https://arapyau.org.br/sistema-mapbiomas-alerta-e-lancado-e-permite-rapidez-e-eficacia-no-monitoramento-e-responsabilizacao-do-desmatamento-dos-biomas-brasileiros/. Acesso em: 4 out. 2024.

IBGE. **Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo – Características da População e dos Domicílios**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: http://www.sidra.ibge.gov.br/cd/cd2010universo.asp?o=7&i=P. Acesso em: 18 dez. 2024.

KAWASHIMA, R. S.; GIANNOTTI, M. A.; ALMEIDA, C. M. de; QUINTANILHA, J. A. **Modelagem dinâmica espacial como ferramenta para simulação de cenários da paisagem na região portuária da Baixada Santista**. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v. 22, n. 4, 2016. ISSN 1982-2170. DOI: https://doi.org/10.1590/S1982-21702016000400040.

LEITE-FILHO, A. T.; SOARES-FILHO, B. S.; DAVIS, J. L.; RODRIGUES, H. O. ***Modeling Environmental Dynamics with Dinamica EGO***. Belo Horizonte: Centro de Sensoriamento Remoto, Universidade Federal de Minas Gerais, 2020. Disponível em: https://dinamicaego.com/dokuwiki/doku.php?id=guidebook_start. Acesso em: 19 set. 2025.

LOLLO, J. A. de; NEVES, M. de P.; ARANTES, L. T.; LIMA, C. G. da R.; LORANDI, R. **Mudanças de uso e cobertura da terra e degradação ambiental em bacias hidrográficas**. In: AMÉRICO-PINHEIRO, Juliana Heloisa Pinê; BENINI, Sandra Medina (org.). Bacias hidrográficas: fundamentos e aplicações. 1.ed. Tupã (SP): ANAP, 2018. cap. 1, p. 15 - 40. ISBN 9788568242827. Disponível em: https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/acervo/detalhe/78860. Acesso em: 10 jan. 2025.

LYNGDOH, R. B.; SAHADEVAN, A. S.; AHMAD, T.; RATHORE, P. S.; MISHRA, M.; GUPTA, P. K.; MISRA, A. **AVHYAS: A free and open source QGIS plugin for advanced hyperspectral image analysis**. 2021. DOI: https://doi.org/10.48550/arXiv.2106.12776. Disponível em:

https://arxiv.org/abs/2106.12776 Acesso em: 3 out. 2024.

MACEDO, R. de C.; ALMEIDA, C. M. de; SANTOS, J. R. dos; RUDORFF, B. F. T. **Modelagem dinâmica espacial das alterações de cobertura e uso da terra relacionadas à expansão canavieira**. *Boletim de Ciências Geodésicas*, sec. Artigos, Curitiba, v. 19, n. 2, p. 313-337, abr.-jun. 2013. DOI: https://doi.org/10.1590/S1982-21702013000200009.

MACHADO, L. (2023). *Brasil deve desmatar área equivalente a MG até 2050, projeta estudo de Oxford*. BBC Brasil. Disponível em: https://www.bbc.com/portuguese/articles/ckdpygjg99go?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 10 jan. 2025.

MARQUES-CARVALHO, R.; ALMEIDA, C. M. de; ESCOBAR-SILVA, E. V.; OLIVEIRA ALVES, R. B. de; ANJOS LACERDA, C. S. de. **Simulation and Prediction of Urban Land Use Change Considering Multiple Classes and Transitions by Means of Random Change Allocation Algorithms**. Remote Sensing, v. 15, n. 90, 2023. DOI: 10.3390/rs15010090. Disponível em: https://www.mdpi.com/2072-4292/12/17/2735. Acesso em: 19 set. 2024.

MASSABKI, J. A.; PEIXOTO, A. S.; KAISER, I. M.; MANZATO, G. G. **Modelagem dos padrões da expansão urbana da Região Metropolitana de São Paulo baseada em Autômatos Celulares**. Revista Brasileira de Gestão Urbana, n. 9, p. 361-371, 2017. DOI: 10.1590/2175-3369.009.supl1.ao08. Disponível em: https://www.scielo.br/j/urbe/a/yqgtWDNcPtBfg64npkGXrMw/?lang=pt. Acesso em: 20 set. 2024.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA) (2020). ***Políticas públicas para proteção e recuperação da vegetação nativa***. Disponível em: https://antigo.mma.gov.br/component/k2/item/15470-pol%C3%ADticas-p%C3%BAblicas-para-prote%C3%A7%C3%A3o-e-recupera%C3%A7%C3%A3o-da-vegeta%C3%A7%C3%A3o-nativa.html?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 20 jan. 2025.

NASCIMENTO, Nathália Cristina Costa do. **Decisões sobre o uso da terra: modelagem e cenários para a fronteira agrícola entre Pará e Mato Grosso**. São José dos Campos: INPE, 2019. xxiv + 158 p. (sid.inpe.br/mtc-m21c/2019/04.02.11.44-TDI). Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2019. Orientadores: Drs. Jean Pierre Henry Balbaud Ometto e Jan Börner. Disponível em: http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3T3H2GE. Acesso em: 17 jan. 2025.

NETO, L. C. F.; DINIZ, C. G.; MARETTO, R. V.; PERSELLO, C.; SILVA PINHEIRO, M. L.; CASTRO, M. C.; SADECK, L. W. R.; FILHO, A. F.; CANSADO, J.; SOUZA, A. A. de A.; FEITOSA, J. P.; SANTOS, D. C.; ADAMI, M.; SOUZA-FILHO, P. W. M.; STEIN, A.; BIEHL, A.; KLAUTAU, A. **Uncontrolled Illegal Mining and Garimpo in the Brazilian Amazon**. *Nature Communications*, v. 15, n. 1, p. 9847, 2024. DOI: https://doi.org/10.1038/s41467-024-54220-2.

NUNES, F. G.; SANTOS, A. M. dos. **Uso e cobertura da terra e efetividade das normativas legais em unidades de conservação no estado de Goiás - Brasil**. *Boletim de Geografia*, v. 40, p. 170-185, e61909, 21 set. 2022. ISSN: 2176-4786. DOI: https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v40.a2022.e61909.

OLIVEIRA, U.; SOARES-FILHO, B.; LEITÃO, R. F. M.; RODRIGUES, H. O. **BioDinamica: a toolkit for analyses of biodiversity and biogeography on the Dinamica-EGO modelling platform**. *PeerJ*, v. 7, e7213, 2019. DOI: 10.7717/peerj.7213. Disponível em: https://peerj.com/articles/7213/. Acesso em: 4 out. 2024.

OLIVEIRA, L. M. de; COSTA, T. L.; LIMA, C. N.; FREITAS, R. S. de; FERREIRA, M. da C. C.;

ALVES, E. P. **Modelagem dinâmica da expansão urbana usando autômatos celulares: o caso de Fortaleza - CE**. Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, [s. l.], v. 13, p. 1-14, 2021. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/2175-3369.013.e20200092. Disponível em: SciELO Brasil - Modelagem dinâmica da expansão urbana usando autômatos celulares: o caso de Fortaleza-CE Modelagem dinâmica da expansão urbana usando autômatos celulares: o caso de Fortaleza-CE. Acesso em: 4 out. 2024.

OLIVEIRA, N. F. de; ARRAUT, E. M. **A Evolução da Acurácia das coleções do MapBiomas para a Paisagem Altamente Fragmentada de São Paulo**. Revista Brasileira de Cartografia, [S. l.], v. 76, 2024. DOI: 10.14393/rbcv76n0a-69737. Disponível em: https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/69737. Acesso em: 19 dez. 2024.

PACHECO, M. B. dos S.; GOMES, D. D. M. **A relação entre bacias hidrográficas e segurança hídrica: uma revisão bibliográfica**. Anais do XX SBGFA - Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada & IV ELAAGFA - Encontro Luso-Afro-Americano de Geografia Física e Ambiente... Campina Grande: Realize Editora, 2024. Disponível em: https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/118397. Acesso em: 04 fev. 2025.

PARENTE, L.; MESQUITA, V.; MIZIARA, F.; BAUMANN, L.; FERREIRA, L. **Assessing the pasturelands and livestock dynamics in Brazil, from 1985 to 2017: A novel approach based on high spatial resolution imagery and Google Earth Engine cloud computing**. *Remote Sensing of Environment*, v. 232, 2019, 111301. ISSN 0034-4257. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111301.

PIROLI, E. L. **Água e bacias hidrográficas: planejamento, gestão e manejo para enfrentamento das crises hídricas [online]**. São Paulo: Editora UNESP, 2022, 141 p. ISBN: 978-65-5714-298-1. https://doi.org/10.7476/9786557142981.

PIROLI, E. L.; DE ÁVILA, A. L. M. A. **ANÁLISE DAS MUDANÇAS NO USO DA TERRA DO CÓRREGO SANTA FÉ, MUNICÍPIO DE SÃO PAULO AO LONGO DE QUATRO DÉCADAS E DOS IMPACTOS SOBRE SUAS ÁGUAS**. Formação (Online), [S. l.], v. 29, n. 54, p. 253–273, 2022. DOI: 10.33081/formacao.v29i54.8447

PISANI, R. J.; DEMARCHI , J. C. .; RIEDEL, P. S. **Simulação de cenário prospectivo de mudanças no uso e cobertura da terra na sub-bacia do rio Capivara, Botucatu - SP, por meio de Modelagem Espacial Dinâmica**. Revista Cerrados, *[S. l.]*, v. 14, n. 02, p. 03–29, 2016. DOI: 10.22238/rc24482692v14n22016p03a29

Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA). **Potencial do solo e da agricultura no combate às mudanças do clima**. *United Nations Environment Programme*, 2025. Disponível em: https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/story/potencial-do-solo-e-da-agricultura-no-combate-mudancas-do-clima. Acesso em: 10 jan. 2025.

ROCHA, H. M.; CABRAL, J. B. P.; BRAGA, C. C. **Avaliação espaço-temporal das águas dos afluentes do Reservatório da UHE-Barra dos Coqueiros/Goiás**. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 19, n. 1, p. 131-142, 2014. ISSN 2318-0331. DOI: 10.21168/rbrh.v19n1.p131-142.

ROCHA, W. J. S. F.; VASCONCELOS, R. N.; COSTA, D. P.; DUVERGER, S. G.; LOBÃO, J. S. B.; SOUZA, D. T. M.; HERRMANN, S. M.; SANTOS, N. A.; FRANCA ROCHA, R. O.; FERREIRA-FERREIRA, J.; OLIVEIRA, M.; BARBOSA, L. d. S.; CORDEIRO, C. L.; AGUIAR, W. M. **Towards uncovering three decades of LULC in the Brazilian drylands: Caatinga biome dynamics (1985–2019)**. *Land*, v. 13, n. 8, 1250, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/land13081250.

RAMOS, A. W. P.; AZEVEDO, Úrsula R. de; GALVANIN, E. A. dos S. **MODELAGEM**

PREDITIVA DE DESMATAMENTO NA BACIA DO ALTO PARAGUAI NO ESTADO DE MATO GROSSO, BRASIL. Caminhos de Geografia, Uberlândia, v. 25, n. 101, p. 112–130, 2024. DOI: 10.14393/RCG2510171664. Disponível em: https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/71664. Acesso em: 20 dez. 2024.

RODRIGUES, H. O.; SOARES-FILHO, B. S.; COSTA, W. L. de S. **Dinamica EGO, uma plataforma para modelagem de sistemas ambientais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 13, Florianópolis. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE, p. 3089-3096, 2007. Disponível em: http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.06.17.59/doc/3089-3096.pdf. Acesso em 8 dez. 2023.

ROSAS-CHAVOYA, M. GALLARDO-SALAZAR, J. L.; LÓPEZ-SERRANO, P. M.; ALCÁNTARA-CONCEPCIÓN, P. C.; LEÓN-MIRANDA, A. K. **QGIS a constantly growing free and open-source geospatial software contributing to scientific development**. Cuadernos de Investigación Geográfica, Logroño, SPA, v. 48, n. 1, p. 197–213, 2022. DOI: 10.18172/cig.5143. Disponível em: https://publicaciones.unirioja.es/ojs/index.php/cig/article/view/5143. Acesso em: 3 out. 2024.

SABOYA, R. T. de. **Análises espaciais em planejamento urbano: novas tendências**. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais*, [S. l.], n. 3, p. 61, 2000. DOI: 10.22296/2317-1529.2000n3p61.

SANTOS, F. M.; LEAL, A. C. **Planejamento ambiental da bacia hidrográfica do córrego Embirí – UGRHI Pontal do Paranapanema – São Paulo.** *Geo Atos*, Presidente Prudente, SP, v. 1, n. 14, p. 53-75, jan./jun. 2014. Disponível em: https://www.bing.com/ck/a?!&&p=4fc426fa9bc2ceace1a911b9a01d5b175495b9f4917d5995ef02d19aac580f1eJmltdHM9MTczNzE1ODQwMA&ptn=3&ver=2&hsh=4&fclid=33b4d3ad-c866-6363-30b0-c744c93162db&psq=Planejamento+ambiental+da+bacia+hidrogr%c3%a1fica+do+c%c3%b3rrego+Embir%c3%ad+%e2%80%93+UGRHI+Pontal+do+Paranapanema+%e2%80%93+S%c3%a3o+Paulo.+Geo+Atos%2c+Presidente+Prudente%2c+SP%2c+v.+1%2c+n.+14%2c+p.+53-75%2c+jan.%2fjun.+2014.&u=a1aHR0cHM6Ly9yZXZpc3RhLmZjdC51bmVzcC5ici9pbmRleC5waHAvZ2VvZ3JhZmlhZW1hdG9zL2FydGljbGUvZG93bmxvYWQvMjYyNy9wZGZhY2wvMA. Acesso em: 10 jan. 2025.

SANTOS, A. M. dos; NUNES, F. G. **Mapeamento de cobertura e do uso da terra: críticas e autocríticas a partir de um estudo de caso na Amazônia brasileira**. *Geosul*, Florianópolis, v. 36, n. 78, p. 476-495, jan./abr. 2021. DOI: https://doi.org/10.5007/2177-5230.2021.e72887.

SANTOS, S. A. dos; SANTOS, A. M. dos; CASTRO, F. C.; LOPES, R. J. de C.; FIGUEIREDO, G.; OLIVEIRA, I. J. de; . **Modelagem de cenários futuros de uso e cobertura das terras associada à perda de solo em microbacia hidrográfica no semiárido brasileiro**. In: XX SBGFA - Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada & IV ELAAGFA - Encontro Luso-Afro-Americano de Geografia Física e Ambiente, Campina Grande: Realize Editora, 2024. ISSN: 2236-5311. Disponível em: https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/118596. Acesso em: 10 jan. 2025.

SILVA, R. A. de S. e. As mudanças no uso e cobertura da terra e sua influência na geração de ilhas de calor urbana da superfície e conforto térmico em João Pessoa, Paraíba. 2020. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020. Orientador: Richarde Marques da Silva. Disponível em: https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/21498. Acesso em: 10 jan. 2025.

SILVA, E. O. da; OLIVEIRA, C. P. de; BELEM, F. L.; SANTOS, V. F. dos; SILVA, G. A. da.

Simulação da paisagem da bacia hidrográfica de captação direta do reservatório da Usina Hidrelétrica de Ferreira Gomes - Amapá utilizando sensoriamento remoto. In: ANAIS DO XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2023, Florianópolis. Anais eletrônicos... INPE, 2023. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr-2023/trabalhos/simulacao-da-paisagem-da-bacia-hidrografica-de-captacao-direta-do-reservatorio-d?lang=pt-br>. Acesso em: 10 jan. 2025.

SOARES-FILHO, B.; ALENCAR, A.; NEPSTAD, D. C.; CERQUEIRA, G. C.; DIAZ, M. del C. V.; RIVERO, S.; SOLORZANO, L.; VOLL, E. **Simulating the response of land-cover changes to road paving and governance along a major Amazon highway: the Santarém–Cuiabá corridor**. *Global Change Biology*, v. 10, n. 5, p. 745–764, 2004. DOI: 10.1111/j.1529-8817.2003.00769.x.

SOARES-FILHO, B. S.; NEPSTAD, D. C.; CURRAN, L. M.; CERQUEIRA, G. C.; GARCIA, R. A.; RAMOS, C. A.; VOLL, E.; MCDONALD, A.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P. **Modelling conservation in the Amazon basin. Nature**, v. 440, p. 520–523, 2006. DOI: 10.1038/nature04389. Disponível em: https://www.nature.com/articles/nature04389#citeas. Acesso em: 8 dez. 2024.

SOARES-FILHO, B.; MOUTINHO, P.; NEPSTAD, D.; ANDERSON, A.; RODRIGUES, H.; GARCIA, R.; DIETZSCH, L.; MERRY, F.; BOWMAN, M.; HISSA, L.; SILVESTRINI, R.; MARETTI, C. **Role of Brazilian Amazon protected areas in climate change mitigation**. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 107, n. 24, p. 10821-10826, 2010. DOI: 10.1073/pnas.0913048107.

SOUZA JR, C. M.; MARENGO, J.; FERREIRA, B.; RIBEIRO, J.; SCHIRMBECK, L. W.; SCHIRMBECK, J.; HIRYE, M.; CUNHA, A.; WIEDERHECKER, H. C.; LATUF, M. O. **Amazon severe drought in 2023 triggered surface water loss**. *Environmental Research: Climate*, v. 4, p. 041002, 2024. DOI: https://doi.org/10.1088/2752-5295/ad7c71.

SOUZA, I. B. S. de; OLIVEIRA, L. L. F. de; THOMÉ, R. G.; SANTOS, H. B. dos; PAIVA, M. C. de .; CHEQUER, F. M. D. **Hydric pollution and its genotoxic potential: An analysis of the Doce river basin after the Fundao dam failure**. Research, Society and Development, [S. l.], v. 10, n. 7, p. e17010716374, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i7.16374. Disponível em: https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/16374. Acesso em: 18 dez. 2024.

SOUZA, Y. G. de.; COSTA, D. F. da.; AMORIM, R. de F. Cenários futuros da cobertura vegetal em áreas de nascentes: uma análise preliminar. Anais do XX SBGFA - Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada & IV ELAAGFA - Encontro Luso-Afro-Americano de Geografia Física e Ambiente... Campina Grande: Realize Editora, 2024. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/117760>. Acesso em: 10 jan. 2025.

TOLEDO PIZA, M. W.; BUENO, O. C.; TOLEDO PIZA, F. B.; GARCIA, Y. M. **A GESTÃO DOS USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA NUMA BACIA HIDROGRÁFICA COMO FERRAMENTA DE DESENVOLVIMENTO REGIONAL SUSTENTÁVEL**. ENERGIA NA AGRICULTURA, *[S. l.]*, v. 30, n. 2, p. 193–201, 2014. DOI: 10.17224/EnergAgric.2015v30n2p193-201. Disponível em: https://revistas.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/1689. Acesso em: 4 fev. 2025.

TRENTIN, G.; FREITAS, M. I. C. de. **Modelagem da dinâmica espacial urbana: modelo de autômato celular na simulação de cenários para o município de Americana-SP**. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 62, 2011. DOI: https://doi.org/10.14393/rbcv62n0-43709.

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. **Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 1, p. 8–13, 2010. DOI:

https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000100008.

XAVIER, A. P. C.; SILVA, R. M. da. **Modelagem temporal dinâmica do uso e ocupação do solo baseado em SIG para a bacia do Rio Tapacurá (PE)**. *Geociências*, v. 37, n. 1, p. 1–14, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.5016/geociencias.v37i1.12623.

ZHAO, Q.; YU, L.; LI, X.; PENG, D.; ZHANG, Y.; GONG, P. **Progress and Trends in the Application of Google Earth and Google Earth Engine. Remote Sens**., v. 13, p. 3778, 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/rs13183778. Disponível em: https://www.mdpi.com/2072-4292/13/18/3778. Acesso em: 3 out. 2024.