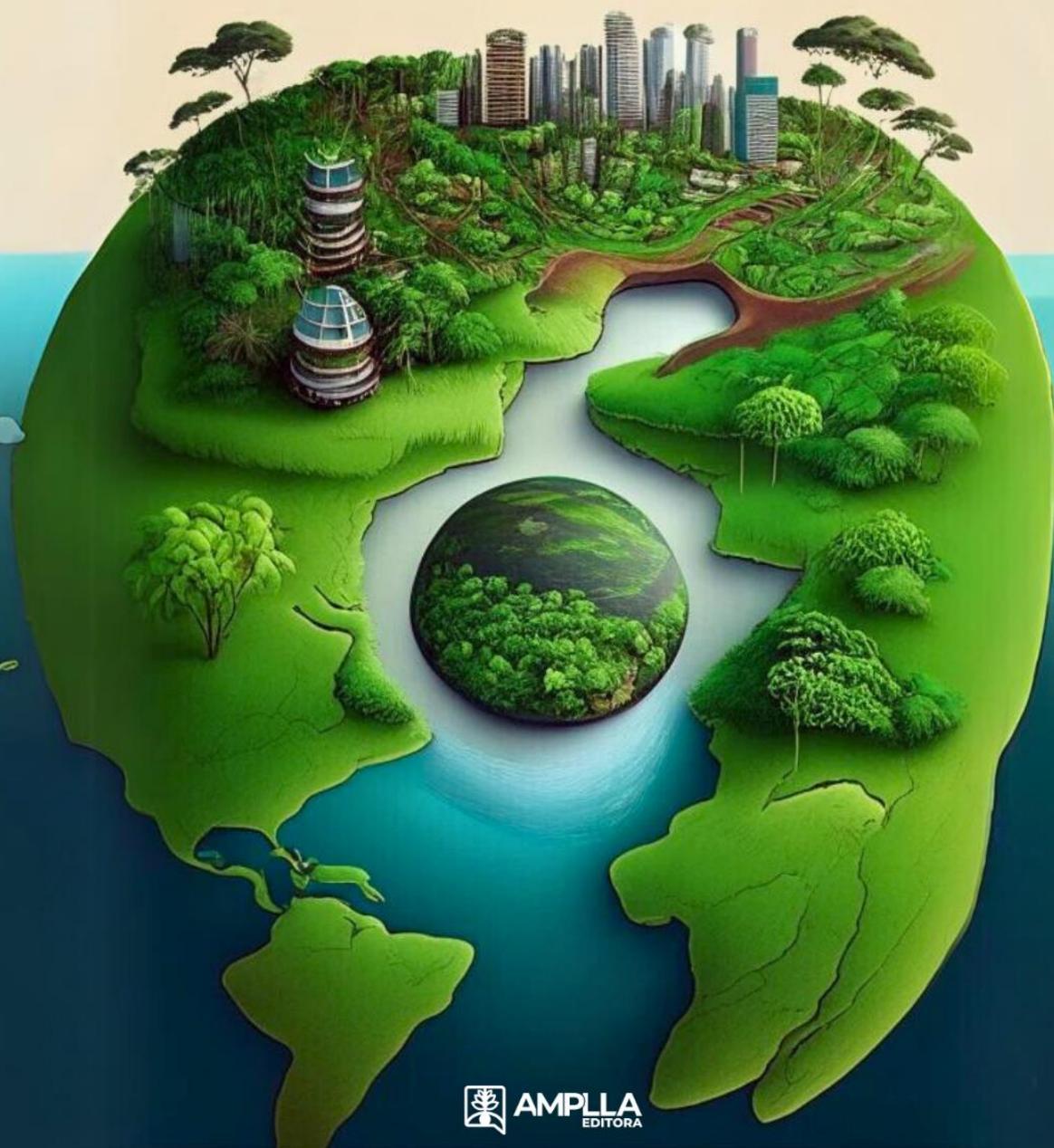


Acta Ciências Ambientais do IFTM

VOLUME III

Organizadores

Cláudio Márcio de Castro
Joyce Silvestre de Sousa
Magda Stela de Melo Martins



Acta Ciências Ambientais do IFTM

VOLUME III

Organizadores

Cláudio Márcio de Castro
Joyce Silvestre de Sousa
Magda Stela de Melo Martins





2023 - Ampla Editora

Copyright da Edição © Ampla Editora

Copyright do Texto © Os autores

Editor Chefe: Leonardo Pereira Tavares

Design da Capa: Ampla Editora

Diagramação: Juliana Ferreira

Revisão: Os autores

Acta ciências ambientais do IFTM – Volume III está licenciado sob CC BY-NC 4.0.



Essa licença permite que outros remixem, adaptem e desenvolvam seu trabalho para fins não comerciais e, embora os novos trabalhos devam ser creditados e não possam ser usados para fins comerciais, os usuários não precisam licenciar esses trabalhos derivados sob os mesmos termos. O conteúdo da obra e sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores e não representam a posição oficial da Ampla Editora. O download e o compartilhamento da obra são permitidos, desde que os autores sejam reconhecidos. Todos os direitos desta edição foram cedidos à Ampla Editora.

ISBN: 978-65-5381-163-8

DOI: 10.51859/ampla.aca638.1323-0

Ampla Editora

Campina Grande – PB – Brasil

contato@amplaeditora.com.br

www.amplaeditora.com.br



2023

CONSELHO EDITORIAL

Alexander Josef Sá Tobias da Costa – Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Andréa Cátia Leal Badaró – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Andréia Monique Lermen – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Antonele Silvana de Melo Souza – Universidade Estadual do Ceará

Aryane de Azevedo Pinheiro – Universidade Federal do Ceará

Bergson Rodrigo Siqueira de Melo – Universidade Estadual do Ceará

Bruna Beatriz da Rocha – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Bruno Ferreira – Universidade Federal da Bahia

Caio Augusto Martins Aires – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Caio César Costa Santos – Universidade Federal de Sergipe

Carina Alexandra Rondini – Universidade Estadual Paulista

Carla Caroline Alves Carvalho – Universidade Federal de Campina Grande

Carlos Augusto Trojaner – Prefeitura de Venâncio Aires

Carolina Carbonell Demori – Universidade Federal de Pelotas

Cícero Batista do Nascimento Filho – Universidade Federal do Ceará

Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Dandara Scarlet Sousa Gomes Bacelar – Universidade Federal do Piauí

Daniela de Freitas Lima – Universidade Federal de Campina Grande

Darlei Gutierrez Dantas Bernardo Oliveira – Universidade Estadual da Paraíba

Denilson Paulo Souza dos Santos – Universidade Estadual Paulista

Denise Barguil Nepomuceno – Universidade Federal de Minas Gerais

Dinara das Graças Carvalho Costa – Universidade Estadual da Paraíba

Diogo Lopes de Oliveira – Universidade Federal de Campina Grande

Dylan Ávila Alves – Instituto Federal Goiano

Edson Lourenço da Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí

Elane da Silva Barbosa – Universidade Estadual do Ceará

Érica Rios de Carvalho – Universidade Católica do Salvador

Fernanda Beatriz Pereira Cavalcanti – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Fredson Pereira da Silva – Universidade Estadual do Ceará

Gabriel Gomes de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas

Gilberto de Melo Junior – Instituto Federal do Pará

Givanildo de Oliveira Santos – Instituto Brasileiro de Educação e Cultura

Higor Costa de Brito – Universidade Federal de Campina Grande

Hugo José Coelho Corrêa de Azevedo – Fundação Oswaldo Cruz

Isabel Fontgalland – Universidade Federal de Campina Grande

Isane Vera Karsburg – Universidade do Estado de Mato Grosso

Israel Gondres Torné – Universidade do Estado do Amazonas

Ivo Batista Conde – Universidade Estadual do Ceará

Jaqueline Rocha Borges dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Jessica Wanderley Souza do Nascimento – Instituto de Especialização do Amazonas

João Henriques de Sousa Júnior – Universidade Federal de Santa Catarina

João Manoel Da Silva – Universidade Federal de Alagoas

João Vitor Andrade – Universidade de São Paulo

Joilson Silva de Sousa – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

José Cândido Rodrigues Neto – Universidade Estadual da Paraíba

Jose Henrique de Lacerda Furtado – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Josenita Luiz da Silva – Faculdade Frassinetti do Recife

Josiney Farias de Araújo – Universidade Federal do Pará

Karina de Araújo Dias – SME/Prefeitura Municipal de Florianópolis

Katia Fernanda Alves Moreira – Universidade Federal de Rondônia

Laís Portugal Rios da Costa Pereira – Universidade Federal de São Carlos

Laíze Lantyer Luz – Universidade Católica do Salvador

Lindon Johnson Pontes Portela – Universidade Federal do Oeste do Pará

Lisiane Silva das Neves – Universidade Federal do Rio Grande

Lucas Araújo Ferreira – Universidade Federal do Pará

Lucas Capita Quarto – Universidade Federal do Oeste do Pará

Lúcia Magnólia Albuquerque Soares de Camargo – Unifacisa Centro Universitário

Luciana de Jesus Botelho Sodrê dos Santos – Universidade Estadual do Maranhão

Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas

Luiza Catarina Sobreira de Souza – Faculdade de Ciências Humanas do Sertão Central

Manoel Mariano Neto da Silva – Universidade Federal de Campina Grande

Marcelo Alves Pereira Eufrazio – Centro Universitário Unifacisa

Marcelo Williams Oliveira de Souza – Universidade Federal do Pará

Marcos Pereira dos Santos – Faculdade Rachel de Queiroz

Marcus Vinicius Peralva Santos – Universidade Federal da Bahia

Maria Carolina da Silva Costa – Universidade Federal do Piauí

Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas

Marina Magalhães de Morais – Universidade Federal do Amazonas

Mário César de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia

Michele Antunes – Universidade Feevale

Michele Aparecida Cerqueira Rodrigues – Logos University International

Milena Roberta Freire da Silva – Universidade Federal de Pernambuco

Nadja Maria Mourão – Universidade do Estado de Minas Gerais

Natan Galves Santana – Universidade Paranaense

Nathalia Bezerra da Silva Ferreira – Universidade do Estado do Rio Grande do Norte

Neide Kazue Sakugawa Shinohara – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Neudson Johnson Martinho – Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Mato Grosso

Patrícia Appelt – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Paula Milena Melo Casais – Universidade Federal da Bahia

Paulo Henrique Matos de Jesus – Universidade Federal do Maranhão

Rafael Rodrigues Gomides – Faculdade de Quatro Marcos

Reângela Cíntia Rodrigues de Oliveira Lima – Universidade Federal do Ceará

Rebeca Freitas Ivanicska – Universidade Federal de Lavras

Renan Gustavo Pacheco Soares – Autarquia do Ensino Superior de Garanhuns

Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília

Ricardo Leoni Gonçalves Bastos – Universidade Federal do Ceará

Rodrigo da Rosa Pereira – Universidade Federal do Rio Grande

Rubia Katia Azevedo Montenegro – Universidade Estadual Vale do Acaraú

Sabryna Brito Oliveira – Universidade Federal de Minas Gerais

Samuel Miranda Mattos – Universidade Estadual do Ceará

Selma Maria da Silva Andrade – Universidade Norte do Paraná

Shirley Santos Nascimento – Universidade Estadual Do Sudoeste Da Bahia

Silvana Carloto Andres – Universidade Federal de Santa Maria

Silvio de Almeida Junior – Universidade de Franca

Tatiana Paschoalette R. Bachur – Universidade Estadual do Ceará | Centro Universitário Christus

Telma Regina Stroparo – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Thayla Amorim Santino – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Thiago Sebastião Reis Contarato – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Tiago Silveira Machado – Universidade de Pernambuco

Virgínia Maia de Araújo Oliveira – Instituto Federal da Paraíba

Virginia Tomaz Machado – Faculdade Santa Maria de Cajazeiras

Walmir Fernandes Pereira – Miami University of Science and Technology

Wanessa Dunga de Assis – Universidade Federal de Campina Grande

Wellington Alves Silva – Universidade Estadual de Roraima

William Roslindo Paranhos – Universidade Federal de Santa Catarina

Yáscara Maia Araújo de Brito – Universidade Federal de Campina Grande

Yasmin da Silva Santos – Fundação Oswaldo Cruz

Yuciara Barbosa Costa Ferreira – Universidade Federal de Campina Grande



2023 - Ampla Editora

Copyright da Edição © Ampla Editora

Copyright do Texto © Os autores

Editor Chefe: Leonardo Pereira Tavares

Design da Capa: Ampla Editora

Diagramação: Juliana Ferreira

Revisão: Os autores

Catlogação na publicação
Elaborada por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

A188

Acta ciências ambientais do IFTM - Volume III / Organizadores Cláudio Márcio de Castro, Joyce Silvestre de Sousa, Magda Stela de Melo Martins. – Campina Grande/PB: Ampla, 2023.

Livro em PDF

ISBN 978-65-5381-163-8

DOI 10.51859/ampla.aca638.1323-0

1. Meio ambiente. 2. Geoprocessamento. 3. Planejamento urbano. 4. Sensoriamento remoto. I. Castro, Cláudio Márcio de (Organizador). II. Sousa, Joyce Silvestre de (Organizadora). III. Martins, Magda Stela de Melo (Organizadora). IV. Título.

CDD 577

Índice para catálogo sistemático

I. Meio ambiente

Ampla Editora

Campina Grande – PB – Brasil

contato@amplaeditora.com.br

www.amplaeditora.com.br

PREFÁCIO

O progresso humano é inegável quando analisamos pelo ponto de vista das transformações urbanas, avanço na medicina e evolução tecnológica moldando nosso mundo de maneiras inimagináveis. Estes e outros fatores são indicadores de progresso da humanidade em muitos aspectos. Porém, o crescimento populacional e o uso insustentável dos recursos naturais podem ter impactos negativos sobre o meio ambiente e o equilíbrio ecológico do planeta. O terceiro volume do "Acta Ciências Ambientais" é um testemunho do compromisso constante do Programa de Pós-Graduação lato sensu em Ciências Ambientais do IFTM - *campus* Uberaba em capturar e compreender as nuances dessas mudanças, fornecendo análises e soluções essenciais em prol da sustentabilidade ambiental.

Os volumes anteriores desta série já nos mostraram a complexidade das questões ambientais em nosso país. No Volume I, exploramos a explosão populacional e a urbanização desordenada, identificando os problemas que surgem com o aumento do consumo de recursos naturais. Em um cenário de desafios crescentes, a legislação ambiental brasileira começou a oferecer diretrizes mais rígidas para a gestão de resíduos sólidos, sinalizando um caminho em direção à responsabilidade compartilhada pela preservação ambiental.

No Volume II, o foco recaiu sobre o saneamento básico, um dos pilares fundamentais para a saúde pública e a qualidade de vida. A universalização do saneamento ainda permanece como um desafio, com a necessidade de elaboração de Planos de Saneamento Básico e a inserção do setor privado no cenário, refletindo as dificuldades inerentes a um país de dimensões continentais.

Agora, com a publicação do Volume III do "Acta Ciências Ambientais", avançamos ainda mais na compreensão e busca por soluções. Os trabalhos apresentados aqui se debruçam sobre temas críticos, tais como o uso e ocupação do solo, uso de geotecnologias para escolha de áreas adequadas para a instalação de aterros sanitários, dentre outros. Esses temas são vitais, pois o uso adequado da terra e a seleção de áreas apropriadas são essenciais para mitigar impactos ambientais e promover a sustentabilidade.

Neste volume, você encontrará uma riqueza de pesquisas e análises realizadas por profissionais e estudantes dedicados, cujo comprometimento com a preservação ambiental é evidente em cada página. Os estudos abrangem diferentes localidades, ampliando nosso conhecimento sobre as particularidades regionais em relação ao ambiente e suas necessidades.

Os desafios e oportunidades que enfrentamos em relação ao meio ambiente são complexos, mas, como mostra este livro, a academia e a pesquisa desempenham um papel fundamental na busca de soluções. Cada trabalho aqui presente contribui para a construção de novas reflexões, orientadas à sustentabilidade ambiental, e promove uma visão de futuro mais saudável para as gerações vindouras.

Assim como nos volumes anteriores, os organizadores deste livro, bem como os autores dos capítulos, compartilham o desejo de que esses trabalhos inspirem novas pesquisas, debates e ações em prol do nosso ambiente e de nossa sociedade. Desejamos a todos uma leitura proveitosa e enriquecedora. Que estas páginas sirvam como guia e inspiração para todos aqueles que compartilham conosco a preocupação e o compromisso com um futuro mais sustentável.

Cláudio Márcio de Castro

*Licenciado em Química
Doutor em Ciências, área de concentração: Química*

SUMÁRIO

CAPÍTULO I - PLANEJAMENTO URBANO E GEOPROCESSAMENTO: ESTUDO DE CASO DA ADERÊNCIA AO PLANO DIRETOR EM UBERÁBBA-MG, BRASIL	10
CAPÍTULO II - SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO APLICADOS À TOPOGRAFIA GERANDO INDICADORES PARA ESCOLHA DE ÁREA PARA IMPLANTAÇÃO DE USINA DE ENERGIA FOTOVOLTAICA NO IFTM – CAMPUS UBERÁBBA/MG.....	35
CAPÍTULO III - ANÁLISE MULTICRITÉRIO PARA A INDICAÇÃO DAS ÁREAS APTAS À IMPLANTAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS SOB CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL NA ÁREA ENTRE COROMANDEL, GUIMARÂNIA E PATROCÍNIO (MG)	51
CAPÍTULO IV - APLICAÇÃO DE SIG PARA INSTALAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO NA REGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO: CAMPINA VERDE E GURINHATÃ - MG.....	75
CAPÍTULO V - GEOPROCESSAMENTO PARA ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA REGIÃO DE BAURU-SP	101
CAPÍTULO VI - USO DE FERRAMENTAS DE GEOPROCESSAMENTO NA SELEÇÃO DE ÁREAS ADEQUADAS PARA A INSTALAÇÃO DE UM ATERRO SANITÁRIO CONSORCIADO NOS MUNICÍPIOS DE BAMBUÍ, MEDEIROS E IBIÁ NO ESTADO DE MINAS GERAIS.....	119
CAPÍTULO VII - O PAPEL DA EDUCAÇÃO AMBIENTAL NA MANUTENÇÃO DE PLANOS MUNICIPAIS DE ARBORIZAÇÃO	139
CAPÍTULO VIII - ANÁLISE TEMPORAL E QUANTIFICAÇÃO DA EXPANSÃO URBANA NO MUNICÍPIO DE TEÓFILO OTONI-MG.....	152
CAPÍTULO IX - PANORAMA DA LOGÍSTICA REVERSA DE MEDICAMENTOS NA CIDADE DE UBERÁBBA FRENTE AO NOVO DECRETO 10.388/22.....	162
CAPÍTULO X - MAPA DE MUDANÇAS NO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO PARA AS CIDADES DE ITAIPÉ, LADAINHA, NOVO CRUZEIRO E TEÓFILO OTONI NO ESTADO DE MINAS GERAIS	178
CAPÍTULO XI - IMPLANTAÇÃO DA LOGÍSTICA REVERSA NO SETOR DE ELETROELETRÔNICO NO MUNICÍPIO DE UBERÁBBA-MG: DESAFIOS E OPORTUNIDADES	192

CAPÍTULO I

PLANEJAMENTO URBANO E GEOPROCESSAMENTO: ESTUDO DE CASO DA ADERÊNCIA AO PLANO DIRETOR EM UBERABA-MG, BRASIL

URBAN PLANNING AND GEOPROCESSING: A CASE STUDY OF THE ADHERENCE TO THE MASTER PLAN IN UBERABA-MG, BRAZIL

DOI: 10.51859/amplla.aca638.1323-1

Renato Afonso Maia Carneiro ¹
Cláudio Márcio de Castro ²
Joyce Silvestre de Sousa ²
Renato Farias do Valle Junior ²

¹ Estudante do Curso de Pós-Graduação *lato sensu* em Gestão Ambiental: Diagnóstico e Adequação Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro – *campus* Uberaba.

² Professor(a) do Programa de Pós-Graduação *lato sensu* na área Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro – *campus* Uberaba.

RESUMO

O Plano Diretor constitui-se como instrumento primordial da política de desenvolvimento e de expansão urbana, sendo crucial para o crescimento socioeconômico e ambiental sustentável de uma cidade ou município, no contexto brasileiro, garantindo suas necessidades básicas e prevenindo problemas de gestão. Tendo em vista a conformidade com as diretrizes de um Plano Diretor e suas cláusulas, este estudo tem como objetivo analisar a cidade de Uberaba. Atualmente, a cidade está passando por um momento crítico, pois uma nova versão de seu Plano Diretor está em processo de discussão. No entanto, informações acerca de sua aderência às versões vigentes e anteriores se mostram escassas. O objetivo do presente trabalho é de analisar, por meio de uma abordagem geoespacial, o crescimento urbano de Uberaba e seu grau de conformidade com as normativas estabelecidas nas interações de seu Plano Diretor. A metodologia adotada para este propósito se baseia no emprego de instrumentos especializados de geoprocessamento. Foi utilizado o Quantum GIS, software de código aberto capaz de gerar mapas temáticos de alta qualidade, o Google Earth Pro, ferramenta do Google análoga a um globo terrestre virtual com a representação de mapas históricos e sua interação em tempo real, e o Google Earth Engine, uma plataforma do Google que disponibiliza catálogos expansivos de satélites e aplicações programáveis para análise de dados. Essas ferramentas possibilitam uma análise visual e geoespacial do crescimento de Uberaba, bem como a avaliação de seu grau de aderência à legislação municipal presente nos anais da prefeitura.

Palavras-chave: Análise Espacial. Crescimento Urbano. *Software*.

ABSTRACT

The Master Plan is a primordial instrument of the development and urban expansion policy, being crucial for the sustainable socioeconomic and environmental growth of a city or municipality, in the Brazilian context, guaranteeing its basic needs and preventing management problems. In view of compliance with the guidelines of a Master Plan and its clauses, this study aims to analyze the city of Uberaba. Currently, the city is going through a critical moment, as a new version of its Master Plan is in the process of being discussed. However, information about its adherence to current and previous versions are relatively scarce. The objective of this work is to analyze, through a geospatial approach, the urban growth of Uberaba and its degree of compliance with the regulations established in the interactions of its Master Plan. The methodology adopted for this purpose is based on the use of specialized geoprocessing instruments. The software used were Quantum GIS, an open source software capable of creating high quality thematic maps, Google Earth Pro, a Google tool analogous to a virtual terrestrial globe with the representation of historical maps and their real-time interaction, and Google Earth Engine, a Google platform that provides expansive satellite catalogs and programmable applications for data analysis. These tools enabled a visual and geospatial analysis of the growth of Uberaba, as well as the evaluation of its degree of adherence to the municipal legislation present in the annals of the city hall.

Keywords: Spatial Analysis. Urban Growth. *Software*.

1. INTRODUÇÃO

O Plano Diretor (PD) é um instrumento fundamental para a política urbana brasileira. Instituído pela Constituição de 1988 (CF), ele é a base para a definição de políticas relacionadas ao desenvolvimento e expansão urbana, sendo regulamentado pelo Estatuto da Cidade (Lei Federal nº 10.257/2001), que estabelece normas que regulam o uso de propriedade urbana, pelo Código Florestal (Lei nº 4.771/1965 e agora nº 12.651/2012), que estabelece as normas gerais sobre proteção da vegetação, e pela Lei de Parcelamento do Solo Urbano (Lei nº 6.766/1979), que estabelece as normas gerais de loteamento e parcelamento do solo para esses fins.

Nesse contexto, o PD tem como objetivo orientar o desenvolvimento urbano com base em políticas públicas, influências econômicas e necessidades habitacionais, dentre outros imperativos, definindo o direcionamento do crescimento urbano de uma cidade. Sendo de responsabilidade municipal o ordenamento territorial por controle do parcelamento, uso e ocupação do solo, de arrecadação e aplicação de renda e de autonomia legislativa sobre seus imperativos locais (FERREIRA, 2018).

Desse modo, um PD deve ser elaborado com transparência e limpidez, com o envolvimento democrático da comunidade vigente a fim de melhor atender as necessidades locais sem discriminar quaisquer elementos do município (TEIXEIRA, 2008). Tal processo deve se manter atualizado e monitorado uma vez que, a falha na implementação de planos se mostra como uma barreira significativa para a consumação de um planejamento eficaz (BERKE et al., 2006).

Com base nas informações simplificadas, é perceptível que a cidade de Uberaba experimentou um desenvolvimento urbano significativo ao longo do tempo. Diversas iniciativas do PD foram documentadas nos registros da prefeitura local, desde sua implantação inicial em 2006 até sua atividade mais recente em 2018, conforme apurado no momento de elaboração deste estudo. No entanto, parece não haver pesquisas realizadas nos principais repositórios acadêmicos que estudam de forma explicitamente o processo de crescimento da cidade ou avaliam a eficácia da implementação do seu PD.

Com o objetivo de fomentar a pesquisa e promover a conscientização sobre esta temática, o presente estudo se propõe a analisar a conformidade da cidade de Uberaba, situada em Minas Gerais, às diretrizes estipuladas em seu PD. A análise visa determinar a eficácia na execução do plano, especificamente no que diz respeito ao seu processo de urbanização. Reconhecendo que a implementação bem-sucedida ou a falha do PD pode ter efeitos diretos,

incluindo o crescimento urbano desorganizado e a degradação ambiental, ambos podendo comprometer a qualidade de vida da população e dificultar a administração pública. Para realizar essa análise de forma efetiva e quantificável, o presente estudo pretende responder às seguintes questões:

- A cidade de Uberaba apresentou desvios em relação às diretrizes estabelecidas nas versões do PD?
- A aplicação de uma análise geoespacial pode se mostrar como ferramenta eficiente para a avaliação da aderência da cidade de Uberaba às normativas estabelecidas em seu PD?

Para esse intuito, serão realizadas, de forma técnica, a análise geoespacial do crescimento urbano da cidade de Uberaba com base na sua taxa de uso e ocupação da terra (Land Use and Land Cover–LULC) e a avaliação da sua aderência com as normativas estipuladas nas diversas versões do PD. Serão estudadas as literaturas relacionadas ao planejamento urbano da cidade, em ordem de identificar possíveis pontos críticos que podem ter impactado o crescimento urbano da cidade, em paralelo com ferramentas sofisticadas de geoprocessamento, como o Quantum GIS (QGIS), Google Earth Pro (GEP) e o Google Earth Engine (GEE), em ordem de verificar sua eficácia e criar um precedente para sua aplicação nos processos de planejamento e gestão urbana sustentável de Uberaba e de outros municípios.

2. METODOLOGIA

2.1. Caracterização da Área de Estudo e a Análise do Crescimento Urbano

A área de estudo consiste do perímetro urbano da cidade de Uberaba, localizado na região do Triângulo Mineiro no interior de Minas Gerais, Brasil, nas coordenadas 19°44'53" S e 47°55'54" W à uma altitude de 772m do nível do mar.

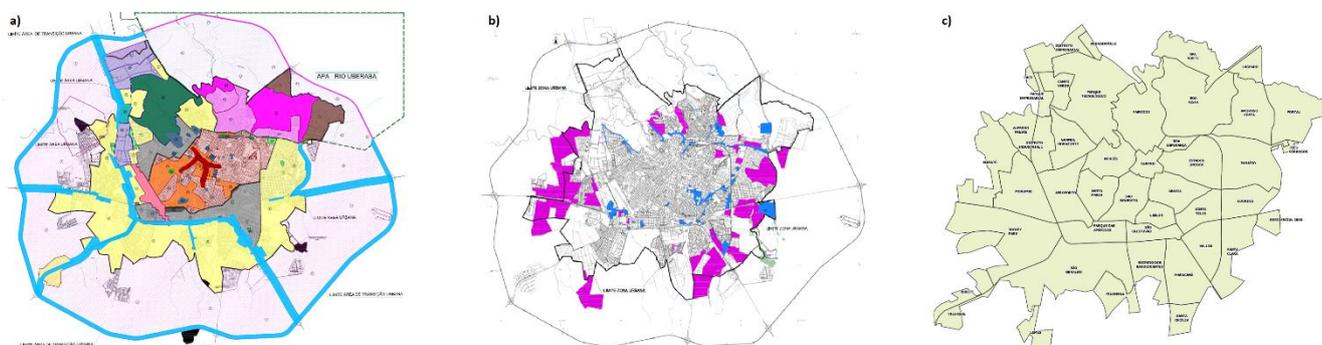
Segundo RADAMBRASIL (1983, p. 373), o município se encontra dentro da unidade de relevo definida como Planaltos e Chapadas da Bacia Sedimentar do Paraná, especificamente, dentro da subunidade Planalto Setentrional da Bacia do Paraná. Sua topografia é caracterizada como pertencente ao padrão de colinas amplas e suaves, formadas por rochas vulcânicas e sedimentares do período neocretáceo (145,5 a 65,5 Ma.), consistindo de um relevo pouco dissecado com amplitudes que variam de 20 m e 50 m (MACHADO; SILVA, 2010).

O território contém uma população estimada de 340.277 habitantes, sendo a 8ª cidade mais populosa de Minas Gerais, apresentando um PIB per capita de R\$50.997,49 e salário médio mensal de 2,6 salários mínimos, o município apresenta uma área total de 4523,96 Km² cuja apenas 98,72 Km² se encontra propriamente urbanizado (IBGE, 2023).

Devido à necessidade imperativa de suprir a demanda da população por habitação e serviços, a expansão urbana da cidade tem se manifestado de maneira contínua ao longo dos anos. Esta expansão tem seguido um padrão de crescimento horizontal, direcionada especialmente para áreas destinadas a abordar questões sociais e habitacionais.

Em ordem de realizar a análise desse padrão de crescimento urbano, foi utilizado como base as delimitações definidas em legislações relevantes, pelos documentos relacionados às interações existentes do PD e demais mapas localizados nos anais da Prefeitura Municipal de Uberaba (PMU), em especial os denominados “ZONAS ESPECIAIS DE INTERESSE SOCIAL” (ZEIS), que demarcam as zonas de regularização da ocupação urbana e zonas destinadas à expansão urbana de habitações de interesse social, “MACROZONEAMENTO URBANO”, que dividem o território urbano e determinam sua projeção de construção e desenvolvimento, demarcando especificações e limitações para cada macrozona, e “UNIDADES DE PLANEJAMENTO E GESTÃO” (UPGs), que subdividem o perímetro urbano em unidades com propósitos específicos em seu planejamento focando em atender necessidades particulares de cada área para o desenvolvimento da cidade, sendo o uso deste último de forma modificada em ordem de melhor representar o limite urbano (Figura 1).

Figura 1 – (a) Representação do Macrozoneamento Urbano de Uberaba (PMU - 2018); (b) Representação das Zonas Especiais de Interesse Social de Uberaba (PMU - 2018); (c) Subdivisão do contorno urbano em UPGs (Autor - 2023)



Fonte: (a) PMU; (b) PMU; (c) Dos autores.

Com base nessas definições a aderência ao planejamento urbano foi verificado utilizando uma análise superficial consistindo da macrozona em que o crescimento se encontra e seus fatores limitantes.

Se for confirmado que certos fatores não foram violados, ou que são irrelevantes para o contexto da expansão urbana, será deduzido que o PD foi implementado em conformidade com a legislação, sem qualquer irregularidade. Contudo, se for identificada alguma inconsistência,

será necessário pesquisar outros documentos nos registros da PMU que possam justificar e corrigir o desenvolvimento questionado. Se tais documentos não forem encontrados e se não houver uma atualização do PD que possa servir para o mesmo propósito, será considerado que o desenvolvimento urbano observado no território em questão foi irregular para o período analisado, por não seguir os critérios definidos pelo PD.

2.2. Fonte de Dados

2.2.1. Plataforma Google Earth Engine

A plataforma GEE possui um extenso acervo de imagens, tornando possível a coleta e classificação de dados geoespaciais de modo a executar uma análise célere da área de estudo dentro de um período estipulado. Esse estudo classificou o LULC do perímetro urbano de Uberaba baseando-se em imagens obtidas pelo Landsat 7 Collection 1 Tier 1 e dados em tempo real. O período em análise consistiu de uma janela de tempo entre os anos de 2007 e 2021, com resoluções espaciais (30m) e filtros de nuvens <10% (Tabela 1). O intervalo temporal examinado neste estudo se estendeu de 2007 a 2021, com imagens de satélite de resolução espacial de 30 metros e filtragem de cobertura de nuvens inferior a 10% (conforme Tabela 1). As buscas de dados foram selecionadas com base em marcos protegidos relacionados ao PD da cidade: a) ano de 2007, que correspondem à disponibilidade das imagens de satélite mais antigas e mais próximas à primeira interação do PD; b) 2013 e 2014, que marcam a primeira e segunda revisão do PD, respectivamente; c) 2018, que coincide com a introdução da versão atual do PD; d) e, finalmente, 2021, que representa a coleta mais recente de imagens de satélite disponíveis durante a elaboração deste estudo.

A configuração de bandas apresentadas na Tabela 1 foram selecionadas devida as suas capacidades de diferenciar em as características visíveis da imagem de satélite (1, 2, 3), detectar diferentes tipos de cobertura de solo e vegetação (4), e detecção de nuvens e vapor d'água (5).

A coleta de imagens representada na Tabela 2 consiste do satélite usado, o período em análise e o número de imagens usado para a classificação do LULC.

Tabela 1 – Características do Landsat 7

Satélite	Bandas	Comprimento de Onda (µm)	Resolução (m)
Landsat 7 (L7-30 m)	1-Azul	0.45 - 0.52 µm	30
	2-Verde	0.52 - 0.60 µm	30
	3-Vermelho	0.63 - 0.69 µm	30
	4-Próximo ao Infravermelho	0.77 - 0.90 µm	30
	5-Infravermelho de Ondas Curtas 1	1.55 - 1.75 µm	30

Fonte: Dos autores.

Tabela 2 – Informação sobre as imagens de satélite usadas para a classificação do LULC.
Simbologia: Landsat 7 (L7), n° - número de imagens geradas para classificação.

Ano	Satélite	Início	Fim	n° de imagens
2007	L7 – 30m	1 Janeiro 2007	31 Dezembro 2007	10
2013	L7 – 30m	1 Janeiro 2013	31 Dezembro 2013	15
2014	L7 – 30m	1 Janeiro 2014	31 Dezembro 2014	20
2018	L7 – 30m	1 Janeiro 2018	31 Dezembro 2018	17
2021	L7 – 30m	1 Janeiro 2021	31 Dezembro 2021	17

Fonte: Dos autores.

Além de seu leque de utilização no geoprocessamento da área, as bandas foram selecionadas de modo a apresentar a mesma resolução espacial, pois, segundo Filho et al. (2023, p. 6), “se mostra essencial o uso de bandas de imagem com o mesmo grau de resolução de pixel em ordem de melhorar a acurácia do LULC, isso se deve ao fato de que algoritmos como o RF requerem que todas as bandas utilizadas tenham a mesma resolução espacial”.

Assim, utilizou-se a técnica de redução do pixel à mediana de diversas imagens anuais para gerar uma imagem temporal única, possibilitando um diagnóstico mais preciso das alterações temporais. A técnica de redução do pixel à mediana de várias imagens anuais pode ser uma estratégia eficiente na geração de uma representação temporal singular, permitindo um diagnóstico mais preciso das mudanças temporais, ao mesmo tempo que minimiza a influência de dados anômalos ou ruídos na imagem resultante. Essas técnicas foram implementadas utilizando a plataforma GEE.

2.3. Classificador Random Forest

A ferramenta Random Forest (RF) se trata de um instrumento popular de classificação de imagens e dados baseado em um conjunto de árvores de decisão (AD) especificadas por seus usuários, de modo a diferenciar elementos específicos e determinar informações desejadas (SURYONO, KUSWANTO e IRIAWAN, 2022). O RF também se mostra como uma ferramenta acessível e prática devido a sua baixa complexidade computacional, facilidade de uso e alta capacidade de interpretação de dados simples ou complexos em comparação com ferramentas análogas (SHEYKHOUSA et al., 2020).

De modo de utilizar o modelo de classificação RF na plataforma GEE, certos recursos foram produzidos e adicionados ao algoritmo base em ordem de produzir a classificação. O arquivo de vetor (shaperfile) utilizado consistiu do contorno do perímetro urbano total da cidade, desenvolvido no software QGIS, com base nas delimitações definidas nos respectivos

mapas disponibilizados pela PMU. Dentro desta área e utilizando das janelas de tempo determinadas na Tabela 2, um catálogo de imagens foi construído dentro do Landsat 7 e habilitado ao script. O conjunto de dados empregado para o treinamento do classificador compreendia pontos de referência correspondentes a "Área Urbana", "Arborização" e "Pastagens/Área Verde". A seleção desses pontos para cada classe foi realizada de forma manual, por meio do uso de representações do pixel no script do GEE com o auxílio do GEP. A estratégia de seleção baseou-se na distinção visual de cada classe e na estabilidade dessas áreas ao longo dos períodos analisados. No total, foram selecionados 490 pontos para treinamento. Dentre eles, 80 correspondem a áreas arborizadas estáticas ou identificadas como Áreas de Proteção Ambiental (APA), 115 correspondem a áreas urbanas - que englobam construções residenciais, galpões, áreas pavimentadas, locais com desmatamento para loteamento e outras estruturas associadas ao processo de urbanização, e os 295 restantes referem-se a áreas de pastagem, agricultura, áreas verdes e terrenos baldios. Finalmente, a classificação foi gerada com base no algoritmo criado dentro do GEE, estando disponibilizado a seguir: <https://code.earthengine.google.com/ec2571f6a193b4017ee9b3f9abbe272d> (Acesso em: 14 mai. 2023, 16:50).

Para a determinação da acurácia da classificação do LULC conduzida dentro do GEE, foi utilizado o método de Matrizes de confusão (MC), ferramenta usada em aprendizado de máquina e em classificação supervisionada, que permite a visualização do desempenho de um algoritmo. No caso do RF, a MC é uma forma eficiente de avaliar o desempenho do classificador. O procedimento MC consiste na análise matricial dos positivos e negativos reais (PR, NR) juntamente com os positivos e negativos previstos (PP, NP) encontrados na análise da amostragem determinada, em ordem de gerar sua acurácia percentual (VISA et al., 2011).

Seguindo os procedimentos de SURYONO, KUSWANTO e IRIAWAN (2022), matrizes de avaliação (Tabela 3) foram produzidas no GEE para a identificação dos valores positivos e negativos verdadeiros (PV, NV), que correspondem às predições confiáveis da amostragem, juntamente com os falsos positivos e falsos negativos (FP, FN) que correspondem às predições inadequadas da amostragem. Os cálculos dos valores de Precisão de Usuário, correspondente à veracidade do mapa para terceiros, Precisão de Produtor, correspondente à veracidade do mapa para seu desenvolvedor, e a Acurácia geral, correspondente à confiabilidade geral dos dados apresentados, estão definidos nas Equações (1) a (3).

Tabela 3 – Matriz de Confusão

	Positivo Real (PR)	Negativo Real (NR)
Positivo Previsto (PP)	Positivo Verdadeiro (PV)	Falso Positivo (FP)
Negativo Previsto (NP)	Falso Negativo (FN)	Negativo Verdadeiro (NV)

Fonte: Dos autores.

$$\text{Acurácia geral: } \frac{PV + NV}{PV + NV + FP + FN} \quad (1)$$

$$\text{Precisão de produtor: } \frac{PV}{PV + FN} \quad (2)$$

$$\text{Precisão de usuário: } \frac{PV}{PV + FP} \quad (3)$$

2.4. Mapas de Uso e Ocupação da Terra

Através da identificação do LULC entre as janelas de tempo estabelecidas, foi possível apontar as mudanças aparentes da “Área Urbana” de Uberaba e, desse modo, determinar seu crescimento horizontal e sua aderência ao PD referente ao período em análise. Em ordem de diagnosticar essas mudanças, foi utilizado o QGIS 3.18.1 with GRASS 7.8.5 com as ferramentas “Recortar raster pela camada de máscara” e “Reporta camada raster de valor único” de modo a subdividir os mapas produzidos em áreas de estudo baseadas no PD e calcular o crescimento urbano aparente da cidade, respectivamente.

O *shapefile* utilizado para o processo de subdivisão dos mapas produzidos consistiu de uma área arbitrária delimitada pelos autores dentro do GEP que corresponde ao contorno urbano construído de 2021 equivalente às delimitações dos bairros oficiais da cidade disponibilizados pela PMU (Figura 1, c) obedecendo às delimitações e divisões estabelecidas pelo anexo “UNIDADES DE PLANEJAMENTO E GESTÃO” de 2018 de modo a uniformizar o crescimento em áreas com modelos vigentes.

Em ordem de examinar somente a expansão horizontal da cidade e simplificar os processos da análise de dados, foi realizada a delimitação de uma extensão urbana inicial, correspondente somente ao território urbano consolidado.

Através da análise das interações existentes do PD, da observação visual das diversas interações do mapa de MACROZONEAMENTO URBANO disponibilizados pela PMU e da comparação entre os mapas produzidos no GEE, foi determinado que, para o contexto desse

trabalho, a área inicial que seria eliminada dos cálculos consistiria apenas de UPGs contendo as respectivas denominações de MACROZONA DE ADENSAMENTO CONTROLADO e MACROZONA DE CONSOLIDAÇÃO URBANA, sendo ambas definidas dentro das diferentes interações do PD como áreas de urbanização consolidada e que apresentam condições adequadas de mobilidade e de atendimento por serviços urbanos e equipamentos sociais, logo, as desqualificando da possibilidade de crescimento horizontal.

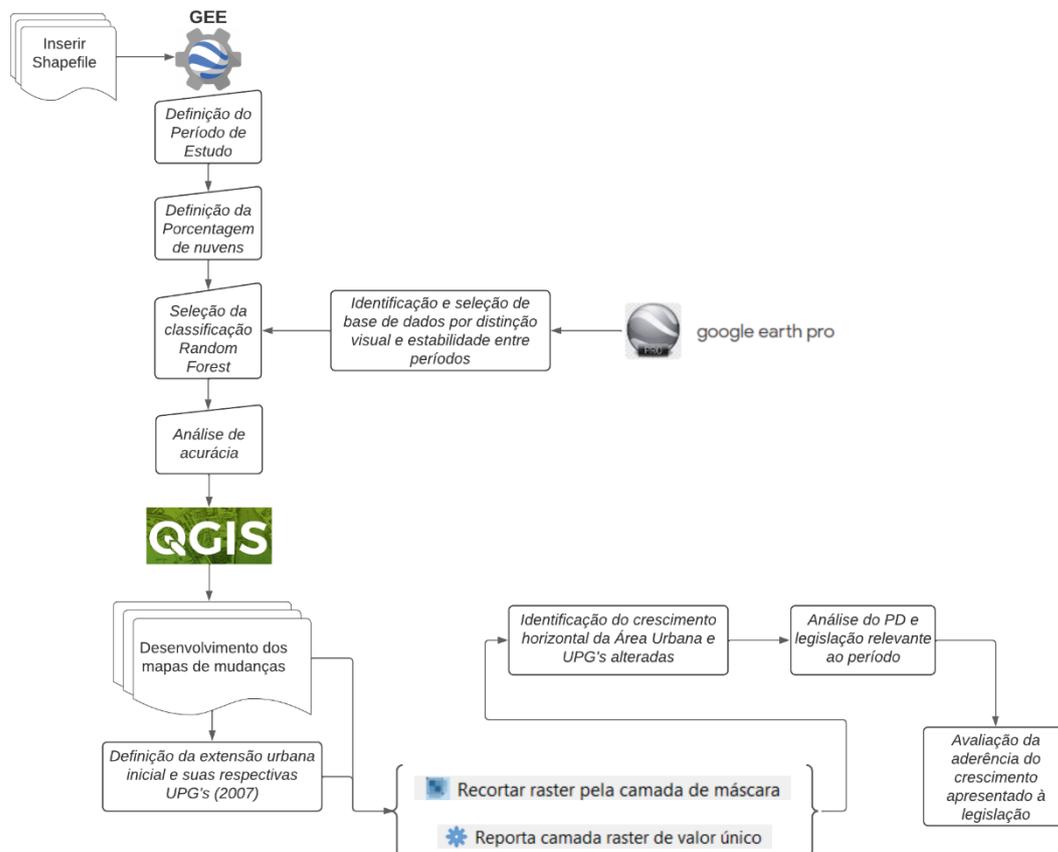
Para a determinação da expansão da mancha de “Área Urbana” fez o uso dos dados em Excel coletados pelo QGIS, da comparação visual dos mapas produzidos, e da análise das imagens históricas existentes no GEP. Para esse propósito foram aplicados os seguintes procedimentos para cada UPG válida: 1) Comparação da “área urbana” no Excel para os períodos em análise, caso seu valor no período posterior for maior que o em análise, marcá-la para observação; 2) Análise visual da mancha de “Área Urbana” no QGIS para as UPGs em observação, com a presença de uma expansão horizontal da mesma na UPG em análise demarcá-la para verificação no GEP em ordem de delimitar o tipo de expansão; 3) Aplicação do GEP para diferenciar crescimentos reais de falsos positivos através da observação das imagens disponibilizadas com os mapas produzidos em ordem de contabilizar as respectivas expansões; e 4) Comparação de todas as expansões confirmadas com a interação do PD em análise, seus anexos e legislações pertinentes para determinação de sua aderência às normativas estabelecidas.

2.5. Fluxo de Trabalho

O fluxo de trabalho adotado para determinar o crescimento urbano horizontal da cidade de Uberaba com base nos mapas produzidos usando o Landsat 7 envolveu oito passos (Figura 2) descritos a seguir. 1º Passo: Coleta e pré-processamento dos dados da área no GEE; 2º Passo: Construção do treinamento de máquina referente às amostras de dados coletadas com base nas imagens disponibilizadas pelo GEP correspondentes ao tempo-espaço em análise; 3º Passo: Utilização do RF dentro da plataforma GEE para a construir a seleção da classificação da área de estudo; 4º Passo: Análise da acurácia das classificações executadas em ordem de determinar a validade dos mapas produzidos; 5º Passo: Desenvolvimento dos mapas de mudanças do LULC; 6º Passo: Utilização das ferramentas “Recortar raster pela camada de máscara” e “Reporta camada raster de valor único” para subdivisão das áreas em UPGs e cálculo da área correspondente à “Área Urbana” para a identificação do crescimento horizontal de Uberaba; 7º Passo: Determinação da extensão urbana inicial e suas respectivas UPGs através da literatura

existente; 8º Passo: Análise do crescimento observado e sua comparação com o PD e legislações relevantes do período estudado para identificação da aderência às alíneas identificadas.

Figura 2 – Fluxograma da metodologia geral do estudo



Fonte: Dos autores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Avaliação de Precisão

A avaliação de precisão da classificação do LULC foi realizada utilizando do método MC determinando as precisões de usuário e produtor além das acurácias gerais das classes identificadas dentro do RF para cada período estudado, seguindo os parâmetros definidos pelas Equações (3), (2) e (1), respectivamente (Tabela 4).

Segundo Anderson et al. (1976), quando definindo a acurácia de um sistema orbital de classificação de LULC,

O nível mínimo da acurácia de interpretação das categorias de identificação de uso e cobertura da terra, por sensores remotos, deve estar acima de 85 por cento. [...] Para dados de uso e cobertura da terra necessários para propósitos de planejamento e gestão, a acurácia de interpretação na generalização de primeiro e segundo nível se mostram satisfatórios quando o intérprete realiza uma interpretação correta 85 a 90 por cento das vezes.

E, de acordo com Thomlinson et al. (1999), o critério mínimo para categorização da cobertura de terra deve ser de 85% de precisão para a acurácia geral e 70% por classe estudada. Sendo necessária uma reclassificação ou agregação para qualquer base de dados que não atenda a esse nível de precisão.”

Tabela 4 – Determinação da precisão da classificação do LULC.
Simbologia: Precisão de usuário (PU), Precisão de produtor (PP), Acurácia geral (AG).

Ano	Classe	PU (%)	PP (%)	AG (%)
2007	Vegetação	98,28%	95,00%	96,88%
	Área Urbana	96,47%	95,35%	
	Pastagem	96,65%	98,06%	
2013	Vegetação	92,98%	96,36%	97,99%
	Área Urbana	100%	98,76%	
	Pastagem	95,58%	98,11%	
2014	Vegetação	96,43%	96,43%	98,29%
	Área Urbana	98,68%	98,68%	
	Pastagem	98,62%	98,62%	
2018	Vegetação	96,83%	96,83%	97,65%
	Área Urbana	98,78%	96,43%	
	Pastagem	97,44%	98,45%	
2021	Vegetação	98,36%	98,36%	97,18%
	Área Urbana	95,45%	95,45%	
	Pastagem	97,57%	97,57%	

Fonte: Dos autores.

Ao avaliar os mapas gerados ao longo do estudo, foi observado que todos apresentaram uma acurácia geral superior a 95%. A menor acurácia geral detectada foi de 96,88%, correspondente ao mapa do ano de 2007. Em termos de acurácia do consumidor e acurácia do produtor, todas as representações também exibiram valores superiores a 90%. As menores acurácias nesses critérios foram encontradas no mapa de 2013, com acurácia do consumidor de 92,98%, e no mapa de 2007, com acurácia do produtor de 95,00%. Essas métricas são essenciais para entender a qualidade e confiabilidade dos resultados obtidos pelo modelo de classificação implementado.

Desse modo, a acurácia do modelo executado para os períodos destacados se mostrou superior ao mínimo recomendado para todas as classes analisadas, demonstrando que as acurácias mantiveram valores ótimos para confiabilidade de dados, e que o uso das ferramentas GEE e GEP para a determinação da amostragem de dados do LULC se apresentaram como

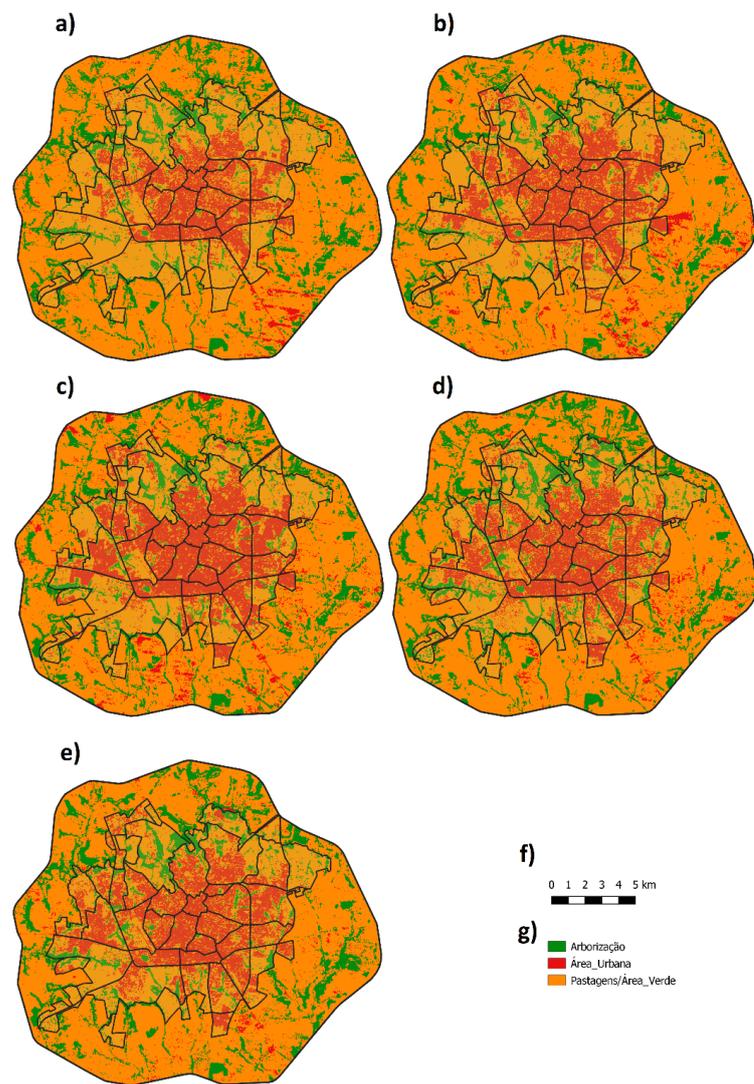
satisfatórias para processo de classificação. Também é necessário ressaltar que o modelo RF se mostrou efetivo em classificar o LULC da região de Uberaba para todos os períodos relevantes em ordem de permitir a análise da efetividade do PD e legislações pertinentes para o desenvolvimento da cidade. Embora o modelo RF tenha apresentado resultados positivos, é importante ressaltar que há elementos que podem impactar adversamente o seu desempenho. Entre estes elementos, a dependência de uma base de dados única e robusta pode ser a mais influente na precisão da classificação do LULC. Este fator tem um impacto direto na eficácia do treinamento do classificador, pois a qualidade dos dados de entrada é fundamental para a precisão dos resultados. Isso significa que quaisquer inconsistências ou insuficiências nos dados de treinamento podem prejudicar a precisão e confiabilidade da classificação realizada pelo modelo. Em seu trabalho, Avci et al. (2023) demonstrou que a quantidade e qualidade do banco de dados afeta diretamente a acurácia do RF, apresentando que o uso de banco de dados com maior número de pontos de estudo resulta em melhores graus de acurácia em suas representações. Analisando tal premissa, Story e Congalton (1986), determinam que pelo menos 30 amostras são necessárias para preencher propriamente uma matriz de avaliação, desse modo, considerando que tal limite que foi excedido por todas as classes avaliadas em cada período determinado por este estudo, é possível concluir que a precisão das medições foi atingida e seu bando de dados se mostra suficiente e confiável.

3.2. Mudanças nas classes LULC no tempo-espaço

Utilizando os procedimentos executados no GEE, foi possível gerar uma série de mapas, cada um apresentando diferentes camadas que representam a distribuição de áreas de pastagem ou agricultura, áreas arborizadas e crescimento urbano na cidade de Uberaba, num intervalo temporal que vai de 2007 a 2021. Além disso, a aplicação do shapefile nos processos de subdivisão permitiu o cálculo e demarcação da dinâmica do LULC no mesmo período de tempo.

Com as representações definidas na Figura 3 a) e e) e sua confiança validada, foram feitas as comparações de dados dentro da plataforma QGIS. Usando da investigação da expansão da mancha de “Área Urbana” e da aplicação do contorno urbano de 2021 executado e dividido em conformidade com a disposição mais atualizada da PMU, foi possível determinar o processo de urbanização da cidade de forma que permitisse a referência cruzada com as atribuições de cada versão do PD e legislações relevantes, consistindo de quatro versões oficializadas nos anais da PMU, até o momento de publicação deste estudo, sendo, respectivamente, as de 2006, 2013, 2014 e 2018.

Figura 3 - Representação do Perímetro Urbano de Uberaba (RF) a) 2007; b) 2013; c) 2014; d) 2018; e) 2021; f) Escala (Km); g) Legenda Geral



Fonte: Dos autores.

Seguindo em conformidade com os procedimentos estabelecidos para análise do crescimento horizontal de Uberaba, foi determinada uma extensão urbana inicial que não entraria dentro das subsequentes avaliações. Ficou definido, através dos procedimentos estabelecidos, que as UPGs Abadia, Aeroporto, Boa Esperança, Centro, Costa Teles, Estados Unidos, Grande Horizonte, Leblon, Mercês, Parque das Américas, Santa Maria, São Benedito, São Cristóvão e Vallim corresponderam às denominações de MACROZONA DE ADENSAMENTO CONTROLADO e MACROZONA DE CONSOLIDAÇÃO URBANA e, deste modo, foram eliminadas da análise de crescimento horizontal, possibilitando a avaliação das demais UPGs, com os dados relevantes observados de cada período sendo representados nas Tabelas 5, 6, 7 e 8.

Tabela 5 – Representação da composição da Área Urbana para o período de 2007 - 2013.

UPG	Área Urbana 2007 (m ²)	Área Urbana 2013 (m ²)
ALFREDO FREIRE	490305,93	632679,99
AMOROSO COSTA	1155841,47	1209037,98
BOA VISTA	2256081,24	2583086,02
BURITI	53074,35	170174,91
CAÇU	76662,95	96039,31
DIST. EMPRESARIAL	263686,87	520634,13
FABRÍCIO	1851705,21	2281160,97
JOCKEY PARK	294015,07	1205790,33
LOURDES	1131410,42	1521464,79
MARACANÃ	614988,54	972621,92
MARAJÓ	103621,36	81717,65
MORUMBÍ	1028631,51	2149932,53
PARAÍSO	2121289,23	2164470,61
PARQUE EMPRESARIAL	53916,80	172702,26
PARQUE TECNOLÓGICO	177756,96	769156,90
RECREIO DOS BANDEIRANTES	312548,97	687439,24
RESIDENCIAL 2000	392581,72	666377,99
SANTA CECÍLIA	30328,20	393424,17
SANTA CLARA	203030,46	636049,79
SÃO GERALDO	247680,31	899736,65
TRÊS CÓRREGOS	5897,15	6739,60
Crescimento Total:	6.955.383,02 m ²	6,96 Km ²

Fonte: Dos autores.

Tabela 6 – Representação da composição da Área Urbana para o período de 2013 - 2014.

UPG	Área Urbana 2013 (m ²)	Área Urbana 2014 (m ²)
ALFREDO FREIRE	632679,99	978084,51
BURITI	170174,91	254915,28
CAÇU	96039,31	169332,46

UPG	Área Urbana 2013 (m ²)	Área Urbana 2014 (m ²)
MARAJÓ	81717,65	700075,99
RECREIO DOS BANDEIRANTES	687439,24	724928,27
SANTA CECÍLIA	393424,17	610548,74
SANTA CLARA	636049,79	640419,78
SÃO GERALDO	899736,65	1276311,83
TRÊS CÓRREGOS	6739,60	39595,15
Crescimento Total:	1.790.210,69 m ²	1,79 Km ²

Fonte: Dos autores.

Tabela 7 – Representação da composição da Área Urbana para o período de 2014 - 2018.

UPG	Área Urbana 2014 (m ²)	Área Urbana 2018 (m ²)
BOA VISTA	2600420,42	2958544,17
LEMES	40437,60	292390,10
MARACANÃ	977509,47	1302146,97
MARAJÓ	700075,99	1300578,99
MORUMBÍ	2176806,69	2426027,19
PARAÍSO	2175347,34	2397612,84
SANTA CECÍLIA	610548,74	643631,84
SANTA CLARA	640419,78	723643,53
SÃO GERALDO	1276311,83	1637801,83
Crescimento Total:	2.484.499,61 m ²	2,48 Km ²

Fonte: Dos autores.

Tabela 8 – Representação da composição da Área Urbana para o período de 2018 - 2021.

UPG	Área Urbana 2018 (m ²)	Área Urbana 2021 (m ²)
AMOROSO COSTA	1227449,73	1246826,07
BOA VISTA	2958544,17	3119592,54
BURITI	258351,35	326870,62
FABRÍCIO	2321792,34	2443105,15
FILOMENA CARTAFINA	5897,15	39595,15
JOCKEY PARK	1210358,30	1560217,49

UPG	Área Urbana 2018 (m ²)	Área Urbana 2021 (m ²)
MARACANÃ	1302146,97	1615819,20
MARAJÓ	1300578,99	1379933,18
MORUMBÍ	2426027,19	2440577,80
PARAÍSO	2397612,84	2879494,27
RECREIO DOS BANDEIRANTES	724365,23	791060,60
SÃO GERALDO	1637801,83	2046311,17
Crescimento Total:	2.118.477,16 m ²	2,12 Km ²

Fonte: Dos autores.

Nessa análise, foram mais utilizadas as definições gerais estipuladas dentro das interações do PD, como a de expansão e regularização de ZEIS, com o propósito de estimular e planejar habitações, juntamente com os fatores limitantes da “Macrozona de Ocupação Restrita”, que delimitam áreas de APA que devem permanecer protegidas da expansão urbana, áreas de urbanização controlada cujos limites devem permanecer limitados, mas não proibidos, áreas próximas de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) que representam certos riscos à saúde e áreas de proximidade com o aeroporto que devem permanecer desocupadas por questões de segurança e ruído, e das “Macrozonas de Transição Urbana”, que determinam condições específicas para atendimento da população e expansão para habitação e serviços, como zoneamento de ZEIS, porcentagem de ocupação e tipo de empreendimento aplicado, além de alíneas para áreas de APA e bairros específicos.

3.3. Interação entre os PD e o LULC e seus impactos

Começando com o PD original de 2006 que vigorou até 2013, o crescimento se mostrou mais aparente com a expansão e adensamento urbano de 21 UPGs devido a construção/regularização de diversos bairros além da construção de vias de conexão.

A comparação entre períodos demonstrou um incremento estimado de mais de 6,90 Km² de área urbana com foco na construção de infraestrutura e expansão de bairros nas UPGs Amoroso Costa, Boa Vista, Fabrício, Jockey Park, Marajó, Morumbi, Paraíso, Recreio dos Bandeirantes, Residencial 2000, Santa Cecília, Santa Clara e São Geraldo, e com o adensamento urbano nas UPGs Alfredo Freire, Buriti, Caçu, Distrito Empresarial, Lourdes, Maracanã, Parque Empresarial, e Três Córregos, salvo Parque Tecnológico que iniciou os processos de construção do Campus Univerdecidade da UFTM e a expansão do Cemitério Nossa Sra. Medalha Milagrosa.

Quanto sua aderência à respectiva interação PD, observou-se que as áreas relacionadas aos processos de construção de infraestrutura e expansão de bairros corresponderam, em sua maioria, às extensões de ZEIS pertinentes e às áreas identificadas como “MACROZONAS DE ESTRUTURAÇÃO URBANA”. Segundo o respectivo PD, esse tipo de macrozona correspondia a áreas voltadas à integração urbana, incentivo à ocupação, regularização urbanística e fundiária, e criação ou reforço de centralidades, correspondendo corretamente ao padrão apresentado.

Com tudo, as áreas relacionadas às UPGs Amoroso Costa, Boa Vista e Santa Clara, apresentaram um contexto diferenciado da relação anterior, com as mesmas estando situadas em “MACROZONAS DE OCUPAÇÃO RESTRITA”, zonas estas caracterizadas por seu controle rígido e fiscalização no quesito de expansão urbana. Nesse contexto, as UPGs Amoroso Costa e Santa Clara mantiveram seu desenvolvimento de acordo com as limitações das “Áreas vagas situadas na APA do Rio Uberaba” e “Áreas no entorno de ETes” respectivamente, porém, a UPG Boa Vista não seguiu o padrão de regularização delimitado pelo PD com a construção da infraestrutura do Condomínio Cyrela dentro de uma “Área vaga situada na APA do Rio Uberaba”.

Com base nos fatores definidos, seria justificável classificar esse empreendimento como um descumprimento do PD resultando em uma irregularidade, com tudo, é necessário relatar que a mesma, embora não condizente com a legislação relevante ou com o PD, foi executada em meados do final de sua vigência sendo subsequentemente regularizada nos anais do PD de 2013 de modo a condizer com a legislação subsequente, desse modo, se tornando uma expansão justificável e parcialmente condizente com as alíneas do PD, não necessitando questionamentos adicionais.

Quanto as UPGs que exibiram apenas adensamento urbano, as mesmas mantiveram sua área de ocupação e padrão construtivo, não apresentando nenhum fator limitante em seu macrozoneamento urbano que interferisse em processos de expansão, levando ao entendimento que as mesmas não apresentavam nenhuma inconsistência com a legislação referente ao período.

Quanto ao plano de 2013 que vigorou até sua revisão em 2014, o crescimento observado foi mais relacionado à utilização da infraestrutura implementada durante a vigência do PD original através da expansão e construção de domicílios em diferentes bairros, com tudo, devido ao fato de sua revisão célere, esse é o período que apresentou o menor crescimento aparente em sua expansão.

Englobando 9 UPGs, o crescimento urbano apresentou um incremento estimado de mais de 1,70 Km² de área urbana com foco no uso da infraestrutura de bairros previamente aplicada,

com as únicas exceções sendo de Três Córregos, cuja expansão esteve relacionada à construção de uma estrutura industrial durante o período em questão, e do Caçu, onde a expansão esteve relacionada à pavimentação de vias e asfaltamento de estacionamentos.

Quanto sua aderência à respectiva interação PD, observou-se que as UPGs Alfredo Freire, Recreio dos Bandeirantes, Santa Clara e São Geraldo, relacionadas aos processos de expansão de bairros, permaneceram dentro das ZEIS pertinentes e das áreas delimitadas como “MACROZONAS DE ESTRUTURAÇÃO URBANA” que, segundo o respectivo PD, ainda mantiveram seu propósito de integração urbana, incentivo à ocupação, regularização urbanística e fundiária, e criação ou reforço de centralidades, desse modo, atendendo à legislação segundo o padrão apresentado.

Com tudo, as áreas relacionadas às UPGs Buriti, Marajó e Santa Cecília, apresentaram um contexto diferenciado da relação anterior, com as mesmas estando situadas em “MACROZONAS DE TRANSIÇÃO URBANA”. Esse macrozoneamento é caracterizado, na respectiva legislação, por sua variedade no atendimento da população com incentivos voltados para o desenvolvimento do mercado agrônômico, abastecimento da cidade, permissões de parcelamentos para fins residenciais, e incentivo à empreendimentos empresariais e industriais.

No contexto apresentado, a expansão observada nessas UPGs está relacionada à distribuição das ZEIS e atendimento à demanda habitacional, desse modo, englobando os itens VI, VII do artigo 313 com o parcelamento para fins residenciais e atendendo fielmente as alíneas do PD.

Seguindo para o plano de 2014 que vigorou até meados de 2018, o crescimento observado foi mais relacionado à construção de infraestrutura e expansão de bairros.

O resultado observado foi a alteração de 9 UPGs, com um crescimento urbano estimado de 2,40 Km² com foco no desenvolvimento de infraestrutura e expansão de bairros já adensados. As alterações específicas do período consistiam do adensamento do Bairro Eldorado, construção do Residencial Vainice Andrade e introdução da infraestrutura do Condomínio Cyrela II em Boa Vista, construção de infraestrutura e expansão de bairros nas UPGs Maracanã, Marajó, Morumbi, Paraíso, Santa Cecília e Santa Clara, e a apresentação dos processos iniciais de estruturação de lotes para as UPGs Lemes e São Geraldo.

Quanto sua aderência à respectiva interação PD, foi necessário analisar as questões relacionadas à três macrozonas diferentes, sendo elas as “MACROZONAS DE OCUPAÇÃO RESTRITA”, as “MACROZONAS DE ESTRUTURAÇÃO URBANA” e as “MACROZONAS DE TRANSIÇÃO URBANA”.

No contexto da UPG Boa Vista, a mesma se encontrou localizada nas proximidades de “Áreas não urbanizadas situadas na APA do Rio Uberaba” e “Macrozonas de Transição Urbana dentro da APA - Rio Uberaba”, caracterizadas por seu controle rígido e fiscalização no quesito de expansão urbana e necessidade de aderir às determinações do Plano de Manejo da APA do Rio Uberaba.

Nesse contexto, sua expansão e adensamento atenderam ao respectivo PD, apesar de suas limitações extremas e claras, de modo que sua expansão urbana se manteve dentro de “Áreas urbanizadas na APA do Rio Uberaba” durante sua vigência, limitando-se à ocupação e adensamento das fronteiras dispostas em legislação.

Para as UPGs Marajó e Santa Cecília, sua localização em “MACROZONAS DE TRANSIÇÃO URBANA” gerou um contexto diferenciado à relação anterior. Segundo o PD, esse tipo de zoneamento ainda mantém seu propósito voltado à variedade de atendimento da população com incentivos voltados para o desenvolvimento do mercado agrônômico, abastecimento da cidade, permissões de parcelamentos para fins residenciais e incentivo à empreendimentos empresariais e industriais.

No contexto apresentado, a expansão observada nessas UPGs esteve relacionada à distribuição das ZEIS e ao atendimento da demanda habitacional, desse modo, englobando os itens VI, VII do artigo 313 com o parcelamento para fins residenciais e atendendo fielmente as alíneas do PD em estudo.

Com tudo, ainda neste contexto, a UPG Lemes apresentou uma circunstância específica, seu desenvolvimento não englobou nenhuma ZEIS determinada no PD, desse modo, não atendendo às disposições de crescimento urbano determinadas. Porém, apesar dessa inconsistência com relação ao respectivo PD, esta expansão se mostrou condizente com as atribuições de parcelamento do solo determinadas pelo parágrafo 2º do artigo 4º da Lei Complementar Nº 375, e segundo as atribuições da, então vigente, Lei Complementar nº 474/2014.

Desse modo, a expansão apresentada pela UPG atendeu aos padrões de regularidade pré-estabelecidos por esse trabalho. Se mostra necessário ressaltar que a área e os respectivos termos foram subseqüentemente regularizados nos anais do PD de 2018, com a introdução de uma ZEIS específica para área e a revogação de itens específicos para a macrozona, em ordem de atender à letra da lei municipal, desse modo, não necessitando de questionamentos adicionais.

Quanto às demais UPGs, observou-se que nas UPGs Maracanã, Paraíso e São Geraldo concentraram seu desenvolvimento através da introdução de infraestrutura de novos lotes,

enquanto que a Santa Clara apresentou um processo de adensamento e expansão domiciliar. Em todas os procedimentos de ampliação corresponderam, às extensões das ZEIS pertinentes e às áreas identificadas como “MACROZONAS DE ESTRUTURAÇÃO URBANA” que, segundo a respectiva interação PD, ainda mantiveram seu propósito de integração urbana, incentivo à ocupação, regularização urbanística e fundiária, e criação ou reforço de centralidades, desse modo, atendendo à legislação segundo o padrão apresentado.

Seguindo para o plano de 2018 que permanece em vigor no momento de desenvolvimento deste estudo, o crescimento observado foi mais relacionado à construção de infraestrutura e expansão de bairros nas UPGs afetadas.

Englobando 12 UPGs, o crescimento urbano apresentou um incremento estimado de mais de 2,10 Km² de área urbana com foco no desenvolvimento de infraestrutura e expansão de bairros já adensados. As alterações específicas do período consistiram de construção de infraestrutura para expansão de bairros nas UPGs Amoroso Costa, Buriti e Recreio dos Bandeirantes e adensamento urbano nas UPGs Boa Vista, Fabrício, Filomena, Jockey Park, Maracanã, Marajó, Morumbi, Paraíso e São Geraldo.

Quanto sua aderência ao PD vigente, foi necessário analisar as questões relacionadas à três macrozonas diferentes, sendo elas as “MACROZONAS DE OCUPAÇÃO RESTRITA”, as “MACROZONAS DE ESTRUTURAÇÃO URBANA” e as “MACROZONAS DE TRANSIÇÃO URBANA EM EXPANSÃO”.

No contexto da UPG Boa Vista e Amoroso Costa, localizada nas proximidades de “Áreas não urbanizadas situadas na APA do Rio Uberaba” e “Macrozonas de Transição Urbana dentro da APA - Rio Uberaba”, caracterizadas por seu controle rígido e fiscalização no quesito de expansão urbana e necessidade de aderir às legislações específicas das áreas sob análise, sua expansão e adensamento apresentaram interpretações distintas quanto sua aderência.

A UPG Boa Vista apresentou um adensamento focado na construção domiciliar, limitando-se à ocupação e adensamento do Bairro Eldorado e dos Condomínios Cyrela I e II, se mantendo dentro das fronteiras dispostas em legislação.

Quanto a UPG Amoroso Costa, sua expansão focou na construção da infraestrutura para o Residencial Maria Olivia dentro de “Áreas não urbanizadas situadas na APA do Rio Uberaba”. Embora a não aderência ao PD se mostra aparente, devido a sua expansão em uma área restrita, é preciso constar que o Decreto nº4.955, de 15 de janeiro de 2020, aprovou seu projeto para loteamento e designou sua área para construção de zonas habitacionais e comerciais dentro da respectiva UPG. Desse modo, se trata de uma área sob aderência à legislação vigente mesmo

que não diretamente às instâncias determinadas no PD, não necessitando de questionamentos adicionais.

Para as UPGs Buriti, Filomena e Marajó, sua localização em “MACROZONAS DE TRANSIÇÃO URBANA EM EXPANSÃO” gera um contexto diferenciado à relação anterior. Devido a alteração de suas designações, em comparação com o PD de 2014, muitos de seus fatores limitantes foram revogados, liberando as atribuições das respectivas áreas para a expansão da cidade segundo as permissões de parcelamento do solo definidas por lei homônima. Desse modo, as UPGs Buriti e Filomena, com sua introdução de infraestrutura de loteamentos para os Condomínios SetLife e Damha, respectivamente, não violaram nenhuma limitação legislativa dentro do PD vigente. Uma vez que a necessidade de presença de ZEIS ou a não existência de empreendimentos relacionados a loteamentos fechados nem condomínios urbanísticos não são mais relevantes dentro da Lei Complementar N° 375, se tornando mais abrangente e menos rígida em tais questões.

Quanto ao UPG Marajó, seu procedimento de expansão e adensamento dentro de sua respectiva ZEIS permaneceu constante com sua expansão apontando para as proximidades da ETE do Rio Uberaba. Apesar de tal circunstância se aparentar como problema ou violação em PD anteriores, no vigente tal termo limitante se encontra revogado eliminando tal conceito da letra da lei tornando sua expansão válida e consistente.

Quanto às demais UPGs citadas, observou-se que as áreas relacionadas aos processos de expansão de bairros corresponderam às extensões das ZEIS pertinentes e às áreas identificadas como “MACROZONAS DE ESTRUTURAÇÃO URBANA” que, apesar da leve atualização de seus itens e contextos, ainda mantiveram sua base voltada às diretrizes de integração urbana, incentivo à ocupação, regularização urbanística e fundiária, e criação ou reforço de centralidades, desse modo, atendendo à legislação segundo o padrão apresentado.

Prosseguindo, foi possível observar que, através do fluxo de trabalho aplicado, o procedimento se mostrou bem sucedido em expressar o crescimento urbano da cidade de Uberaba de forma relativamente clara, permitindo a identificação e estudo de possíveis irregularidades ao longo das interações do PD e das Leis Municipais de modo a possibilitar uma análise geral do planejamento e gestão da cidade.

4. CONCLUSÕES

Através do uso do GEE e da metodologia aplicada, foi possível produzir mapas de LULC precisos que representaram fielmente a distribuição de áreas de pastagem, agricultura, arborização e ocupação urbana na cidade de Uberaba entre os períodos de 2007 a 2021. As

comparações de dados realizadas dentro do QGIS permitiram uma análise bem sucedida das áreas de construção e expansão urbana da cidade. As comparações viabilizaram a relação desse crescimento às legislações em vigor, constatando que as áreas, em sua maioria, correspondiam corretamente aos padrões determinados pelo PD ou pela Legislação Municipal.

Desse modo, o estudo demonstrou que a aplicação de processos de análise geoespacial podem ser utilizados como uma ferramenta apropriada de avaliação do LULC em uma cidade como Uberaba, e os dados obtidos podem ser aplicados em uma variedade de estudos, em especial os relacionados à aderência de normativas e Legislações Municipais, confirmando que o segundo questionamento deste trabalho se mostra como positivo.

A avaliação do LULC dentro da escala de tempo analisada confirmou a aderência do crescimento urbano de Uberaba às alíneas de seu PD e suas Leis Municipais. Isso levaria a uma indicação negativa ao primeiro questionamento proposto pelo trabalho, com tudo, a relação identificada na UPGs Boa Vista durante a construção do Condomínio Cyrela entre 2007 e 2013 ainda se mostra como uma irregularidade aparente.

Apesar de se mostrar como a identificação da não aderência ao PD, que indicaria o primeiro questionamento como positivo, ela se apresenta como a única dentre todos os períodos analisados, além de sua irregularidade ter sido retificada na subsequente interação do PD. Desse modo, uma melhor indicação para o questionamento seria que o mesmo se apresenta como negativo com um adendo, ainda demonstrando a efetividade da gestão de crescimento urbano pela PMU.

Concluindo, o processo aplicado no GEE demonstrou que a análise geoespacial pode ser uma ferramenta eficiente para o ajuste, controle e aplicação às normativas protegidas para cidade de Uberaba. O processo foi capaz de apresentar seu crescimento em dados e, em conjunto com o GEP e QGIS, possibilitou a avaliação visual e temporal de sua aderência às normativas do PD e das Legislações Municipais. Considerando que nesse estudo, foi usado de procedimentos simplificados para identificar elementos apenas de forma superficial, se apresenta como fato de que existe a possibilidade de análises mais complexas de elementos municipais e, com isso, o desenvolvimento de mais questionamentos e estatísticas para o funcionamento e gestão deste e de outros municípios.

Desse modo, o estudo atingiu todos os seus objetivos através da produção de mapas precisos e confiáveis, uso de literaturas relacionadas ao planejamento urbano da cidade e aplicação das ferramentas QGIS, GEP e GEE em seu fluxo de trabalho.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, J. R. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. US Government Printing Office, 1976.

ARAÚJO, R. DE S.; BARRETO PINHEIRO, J.; NELO NUNES, I.; FERREIRA R, H. C.; PEIXOTO C, Z. M. EXECUÇÃO DE PLANO DIRETOR: O CASO DE CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ. **Humanas Sociais & Aplicadas**, v. 9, n. 26, p. 141-162, 19 dez. 2019. DOI: <https://doi.org/10.25242/8876926201897>

AVCI, C.; BUDAK, M.; YAĞMUR, N.; BALÇIK, F. Comparison Between Random Forest and Support Vector Machine Algorithms for LULC Classification. **Int. J. Eng. Geosci.** 8, 1-10. 2021. DOI: <https://doi.org/10.26833/ijeg.987605>

BERKE, P.; BACKHURST, M.; DAY, M.; ERICKSEN, N.; LAURIAN, L.; CRAWFORD, J.; DIXON, J. What makes plan implementation successful? An evaluation of local plans and implementation practices in New Zealand. **Environ. Plan. B: Plan. Des.** 33, 581-600, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1068/b31166>

BRASIL. Decreto n. 4.955, de 15 de jan. de 2020. Aprova o Projeto do Loteamento "RESIDENCIAL MARIA OLIVEIRA", localizado neste Município e dá outras providências. Uberaba, MG, 2020. Legislação Municipal. Disponível em: <http://www.uberaba.mg.gov.br:8080/portal/acervo/portavoz/arquivos/2020/1772%20-%2015-01-2020.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2023.

BRASIL. Lei Complementar n. 375, de 16 de jul. de 2007. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e os condomínios urbanísticos no Município de Uberaba. Uberaba, MG, p. 1-97, 2007. Legislação Municipal. Disponível em: http://uberaba.mg.gov.br/portal/acervo/plano_diretor/arquivos/plano_diretor_e_legislacao_urbanistica/parcelamento_solo/lc_375/lc_375.pdf. Acesso em: 12 abr. 2023.

BRASIL. Lei Complementar n. 375/2007. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e os condomínios urbanísticos no Município de Uberaba. Uberaba, MG, p. 1-120, 2014. Legislação Municipal. Disponível em: http://uberaba.mg.gov.br/portal/acervo//plano_diretor/arquivos/lei_de_parcelamento_de_solo/2014/LEICOMP%20375-07%20CONSOLIDADA.pdf. Acesso em: 12 abr. 2023.

BRASIL. Lei Complementar n. 474, de 26 de mai. de 2014. Altera a Lei Complementar nº 375/2007, que "Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e os condomínios urbanísticos no Município de Uberaba", e dá outras providências. Uberaba, MG, p. 1-44, 2014. Legislação Municipal. Disponível em: http://uberaba.mg.gov.br/portal/acervo/plano_diretor/leis/474-2014%20-%20PARCELAMENTO/LC%20474%20-%20Altera%20375%20Parcelamento.pdf. Acesso em: 12 abr. 2023.

BREIMAN, L. Bagging predictors. **Machine learning**, v. 24, p. 123-140, 1996. Disponível em: < <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00058655> >. Acesso em: 15 fev. 2023, 17:35;

CORDOVEZ, J. C. G. Geoprocessamento como ferramenta de gestão urbana. **Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto**, v. 1, p. 1-19, 2002.

DA SILVA JÚNIOR, J. A.; DA SILVA JÚNIOR, U. J.; DA PENHA PACHECO, A. Análise de acurácia para o mapeamento de áreas queimadas utilizando uma cena VIIRS 1Km e classificação por Random Forest. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 6, p. 3225-3240, 2021.

FERREIRA, W. C. S. Competência municipal para legislar sobre meio ambiente: O interesse local como parâmetro à competência legislativa dos municípios. 2018. 111 f. Tese de Doutorado. **Thesis.(Master Degree in Environmental Law and Sustainable Development)**, Escola Superior Dom Helder Câmara, Belo Horizonte.

MANGUSSI FILHO, C. R.; DO VALLE JUNIOR, R. F.; DE MELO SILVA, M. M. A. P.; MENDES, R. G.; DE SOUZA ROLIM, G.; PISSARRA, T. C. T.; DE MELO, M. C.; VALERA, C. A.; PACHECO, F. A. L.; FERNANDES, L. F. S. The Accuracy of Land Use and Cover Mapping across Time in Environmental Disaster Zones: The Case of the B1 Tailings Dam Rupture in Brumadinho, Brazil. **Sustain.** v. 15, n. 8, p. 6949, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15086949>

GOMES, M. A. S. Parques Urbanos e a problemática dos espaços de lazer não implantados em Uberaba-MG. **Revista Caminhos de Geografia**, v. 21, n. 78, p. 237-252, 2020.

GUIMARÃES, D. P.; PIMENTA, F. M.; LANDAU, E. C. 2012. Integração Google Earth – SIG-Servidor de Mapas e o Monitoramento Ambiental. Circular Técnica. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, n. 183, p. 1-20. Disponível em: < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/79549/1/circ-183.pdf> > Acesso em: 10 set. 2022, 13:49;

IBGE. (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). *Banco de dados: o Brasil município por município*. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/uberaba/panorama> > Acesso em: 11 mai. 2023, 18:40;

JACINTHO, L. R. de C. Geoprocessamento e sensoriamento remoto como ferramentas na gestão ambiental de Unidades de Conservação: o caso da Área de Proteção Ambiental (APA) do Capivari-Monos, São Paulo-SP. 2003. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MACHADO, M. F.; SILVA, S. F. da. Geodiversidade do estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: CPRM, 2010. 131p.

TEOBALDO NETO, A.; DOS SANTOS, D. G.; BRITO, J. L. S., 2007 OS IMPACTOS AMBIENTAIS URBANOS NO ENTORNO DO DISTRITO INDUSTRIAL-1, EM UBERABA (MG). *Caminhos de Geogr.* 8, 1-14. DOI: <https://doi.org/10.14393/rcg82415544>

PAIVA, R. et al. Análise de metacaracterísticas para classificação de uso e cobertura do solo utilizando random forest. In: **Anais do XI Workshop de Computação Aplicada à Gestão do Meio Ambiente e Recursos Naturais**. SBC, 2020. p. 71-80.

PEREIRA, L. F.; GUIMARÃES, R. M. F.; OLIVEIRA, R. R. M. Integrando geotecnologias simples e gratuitas para avaliar usos/coberturas da terra: QGIS e Google Earth Pro. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, n. 03, P.250–264, jun. 2018;

PMU (PREFEITURA MUNICIPAL DE UBERABA) (Minas Gerais). **Anuário Uberaba em Dados**. Uberaba, 2022. Disponível em: <

https://drive.google.com/file/d/1sFQtDxmUklSciacd0LlewW9Vp6WAY_Qy/view >. Acesso em: 12 maio 2023, 19:20.

QGIS User Guide: Versão 2.18., 2019. 473p. Disponível em: < <http://www.qgis.org/em/docs/> >. Acesso em: 02 abr. 2019, 19:20;

RADAMBRASIL. **Folha SE. 22 Goiania**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, Projeto Radam-Brasil, 1983. 764 p. v. 31. ISBN 2408141000.

SANTOS, M. **A urbanização brasileira**. Edusp, 2013.

SHEYKHMUSA, M. et al. Support vector machine versus random forest for remote sensing image classification: A meta-analysis and systematic review. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 13, p. 6308-6325, 2020.

STORY, M.; CONGALTON, R. G. Accuracy assessment: a user's perspective. **Photogrammetric Engineering and remote sensing**, v. 52, n. 3, p. 397-399, 1986.

SURYONO, H.; KUSWANTO, H.; IRIAWAN, N. Rice phenology classification based on random forest algorithm for data imbalance using Google Earth engine. **Procedia Computer Science**, v. 197, p. 668-676, 2022.

TEIXEIRA, M. Planos Diretores Participativos: uma análise da técnica de Leituras Comunitárias no processo de elaboração dos Planos Diretores dos Campi da Universidade Federal de Santa Maria-RS. **Encontro Internacional de Ciências Sociais. Pelotas: UFPel**, p. 1249-1259, 2008.

THOMLINSON, J. R.; BOLSTAD, P. V.; COHEN, W. B. Coordinating methodologies for scaling landcover classifications from site-specific to global: Steps toward validating global map products. **Remote Sensing of Environment**, v. 70, n. 1, p. 16-28, 1999.

TRINDADE, E. G. B. 2021. O Que é e Como Funciona o Google Earth Engine? Disponível em: < <https://geosense.net.br/2021/10/25/o-que-e-e-como-funciona-o-google-earth-engine/> >. Acesso em: 26 de jun. 2022;

UBERABA, Lei Complementar N° 359. Disponível em: < <http://uberaba.mg.gov.br/portal/conteudo,44833> >. Acesso em: 11 de mai. 2022;

UBERABA, Lei Complementar N° 359/06 – Alterada em 2014. Disponível em: < <http://uberaba.mg.gov.br/portal/conteudo,44833> >. Acesso em: 11 de mai. 2022;

UBERABA, Lei Complementar N° 359/06 – Consolidada em 2013. Disponível em: < <http://uberaba.mg.gov.br/portal/conteudo,44833> >. Acesso em: 11 de mai. 2022;

UBERABA, Lei Complementar N° 359/06 – Revisão 2018. Disponível em: < <http://uberaba.mg.gov.br/portal/conteudo,44148> >. Acesso em: 11 de mai. 2022.

VISA, Sofia et al. Confusion matrix-based feature selection. **Maics**, v. 710, n. 1, p. 120-127, 2011.

CAPÍTULO II

SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO APLICADOS À TOPOGRAFIA GERANDO INDICADORES PARA ESCOLHA DE ÁREA PARA IMPLANTAÇÃO DE USINA DE ENERGIA FOTOVOLTAICA NO IFTM – CAMPUS UBERABA/MG

REMOTE SENSING AND GEOPROCESSING APPLIED TO TOPOGRAPHY GENERATING INDICATORS FOR CHOOSING THE AREA FOR DEPLOYMENT OF A PHOTOVOLTAIC ENERGY PLANT AT IFTM – CAMPUS UBERABA/MG

DOI: 10.51859/ampla.aca638.1323-2

Mariana Cury Pereira ¹

Marina Farcic Mineo ²

Maytê Maria Abreu Pires de Melo Silva ²

¹ Graduação em Engenharia Civil. Pós-Graduação em Geoprocessamento, Instituto Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, Brasil. e-mail: mcuryengenharia@gmail.com

² Professor(a) do Programa de Pós-Graduação *lato sensu* na área Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro – *campus* Uberaba.

RESUMO

O presente estudo tem por objetivo utilizar as técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento dos dados obtidos, aplicados à topografia para escolha da melhor área dentro dos limites do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro Campus Uberaba para possível implantação de usina fotovoltaica. Foram utilizados banco de dados disponibilizados por discentes na pós-graduação de geoprocessamento para geração do DEM – Modelo Digital de Elevação e shapefile do perímetro do campus para uma pré-seleção da área e posteriormente foi feito um aerolevantamento com drone *Dji Mavic Pro* e gerado um ortomosaico para melhor resolução e maior quantidade de informações do campo para balizar a escolha da área. O mapeamento detalhado da superfície, por meio da representação das curvas de nível, possibilitou a identificação de áreas planas ou com suaves inclinações, auxiliando na escolha de áreas para a implantação de uma usina fotovoltaica.

Palavras-chave: Drone. Ortomosaico. RPA. SIG. Satélite.

ABSTRACT

The present study aims to use remote sensing and geoprocessing techniques of the obtained data, applied to the topography to choose the best area within the limits of the Federal Institute of Education, Science and Technology of the Triângulo Mineiro Campus Uberaba for possible implementation of a photovoltaic plant. A database made available by postgraduate geoprocessing students was used to generate the DEM - Digital Elevation Model and shapefile of the campus perimeter for a pre-selection of the area and later an aerial survey was carried out with a *Dji Mavic Pro* drone and an orthomosaic was generated to better resolution and greater amount of field information to guide the choice of area.

Keywords: Drone. Orthomosaic. RPA. SIG. Satellite.

1. INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica no Brasil tende a triplicar até 2050 (EPE, 2017). Desde o ano de 2000 foi vista a necessidade de expansão da produção de energia e necessidade de diversificação da matriz elétrica nacional e introdução de novas fontes de geração. Neste sentido, destaca-se a energia elétrica através da fonte solar por meio da tecnologia fotovoltaica, que se mostra muito promissora no Brasil, pois o país possui uma extensa área territorial com altos níveis de radiação solar (Pereira et al., 2012). A seleção de um local apropriado para a construção de uma usina solar eficiente requer algumas condições que aumentem seu potencial de lucro (Rediske et al., 2020). Existem parâmetros que devem ser considerados no momento da identificação das áreas aptas para instalação (Aly et al., 2017). Como etapa inicial da instalação de usinas de energia fotovoltaica, a identificação de locais adequados pode resultar em uma economia considerável de tempo e dinheiro. Identificar áreas geograficamente adequadas para a construção de plantas solares de grande escala é um problema que exige uma tomada de decisão complexa (Garni e Awasthi, 2017), que não está apenas ligado a quantidade de irradiação solar que o local recebe (Vafaeipour et al., 2014). Segundo Lovins (1997). Mas para que seja tomada uma decisão assertiva ao momento de instalar o sistema é necessário utilizar ferramentas que envolvam o sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas (SIG) (Reginato, 2020).

De acordo com Coelho Júnior (2014), a topografia é a ciência que se dedica a estudar, projetar, representar, medir e executar uma porção limitada da superfície terrestre, sem levar em consideração a curvatura da Terra, desde que o erro de esfericidade seja insignificante considerando os perímetros, dimensões, localização geográfica, orientação e objetos de interesse contidos nessa porção.

Aliado à topografia, o sensoriamento remoto é uma técnica que permite a obtenção de informações acerca de um objeto, área ou fenômeno localizado na Terra, sem que haja contato físico com o mesmo, por meio do princípio físico da captação da energia eletromagnética emitida ou refletida pelos alvos. As informações podem ser obtidas por radiação eletromagnética que são geradas por fontes naturais, como por exemplo o Sol, ou por fontes artificiais, como os radares. Os resultados são apresentados em formas de imagens, as mais utilizadas atualmente são as capturadas por sensores ópticos orbitais localizados em satélites (IBGE, 2023).

Em pesquisas sobre o sensoriamento remoto, a utilização de imagens de satélite como fonte de dados para elaboração de produções cartográficas e análises de área para

monitoramento é uma das grandes inovações no segmento do geoprocessamento, existe uma gama de satélites com boas resoluções e com imagens gratuitas disponíveis para consulta e download e também vários bancos de dados, que possibilitam análises espaciais e temporais para obtenção de dados georreferenciados.

A *National Imagery and Mapping Agency* (NIMA) e a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) foram as instituições responsáveis pela realização de uma missão espacial com um sistema de RADAR, conhecido como SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). O propósito da missão SRTM foi atuar na produção de um banco de dados digitais para todo o planeta, necessários na elaboração de um Modelo Digital de Elevação (MDE) das terras continentais. Os dados do sensoriamento remoto podem ser avaliados através da utilização dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG's), que são conjunto/sistema de hardware, software e procedimentos concebidos para apoiar o recolhimento, a gestão, a análise, a modelagem e a visualização de dados georreferenciados para solucionar problemas de planejamento e de gestão (Mendes, 2013).

O uso de dados provenientes do sensoriamento remoto é vantajoso quando a se faz necessário a cobertura de grandes áreas para obtenção de imagens, porém, o uso de Veículos Aéreos não Tripulados (VANT's), muito conhecidos como drones, permitem a realização de tomada de imagens em escala temporal flexível, sem nuvens, e com alta resolução espacial (Jorge & Inamasu, 2018). Em poucos minutos o drone é capaz de realizar um trabalho que demoraria dias com equipamentos topográficos convencionais. Com o uso dessa tecnologia, as medições são muito mais rápidas e dinâmicas, pois são obtidas imagens georreferenciadas e ortorretificadas que permitem o tratamento do MDS (Modelo Digital de Superfície) para obtenção de MDT (Modelo Digital do Terreno).

A combinação de sensoriamento remoto e utilização da tecnologia dos drones, associados às técnicas de geoprocessamento, viabiliza a avaliação remota das características topográficas e do uso do solo em larga escala. Esse enfoque permite a identificação de áreas compatíveis com usinas fotovoltaicas, considerando aspectos como inclinação, exposição solar e potencial de sombreamento.

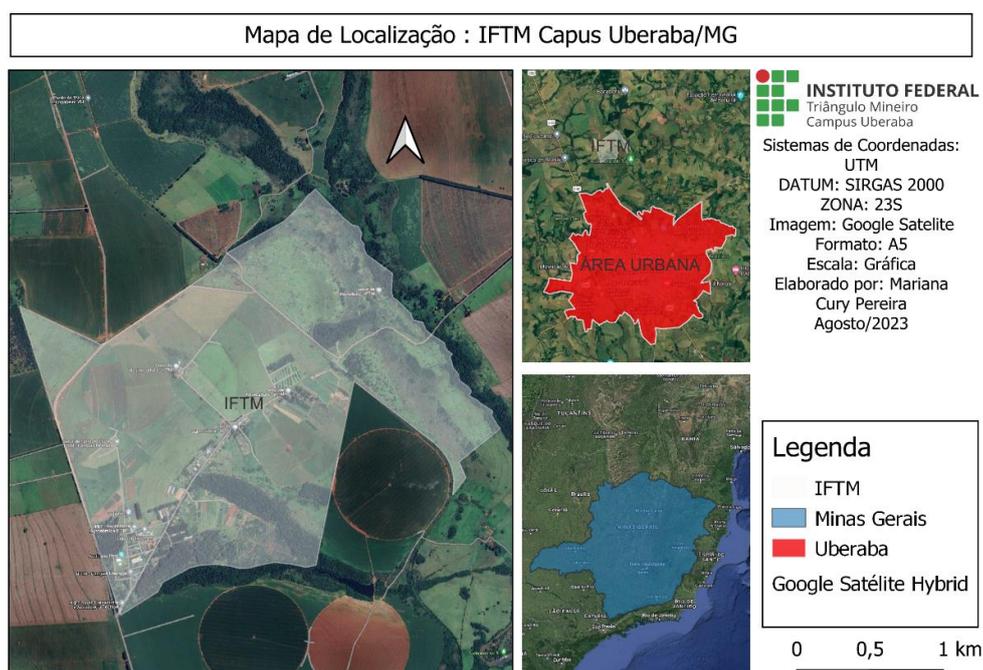
Com base no exposto, o objetivo deste estudo é a utilização das técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados à topografia para balizar escolha da melhor área para implantação de uma usina fotovoltaica no Instituto Federal do Triângulo Mineiro, *Campus Uberaba*. Como objetivos específicos pretende-se utilizar duas formas de sensoriamento remoto: os dados orbitais provenientes dos satélites e os dados obtidos por meio do processamento de imagens geradas com drones.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de Estudo

O estudo foi realizado no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro, campus Uberaba situado à Rua João Batista Ribeiro, 4000 - Distrito Industrial II, Uberaba - MG, CEP: 38064-790, nas coordenadas Universal Transverso de Mercator (UTM) 188482.00 m E, 7822506.00 m S. A figura 1 apresenta a localização do Campus Uberaba.

Figura 1 – área de estudo: estado de Minas Gerais



Fonte: Autoria própria, 2023.

A História do Instituto em Uberaba teve início em 1953, quando foi fundado o Centro de Treinamento em Economia Doméstica e Rural, que em 1963 passou a ser chamado de Colégio de Economia Doméstica “Dr. Licurgo Leite”. Com o decreto presidencial nº 83.935, de 4 de setembro de 1979, a Instituição recebe a designação de Escola Agrotécnica Federal de Uberaba-MG, com habilitação em economia doméstica.

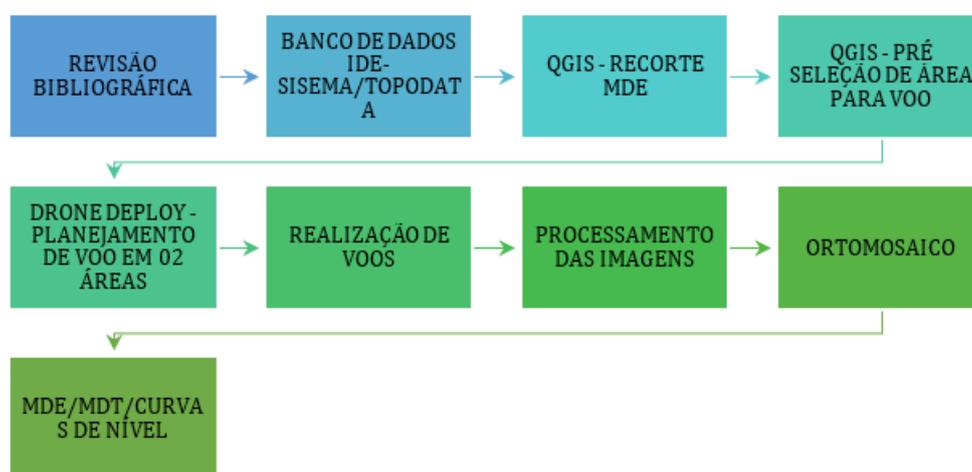
Em 1982 foi transformado em curso técnico quando recebeu a doação do município de Uberaba para a instalação e funcionamento da escola-fazenda, em 2002 foi transformado em Escola Agro técnica em Centro Federal de Educação Tecnológica de Uberaba e em 2008 houve a criação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro (IFTM) pela Lei nº 11.892, de 29 de dezembro de 2008. O centro passa então a ser conhecido como Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro - Campus Uberaba.

O campus Uberaba possui uma área de 472 hectares e oferece diversos cursos de forma gratuita para a sociedade. Atualmente, com a quantidade de alunos atendidos nos diferentes cursos e a crescente demanda energética, existe uma necessidade real de geração de energia no local. Assim, os recursos atualmente destinados ao pagamento da energia elétrica, poderão ser realocados em outros setores, contribuindo com o desenvolvimento institucional.

2.2. Metodologia de desenvolvimento

Os procedimentos metodológicos utilizados nesta pesquisa estão detalhados no fluxograma abaixo (Figura 2).

Figura 2 – Fluxograma do desenvolvimento do projeto



Fonte: Autoria própria.

Neste estudo foi utilizado duas formas de sensoriamento remoto: a primeira utilizando banco de dados do IDE-SISEMA para extrair o MDT/MDE de todo o perímetro do IFTM Campus Uberaba e a realização de uma pré-seleção da melhor área levando em consideração a topografia. Após essa etapa de pré-seleção foi feito voo sobre a área com um drone.

O MDE utilizado neste estudo foi obtido no site do IDE-SISEMA (<https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis>). O dado vetorial das curvas de nível para o Estado de Minas Gerais é proveniente do Modelo Digital de Elevação (MDE) consistido e produzido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) para o Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil – TOPODATA. O produto é elaborado a partir da reamostragem por interpolação das cenas do MDE desenvolvido pela Agência Espacial Norte-americana – NASA através da Missão Topográfica de Radar Embarcado (SRTM). Os dados SRTM, originalmente amostrados em grade estatística de 90 metros (cobrindo uma área de 2.700 metros quadrados), foram reamostrados para 30 metros (equivalente a 900 metros quadrados)

através da metodologia desenvolvida pelo INPE, com a posterior consistência morfométrica ajustada para o território nacional (IDE-SISEMA, 2023).

Para o geoprocessamento desses dados espaciais se faz necessário utilizar ferramentas que envolvam o sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas (SIG)(Reginato, 2020). Neste trabalho, foi utilizado o software QGIS 3.24.3. adotando-se o sistema de referência de coordenadas (SRC) SIRGAS 2000/UTM zona 23S.

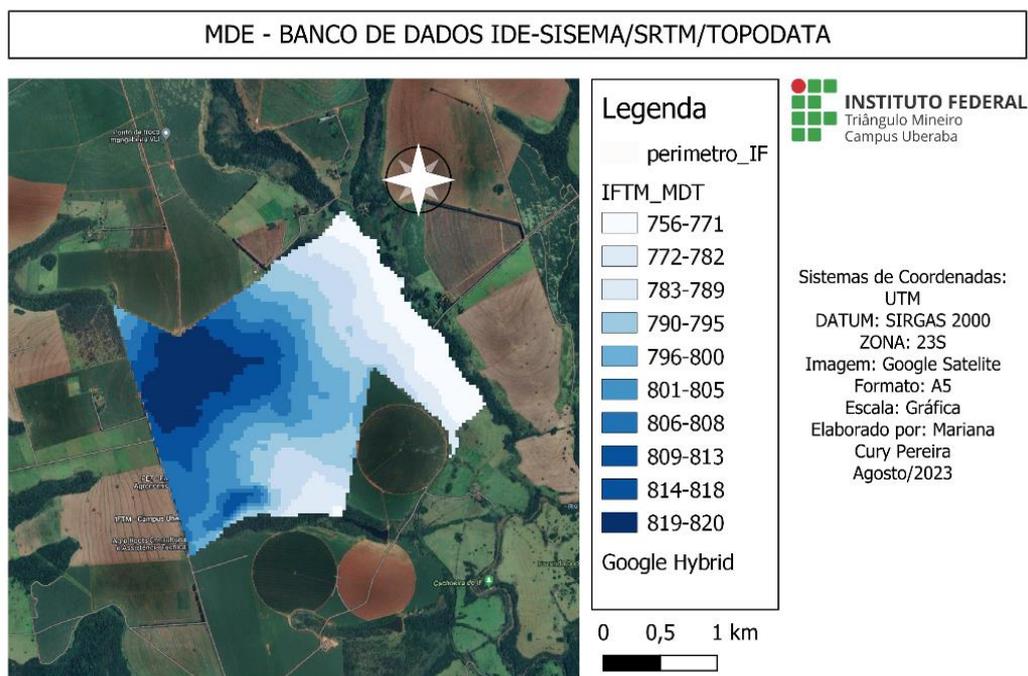
As imagens foram obtidas através de um drone tipo quadrotor (drone), modelo Mavic Pro, da fabricante chinesa DJI®, acoplado com câmera RGB e sistema de estabilização “gimbal”. Para controle do plano de voo na coordenação do posicionamento dos disparos das fotos, foi utilizado o Software Dronedeploy®, instalado a dispositivo móvel do tipo smartphone iOS. O voo foi programado carregando o kml ou shapefile da área.

As imagens posteriormente foram tratadas no mesmo aplicativo, o Drone Deploy, sendo possível gerar um relatório completo do processamento incluindo: mapa em Geotiff, JPG, PDF, Ortomosaico, MDE, MDT, contorno das curvas de nível, nuvem de pontos e modelo 3D da área.

2.3. Resultado e Discussão

A Figura 3 apresenta o MDE do IFTM Campus Uberaba, obtido do banco de dados do IDE-SISEMA, após recorte do perímetro do IFTM no software QGIS.

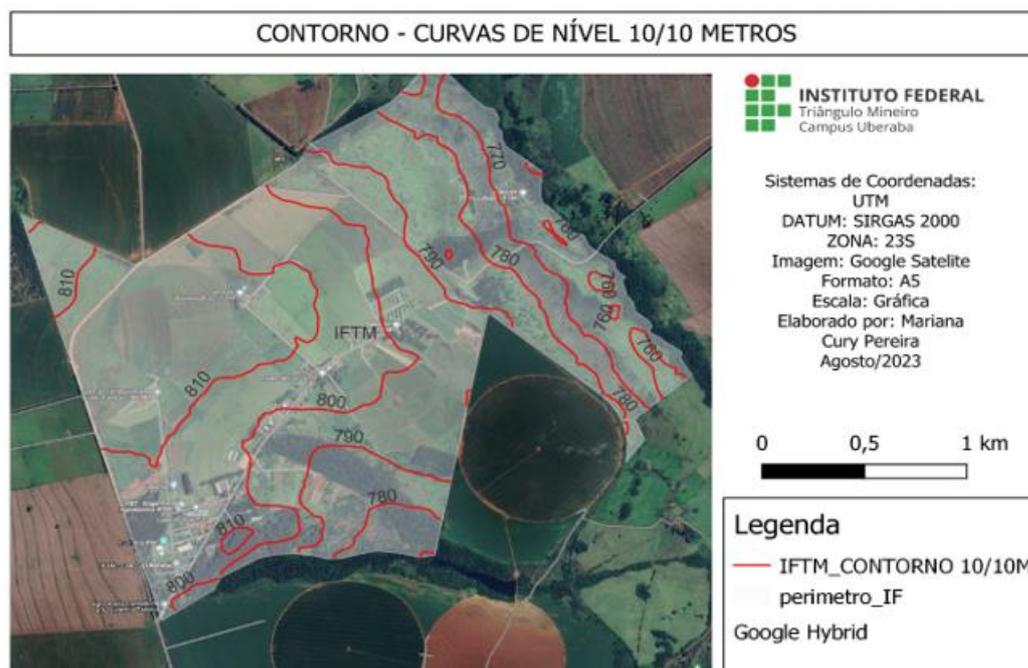
Figura 3 – MDE do perímetro IFTM Campus Uberaba



Fonte: Autoria própria.

O contorno com as curvas de nível de 10 em 10 metros, extraídas no software QGIS são apresentadas na Figura 4.

Figura 4 – Contorno curvas de nível de 10/10 metros



Fonte: Autoria própria.

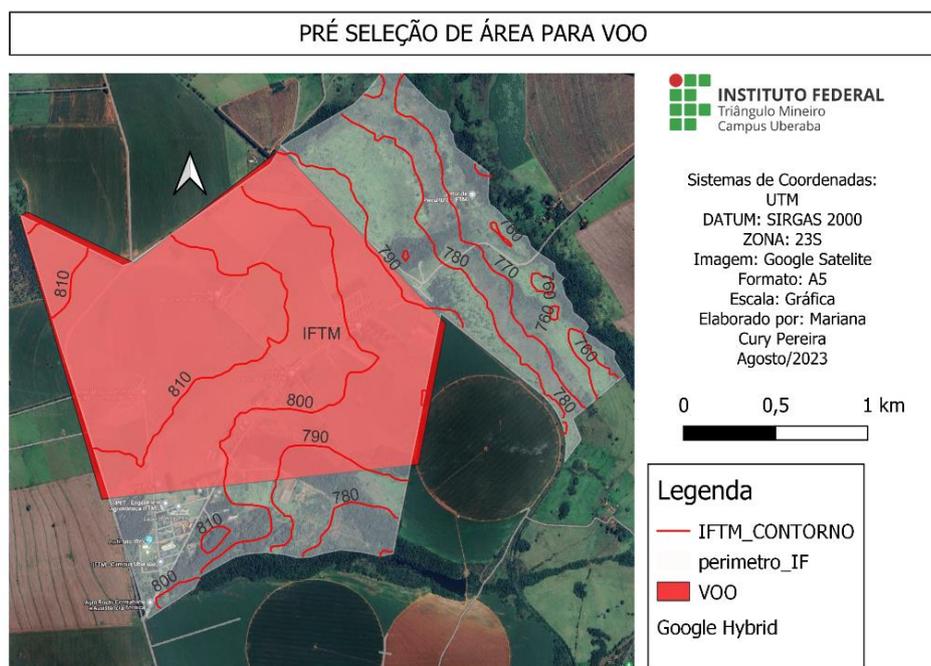
Há muitos outros aspectos técnicos, econômicos, ambientais e sociais que devem ser considerados (Aly et al., 2017). A escolha do local destas usinas deve estar associada a critérios fundamentais que garantam o sucesso do projeto como, por exemplo, um local que prevê uma boa irradiação solar, possíveis conexões à rede (de preferência poucos quilômetros de distância da subestação de conexão e no menor nível de tensão possível) e o aval ambiental para a instalação na área (Greener, 2017). Constata-se que no momento de realizar um projeto fotovoltaico, na etapa de escolha do local, torna-se decisivo para tomada de decisão ótima que sejam avaliados os fatores locais de irradiação solar, distância das linhas de transmissão, declive, distância das estradas, distância das áreas urbanas e uso do solo. Rediske et al.(2018) destacam que esse resultado não significa que os demais fatores não tenham importância, que cabe ao agente responsável pela análise identificar junto aos fatores elencados os que são mais importantes para a tomada de decisão. Segundo Rediske (2020) para a escolha da localização ideal para a instalação de usina solar vários critérios e subcritérios devem ser analisados, sendo o critério geomorfológico e subcritério. Declive importante, e o avaliado neste estudo.

Ao passar pela atmosfera da Terra, a radiação se manifesta sob a forma de luz visível, raios infravermelhos e ultravioleta. Esta luz pode ser capturada e transformada em calor. Se

uma superfície escura for usada para captura, a energia solar será transformada em calor e, se forem usadas células fotovoltaicas, o resultado será eletricidade (ANEEL, 2008).

Após análise dos resultados obtidos com o MDE e com as Curvas de nível, foi feita uma pré-seleção de áreas que seriam melhores para a implantação da usina fotovoltaica levando em consideração a topografia da área conforme Figura 5.

Figura 5 – Pré-seleção de área para voo



Fonte: Autoria própria.

O uso de aeronaves tripuladas é empregado há quase um século, com a vantagem de permitir imageamento rápido de áreas grandes, contudo, requer conhecimento técnico especializado e condições restritas para voar, e possui elevado custo operacional. Dependendo do objetivo pretendido, o uso de imagens de satélites pode ser combinado com imagens tomadas por VANTs, ou aeronaves tripuladas (estudos multiescala), com auxílio de espectrômetros portáteis para coleta de assinaturas espectrais em campo para calibração e construção de modelos matemáticos.

As categorias ou classes de RPAs no Brasil são definidas de acordo com o peso do equipamento, altura de vôo e tipo de operação (dentro ou fora do alcance visual do operador). De acordo com o Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial no 94/2017 (RBAC-E-no 94), os equipamentos devem ser homologados pela Anatel (Agência Nacional de Telecomunicações) e cadastrados na ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) por meio do sistema SISANT. Os operadores devem realizar um seguro obrigatório de acidentes contra terceiros para equipamentos com peso acima de 250g. O uso do espaço aéreo deve ser requerido junto ao

DECEA pela plataforma SARPAS, efetuando-se o registro do equipamento e dos vôos a serem executados (SENAR, 2018; ANAC, 2017).

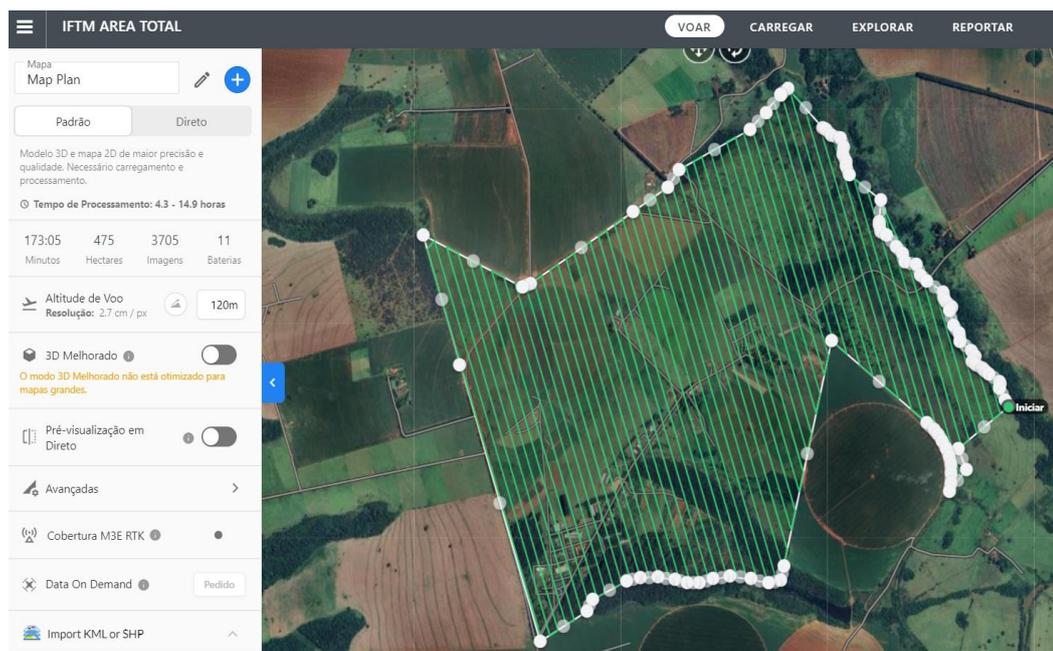
Os avanços dos recursos de segurança e de autonomia dos Veículos Aéreos não Tripulados (VANTs, ou drones) têm favorecido o uso destes para missões autônomas de alto risco e com baixo custo operacional (Jorge & Inamasu, 2014).

Atualmente há softwares e plataformas que auxiliam na coleta, gerenciamento e interpretação de dados, com processamento em tempo real. Os equipamentos estão se tornando mais acessíveis no mercado, e as facilidades para uso dos VANTs aumentaram, assim como as aplicações e finalidades de utilização.

Dessa forma é possível entregar resultados mais rápidos e com melhor qualidade, gerando dados com mais níveis de detalhes com um maior ritmo de produtividade (FORTUNATO, 2018). Diante do exposto foi combinado duas formas de sensoriamento remoto para atingir o objetivo do estudo, primeiro foi utilizado imagens de satélite e banco de dados para fazer um levantamento total do perímetro da área.

Pelo aplicativo Drone Deploy é possível planejar o voo, montando diretamente no aplicativo a área desejada para fazer o levantamento ou ainda carregar um arquivo kml ou shapefile delimitando a área, após definir a área do projeto é definido a altura do voo, e o aplicativo informa a quantidade de baterias necessárias, tempo estimado de voo e resolução das imagens de acordo com essas informações em cm/px. Na figura 6 foi inserido na plataforma o shapefile total do perímetro da área de estudo.

Figura 6 – Simulação de voo em todo perímetro do IFTM Campus Uberaba

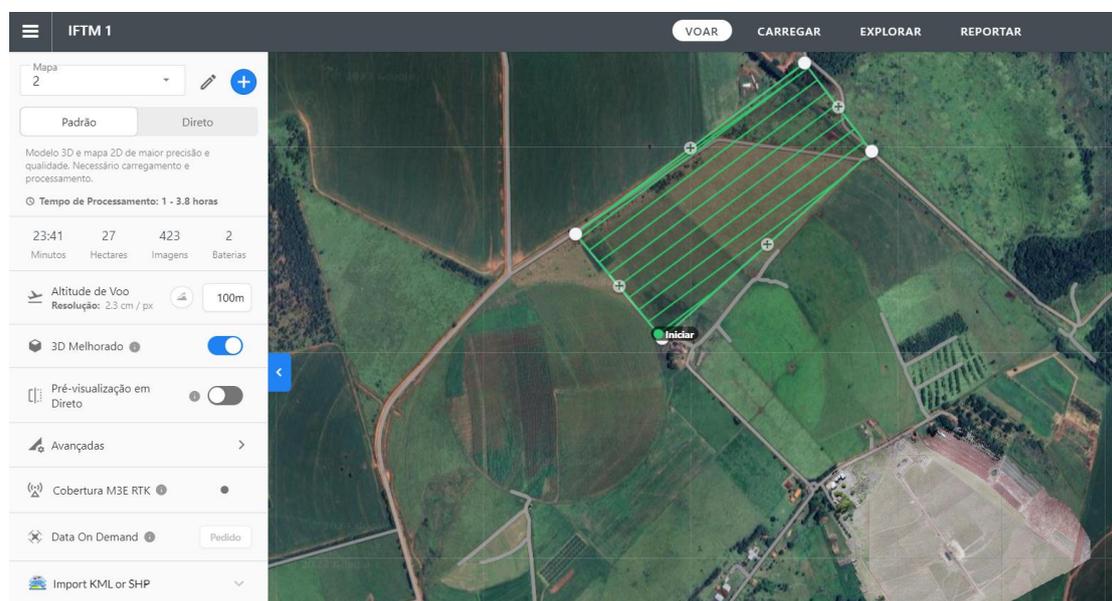


Fonte: Autoria própria.

Montando o voo programado na área total com a altura máxima usual de voo que são 120 m, com o Drone Mavic Pro seriam necessárias 11 baterias, 173 minutos (quase 3 horas) estimados de voo direto, seriam capturadas em média 3705 imagens o que tornaria inviável visto que o RPA disponível para o voo é de pequeno porte, por esse motivo foi feito um estudo de campo na área e analisadas as infraestruturas e seus usos atuais no campus.

Foram escolhidas a área 01 – Figura 7 e área 02 – Figura 8, pois as mesmas estão fora das áreas de pivô e tem uma pré-estrutura executada o que seria contribuição para a implantação do sistema. A área 01 foi escolhida por estar fora dos pivôs, próxima de infraestrutura e com pouca declividade sendo propícia a implantação do sistema de energia fotovoltaica e estar próxima de redes de transmissão de energia elétrica.

Figura 7 – Voo programado na área 01.



Fonte: Autoria própria.

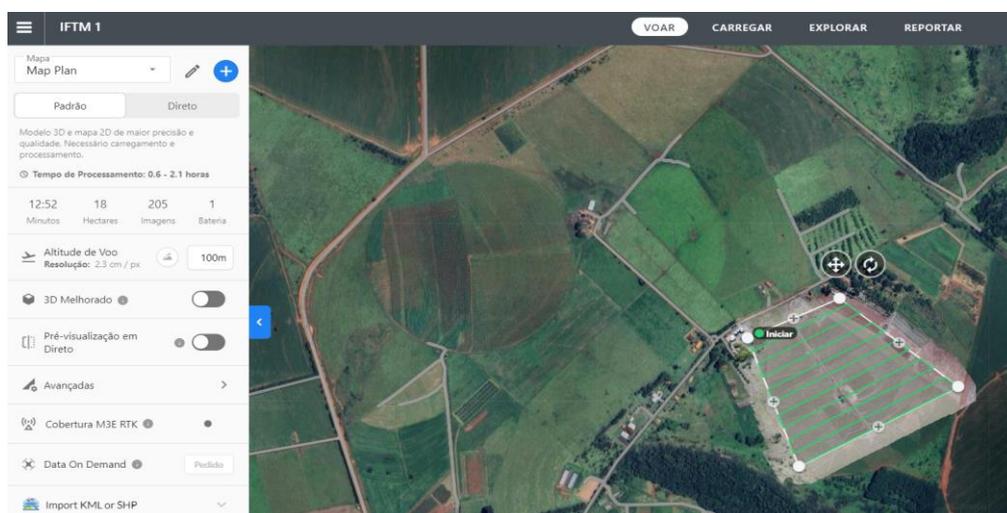
Foi planejado e executado um voo com altura de 100m, com duração aproximada de 25 minutos pois foi necessário pouso para troca de bateria e retomada de voo, foi sobrevoada uma área de 27ha e foram capturadas 423 imagens com modo 3D melhorado ativado e 75% de sobreposição dianteira, 65% de sobreposição lateral, com velocidade otimizada, direção e captação 3D. Atingindo assim uma resolução de 2,3 cm/px.

A área 02 foi escolhida por estar em uma próxima às redes de transmissão de energia e também é uma área topograficamente propícia a implantação pois tem pouco declive. Foi planejado e executado um voo com altura de 100m, com duração aproximada de 13 minutos, foi sobrevoada uma área de 18 ha e foram capturadas 205 imagens, com 75% de sobreposição

dianteira, 65% de sobreposição lateral, com velocidade otimizada, direção e captação 3D. Atingindo assim uma resolução de 2,3 cm/px.

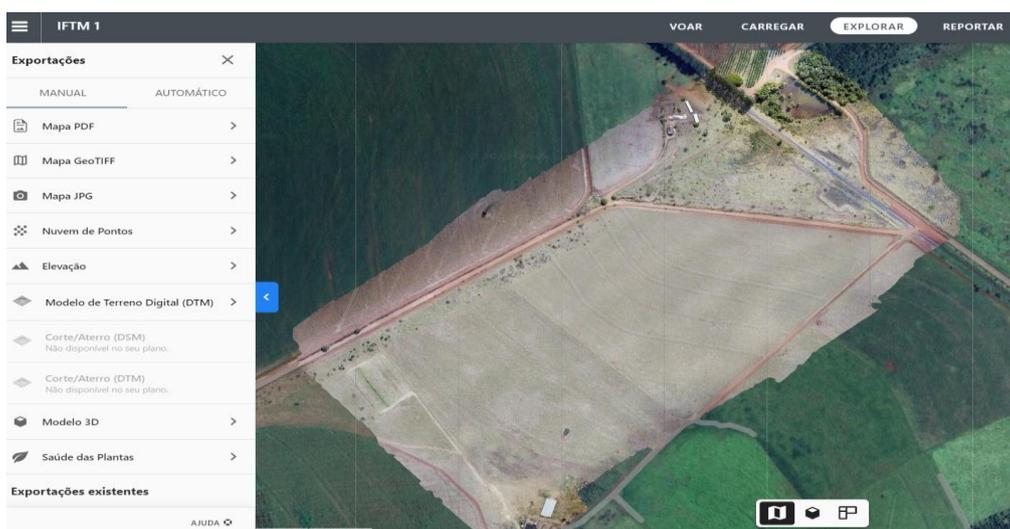
Após a realização dos voos as fotos são descarregadas do Drone para o computador onde são carregadas na plataforma do Drone Deploy e são processadas em nuvem. Os resultados obtidos no processamento das imagens foram: mapa em Geotiff, JPG, PDF, Ortomosaico, MDE, MDT, contorno das curvas de nível, nuvem de pontos, modelo 3D. Na Figura 9 mostra os resultados obtidos referente a área 01 e na Figura 10 referente a área 02. Após a finalização do processamento das imagens pelo Drone Deploy, foi exportado o Ortomosaico com resolução 5 cm/px e de contornos de curvas de nível de 1 em 1 metro e foi utilizado o software de plataforma SIG QGIS 3.24.3 para análise topográfica.

Figura 8 – Voo programado na área 02



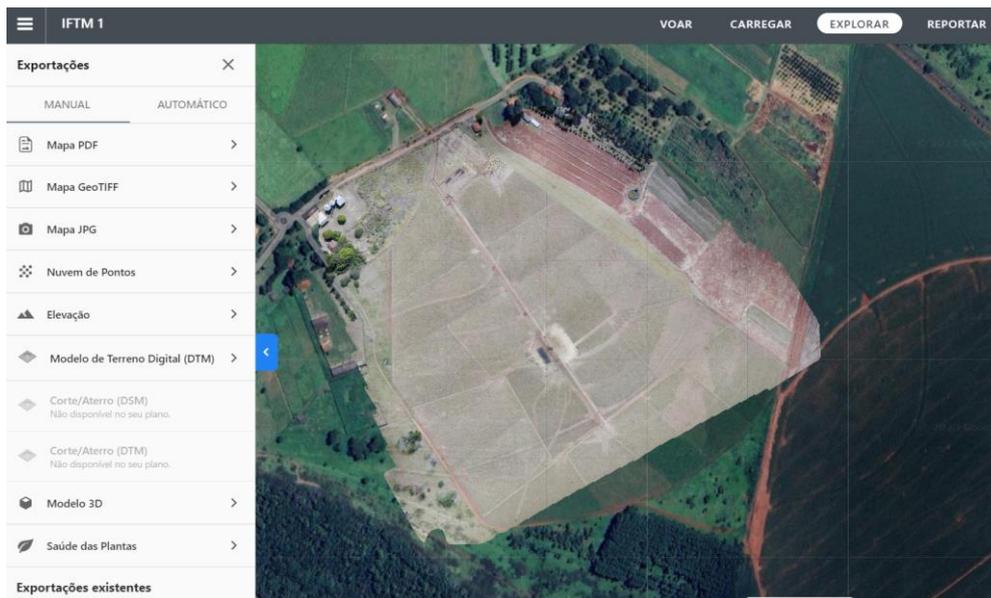
Fonte: Autoria própria.

Figura 9 – Resultados do processamento das imagens área 01



Fonte: Autoria própria.

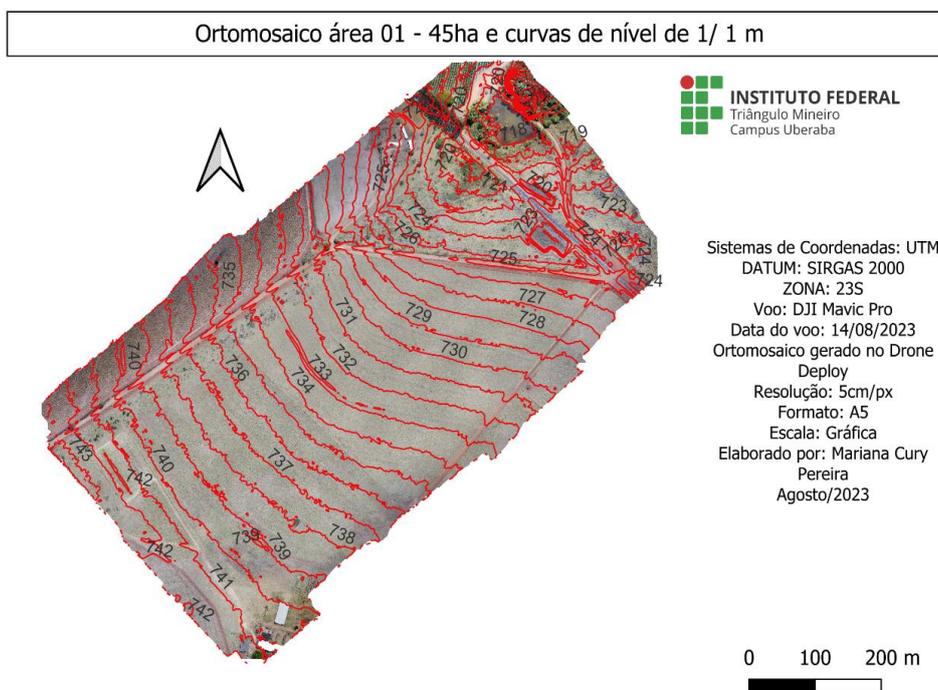
Figura 10 – Resultados do processamento das imagens área 01



Fonte: Autoria própria.

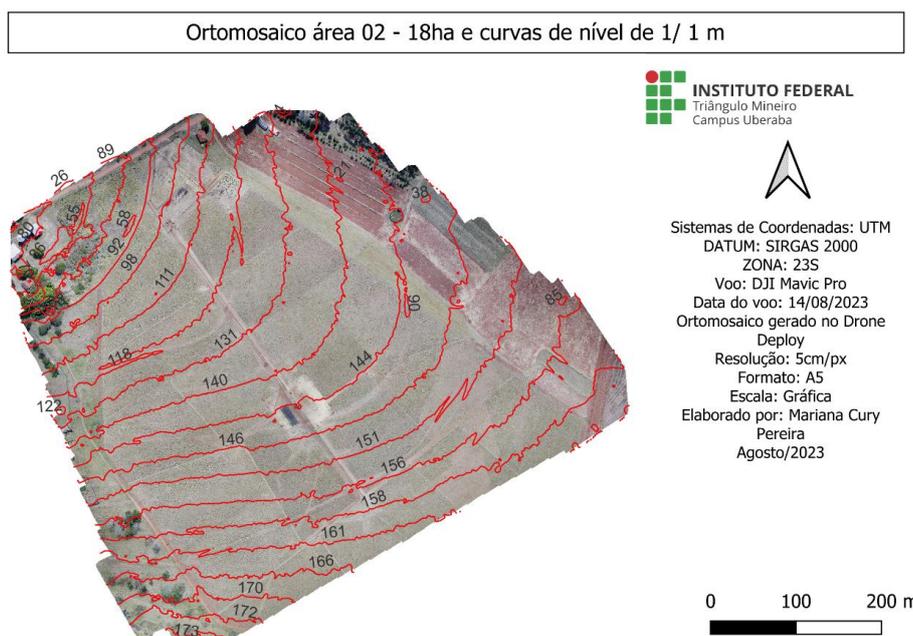
Com o mapeamento detalhado da superfície, por meio da representação das curvas de nível, é possível a identificação de áreas planas ou com suaves inclinações, o que facilita a instalação dos painéis solares e contribui para uma distribuição uniforme da geração de energia ao longo do dia, conforme apresentados nas Figuras 11 e 12.

Figura 11 – Ortomosaico e curvas de nível da área 01



Fonte: Autoria própria.

Figura 12 – Ortomosaico e curvas de nível da área 02



Fonte: Autoria própria.

3. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi possível aplicar as técnicas de sensoriamento remoto aplicados à topografia, para auxiliar na escolha de áreas para a implantação de uma usina fotovoltaica.

O mapeamento detalhado da superfície, por meio da representação das curvas de nível, possibilita a identificação de áreas planas ou com suaves inclinações, o que facilita a instalação dos painéis solares e contribui para uma distribuição uniforme da geração de energia ao longo do dia.

As ferramentas utilizadas demonstram grandes avanços tecnológicos e traz inúmeros benefícios, pois as imagens de satélite são ótimas para análises de áreas maiores, porém, o levantamento com drone apesar de cobrir uma área menor nos traz uma quantidade muito maior de detalhes devido a sua resolução, imagens em tempo real, com menos interferências atmosféricas e de nuvens, sendo assim as técnicas aqui utilizadas são complementares, utilizamos no trabalho as imagens de satélites e banco de dados para uma pré seleção, e após analisar topograficamente as curvas de nível e estudar em campo as instalações e seus usos foram selecionados e levantados voos e processamento de uma área de aproximadamente 45 ha, ou seja, 45.000m^2 . Existem estudos do próprio instituto o qual a área aproximada necessária para implantação seria de 1.500m^2 , então o objetivo do trabalho que seria aplicação da topografia para escolha da área foi atingido e dentro desses 45ha o instituto já tem uma pré

análise das melhores áreas para futura implantação e geração de uma energia limpa e de fonte inesgotável para continuar em pleno funcionamento e atendendo a sociedade.

REFERÊNCIAS

ABINEE, A.B. da I.E. e E.-, 2012. Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira. Aly, A., Jensen, S.S., Pedersen, A.B., 2017. Solar power potential of Tanzania: Identifying CSP and PV hot spots through a GIS multicriteria decision making analysis. *Renew. Energy* 113, 159–175.

ANEEL - Agencia Nacional de Energia Elétrica. (2008). Atlas de energia elétrica do Brasil. (3a ed.). Brasília: ANEEL.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13133: Execução de Levantamento Topográfico. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

COELHO, Ricardo. et al. Mapeamento Topográfico, com utilização de Veículo Aéreo não Tripulado (VANT) e Topografia Convencional. Disponível em <https://www.unifafibe.com.br/revistasonline/arquivos/engenhariaciviletecnologia/sumario/52/14052018175347.pdf> : Acesso em: 14 ago 2023.

COELHO JÚNIOR, J. M.; ROLIM NETO, F. C; OLIVEIRA ANDRADE, J. S. C. Topografia Geral. Recife: Editora UFRPE, 2014.

DALMOLIN, Jorge Augusto. Avaliação do uso da fotogrametria digital em levantamentos topográficos. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2018.

EMBRAPA. SRTM - Shuttle Radar Topography Mission. [S. l.], 30 jul. 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/satelites-de-monitoramento/missoes/srtm>. Acesso em: 11 ago. 2023.

EMBRAPA. Uso de Sensores Aerotransportados em RPAs. [S. l.], 26 jun. 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/satelites-de-monitoramento/sensores/rpa>. Acesso em: 11 ago. 2023.

EPE, 2017 PLANO Decenal de Expansão de Energia 2026. [S. l.], 11 ago. 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Decenal-de-Expansao-de-Energia-2026>. Acesso em: 11 ago. 2023.

EROS. USGS EROS Archive - Digital Elevation - Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global. [S. l.], 30 jul. 2018. Disponível em: <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-1>. Acesso em: 11 ago. 2023.

Garni, H.Z. Al, Awasthi, A., 2017. Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia. *Appl. Energy* 206, 1225–1240. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.024>

GEOSEMFRONTEIRAS. Imagens de satélite gratuitas de fontes oficiais. [S. l.], 22 nov. 2021. Disponível em: < <https://geosemfronteiras.org/blog/imagens-de-satelite-gratuitas/>> Acesso em: 13 ago. 2023.

GEOSENSORI. Levantamento topográfico tradicional x levantamento fotogramétrico. Disponível em: Levantamento topográfico tradicional x levantamento fotogramétrico » (geosensori.com.br). Acesso em: 14 agosto 2023

GREENER, 2017. Como as usinas fotovoltaicas estão se desenvolvendo no Brasil? [WWW Document]. Tecnol. Sustentáveis. URL <http://www.greener.com.br/como-usinas-fotovoltaicas-estao-se-desenvolvendo-no-brasil>

IBGE. Conceitos gerais: o que é cartografia e sensoriamento remoto. [S. l.], 11 ago. 2023. Disponível em: <https://atlascolar.ibge.gov.br/conceitos-gerais/o-que-e-cartografia/sensoriamento-remoto.html>. Acesso em: 11 ago. 2023.

IBGE. Conceitos Gerais - Aerofotogrametria. Disponível em: [aerofotogrametria \(ibge.gov.br\)](http://ibge.gov.br) Acesso em: 14 agosto 2023

LOVINS, A. B. (1997). Soft energy paths: towards a durable peace. Harmondsworth, United Kingdom: Penguin Books.

MAPPA. GPS RTK OU PPK: qual usar em mapeamentos com drones?. In: GPS RTK OU PPK: qual usar em mapeamentos com drones?. [S. l.], 9 nov. 2021. Disponível em:< <https://mappa.ag/blog/gps-rtk-ou-ppk-qual-usar-comdrones/#:~:text=a%205%20metros,RTK%20e%20PPK,posicionamento%20geogr%C3%A1fico%20gerados%20pelo%20GPS.> > Acesso em: 13 ago. 2023.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. Instituto Federal do Triângulo Mineiro - Histórico. [S. l.], 13 ago. 2023. Disponível em: <https://iftm.edu.br/uberaba/historico/>. Acesso em: 13 ago. 2023.

NASA. EUA divulgam dados aprimorados de elevação de terra de ônibus. [S. l.], 23 set. 2014. Disponível em: <https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>. Acesso em: 11 ago. 2023.

PEREIRA, E. B.; Martins, F. R.; Abreu, S. L.; Rüther, R. (2006). Atlas Brasileiro de Energia Solar. São José dos Campos: INPE.

SEMAD. Infraestrutura de Dados Espaciais. [S. l.], 6 dez. 2022. Disponível em: <http://www.meioambiente.mg.gov.br/infraestrutura-de-dados-espaciais#:~:text=A%20Infraestrutura%20de%20Dados%20Espaciais,compartilhamento%2C%20dissemina%C3%A7%C3%A3o%20e%20uso%20dos.> Acesso em: 11 ago. 2023.

SENSORIAMENTO Remoto aplicado a identificação de potencial solar em escalas regionais. Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto, Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto, p. 011-028, 27 ago. 2020. Disponível em: <https://rbsr.com.br/index.php/RBSR/article/view/13>. Acesso em: 11 ago. 2023.

Vafaeipour, M., Zolfani, S.H., Varzandeh, M.H.M., Derakhti, A., Eshkalag, M.K., 2014. Assessment of regions priority for implementation of solar projects in Iran: New application of a hybrid

multi-criteria decision making approach. *Energy Convers. Manag.* 86, 653–663.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.05.083>.

CAPÍTULO III

ANÁLISE MULTICRITÉRIO PARA A INDICAÇÃO DAS ÁREAS APTAS À IMPLANTAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS SOB CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL NA ÁREA ENTRE COROMANDEL, GUIMARÂNIA E PATROCÍNIO (MG)

MULTI-CRITERIA ANALYSIS FOR THE DESIGNATION OF SUITABLE AREAS FOR THE URBAN SOLID WASTE LANDFILL DEPLOYMENT UNDER INTERCITY CONSORTIUM IN THE AREA BETWEEN COROMANDEL, GUIMARÂNIA AND PATROCÍNIO, IN THE MINAS GERAIS STATE

DOI: 10.51859/amplla.aca638.1323-3

Diego Sullivan de Jesus Alves¹
Elcides Rodrigues da Silva²
Renato Farias do Valle Junior³

¹ Doutor em Geografia. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP

² Doutor em Ciências do Solo. Professor Titular da Universidade Federal do Triângulo Mineiro – UFTM

³ Doutor em Agronomia. Professor Titular do Instituto Federal do Triângulo Mineiro – IFTM

RESUMO

Os aterros sanitários são soluções bastante importantes para garantir o descarte ambientalmente adequado dos resíduos sólidos urbanos e para cumprir o ordenamento jurídico brasileiro, que prevê a eliminação e a recuperação dos lixões. O objetivo deste trabalho é identificar as áreas aptas à implantação do aterro sanitário dos resíduos sólidos urbanos, por meio do consórcio intermunicipal formado entre os municípios de Coromandel, Guimarães e Patrocínio, localizados em Minas Gerais. A metodologia empregada se fundamentou nas pesquisas dos bancos de dados públicos, no método Analytic Hierarchy Process (AHP) e na produção dos produtos cartográficos. Verificou-se que a metodologia AHP é suficientemente adequada para a escolha das áreas mais adequadas à instalação do aterro sanitário. E concluiu-se que Coromandel e Patrocínio possuem áreas representativas em termos da extensão, da localização e do grau de vulnerabilidade (baixo risco) para a construção e a operação do aterro sanitário.

Palavras-chave: Aterro Sanitário. Resíduos sólidos urbanos. Análise multicritério. Consórcio. Legislação ambiental.

ABSTRACT

Sanitary landfills are very important solutions to ensure the environmentally sound disposal of urban solid waste and fulfill the Brazilian Legal System that foresees the elimination and recovery of inappropriate disposal areas. The goal of this work is to identify suitable areas for the implementation of the urban solid waste sanitary landfill, by means of an intercity consortium formed between the municipalities of Coromandel, Guimarães and Patrocínio, both in Minas Gerais State. The methodology used in this work was based on searches of public databases, in the Analytic Hierarchy Process (AHP) method and in the production of cartographic products. It was verified that the AHP methodology is adequate enough for choosing the most suitable areas for the installation of the sanitary landfill. It was concluded that Coromandel and Patrocínio have representative areas in terms of extension, location and degree of vulnerability (low risk) for the construction and operation of the landfill.

Keywords: Landfills. Urban solid waste. Multi-criteria analysis. Consortium. Environmental legislation.

1. INTRODUÇÃO

A disposição adequada dos resíduos sólidos é condição *sine qua non* para garantir a manutenção do meio ambiente ecologicamente equilibrado, consoante ao art. 225, do Capítulo VI, da Constituição Federal de 1988 (Brasil, 1988). Para tanto, urge a necessidade de conhecer e de cumprir o ordenamento jurídico brasileiro na íntegra, seja a Carta Magna, sejam as normas infraconstitucionais, nas esferas federal, estadual e municipal.

O uso ecologicamente sustentável do meio ambiente tem sido abordado recorrentemente há anos, especialmente na forma das convenções internacionais e dos seus respectivos acordos. O alinhamento permanente entre diferentes Estados é fundamental para consolidar, decididamente, o entendimento de que a natureza deve ser protegida a qualquer custo, enquanto isso ainda é possível.

Todavia, esses acordos multilaterais serão eficazes tão somente se traduzirem-se, verdadeiramente, em ações afirmativas. Ou seja, é preciso se apropriar e transcender o arcabouço teórico e metodológico sistematizado na literatura e no ordenamento jurídico, e, em seguida, promover a intervenção no espaço, propriamente. Para isso, ressalta-se a notória importância das prefeituras na implantação de soluções sustentáveis, por exemplo, a implantação dos aterros sanitários para permitir a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos sólidos.

Como se sabe, no Brasil, existem instrumentos legais que abordam a disposição final dos resíduos sólidos urbanos (RSUs), tais como: a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010) e a Resolução do Conama nº 404, de 2008, (Conama, 2012), a qual estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterros sanitários de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos; e a NBR 13896 (ABNT, 1997), que versa sobre aterros de resíduos não perigosos – critérios para projeto, implantação e operação.

Por outro lado, a despeito da legislação ambiental brasileira dispor de normas constitucionais e de normas infraconstitucionais sobre os RSU, a distribuição dos aterros sanitários no país está bastante aquém de uma situação razoavelmente favorável para a sociedade, que é diretamente atingida pela presença ou pela ausência destes. Ressalta-se, ainda, que o Brasil é signatário da Agenda 2030, concebida pela Organização das Nações Unidas (ONU) e os Estados membros, a qual definiu os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), dentre os quais inclui-se “cidades e comunidades sustentáveis” (ONU, 2015). Por isso, o aperfeiçoamento da gestão integrada entre municípios alinha-se perfeitamente aos acordos firmados na ordem internacional.

Em conformidade com o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos (SINIR) (SINIR, 2019), do Ministério do Meio Ambiente, dos 5.570 municípios brasileiros, somente 2.073 destes estão em situação adequada quanto à disposição final dos RSUs. Diante disso, admite-se que a ausência desses serviços ambientais poderia ser confrontada mediante a incorporação de soluções consorciadas entre diferentes municípios, viabilizando, assim, a inserção dos aterros sanitários em menor tempo. Para isso, seria necessário reconhecer áreas viáveis e estratégicas ambientalmente para os municípios envolvidos.

O levantamento das áreas mais suscetíveis à construção desses aterros pode ser alcançado a partir das geotecnologias, do geoprocessamento e do método para organização e análise das decisões complexas, na forma da análise multicritérios. Dessa forma, mediante o enquadramento do espaço a partir das áreas restritivas e das áreas não restritivas, possibilita-se a identificação ou a ausência dos espaços aptos à implantação dos aterros sanitários.

A respeito do método para a organização e para a análise das decisões complexas, utilizou-se o *Analytic Hierarchy Process* (AHP), que tem sido amplamente adaptado para as frentes de trabalho, com escopos distintos, por exemplo: no gerenciamento das construções (Darko *et al.*, 2018); na avaliação das propostas de reabilitação urbana (Lee; Chan, 2008); na certificação florestal (Kurttila *et al.*, 2000); no uso em conjunto com Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) (Chaudhary *et al.*, 2016; Hammami *et al.*, 2019; Kucuker *et al.*, 2022); e na seleção dos locais adequados para a instalação dos aterros sanitários (Şener; Şener, 2020; Redjem *et al.*, 2021; López *et al.*, 2022). O uso combinado do AHP e do SIGs nos projetos de implementação dos consórcios intermunicipais é uma estratégia altamente eficiente para orientar, tecnicamente, a indicação dos locais mais favoráveis à implantação de quaisquer aterros sanitários dos RSUs.

O presente estudo tem como objetivo reconhecer as áreas aptas à implantação do aterro sanitário dos RSUs, na forma do consórcio intermunicipal, que inclui os municípios de Coromandel, de Guimarães e de Patrocínio, no estado de Minas Gerais, os quais ainda não dispõem desta solução para disposição final dos RSUs. Propõe-se utilizar o método AHP para identificar os locais mais propícios para a instalação desse aterro.

2. METODOLOGIA

2.1. Descrição da área do estudo

A área estudada situa-se na região sudeste do Brasil, no oeste do estado de Minas Gerais, entre os paralelos de 17°50' e 20°15' de latitude Sul e os meridianos de 45°10' e 48°05' de longitude Oeste, e contempla os municípios de Coromandel, de Guimarânia e de Patrocínio (figura 1).

Figura 1 - Localização da área dos municípios de Coromandel, Guimarânia e Patrocínio (MG)



Fonte: Autoria própria.

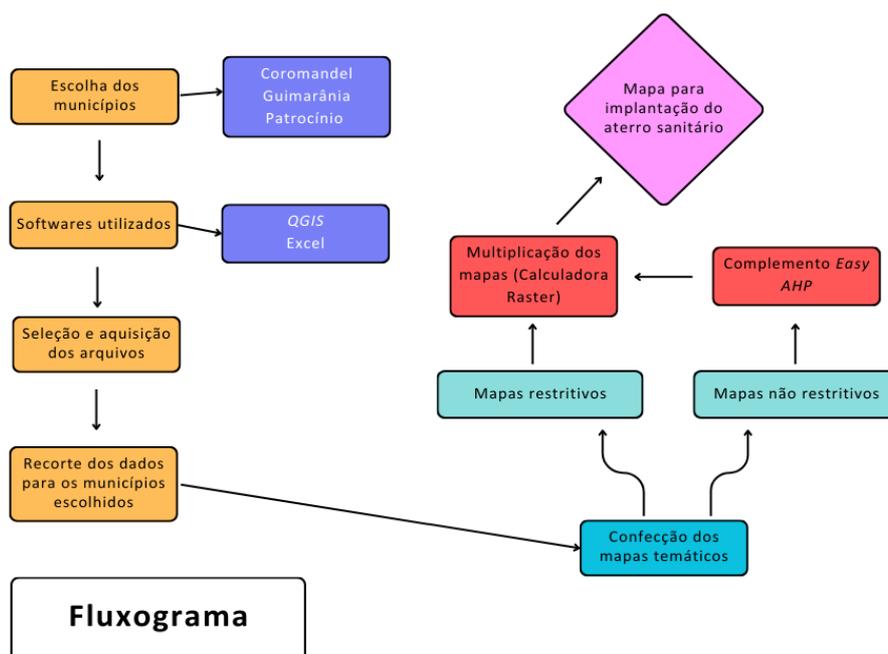
Em relação às características do meio ambiente, a área do estudo está situada no bioma Cerrado (IBGE, 2019). De acordo com o CPRM (2020), as características geológicas são representadas pelos seguintes grupos: Araxá, Canastra, Ibiá, Mata da Corda, Vazante, Bauru, incluindo as coberturas detrito-lateríticas ferruginosas e os depósitos aluvionares. Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger (1928), os municípios estão incluídos numa região de clima mesotérmico, do tipo AW, com invernos secos e verões chuvosos. Foram levantadas as

seguintes ordens dos solos: Argissolos, Latossolos, Cambissolos e Neossolos (IDE – SISEMA, 2023).

2.2. Banco de dados, variáveis, critérios e pesos

Todos os procedimentos metodológicos envolvidos na elaboração deste trabalho estão sistematizados no fluxograma (figura 2). A escolha dos municípios foi atribuída à ausência de soluções para a disposição final ambientalmente adequada dos RSUs e às divisas entre si. Para a manipulação dos bancos de dados obtidos, utilizaram-se os softwares *Quantum GIS (QGIS)* e *Excel*. A seleção e a aquisição dos arquivos foram baseadas nas variáveis previamente selecionadas para a análise multicritérios, tais como, distância dos núcleos populacionais, das dutovias, das ferrovias, das rodovias, dos canais fluviais e o grau de declividade para os mapas restritivos. Para os mapas não restritivos, utilizou-se as variáveis distância da geradora dos resíduos sólidos, das rodovias e dos corpos hídricos, a geologia, os solos e o valor da terra nua (VTN). Após o recorte dos dados acima para todos os municípios, seguiu-se para a confecção dos mapas temáticos de tipos restritivos e não restritivos. Em seguida, com o auxílio do complemento *Easy AHP* do QGIS, fundamentado na metodologia sistematizada por Saaty (Saaty, 1990), geraram-se os pesos de cada variável, que, por sua vez, foram utilizados na multiplicação dos mapas, mediante o uso do complemento Calculadora Raster do QGIS. Com isso, obteve-se o mapa de vulnerabilidade para a implantação do aterro sanitário dos RSUs, indicando as áreas restritas, de baixo risco, de médio risco e de alto risco.

Figura 2 - Fluxograma das etapas da pesquisa



Fonte: Autoria própria.

Para garantir a análise espacial fidedigna e a confecção dos produtos cartográficos relevantes, foram utilizados diferentes bancos de dados para o levantamento das informações pertinentes ao escopo deste trabalho. Foram obtidos arquivos *shapefiles* dos tipos vetoriais e *raster* para representar cartograficamente variáveis previamente determinadas (tabela 1).

Tabela 1 - Variáveis e bancos de dados utilizados na elaboração dos mapas restritivos e dos não restritivos

Variáveis	Banco de dados
Mapas restritivos	
Distância dos núcleos populacionais	MAPBIOMAS (2022)
Dutovias, ferrovias e rodovias	IDE - SISEMA (2023)
Declividade	INPE (2023)
Canais fluviais	IDE - SISEMA (2023)
Mapas não restritivos	
Distância da geradora dos resíduos sólidos	IDE - SISEMA (2023)
Distância das rodovias	IDE - SISEMA (2023)
Distância dos corpos hídricos	IDE - SISEMA (2023)
Geologia	IDE - SISEMA (2023)
Solos	IDE - SISEMA (2023)
Valor da terra nua (VTN)	EMATER (2023)

Fonte: Autoria própria.

No que concerne a produção dos mapas restritivos e dos não restritivos, a definição dos critérios restritivos e ponderados está consubstanciada no ordenamento jurídico brasileiro, na forma das legislações ambientais federal e estadual (Minas Gerais, 2009, 2008, 2022; Brasil, 2010) e nas normas técnicas brasileiras (ABNT, 1992, 1997), e ainda na bibliografia científica (EMBRAPA, 2018). Esse arcabouço teórico e metodológico fundamentou a escolha das variáveis, dos critérios e dos pesos considerados para a análise da localização do aterro sanitário dos RSUs.

Nos mapas restritivos (tabela 2), os pesos foram definidos quanto à restrição ou não restrição da intervenção na área delimitada para a implantação do aterro sanitário, isto é, quando a variável busca restringir, atribuiu-se peso zero (0), ao passo que, se não houver restrição, foi atribuído peso um (1). Por conseguinte, as áreas com peso zero tornaram-se indisponíveis, ou seja, não serão computadas no cálculo das variáveis posteriormente.

Por outro lado, nos mapas não restritivos (tabela 3), a definição dos pesos é embasada na escala de cinza das imagens orbitais, que apresenta valores compreendidos entre 0 e 255. Essa abordagem é justificada pela natureza das imagens, que são normalmente representadas

em 8 bits por pixel. Em um sistema de 8 bits, cada pixel pode assumir 256 valores distintos, que se estendem de 0 (indicando preto absoluto, que corresponde à ausência total de luz) a 255 (representando branco total, referente à intensidade máxima de luz). Dessa forma, em uma imagem em escala de cinza, um valor de pixel de 0 representa o preto, 255 significaria branco, e valores intermediários corresponderiam a diversos tons de cinza. A maior ou menor restrição se dá consoante aos maiores e aos menores valores de risco, respectivamente.

Tabela 2 - Relação entre critérios, classes e pesos para a confecção dos mapas restritivos

Variáveis	Crítérios	Pesos
Distância dos núcleos populacionais	Abaixo de 500 m	0
	Acima de 500 m	1
Dutovias, ferrovias e rodovias	Abaixo de 100 metros	0
	Acima de 100 metros	1
Declividade	Acima de 30%	0
	Abaixo de 30%	1
Canais fluviais	Abaixo de 300 m	0
	Acima de 300 m	1

Fonte: Autoria própria.

Tabela 3 - Relação entre critérios, classes e pesos para a confecção dos mapas não restritivos

Variáveis	Crítérios	Pesos	Variáveis	Crítérios	Pesos
Distância da geradora dos resíduos sólidos	Até 300 m	255	Distância dos corpos hídricos	Até 300 m	255
	300 m a 500 m	150		300 a 600 m	130
	500 a 5.000 m	100		600 a 900 m	75
	5.000 a 15.000 m	50		900 a 1.200 m	50
	15.000 a 20.000 m	30		1.200 a 1.500 m	25
	20.000 a 30.000 m	20		Acima de 1.500 m	20
	30.000 a 40.000 m	15	Geologia	Sedimentares	255
	40.000 a 50.000 m	10		Metamórfica	150
	Acima de 60.000	5		Ígneas e metamórficas	140
Valor da terra nua	Mata nativa e agricultura	255	Solos	Ígneas	130
	Pastagem	175		Neossolos e Cambissolos	255
Distância das rodovias	Até 200 m	255		Latossolos	130
	200 a 2.000 m	175	Argissolos	75	
	2.000 a 4.000 m	130			

Variáveis	Crítérios	Pesos	Variáveis	Crítérios	Pesos
	4.000 a 6.000 m	95			
	6.000 a 8.000 m	55			
	8.000 a 10.000 m	25			
	Acima de 10.000 m	15			

Fonte: Autoria própria.

2.3. Método Analytic Hierarchy Process (AHP)

O método AHP (Saaty, 1990), idealizado por Thomas L. Saaty, é formidável para construir análises sistematizadas mediante a hierarquia dos diferentes fatores previamente definidos. Esse método tem sido bastante utilizado nas análises multicritérios que preveem a implantação dos aterros dos RSUs (Silva *et al.*, 2022; Chaves *et al.*, 2022; Santos *et al.*, 2022; Nascimento *et al.*, 2022; Fernandes *et al.*, 2022; Júnio; Araújo; Junior, 2022; Araújo *et al.*, 2022), apresentando resultados relevantes para nortear as administrações públicas estaduais e municipais na governança.

O método AHP é organizado em uma escala de importância das variáveis adotadas (tabela 4), a qual fundamenta a construção da matriz comparativa (tabela 5). Na matriz comparativa, os valores definidos são normalizados a fim de obter os pesos ponderados das variáveis. Esses cálculos foram realizados no QGIS, versão 2.18, por meio do complemento *Easy AHP*.

Tabela 4 - A escala de intensidade de importância, as definições e explicações para as variáveis

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Importância igual	Os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância moderada	Um fator é ligeiramente mais importante que o outro.
5	Importância essencial	Um fator é claramente mais importante que o outro.
7	Importância demonstrada	Um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática.
9	Importância extrema	A evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível.
2, 4, 6 e 8	Valores intermediários entre julgamentos	Quando há necessidade de valores intermediários.

Fonte: Adaptado de Saaty (1990).

Tabela 5 - Matriz comparativa 6x6 com as variáveis definidas

	Drenagem	RSU	Rodovias	Solo	Geologia	VTN
Drenagem	1	0.333	0.333	0.200	0.333	0.333
RSU	3	1	0.333	0.333	0.333	0.500
Rodovias	3	3	1	0.500	0.500	0.500
Solo	5	3	2	1	0.500	0.500
Geologia	3	3	2	2	1	0.500
VTN	3	2	2	2	2	1

Fonte: Autoria própria.

Na matriz comparativa, o valor 1 disposto na diagonal está relacionado à comparação entre as diferentes variáveis estabelecidas, enquanto os pesos atribuídos são inseridos exatamente abaixo do valor 1 em cada coluna. Os pesos devem variar entre 1 e 9, e a matriz deve ser normalizada para calcular o índice de consistência (CI) (Saaty, 1990), conforme apresentado a seguir na equação (1):

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (1)$$

Para confirmar se os valores encontrados na equação do CI são plausíveis, Saaty (1990) utilizou a equação (2), denominada de taxa de consistência (CR), que é determinada pela razão entre o CI e o índice de consistência aleatória (RI). A matriz será admitida como consistente caso os valores obtidos nessa razão sejam inferiores a 10%.

$$CR = \frac{CI}{RI} < 0,1 \sim 10\% \quad (2)$$

Os valores de RI são fixos e estão relacionados ao número das variáveis adotadas (tabela 6).

Tabela 6 - Valores de RI para matrizes de diferentes tamanhos

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Adaptado de Saaty (1990).

Com isso, elaborou-se a matriz normalizada 6x6, mediante o cálculo entre os valores da intensidade de importância e os pesos das variáveis (tabela 7), e obteve-se os seguintes

indicadores (tabela 8): λ máximo de 6,4751, CI de 0,09, RI de 1,24 e CR de 0,0766; valores aceitáveis de acordo com Saaty (1990).

Tabela 7 - Pesos processados na matriz AHP

	Drenagem	RSU	Rodovias	Solo	Geologia	VTN
Drenagem	0,0551	0,0947	0,1467	0,2008	0,2278	0,2750

Fonte: Adaptado de Saaty (1990).

Tabela 8 - Indicadores processados na matriz AHP

Indicadores	Valores
CI	0,09
CR	1,24
λ	0,0766

Fonte: Adaptado de Saaty (1990).

2.4. A construção dos mapas de vulnerabilidade

O processamento dos mapas restritivos e dos não restritivos para produzir o mapa de vulnerabilidade para a implantação do aterro sanitário dos RSUs foi realizado no QGIS, versão 3.28, utilizando o algoritmo Calculadora Raster, mediante o cálculo da multiplicação dos mapas não restritivos por seus respectivos pesos ponderados. O produto deste cálculo foi multiplicado pelos mapas restritivos, conforme disposto na equação (3).

$$\begin{aligned}
 & ((drenagem * 0,0551) + (RSU * 0,947) + (rodovias * 0,1467) + (solos * 0,2008) + \\
 & (geologia * 0,2278) + (VTN * 0,2750)) * \\
 & (distância\ dos\ núcleos\ populacionais\ restritivo) * (dutovias\ restritivo) * \\
 & (ferrovias\ restritivo) * (rodovias\ restritivo) * (declividade\ restritivo) * \\
 & (canais\ fluviais\ restritivo)
 \end{aligned} \tag{3}$$

Após o procedimento supracitado, gerou-se um arquivo *raster* com a sobreposição de todas as variáveis e seus respectivos critérios na área do estudo, que, por consequência, permitiu a confecção dos mapas de vulnerabilidade para implantação do aterro sanitário dos RSUs com a discriminação dos graus de vulnerabilidade: restrito, baixo risco, médio risco e alto risco.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Mapas restritivos

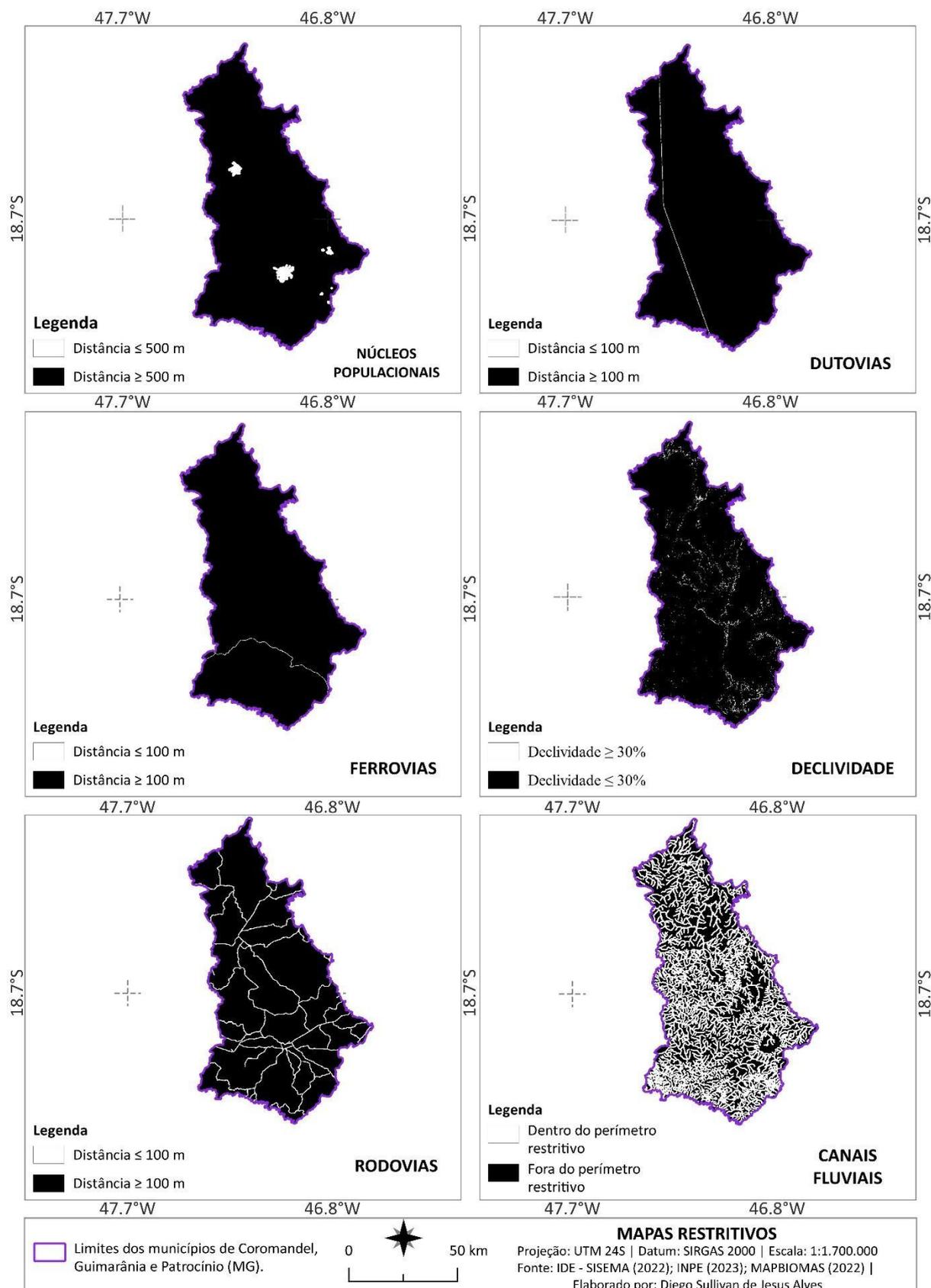
Os mapas restritivos (figura 3) confeccionados contemplaram, no âmbito da área de estudo escolhida, dedicada ao consórcio intermunicipal, os aspectos inerentes aos componentes urbanos, a saber, três núcleos populacionais (Coromandel, Guimarães e Patrocínio, em Minas Gerais). Também foram identificados componentes da infraestrutura regional, mais precisamente, os trechos das dutovias, das ferrovias e das rodovias. Por fim, verificou-se parte das características fisiográficas do meio ambiente, como os percentuais da declividade e a extensão da rede hidrográfica.

Tal coleção de mapas permitiu a análise qualitativa e quantitativa (tabela 9) acerca das áreas que seriam restritas à incorporação de quaisquer estruturas de aterros sanitários. Isso se deve, a princípio, à imposição do rigor da legislação brasileira, tanto das normas infraconstitucionais quanto das normas técnicas.

Diante disso, afirma-se que a Deliberação Normativa do COPAM nº 244, de 2022 (Minas Gerais, 2022), no art. 2º, estabelece critérios que devem ser respeitados para a implantação dos aterros sanitários. Dessa forma, destaca-se o distanciamento mínimo de quinhentos metros (500 m) dos núcleos populacionais (tabela 2). Tal norma não definiu expressamente as restrições quanto às distâncias mínimas das rodovias, das ferrovias, das dutovias e dos canais fluviais, bem como os percentuais mínimos da declividade em relação ao aterro sanitário. Por isso, optou-se por aderir aos limites apresentados na Deliberação Normativa do COPAM nº 118, de 2008 (Minas Gerais, 2008), embora esta tenha sido revogada. Assim, inclui-se os seguintes limites: 100 metros para as rodovias, para as ferrovias e para as dutovias; declividade média inferior a 30%; e 300 metros para os canais fluviais.

Observou-se que o maior percentual das variáveis restritivas é representado pela rede hidrográfica, a qual ocupa cerca de 82% no total das áreas restritas, seguido pelas rodovias (10%), pela declividade acima de 30% (4%), pelos núcleos populacionais (2%) e pelas ferrovias e dutovias, com cerca de 1%.

Figura 3 - Coleção dos mapas restritivos para a implantação do aterro sanitário dos RSUs



Fonte: Autoria própria.

Tabela 9 - Distribuição quantitativa das variáveis restritivas na área do consórcio intermunicipal

	Restrito (em hectares)	Parte ocupada no total de áreas restritas (%)
Núcleos populacionais	9.715	2
Dutovias	3.057	1
Ferrovias	1.982	0
Rodovias	43.288	10
Rede hidrográfica	342.825	82
Declividade (> 30%)	16.461	4
Total	417.328	100

Fonte: Autoria própria.

3.2. Mapas não restritivos

Os mapas não restritivos (figura 4) objetivaram estabelecer a relação tanto quantitativa como qualitativa entre diferentes componentes do espaço geográfico, a fim de segmentar a área do estudo em níveis de restrição para a implantação do aterro dos RSUs. Assim, qualquer forma de alteração do meio ambiente pela ação antrópica provocará riscos à manutenção da biodiversidade, incluindo possíveis prejuízos à saúde humana.

A partir disso, produziu-se a coleção dos mapas, mediante a relação das distâncias em metros e seus respectivos pesos para as fontes geradoras dos resíduos sólidos, das rodovias e dos canais fluviais, e dos tipos das litologias, das ordens e dos usos dos solos, com seus respectivos pesos (quadro 1). O mapeamento não restritivo sistematizado por uma representação quantitativa exprime a variação de pesos e de distâncias, permitindo identificar as áreas favoráveis à construção do aterro sanitário dos RSUs, consoante ao aspecto em análise.

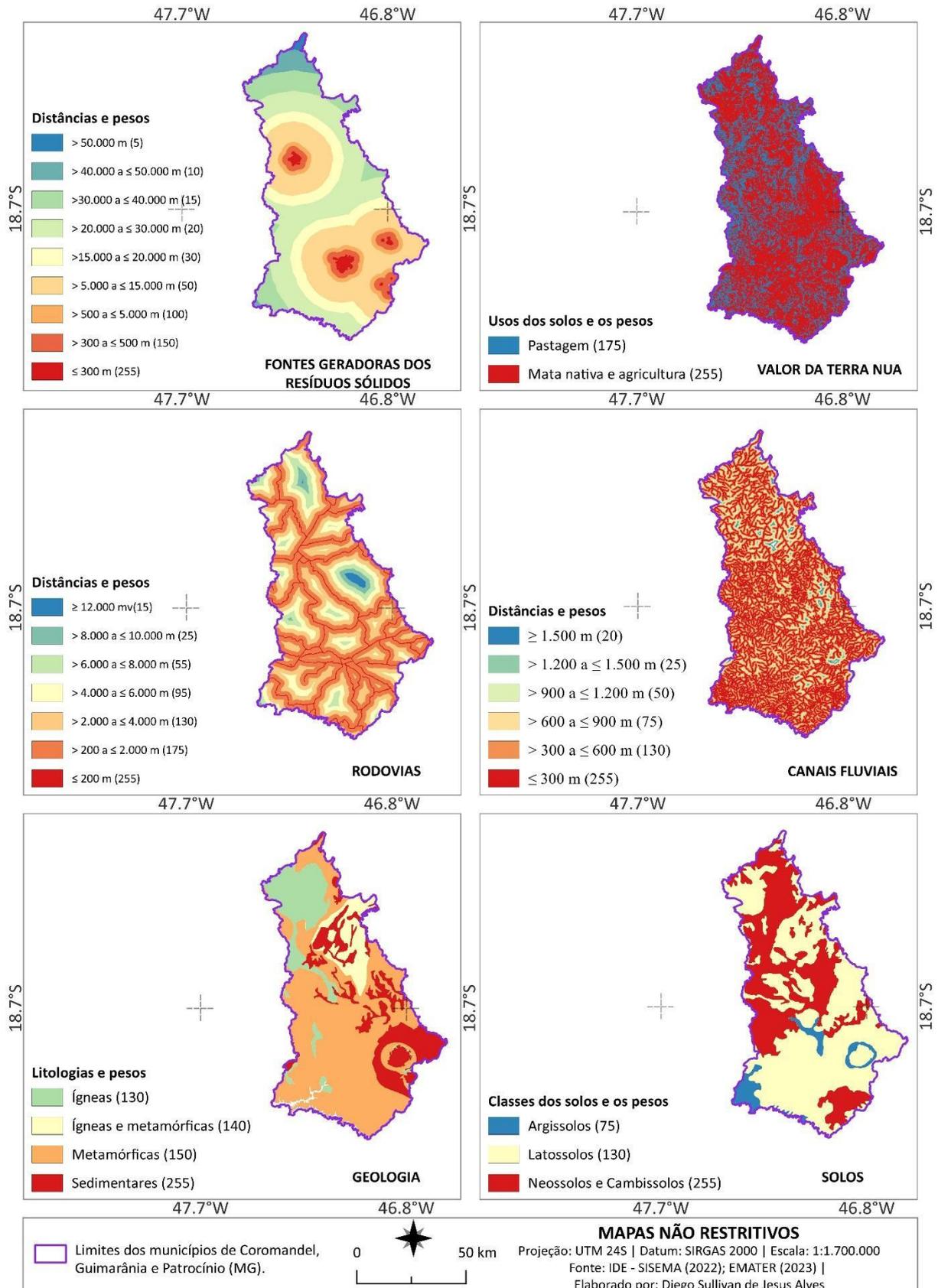
Em relação às variáveis verificadas a partir das distâncias em metros, temos aquelas vinculadas às fontes geradoras dos resíduos sólidos, às rodovias e aos canais fluviais, em que o maior peso (255) equivale, na área do consórcio, a 9.537 ha (1%), a 35.197 ha (5%) e a 317.093 ha (48%), respectivamente.

Simultaneamente, a representação qualitativa possibilitou o reconhecimento da heterogeneidade das litologias que constituem o arcabouço geológico da área, o qual é representado por rochas ígneas, metamórficas e sedimentares. Atribuiu-se o maior peso (255) para unidades geológicas caracterizadas por materiais sedimentares, que ocupam cerca de 123.266 ha (19% da área do consórcio), por causa da permeabilidade maior e natural em oposição ao embasamento cristalino, isto é, das rochas ígneas e das metamórficas, as quais somam 524.253 ha (81%).

Além disso, a abordagem qualitativa nos permitiu identificar as diferentes ordens dos solos, que são representadas por Argissolos, Latossolos, Cambissolos e Neossolos (EMBRAPA, 2018). Como é sabido, os Neossolos são pouco evoluídos, sem horizonte B diagnóstico definido, enquanto os Cambissolos são pouco desenvolvidos, com horizonte B incipiente – este possui horizonte pouco espesso e aquele pode ser fortemente a imperfeitamente drenado. Por isso, atribuiu-se o maior peso (255) a essas ordens, que ocupam cerca de 240.862 ha (37%), já que nesses solos poderia haver maior capacidade de infiltração e de permeabilidade, bem como maior suscetibilidade a processos erosivos devido à ação da água, por exemplo, a erosão laminar, as ravinas e as voçorocas (Guerra, 2015).

Por último, ainda sobre manifestações qualitativas, abordou-se o VTN em decorrência dos usos dos solos, mais precisamente, da incidência das áreas de pastagens, de agricultura e da mata nativa. Em conformidade com a EMATER (2022), foram utilizadas as médias dos valores em reais das lavouras de aptidão regular, das pastagens plantadas e da preservação da fauna ou da flora entre os municípios objeto deste estudo. Obteve-se os seguintes valores: R\$ 20.300, R\$ 13.533,33 e R\$ 3.208,33, respectivamente. Decidiu-se atribuir o maior peso (255) às áreas voltadas à agricultura e às matas nativas, as quais somam 451.157 ha (69%), devido ao alto valor das terras agriculturáveis e da notória importância da preservação das formas vegetacionais incorporadas, em grande parte, as Áreas de Proteção Permanente e as Reservas Legais (Brasil, 2012).

Figura 4 - Coleção dos mapas não restritivos para a implantação do aterro sanitário dos RSUs



Fonte: Autoria própria.

Quadro 1 - Distribuição quantitativa das variáveis não restritivas na área do consórcio intermunicipal

RSU				VTN				Rodovias			
Distâncias (m)	Peso	ha	%	Usos dos solos	Peso	ha	%	Distâncias (m)	Peso	ha	%
≥ 50.000	5	3.265	0	Pastagem	175	205.598	31	≥ 12.000	15	3.630	1
> 40.000 a ≤ 50.000	10	20.979	3	Mata nativa e agricultura	255	451.157	69	> 8.000 a ≤ 10.000	25	12.062	2
> 30.000 a ≤ 40.000	15	67.733	10					> 6.000 a ≤ 8.000	55	36.206	6
> 20.000 a ≤ 30.000	20	187.906	29					> 4.000 a ≤ 6.000	95	92.504	14
> 15.000 a ≤ 20.000	30	101.762	16					> 2.000 a ≤ 4.000	130	192.626	29
> 5.000 a ≤ 15.000	50	201.019	31					> 200 a ≤ 2.000	175	284.614	43
> 500 a ≤ 5.000	100	32.052	5					≤ 200	255	35.197	5
> 30 a ≤ 500	150	31.449	5								
≤ 300	255	9.537	1								
Total		655.703	100			656.755	100			656.840	100
Canais fluviais				Geologia				Solos			
Distâncias (m)	P	Ha	%	Litologias	P	Ha	%	Classes	P	Ha	%
≥ 1.500	20	3.402	1	Ígneas	130	91.486	14	Argissolos	75	32.679	5
> 1.200 a ≤ 1.500	25	8.996	1	Ígneas e metamórficas	140	50.619	8	Latossolos	130	383.298	58
> 900 a ≤ 1.200	50	27.838	4	Metamórficas	150	382.148	59	Neossolos e Cambissolos	255	240.862	37
> 600 a ≤ 900	75	85.980	13	Sedimentares	255	123.266	19				
> 300 ≤ 600	130	211.072	32								
≤ 300	255	317.093	48								
Total		654.380	100				100			656.838	100

Fonte: Autoria própria.

3.3. Levantamento das áreas aptas à implantação e à operação do aterro sanitário dos RSUs

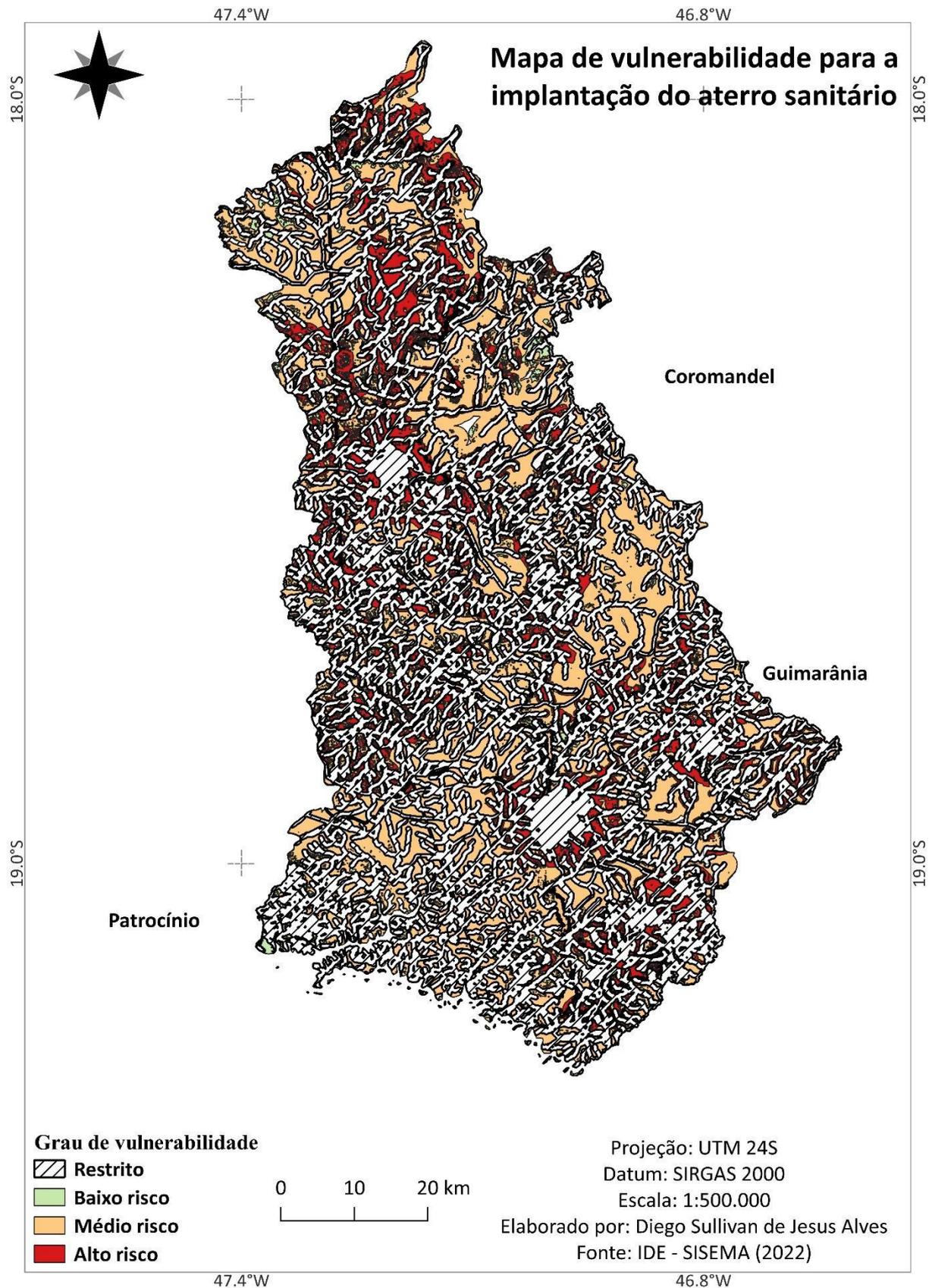
A identificação das áreas propícias para a implantação e a operação do aterro sanitário dos RSUs está representada nos mapeamentos a seguir. Os mapas contemplam a vulnerabilidade para a implantação do aterro sanitário, com a indicação das áreas restritas, incluindo aquelas de baixo, médio e alto risco (figura 5), e ainda com ênfase nas áreas de baixo e médio risco (figura 6).

Na tabela 10, apresenta-se a distribuição quantitativa dos níveis de vulnerabilidade no consórcio intermunicipal na área de Coromandel, de Guimarães e de Patrocínio. As informações estão categorizadas em quatro graus de vulnerabilidade: restrito, baixo risco, médio risco e alto risco. Essas categorias estão expressas em hectares. Observou-se que, no interior da área do consórcio intermunicipal, é perceptível a predominância das áreas restritas (57,52%), as quais, em termos de extensão territorial, equivalem a 376.042,75 ha de 653.787,91 ha totais. Nessas áreas, quaisquer formas de intervenção via edificação de aterro sanitário estão impedidas. O percentual de alto risco alcançou os 11,51%, 5.261,9 ha, totalizando 75.261,49 ha. Por outro lado, os graus de vulnerabilidade de médio risco e de baixo risco obtiveram 29,41% (192.272,56 ha) e 1,56% (10.211,11 ha), respectivamente.

Em termos da viabilidade espacial para a implantação do aterro sanitário dos RSUs, em relação à parte ocupada pelos municípios no âmbito do consórcio, conclui-se que Coromandel e Patrocínio possuem, territorialmente, a maior disposição de áreas viáveis para a construção do aterro sanitário. Nesses municípios, ocorreu a classificação de baixo risco, ocupando 5.317,82 ha e 4.731,29 ha, respectivamente. Segundo a ABNT 8419 (ABNT, 1992), que regulamenta a apresentação dos projetos dos aterros dos RSUs, especificamente, no que concerne a caracterização do local destinado à instalação, dentre os critérios básicos para justificar a seleção da área, destacam-se os acessos e a economia de transporte.

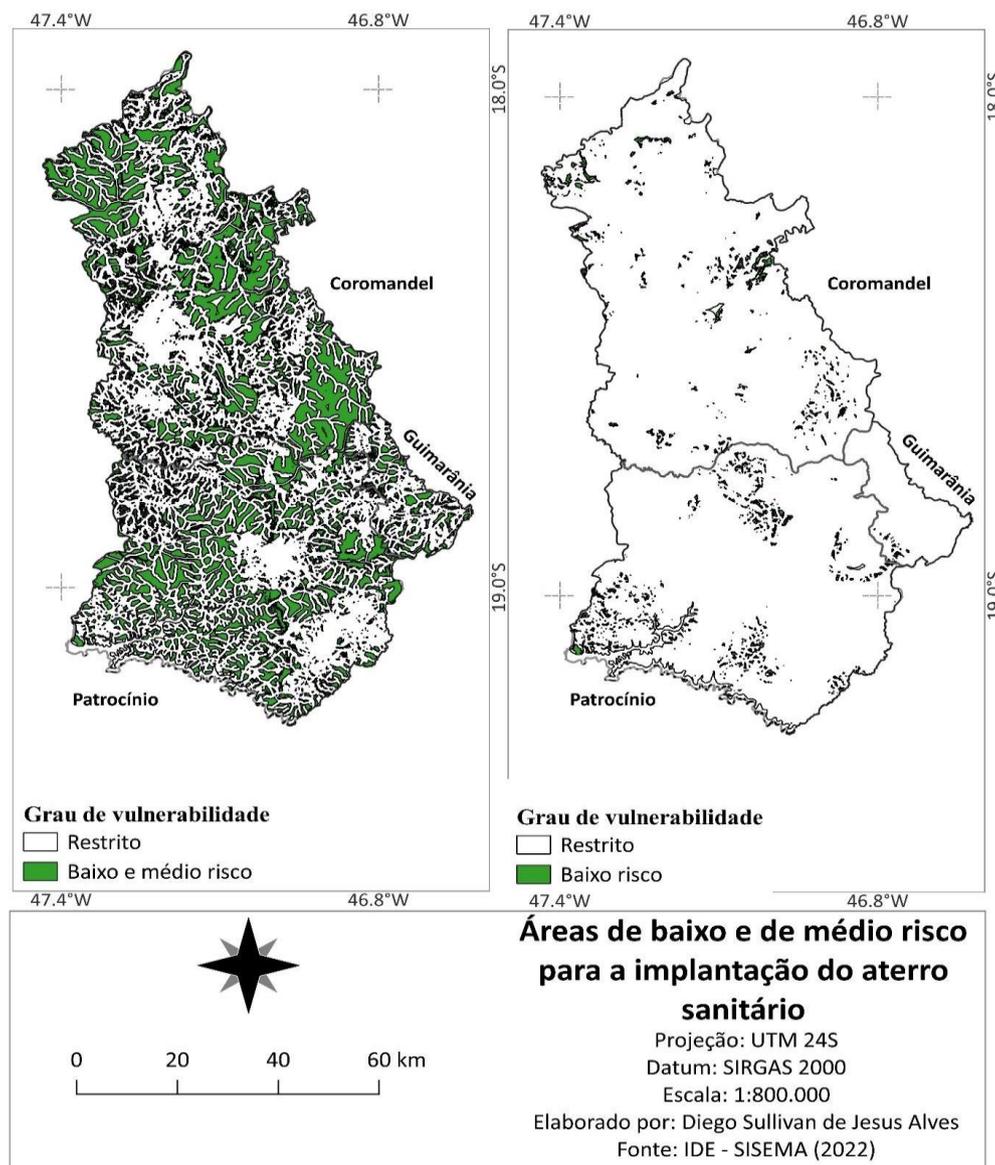
Por isso, a partir dos resultados expostos nos mapas que exibem as áreas de baixo e de médio risco (figura 6), assume-se que a área que faz divisa entre os municípios de Coromandel e de Patrocínio poderia ser privilegiada pela administração pública para a instalação do aterro sanitário dos RSUs, pelas seguintes razões: i) facilidade no escoamento dos RSUs entre municípios vizinhos, portanto, reduzindo os custos no transporte; e ii) concentração das áreas de baixo risco em zona de divisa, por conseguinte, garantindo a intervenção menos desfavorável à manutenção do equilíbrio ambiental.

Figura 5 - Mapa de vulnerabilidade para a implantação do aterro sanitário dos RSUs



Fonte: Autoria própria.

Figura 6 - Áreas de baixo e de médio risco para a implantação do aterro sanitário dos RSUs



Fonte: Autoria própria.

Tabela 10 - Distribuição quantitativa dos graus de vulnerabilidade na área do consórcio intermunicipal

Grau de vulnerabilidade	Quantitativo dos critérios de vulnerabilidade em hectares				
	Coromandel	Guimarães	Patrocínio	Total	%
Restrito	176.671,21	23.334,66	176.036,88	376.042,75	57.52
Baixo risco	5.317,82	162,00	4.731,29	10.211,11	1.56
Médio risco	106.849,61	8.455,32	76.967,63	192.272,56	29.41
Alto risco	46.160,72	4.642,92	24.457,85	75.261,49	11.51
Total	334.999,36	36.594,90	282.193,65	653.787,91	100
Parte ocupada pelo município na área do consórcio (%)	51,24	5,60	43,16	100	

Fonte: Autoria própria.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O emprego da metodologia *Analytic Hierarchy Process* (AHP) possibilitou identificar, efetivamente, as áreas propícias para a construção do aterro sanitário intermunicipal destinado à disposição final dos RSUs dos municípios de Coromandel, Guimarães e Patrocínio (MG).

Quanto à viabilidade espacial para o desenvolvimento desse aterro sanitário, os municípios de Coromandel e de Patrocínio dispõem de maiores áreas classificadas como de baixo risco. E as áreas limítrofes entre esses municípios emergem como aquelas mais propícias para tal implantação, considerando a facilidade logística para o transporte dos resíduos e a perspectiva de um impacto ambiental reduzido.

Por isso, a adoção do consórcio intermunicipal para a gestão dos RSUs representa uma opção plausível e eficiente, com potencial para otimizar a utilização dos recursos e para atenuar os impactos negativos na saúde pública e no meio ambiente, permitindo a gestão integrada desses resíduos a fim de garantir a destinação final ambientalmente adequada.

Por fim, o disposto neste trabalho reforça ainda que o arcabouço legislativo brasileiro oferece instrumentos legais que fortalecem a governança em quaisquer esferas administrativas, garantindo a legalidade e a eficiência dos atos administrativos realizados pelos governos no âmbito da intervenção no espaço geográfico. A implantação dos aterros sanitários é um imperativo dos tempos atuais, os quais exigem maior atenção por parte das autoridades administrativas, uma vez que a deposição irregular dos resíduos sólidos traz inúmeros prejuízos ao meio ambiente, bem como à saúde humana.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, J. R. *et al.* Avaliação de áreas propícias para instalação de aterro sanitário no município de Barreiras-BA. In: FONTGALLAND, I. L. (org.). **Geoprocessamento e geoeconomia: análises multidisciplinares**. Campina Grande: Editora Amplla, 2022. p. 35-55.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13986**: aterros de resíduos não perigosos – critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8419**: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, [2022]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 14 mar. 2023.

BRASIL 1981. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF:

Presidência da República, [2010]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 6 de maio de 2023.

BRASIL. 2012. **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. Brasília, DF: Presidência da República, [2023]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 14 mar. 2023.

BRASIL. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Topodata**: banco de dados geomorfométricos do Brasil. Variáveis geomorfométricas locais. São José dos Campos, 2008. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>.

CHAUDHARY, P. *et al.* Application of an Analytic Hierarchy Process (AHP) in the GIS interface for suitable fire site selection: A case study from Kathmandu Metropolitan City, Nepal. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 53, p. 60–71, 2016.

CHAVES, H. H. *et al.* Identificação de áreas potenciais para implantação de aterro sanitário no município de Indianópolis-MG. In: ZIVIANI, A. C. *et al.* (org.). **Acta ciências ambientais do IFTM**. Campina Grande: Editora Amplla, 2022. p 48-67.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Conama). Resolução nº 404, de 11 de novembro de 2008. In: CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Conama). **Resoluções do Conama**: Resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 e janeiro de 2012. Ministério do Meio Ambiente. Brasília: MMA, 2012, p. 1055-1057.

CPRM. **Mapa geológico do estado de Minas Gerais**. CPRM, 2020. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/21828>. Acesso em: 3 ago. 2023.

DARKO, A. *et al.* Review of application of analytic hierarchy process (AHP) in construction. **International Journal of Construction Management**, v. 19, p. 436–452, 2018.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL DO ESTADO DE MINAS GERAIS (EMBRATER). **Valor de terra nua (VTN)**. Disponível em: <https://www.emater.mg.gov.br/portal.do?>. Acesso em: 19 jun. 2023.

FERNANDES, G. H. M. *et al.* Estudo de caso: diagnóstico de áreas propensas a instalação de aterro sanitário em Nova Ponte (MG). In: ZIVIANI, A. C. *et al.* (org.). **Acta ciências ambientais do IFTM**. Campina Grande: Editora Amplla, 2022. p 173-193.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. 13. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015, p. 149-210.

HAMMAMI, S. *et al.* Application of the GIS based multi-criteria decision analysis and analytical hierarchy process (AHP) in the flood susceptibility mapping (Tunisia). **Arabian Journal of Geosciences**, v. 12, n. 653, 2019.

IDE-SISEMA. Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Hidrografia**. Belo Horizonte: Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, 2023. Dado em formato vetorial (shapefile). Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>. Acesso em: 6 fev. 2023.

IDE-SISEMA. Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Limites**. Belo Horizonte: Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, 2023. Dado em formato vetorial (shapefile). Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>. Acesso em: 6 fev. 2023.

IDE-SISEMA. Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Solos**. Belo Horizonte: Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, 2023. Dado em formato vetorial (shapefile). Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>. Acesso em: 6 fev. 2023.

IDE-SISEMA. Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Geologia e Recursos Minerais**. Belo Horizonte: Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, 2023. Dado em formato vetorial (shapefile). Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>. Acesso em: 6 fev. 2023.

IDE-SISEMA. Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Sistemas de transporte**. Belo Horizonte: Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, 2023. Dado em formato vetorial (shapefile). Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>. Acesso em: 6 fev. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 23 jun. 2023.

JÚNIO, J. O.; ARAÚJO, J. R.; JUNIOR, R. F. V. Diagnóstico de áreas de aterro sanitário mediante análise multicritério: aplicação aos municípios consorciados no estado de Goiás. *In*: FONTGALLAND, I. L. (org.). **Geoprocessamento e geoeconomia**: análises multidisciplinares. Campina Grande: Editora Amplla, 2022. p. 35-55.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. 1928. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag. Justus Perthes. n.p.

KUCUKER, D. M. *et al.* Assessment of soil erosion risk using an integrated approach of GIS and Analytic Hierarchy Process (AHP) in Erzurum, Turkiye. **Ecological Informatics**, v. 71, 2022.

KURTTILA, M. *et al.* Utilizing the analytic hierarchy process (AHP) in SWOT analysis — a hybrid method and its application to a forest-certification case. **Forest Policy and Economics**, v. 1, p. 41-52, 2000.

LEE, K. L.; CHAN, E. H. W. The Analytic Hierarchy Process (AHP) Approach for Assessment of Urban Renewal Proposals. **Social Indicators Research volume**, v. 89, p. 155-168, 2008.

LÓPEZ, J. O. S. *et al.* **Analytic Hierarchy Process (AHP) for a Landfill Site Selection in Chachapoyas and Huancas (NW Peru): Modeling in a GIS-RS Environment.** *Advance in Civil Engineering*, 2022.

MAPBIOMAS. **Projeto MapBiomias** – Coleção 7.1 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 23 jun. 2023.

Minas Gerais (Estado). **Deliberação Normativa COPAM nº 118/2008.** Altera os artigos 2º, 3º e 4º da Deliberação Normativa 52/2001, estabelece novas diretrizes para adequação da disposição final de resíduos sólidos urbanos no Estado, e dá outras providências. Minas Gerais: Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, [2008]. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=7976>. Acesso em: 6 jun. 2023.

Minas Gerais (Estado). **Deliberação Normativa COPAM nº 244/2022.** Dispõe sobre os critérios para implantação e operação de aterros sanitários em Minas Gerais e dá outras providências. Minas Gerais: Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, [2022]. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=55442>. Acesso em: 6 jun. 2023.

Minas Gerais (Estado). **Lei nº 18.031, de 12 de janeiro de 2009.** Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos. Minas Gerais: Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, [2009]. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=9272>. Acesso em: 6 jun. 2023.

NASCIMENTO, N. L. *et al.* Análise multicritério como ferramenta auxiliar para escolha do local de implantação de um aterro sanitário no município de São João Del-Rei-MG. *In: ZIVIANI, A. C. et al. (org.). Acta ciências ambientais do IFTM.* Campina Grande: Editora Amplla, 2022. p 125-147.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável.** [2015]. Disponível em: <https://Brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustent%C3%A1vel>. Acesso em: 23 jun. 2023.

REDJEM, A. *et al.* Combining the analytic hierarchy process with GIS for landfill site selection: the case of the municipality of M'Sila, Algeria. **Romanian Journal of Geography**, v. 65, p. 171-186, 2021.

SAATY, T. L. How to make a decision: The analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, v. 48, n. 1, p. 9-26, 1990.

SANTOS, J. S. *et al.* Áreas propícias à instalação de aterro sanitário no município de Luís Eduardo Magalhães-BA. *In: ZIVIANI, A. C. et al. (org.). Acta ciências ambientais do IFTM.* Campina Grande: Editora Amplla, 2022. p 68-94.

ŞENER, E.; ŞENER, Ş. Landfill site selection using integrated fuzzy logic and analytic hierarchy process (AHP) in lake basins. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 13, n. 1130, 2020.

SILVA, G. L. O. *et al.* Análise de uso e ocupação do solo para indicação de áreas propícias à implantação de aterro sanitário no município de Paracatu-MG. *In: ZIVIANI, A. C. et al. (org.). Acta ciências ambientais do IFTM.* Campina Grande: Editora Amplla, 2022. p 27-47.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE A GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS (SINIR). **Painel de destinação.** Brasil: Ministério do Meio Ambiente, 2021. Disponível em: <https://sinir.gov.br/paineis/destinacao/>. Acesso em: 6 de maio de 2023.

CAPÍTULO IV

APLICAÇÃO DE SIG PARA INSTALAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO NA REGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO: CAMPINA VERDE E GURINHATÃ - MG

GIS APPLICATION FOR THE LANDFILL INSTALLATION AT THE TRIÂNGULO MINEIRO REGION: CAMPINA VERDE AND GURINHATÃ - MG

DOI: 10.51859/amplla.aca638.1323-4

Lucas Augusto dos Santos¹

Edson Luiz de Carvalho dos Santos²

Daniel Pena Pereira³

Antônio Carlos Barreto⁴

¹ Pós-graduando em Geoprocessamento, Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM Uberaba, MG, Brasil
lucas.as@estudante.iftm.edu.br

² Pós-graduando em Geoprocessamento, Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM Uberaba, MG, Brasil
edyson_1010@hotmail.com

³ Professor Doutor em Produção Vegetal Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM Uberaba, MG, Brasil
danielpena@iftm.edu.br

⁴ Professor Doutor em Irrigação e Drenagem Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM Uberaba, MG, Brasil
barreto@iftm.edu.br

RESUMO

Com o crescimento populacional surge um grande obstáculo ao desenvolvimento humano e a preservação do meio ambiente, que é o grande volume de resíduos sólidos gerados diariamente. No entanto, muitos municípios destinam de maneira incorreta seus resíduos em áreas inadequadas e até mesmo a falta de sistema de coleta e tratamento, o que pode vir a ocasionar diversos transtornos à saúde humana, e provocar degradações e contaminações ao meio ambiente. Sendo assim, o objetivo deste estudo é indicar possíveis regiões para instalação de aterro sanitário, dentro dos limites territoriais dos municípios de Campina Verde e Gurinhatã - MG. Com este propósito, foram ponderados critérios de análise, utilizando software QGIS e o plug in Easy AHP para alcançar este objetivo. A análise de multicritério se mostra eficiente na indicação de possíveis áreas destinadas à instalação de aterros, onde 35,63% das áreas do território dos municípios não podem ser utilizadas por apresentarem restrições em suas áreas. Para as áreas não restritas, foram apuradas cinco classes distintas de riscos, resultando em áreas de restrição, baixo risco, médio risco, alto risco e elevado risco. Por fim, a classe de baixo risco com 1,30% e médio risco com

3,10% apresentou-se a melhor opção para aptidão à implantação do aterro sanitário, totalizando uma área total de 4,4% do campo de estudo, estando localizadas ao norte de Campina Verde-MG.

Palavras-chave: Easy AHP, Resíduos sólidos; Multicritério; QGIS.

ABSTRACT

With population growth comes a major obstacle to human development and the preservation of the environment, which is the large volume of solid waste generated daily. However, many municipalities incorrectly dispose of their waste in inappropriate areas and even lack a collection and treatment system, which can cause various problems to human health, and cause degradation and contamination of the environment. Therefore, the objective of this study is to indicate possible regions for the installation of a landfill, within the territorial limits of the municipalities of Campina Verde and Gurinhatã - MG. For this purpose, analysis criteria were considered, using QGIS software and the Easy AHP plug-in to achieve this objective. The multicriteria analysis proves to be efficient in indicating possible areas destined for the installation of

landfills, where 35.63% of the areas in the municipalities' territory cannot be used due to restrictions in their areas. For non-restricted areas, five different risk classes were determined, resulting in areas of restriction, low risk, medium risk, high risk and high risk. Finally, the low risk class with 1.30% and medium risk with 3.10% presented the

best option for suitability for the implementation of the sanitary landfill, totaling a total area of 4.4% of the study field, being located north of Campina Verde-MG.

Keywords: Easy AHP, Solid waste; Multi-criteria; QGIS.

1. INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios atuais da sociedade é o descarte final dos resíduos sólidos de forma segura ao meio ambiente (Deus, Battistelle e Silva, 2015) devido ao crescimento populacional e ao aumento da geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). O Brasil lidera a 5ª posição em extensão territorial, com área de 8.515.767,049 km². O Brasil tem 207.750.291 de habitantes, Censo Demográfico 2022, divulgado em (28. jun. 2023) pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), obtendo crescimento populacional de 6,45% desde a edição anterior da pesquisa, em 2010.

Para Kaur et al. (2021), o considerável aumento na produção de resíduos, aliado à ausência de estratégias sustentáveis para a gestão desses materiais e à falta de políticas efetivas de implementação, resulta em sérios danos ao meio ambiente. Isso se traduz em poluição do solo, da água e do ar, além da contaminação de plantas e animais, bem como na produção de odores desagradáveis. Conforme Hamada (2003) e Chernicharo et al. (2008), a prática da instalação de aterros sanitários aplica de modo seguro a implementação de sistemas de drenagem, impermeabilização, cobertura diária, final e tratamento dos efluentes gasosos e líquidos gerados. A ABNT NBR 8419:1992 (ABNT, 1992) trata das técnicas utilizadas para o controle de aterros, a fim de minimizar os impactos ambientais e à saúde pública, aplicando e utilizando métodos de princípios de engenharia.

Levando em consideração os dados do IBGE (2022), Minas Gerais possui 30% de áreas que não possuem meios de descarte de seus resíduos, tendo como destino final, o descarte dos resíduos em lixões ou aterros controlados. Segundo (FEAM, 2019) Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais, os Municípios de Gurinhatã e Campina Verde, estão inseridos no Território de Desenvolvimento Triângulo Norte, que é formado por 30 municípios e possuindo uma população de 1.228.395 habitantes. Nessa região, o descarte irregular é utilizado por 20,4% da população urbana, sendo que 17,5% destinam seus resíduos em lixões (18 municípios) e 2,9% em aterros controlados (dois municípios).

Os resíduos que vão para aterros causam lixo e emissão de gases de efeito estufa responsáveis por causar problemas de saúde, juntamente com danos ambientais. Em todo o

mundo, as economias em desenvolvimento têm testemunhado a tendência da população rural migrar para áreas urbanas em busca de emprego, melhores instalações e conveniência (KAUR et al., 2021). Incidentes anteriores, tais como a poluição do solo e da água, os acidentes com incêndios e o risco de transmissão de doenças relacionadas com locais de eliminação mal geridos são relatados. Descobertas recentes também mostraram que os locais de despejo a céu aberto são uma potente fonte de emissão de gases com efeito de estufa (ASEFA, DAMTEW E BARASA, 2021). Para a escolha de uma área que possa suprir as condições técnicas, ambientais e econômicas favoráveis, as técnicas de geoprocessamento podem ser importantes nesta fase de estudo.

Majid e Mir (2021) destacam que a avaliação multicritério baseada em SIG é altamente produtiva devido ao baixo custo e rápida implementação. Dentre as análises territoriais feitas por meio de Sistema de Informação Geográfica, a análise multicritério permite agrupar conjuntos de dados geográficos, entre outros critérios, e gerar mapas restritivos e não restritivos de áreas potenciais para aterros sanitários. Asefa, Damtew e Barasa (2021) salientam que o aspecto multidimensional e conflitante da implantação de aterros, que envolve considerações ambientais, sociais, técnicas e econômicas, desafia a localização de um aterro adequado. E citam que os principais fatores para a seleção de aterros sanitários incluem águas subterrâneas, águas superficiais, declividade, permeabilidade do solo, uso da terra e cobertura da terra.

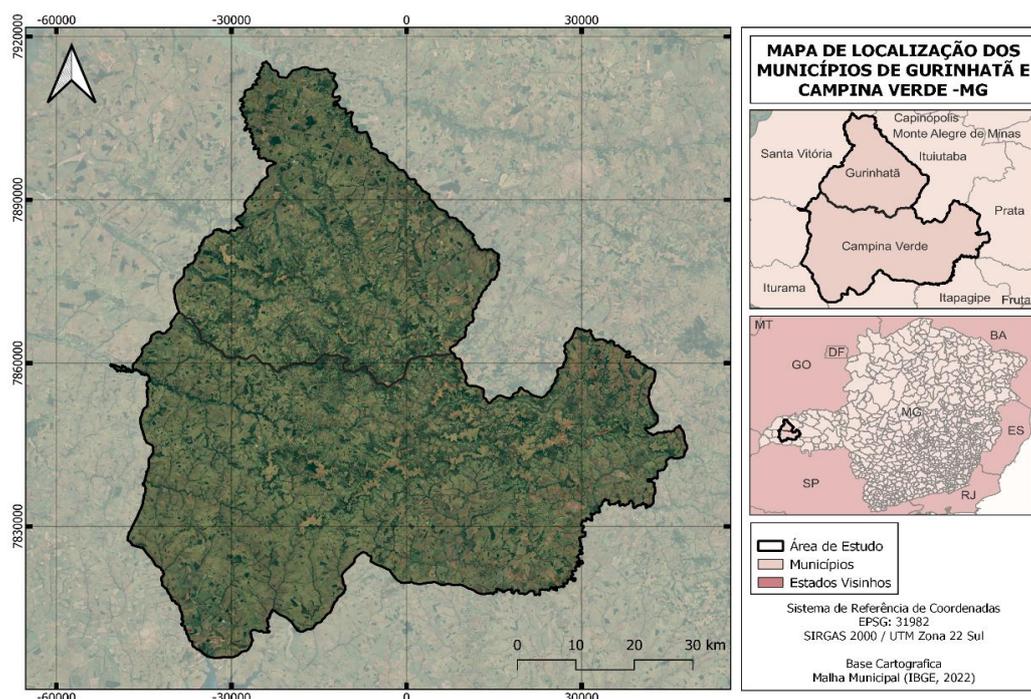
Neste cenário, tem-se como objetivo indicar áreas aptas à instalação de um aterro sanitário para os municípios de Gurinhatã e Campina Verde-MG, região do Triângulo Mineiro.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O Município de Campina Verde está localizado na Mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, coordenadas geográficas de referência: latitude 19° 32' 09''S e longitude 49° 29' 09''O, estando a uma altitude de 532 m. A área da unidade territorial do município é de 3 663,418 km², com uma população estimada pelo IBGE de 17.817 habitantes no Censo Demográfico 2022. O Município de Gurinhatã está localizado na Mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, coordenadas geográficas de referência: latitude 19° 12' 46'' S e longitude 49° 47' 09'' O, possuindo altitude de 543 m. A área territorial do município possui 1 844,347 km², e estimativa populacional pelo IBGE de 5.140 habitantes no Censo Demográfico 2022, tendo assim, uma área totalizada para campo de estudo de 5 507,765 km² (Figura 1).

Figura 1 - Posição geográfica dos municípios deste estudo em relação ao estado de Minas Gerais.



Fonte: Autores (2023).

O clima das regiões do estudo é classificado como Aw, tropical quente, segundo classificação Koppen atualizada (BECK et al., 2018), com estação chuvosa no verão e seca no inverno, apresentando inverno frio e seco. O período seco se inicia em abril a setembro e a estação seca coincide com o mês mais frio. Apresenta médias anuais de precipitação, temperatura e umidade relativa do ar de 1300 mm, 22 °C e 68 %, respectivamente.

2.2. Procedimentos metodológicos

Tendo variáveis ferramentas que facilitam na tomada de decisão, neste estudo fez-se uso do Plugin Easy AHP, juntamente com o Sistema de Informação Geográfica (SIG) e uso do software (QGIS) que pertence a multiplataforma de sistemas de informação geográfica que nos permite analisar, editar e visualizar dados georreferenciados, sendo um software de código aberto onde todo o seu critério de localizações possíveis para aterro sanitário, é baseado em aspectos normativos.

2.3. Desenvolvimento de Mapas

Os limites dos Municípios de Gurinhatã e Campina Verde foram obtidos a partir dos dados do Metadados do estado de Minas Gerais (IDE-Sisema, 2023). O mapa de declividade representa importância para a análise de relevo, que demonstra tematicamente a distribuição espacial dos diferentes níveis de índice de inclinação existentes no terreno, amparando a

análise da paisagem (COLAVITE e PASSOS, 2012). Os mapas dos municípios foram obtidos através do modelo digital de elevação MDE, disponível no site Topodata (TOPODATA, 2023).

Os mapas referentes aos termos: Hidrográfico, Estradas, Solos (que neste aspecto possui grande importância para determinar os tipos de solo e suas fragilidades), foram obtidos dos dados do Metadados - IDE-Sisema. Após a obtenção e padronização dos mapas temáticos, para definir áreas aptas à instalação do aterro sanitário, partiu-se para a fase de reclassificação.

Através do geoprocessamento foi possível inserir pesos aos fatores ou mapas considerados nesta análise. A fim de aplicar essa lógica, realizou-se a reclassificação dos critérios com valores binários (0 ou 1) que serão apresentados como um dos resultados deste estudo. Estas reclassificações ou restrições eliminam áreas que, devido às impossibilidades legais e técnicas, não podem ser utilizadas para destinação de resíduos sólidos. Utilizou-se o caráter booleano, que atribui valores binários 0 e 1 - onde 0 é considerado para critérios com baixa relevância e 1 para critérios relevantes, conforme destacado por Lopes e Silva (2020).

2.4. Método AHP - Analytic Hierarchy Process

A aplicação do método AHP (Analytic Hierarchy Process) permite modelar problemas complexos em uma hierarquia, exibindo as relações entre critérios, metas, alternativas e subcritérios (LIMA, 2012). Esta hierarquia pode se relacionar em qualquer aspecto do problema de decisão, seja ele tangível ou intangível, com valores precisos ou estimativos - ou seja, pode ser aplicado a qualquer tipo de tomada de decisão, conforme representada na tabela 1.

Tabela 1 - Escala de valores AHP para comparação pareada.

Intensidade de importância	Definição e Explicação
1	Importância igual: os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância moderada: um fator é ligeiramente mais importante que o outro
5	Importância essencial: um fator é claramente mais importante que o outro
7	Importância demonstrada: um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática
9	Importância extrema: a evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre julgamentos: possibilidade de compromissos adicionais

Fonte: MOREIRA et al. (2001).

Para se confeccionar os mapas temáticos, deve-se obedecer aos critérios de acordo com a **DN nº 118 de 2008** (COPAM, 2008). Essa Deliberação Normativa indica os requisitos mínimos para escolha do local da implantação e operação de disposição final de resíduos sólidos. Estes critérios foram subdivididos em restritivos e não restritivos. Os restritivos apresentam valores de 0 ou 1, que determinam áreas aptas ou inaptas. Os não restritivos apresentam características variáveis, oscilando entre valores de 0 a 255, que determinam a adequabilidade mínima ou máxima da área, conforme demonstrado nas tabelas 2 e 3.

Tabela 2 - Critério e Pesos adotados para confecção dos mapas restritivos

Critérios	Classes	Pesos
Declividade	Acima de 30%	0
	Abaixo de 30%	1
Núcleo populacional	Abaixo de 500 metros	0
	Acima de 500 metros	1
Unidade de conservação	Abaixo de 50 metros	0
	Acima de 50 metros	1
Hidrografia	Abaixo de 200 metros	0
	Acima de 200 metros	1

Fonte: Autores (2023).

Tabela 3 - Critérios e Pesos adotados para confecção dos mapas não restritivos

Critérios	Classes	Pesos
Tipos de Solo	Cxbe8, GMd4, RQ01	255
	LVd1, LVf1, LVf2, LVd11, LVd2, LVd6,	130
	LVeF2	130
	PVAd7	100
	Água	0
Formação Geológica	Vale do Rio do Peixe	255
	Marília	255
	Serra Geral	130
VTN – Valor da Terra Nua	Área Urbana (R\$13.509,50)	255
	Agricultura (R\$11.797,00)	175
	Pastagem (R\$ 9.812,00)	150
	Silvicultura (R\$ 8.531,50)	130
	Vegetação Nativa (R\$ 6.053,50)	255

Crítérios	Classes	Pesos
Fonte Geradora de Resíduos Sólidos	Até 500m	255
	500 a 3000m	150
	3000 a 5000m	100
	5000 a 15000m	50
	15000 a 20000m	30
	20000 a 30000m	15
	30000 a 40000m	5
	40000 a 50000m	1
Vias de acesso (Municipais, Estaduais e Federais).	Até 200m	255
	200 a 2000m	175
	2000 a 4000m	130
	6000 a 8000m	100
	8000 a 10000m	90
	10000 a 12000m	80
	12000 a 14000m	70
	14000 a 16000m	60
	16000 a 18000m	50
	18000 a 20000m	40
	20000 a 22000m	30
	22000 a 24000m	20
	24000 a 26000m	10
Acima de 26000m	5	
Corpos hídricos	Até 300m	255
	300 a 600m	130
	600 a 900m	75
	900 a 1200m	50
	1200 a 1500m	25
	1500 a 1800m	20

Fonte: Autores (2023).

2.5. Criação Matrix 6x6

Após a elaboração dos critérios, classes e pesos, é possível gerar os mapas não restritivos, fazendo uso da ferramenta “buffer”, “multiple distance buffer” e “recortar”.

Visualizando as áreas ambientalmente adequadas a implantação do aterro, considerando as variáveis, é definida a partir dos mapas restritivos e não restritivos. Sendo utilizado como ferramenta de tomada de decisões multicritério, AHP (Analytic Hierarchy Process). A tecnologia AHP atribui um procedimento abrangente e racional para determinar a contribuição relativa de cada variável. De acordo com Bernasconi et al. (2010) a metodologia utiliza a comparação par a par para medir o grau de importância entre critérios, definindo assim pesos relativos para cada um dos mapas.

Assim o método AHP propõe calcular a Razão de Consistência dos julgamentos, retratado pelas equações 1 e equação 2 a seguir:

$$CR = IC / IR \text{ (Equação 1)}$$

CR = IC/IR, onde IR é o Índice de Consistência Randômico obtido para uma matriz recíproca de ordem n , com elementos não negativos e gerados randomicamente. O Índice de Consistência (IC) é dado por:

$$IC = (\lambda_{\text{máx}} - n) / (n - 1) \text{ (Equação 2)}$$

Em que $\lambda_{\text{máx}}$ é o maior autovalor da matriz de julgamentos. Em seguida, as são convertidas em números para calcular os respectivos pesos durante a tomada de decisão. Segundo Saaty (1980) a condição de consistência dos julgamentos é **CR ≤ 0,10**.

Gerando assim os seguintes resultados, conforme tabela 4:

Tabela 4 - Pesos das variáveis não restritivos definidos a partir do uso da metodologia AHP

AHP Indicadores	Pesos	
Drenagem	0,04	$\lambda = 6.593$ IC= 0.119 CR= 0.096
RSU*	0,077	
Rodovias	0,113	
Solo	0,185	
Geologia	0,238	
VTN*	0,346	

*VTN (Valor da Terra Nua); RSU (Resíduos Sólidos Urbanos).

Fonte: Autores (2023).

Dando seguimento a aplicação do método AHP, foi utilizado o SIGs, software QGIS versões 2.18 e 3.28 para sua execução:

Seguindo os seguintes passos:

- Instalação do Plugin Easy AHP
- Execução Easy AHP

Posteriormente, utiliza-se o plug in Easy AHP incorporado ao software QGIS para obtenção dos pesos referente aos mapas não restritivos.

Para tanto, utilizou-se da escala numérica estabelecida por Saaty (1980) para a elaboração da matriz de ordem seis, conforme apresenta a Tabela 5:

Tabela 5 - Resultados obtidos da tabela do Excel da matriz AHP 6x6

Mapa Não Restritivo	Drenagem	RSU	Rodovias	Solo	Geologia	VTN
Drenagem	1	0,333	0,333	0,200	0,100	0,200
RSU*	3	1	0,333	0,250	0,333	0,333
Rodovias	3	3	1	0,333	0,333	0,333
Solo	5	4	3	1	0,333	0,333
Geologia	5	3	3	3	1	0,333
VTN*	5	3	3	3	3	1

*VTN (Valor da Terra Nua); RSU (Resíduos Sólidos Urbanos).

Fonte: Autores (2023).

Com os resultados dos pesos das variáveis não restritivas, acesse a Calculadora Raster no software QGIS para a multiplicação dos mapas não restritivos e seus respectivos pesos, posteriormente multiplicando o resultado obtido da soma desta primeira etapa gerando um mapa parcial com o os mapas restritivos, conforme a expressão 1.

Expressão 1 - Mapa Parcial

$$((\text{Mapa não restritivo Corpos hídricos} \times \text{Peso_CH}) + (\text{Mapa não restritivo de geração de RSU} \times \text{Peso_RSU}) + (\text{Mapa não restritivo de Rodovias} \times \text{Peso_Rod}) + (\text{Mapa não restritivo de solos} \times \text{Peso_solos}) + (\text{Mapa não restritivo de geologia} \times \text{Peso_geologia}) + (\text{Mapa não restritivo de valor da terra nua} \times \text{Peso_VTN}))$$

Fonte: Elaborado pelos autores para a confecção dos mapas não restritivos e ponderados por meio dos dados gerados na Matriz AHP no QGIS, versões 2.18 e 3.28.

Já com resultado do mapa parcial feito através das variáveis não restritivas, acessar a calculadora raster e fazer uma nova multiplicação adicionando o resultado do mapa parcial com os resultados das variáveis restritivas. Ao final da operação, se obtém a geração do mapa final com novas informações, resultante da combinação dos diferentes dados geográficos, com a finalidade de proporcionar áreas propícia e aptas a implantação do aterro sanitário dentro da área de estudo, para elaboração do mapa final, é a combinação do resultado do mapa parcial, conforme expressão 2.

Expressão 2 - Mapa Final

$$((\text{Mapa Parcial}) \times (\text{Mapa restritivo de núcleos populacionais}) \times (\text{Mapa restritivo de conservação mata atlântica}) \times (\text{Mapa restritivo de declividade}) \times (\text{Mapa restritivo da hidrografia}))$$

Fonte: Elaborados pelos autores para a confecção dos mapas restritivos e ponderados por meio dos dados gerados na Matriz AHP no QGIS, versões 2.18 e 3.28.

- Ressaltando que houve análise dentre outros critérios como: Aeródromos, Gasodutos e Ferrovias. Contudo são inexistentes dentro do campo de estudo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a criação dos mapas restritivos de fonte geradora de RSU (fonte resíduos sólidos) tais como: mapa de declividade (Figura 1), mapa da hidrografia (Figura 2), mapa de núcleos populacionais e sua faixa de influência (Figura 3), e mapa de áreas de conservação mata atlântica (Figura 4), foi realizado o método de cálculo de distância, gerando assim mapas de distâncias (buffer), de acordo com os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 13896:1997 (ABNT, 1997) e por Silva (2011) atribuído na tabela 2.

Figura 2 demonstra um mapa detalhado das classes de declividade do terreno. As áreas apresentadas são classificadas em dois intervalos: declividade de 0 a 30% e acima de 30%, mostrando as diferentes características do terreno. Baixas declividades são favoráveis para a movimentação gradual de resíduos e materiais dentro de um aterro sanitário. Isso ocorre porque terrenos com declividades menores proporcionam uma distribuição mais uniforme dos resíduos depositados, evitando o acúmulo excessivo em determinadas áreas. (SILVA, 2011).

Figura 2 - Mapa das classes de declividade.

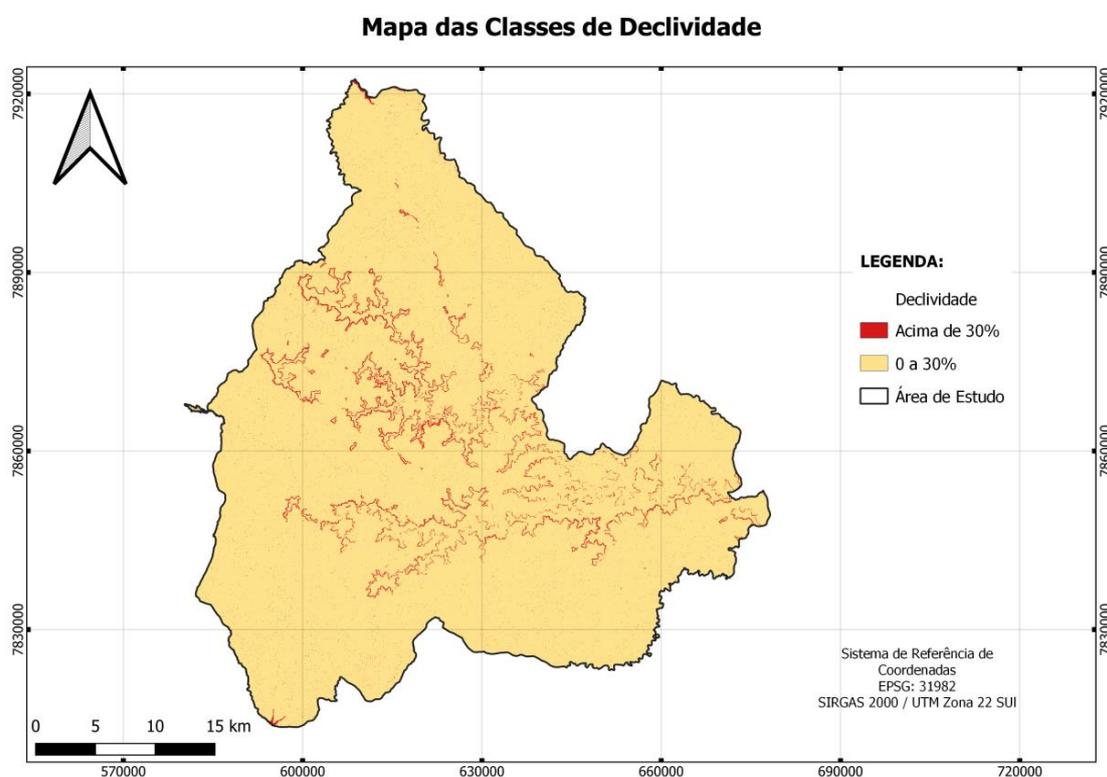
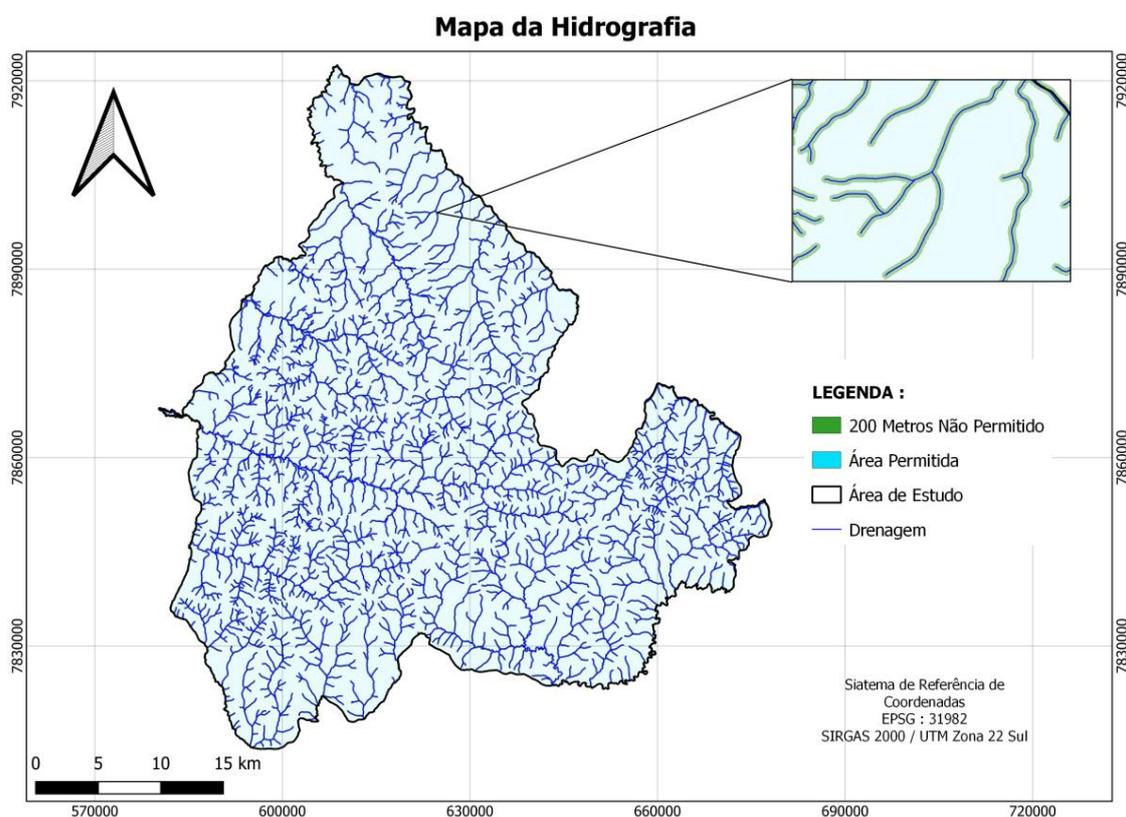


Figura 3 demonstra um mapa detalhado da hidrografia da região. Neste mapa, é possível visualizar as áreas em que é proibida a ocupação num raio de 200 metros de cursos d'água, bem

como as áreas permitidas para construção. Além disso, a representação da drenagem permite uma análise precisa das bacias hidrográficas e seus cursos de água. A impermeabilização do solo e a instalação de sistemas de drenagem são aspectos fundamentais para a construção de um aterro sanitário seguro e eficiente.

Figura 4, um mapa que destaca os núcleos populacionais e sua faixa de influência na região. Este mapa revela áreas com potencial para instalação de possíveis aterros sanitários, mostrando os núcleos populacionais e sua área de influência de 500 metros em torno da concentração de população.

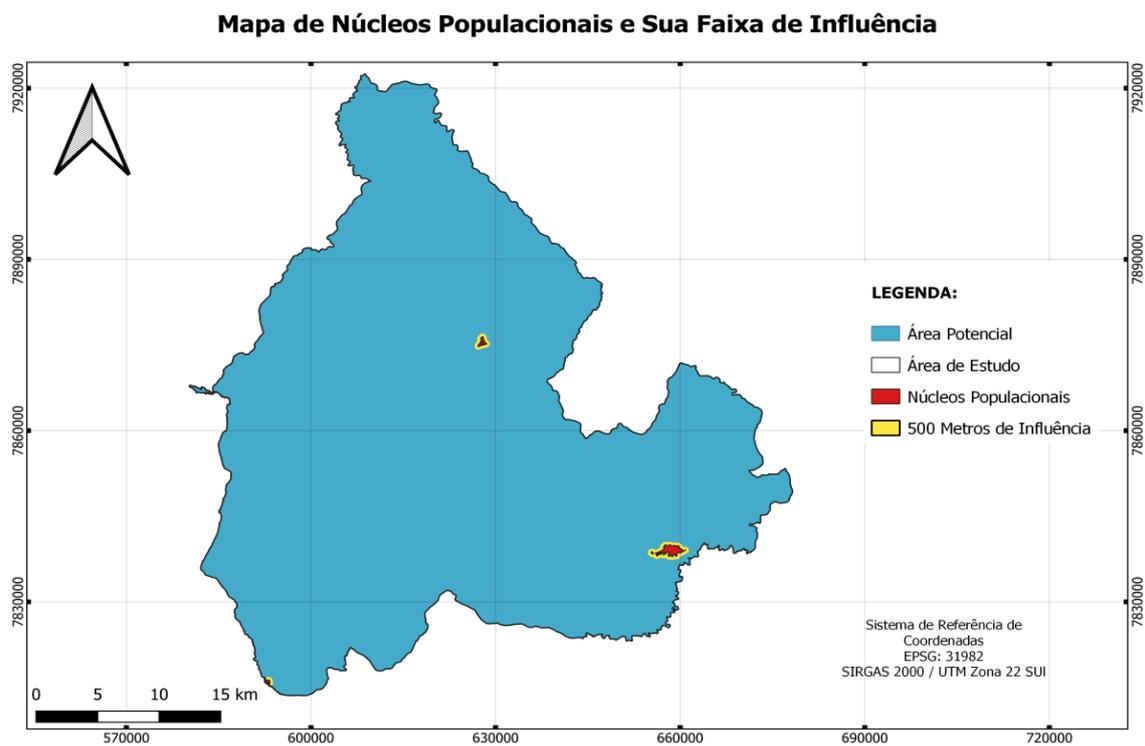
Figura 3 - Mapa da hidrografia da área de estudo.



Fonte: Autores, 2023.

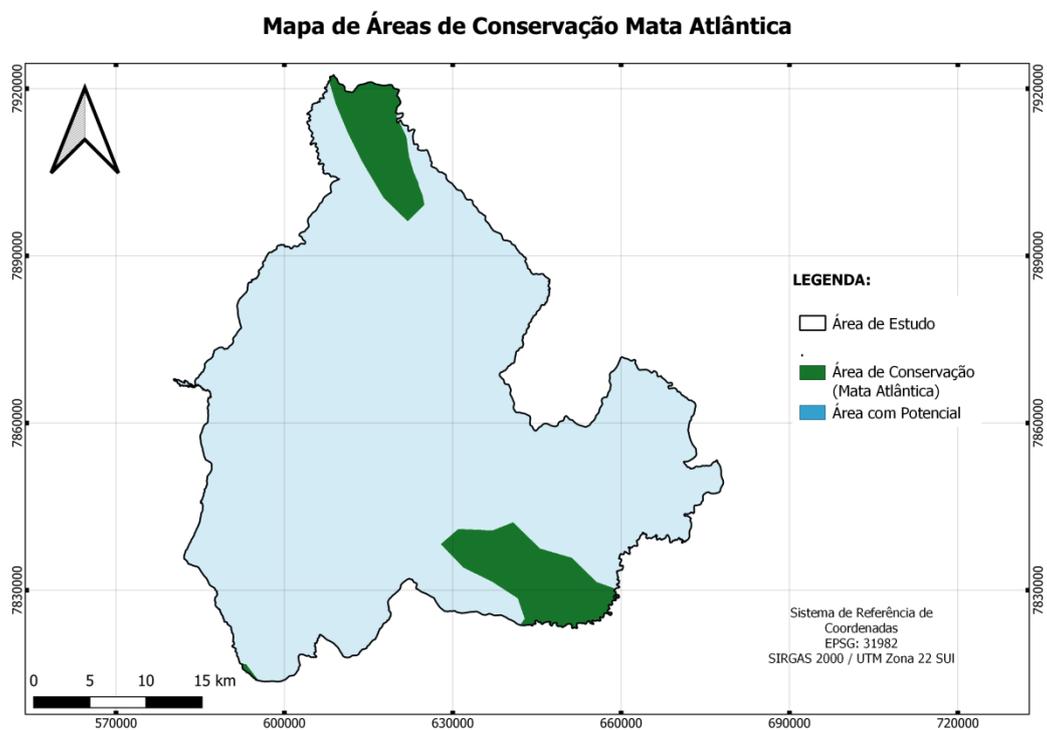
Figura 5, um mapa que apresenta as áreas de conservação da Mata Atlântica, juntamente com as áreas com potencial para a instalação de aterros. Este mapa oferece uma visualização clara das áreas onde a rica biodiversidade da Mata Atlântica está protegida, assim como as áreas propícias para a instalação de aterros. Ao visualizar o mapa é possível compreender a importância da conservação dessas áreas naturais e o desafio de encontrar locais adequados para a disposição de resíduos.

Figura 4 - Mapa de núcleos populacionais e sua faixa de influência.



Fonte: Autores, 2023.

Figura 5 - Mapa de áreas de conservação da Mata Atlântica.

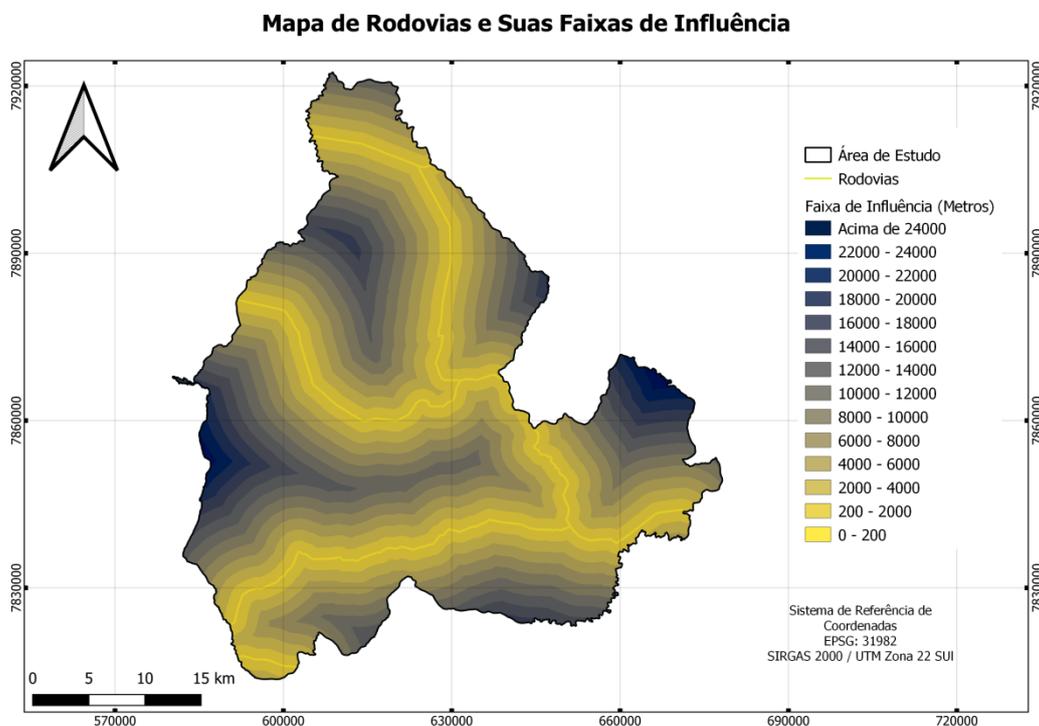


Fonte: Autores 2023

Logo abaixo, serão apresentados os mapas não restritivos que serão indicados da seguinte forma: mapa de rodovias e suas faixas de influência (Figura 6), mapa da principal fonte geradora de RSU e suas faixas de influência (Figura 7), mapa de distância de corpos hídricos e suas faixas de influência (Figura 8), mapa de formações geológicas (Figura 9), mapa de valor monetário da terra (Figura 10), mapa de tipo de solos (Figura 11) que apresentam relevo plano e solos de estrutura bem desenvolvida como é o caso dos Latossolos. Conforme atribuídos na tabela 3.

A Figura 6 exibe o mapa das rodovias, destacando suas faixas de influência para instalação de aterros. Essas faixas se estendem desde a rodovia até uma distância que varia de 0 a pouco mais de 24.000 metros. É importante considerar essas faixas de influência ao planejar a instalação de aterros, uma vez que regulamentos locais e requisitos específicos determinam a distância mínima necessária para evitar possíveis impactos negativos ao longo das rodovias. A proximidade do aterro em relação às rodovias deve ser cuidadosamente planejada para minimizar quaisquer riscos potenciais. Segundo Born (2013) ao planejar a construção de um aterro sanitário, é essencial considerar a proximidade das vias de acesso e garantir que elas estejam em boas condições de infraestrutura. Isso contribuirá para reduzir custos de transporte, otimizando o fluxo de resíduos e garantindo a eficiência operacional do aterro sanitário.

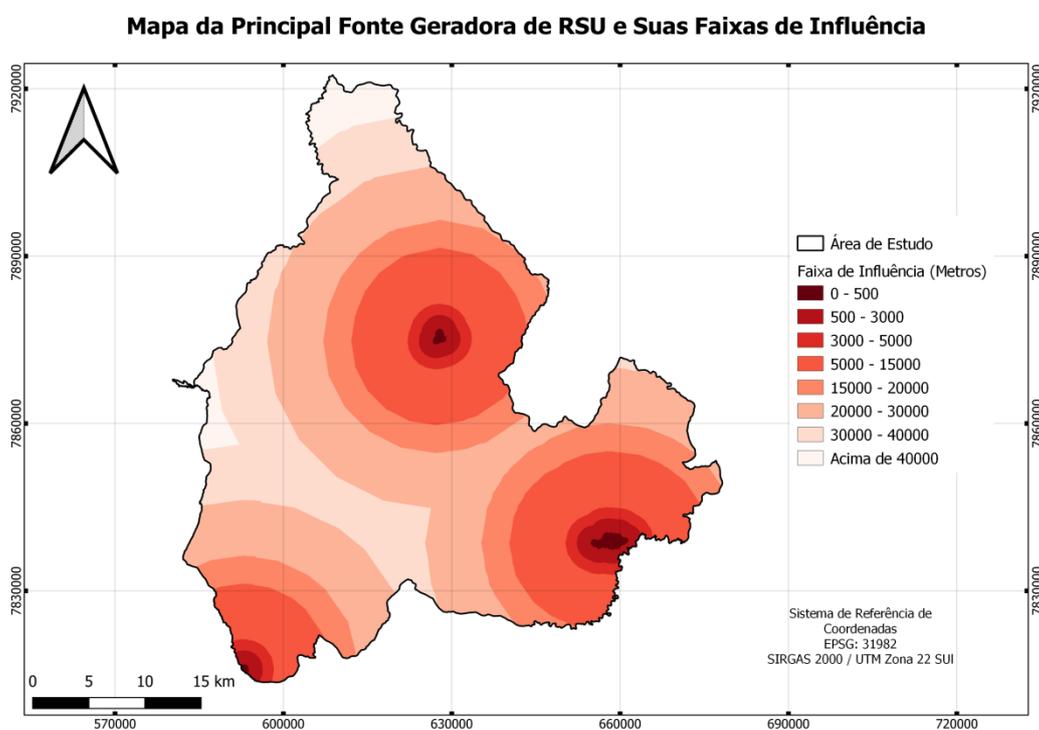
Figura 6 - Mapa de rodovias e suas faixas de influência.



Fonte: Autores 2023

Na Figura 7, é apresentado o mapa da principal fonte geradora de resíduos sólidos, destacando suas faixas de influência para instalação de aterros. Essas faixas abrangem uma distância que varia de 0 a pouco mais de 40.000 metros. É crucial considerar essas faixas de influência ao planejar a localização de aterros. Pois quando selecionar o local para um aterro, é essencial levar em conta aspectos como segurança, preservação da saúde pública e minimização dos impactos ambientais. A proximidade do aterro em relação à principal fonte geradora de resíduos sólidos deve ser cuidadosamente avaliada para garantir uma gestão adequada dos resíduos. Segundo Oliveira Neto (2011), a localização do aterro sanitário próximo à cidade pode trazer benefícios em termos de custos de transporte, mas é necessário tomar medidas adequadas para mitigar os impactos negativos, como a depreciação imobiliária, ruídos, odor e poluição visual, a fim de garantir o bem-estar da população local.

Figura 7 - Mapa da principal fonte geradora de RSU e suas faixas de influência.

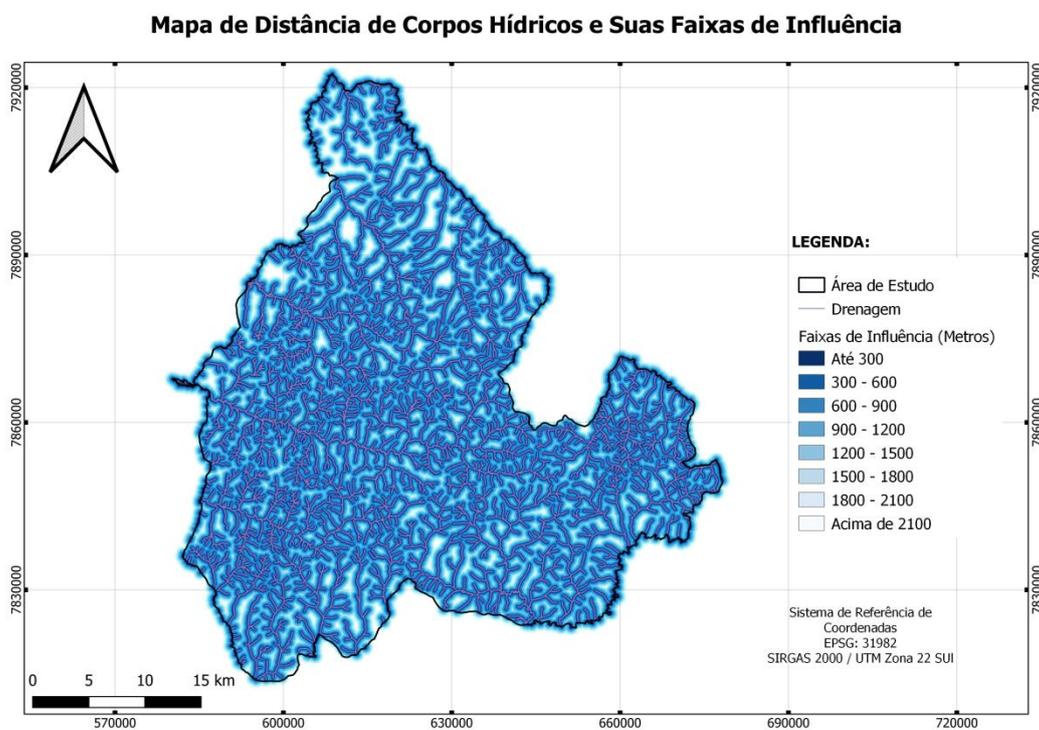


Fonte: Autores 2023

A Figura 8 exibe o Mapa de distância de corpos hídricos, destacando suas faixas de influência para instalação de aterros. Essas faixas abrangem uma distância que varia de 0 a pouco mais de 2100 metros. Ao planejar a localização de um aterro, é imprescindível considerar essas faixas de influência. Regulamentos e requisitos específicos determinam a distância mínima necessária para evitar possíveis impactos negativos aos corpos hídricos, garantindo a preservação da qualidade da água e do ecossistema aquático. A proximidade do aterro em relação aos corpos hídricos deve ser cuidadosamente avaliada para minimizar riscos de

contaminação e impactos ambientais. É importante garantir que a instalação do aterro não comprometa a disponibilidade e a qualidade da água desses corpos hídricos. A impermeabilização do solo é necessária para evitar a contaminação do lençol freático e a dispersão de poluentes para o meio ambiente. (CARVALHO, 2010)

Figura 8 - Mapa de distância de corpos hídricos e suas faixas de influência.

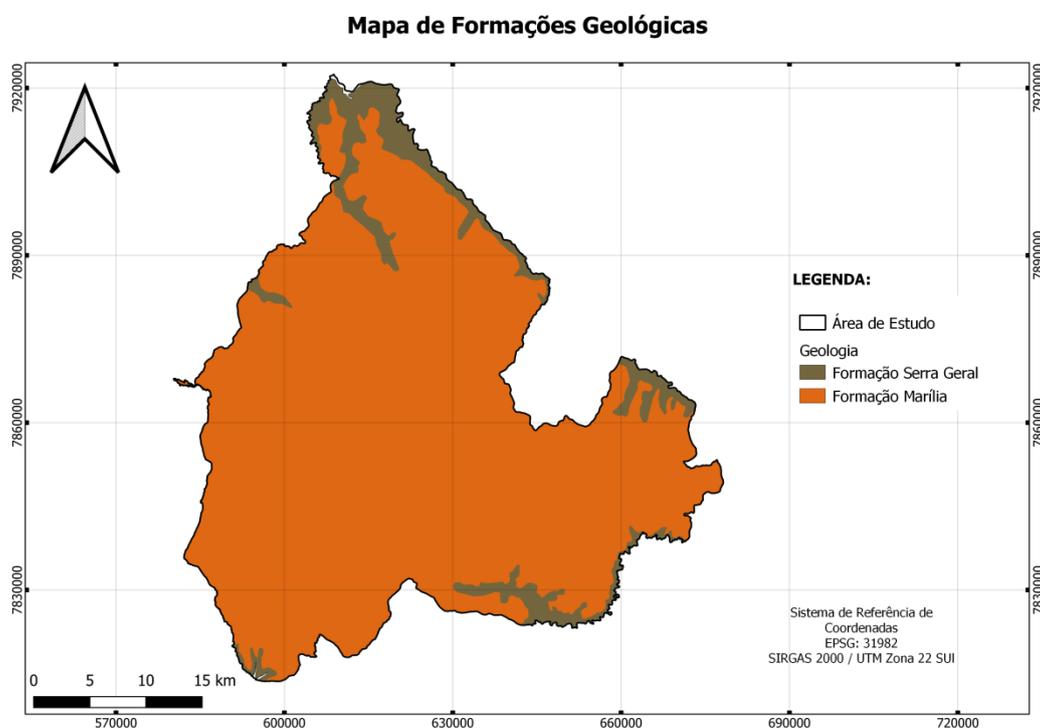


Fonte: Autores 2023

A geologia desempenha um papel fundamental na definição da localização e instalação de aterros sanitários. No mapa da Figura 9, podemos observar duas formações geológicas específicas: a formação Serra Geral e a formação Marília. A formação Serra Geral é conhecida por ser composta predominantemente por rochas vulcânicas e sedimentares, com características que influenciam diretamente na capacidade de suporte e estabilidade do solo. Já a formação Marília é conhecida por conter depósitos de rochas sedimentares, como argilas, arenitos e calcários. Esses tipos de rochas apresentam diferentes propriedades físicas e químicas, o que pode influenciar no comportamento do solo e na capacidade de armazenamento e filtragem. Essas características geológicas precisam ser cuidadosamente avaliadas para garantir que o local escolhido para o aterro sanitário tenha uma base sólida e segura, capaz de suportar o peso do lixo depositado e evitar riscos de deslizamentos de terra, desmoronamentos e outros problemas geotécnicos que podem comprometer a integridade do aterro e representar riscos para o meio ambiente e para as comunidades vizinhas. Portanto, ao planejar a construção de um aterro sanitário, é fundamental avaliar a espessura e a qualidade

do solo disponível no local, levando em consideração as características geotécnicas e de permeabilidade. Isso permitirá uma gestão mais eficiente dos recursos e redução dos custos de operação do aterro sanitário. (CARVALHO, 2010; SILVA, 2011).

Figura 9 - Mapa de formações geológicas.

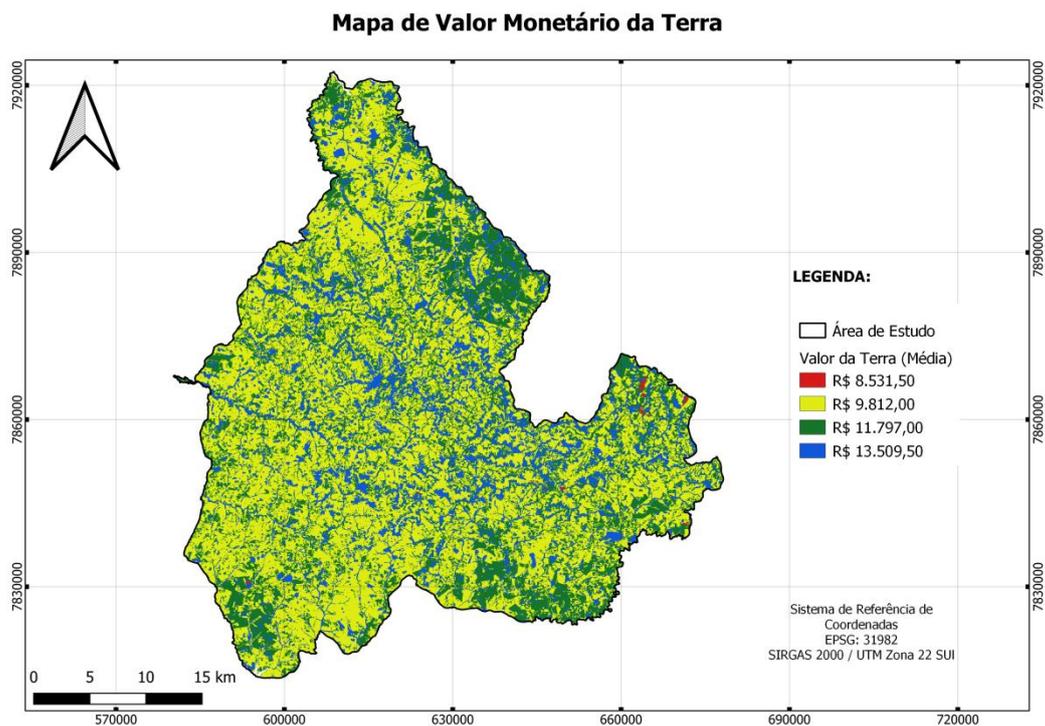


Fonte: Autores 2023

O valor monetário da terra é um fator importante a ser considerado na definição de um aterro sanitário. Na figura 10, observamos que o valor da terra na área de estudo varia entre R\$ 8.531,00 e R\$ 13.509,50. O valor da terra impacta diretamente na viabilidade econômica e na viabilidade social de um projeto de aterro sanitário. Um terreno com um valor alto pode tornar o projeto financeiramente inviável, uma vez que os custos de aquisição e manutenção desse terreno serão elevados. Por outro lado, um terreno com um valor mais baixo pode ser mais atrativo para a instalação do aterro sanitário, tornando o projeto economicamente viável.

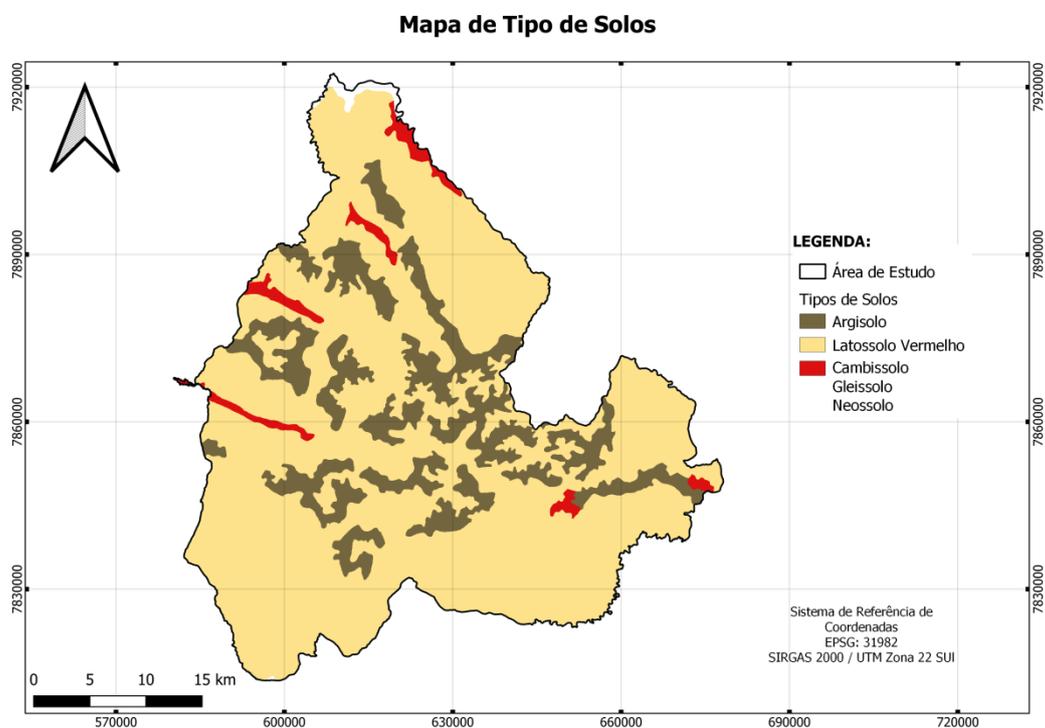
Na figura 11, temos o mapa que mostra os diferentes tipos de solos presentes na área de estudo para a instalação de um aterro sanitário. Os solos identificados incluem argilosos, latossolos vermelhos, cambissolos, gleissolos e neossolos. A caracterização dos solos é fundamental para a definição da área adequada para a instalação de um aterro sanitário. Diferentes tipos de solos possuem diferentes características de permeabilidade, capacidade de suporte e capacidade de filtragem, o que impacta diretamente na segurança e eficiência do aterro sanitário.

Figura 10 - Mapa de valor monetário da terra.



Fonte: Autores 2023

Figura 11 - Mapa de tipo de solos.



Fonte: Autores 2023

Com base nesses critérios, é possível realizar uma análise criteriosa da área para a escolha do local adequado para a instalação do aterro sanitário. A distância da área urbana, rodovias e hidrografia são fatores importantes a serem considerados, pois podem afetar a viabilidade ambiental e operacional do empreendimento. O valor binário 1 indica que esses critérios são aceitos para a instalação do aterro, enquanto o valor 0 indica que esses critérios são restritivos ou inaptos para a instalação do empreendimento. É importante levar em consideração esses critérios para garantir a segurança ambiental e a eficiência operacional do aterro sanitário.

Segundo Oliveira Neto (2011), a distância entre a fonte geradora de resíduos sólidos urbanos e a área onde será desenvolvido o aterro sanitário é um fator importante a ser considerado na escolha do local adequado. Além dos gastos excessivos com combustível e aumento do tempo entre as coletas, distâncias longas também podem afetar a qualidade do serviço prestado, comprometendo a eficiência do empreendimento.

Por outro lado, distâncias curtas podem gerar problemas de saúde pública e impactar ocupações o valor dos residentes da região, tornando a área desejável para a instalação do aterro. É importante considerar esses fatores na escolha do local adequado para a instalação do sanitário, garantindo a segurança ambiental, a saúde pública e a qualidade do serviço prestado. Áreas situadas com distância inferior a 500 m são consideradas inaptas, pois apresentam riscos à saúde pública e ao meio ambiente devido à proximidade excessiva da fonte geradora de resíduos e ao afastamento da área urbana. As áreas situadas acima de 500 m foram classificadas como favoráveis.

Quando a distância hidrográfica, que determina a distância mínima de 200 metros mencionada por Calijuri et al. (2007) é uma medida de segurança ambiental importante para minimizar os impactos das atividades industriais nos recursos hídricos. A legislação ambiental brasileira também estabelece essa distância mínima em diversas normas e resoluções. É fundamental que as empresas apliquem essas medidas para garantir a preservação do meio ambiente e a sustentabilidade. Áreas localizadas acima de 200 m foram consideradas favoráveis.

É importante considerar os fatores de fragilidade do terreno, como pedologia (solos) e declividade, para determinar a viabilidade de implantação de um aterro sanitário. Além disso, os fatores restritivos mencionados são de extrema importância para garantir a proteção do meio ambiente e da saúde pública. A proximidade com vias, cursos d'água e áreas urbanas pode aumentar significativamente os riscos de impactos negativos às comunidades locais e ao

ecossistema. É fundamental que essas questões sejam avaliadas cuidadosamente antes de se decidir pela implantação de um aterro sanitário em determinada região.

Normatizando os critérios de aptidão e restrição, com seus respectivos valores booleanos, aplicando a ferramenta Calculadora Raster do software QGIS e possibilitando assim à aplicação da lógica booleana, gerando assim, o mapa final que demonstra áreas aptas à instalação do aterro sanitário (Figura 12).

Na Figura 12, temos o mapa final que apresenta as classes de risco para as áreas de aptidão de aterro sanitário. Neste mapa, é possível identificar diferentes categorias, como áreas restritas, baixo risco, médio risco, alto risco e elevado risco.

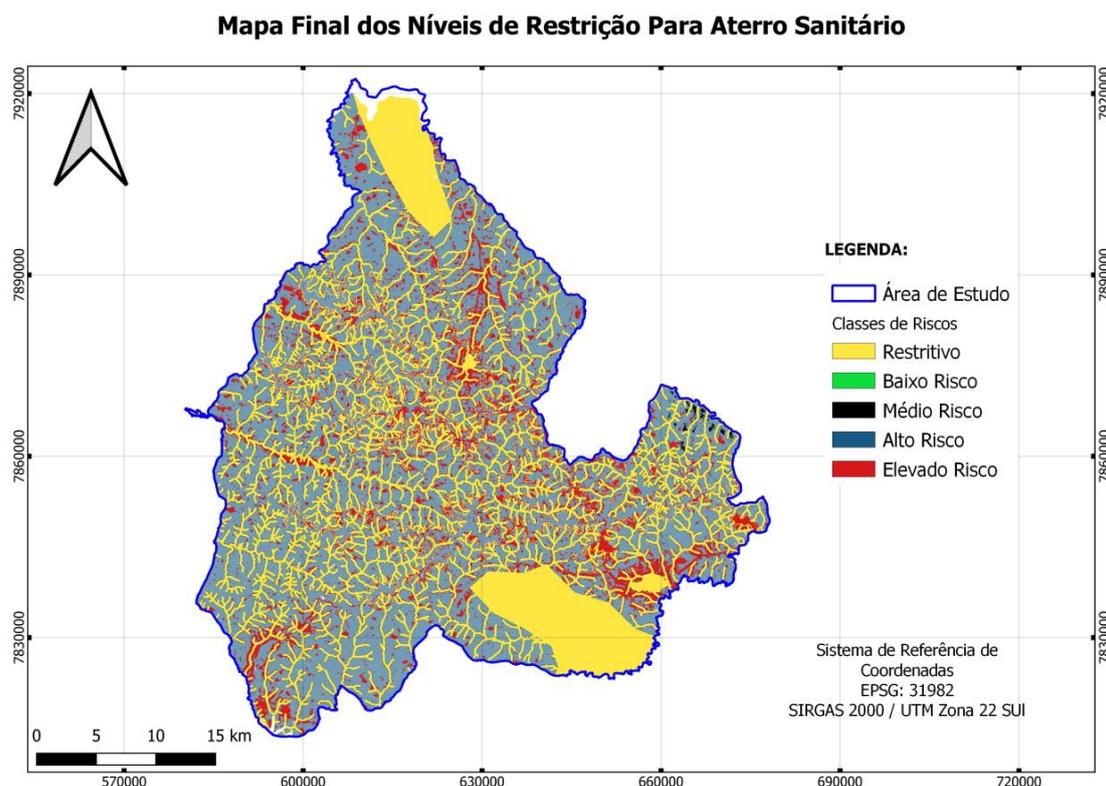
As áreas restritas são aquelas que apresentam restrições significativas para a implantação de um aterro sanitário, seja por questões ambientais, sociais ou econômicas. Já as áreas de baixo risco são consideradas mais adequadas para a instalação de um aterro sanitário, com menor probabilidade de impactos negativos.

- As áreas de médio risco possuem algumas restrições e demandam maiores estudos e medidas de mitigação, enquanto as áreas de alto risco para a implantação de um aterro sanitário é selecionada devido à presença de características significativas que representam um potencial elevado de impactos negativos. Essas características podem incluir solos altamente instáveis ou suscetíveis a erosão, presença de aquíferos de grande importância para o abastecimento de água, proximidade a áreas com alta sensibilidade ambiental. Nessas áreas, a instalação de um aterro sanitário pode apresentar riscos significativos para a segurança, saúde e meio ambiente. Portanto, é necessária uma análise mais detalhada, incluindo estudos geotécnicos, hidrológicos, ambientais e de riscos, além do desenvolvimento de medidas de controle e mitigação adequadas. Em alguns casos, pode ser inviável ou imprudente instalar um aterro sanitário.
- Áreas de Elevado Risco: Essas são as áreas consideradas de maior risco para a instalação de um aterro sanitário. Elas apresentam características que representam um potencial extremamente elevado de impactos negativos para a saúde humana, meio ambiente e recursos hídricos.

Essas características podem incluir solos altamente instáveis ou erodíveis, presença de aquíferos de grande importância para o abastecimento de água potável, vulnerabilidade a processos geológicos perigosos, como deslizamentos de terra, evidências de contaminação significativa do solo ou água, entre outros fatores de alto risco.

Devido aos riscos significativos envolvidos, as áreas de elevado risco são geralmente consideradas impróprias para a instalação de aterros sanitários. A implantação de um aterro nessas áreas pode representar uma ameaça iminente à saúde e segurança da população e causar danos irreversíveis.

A Figura 12 demonstra o Mapa final das classes de risco, para áreas de aptidão de aterro sanitário.

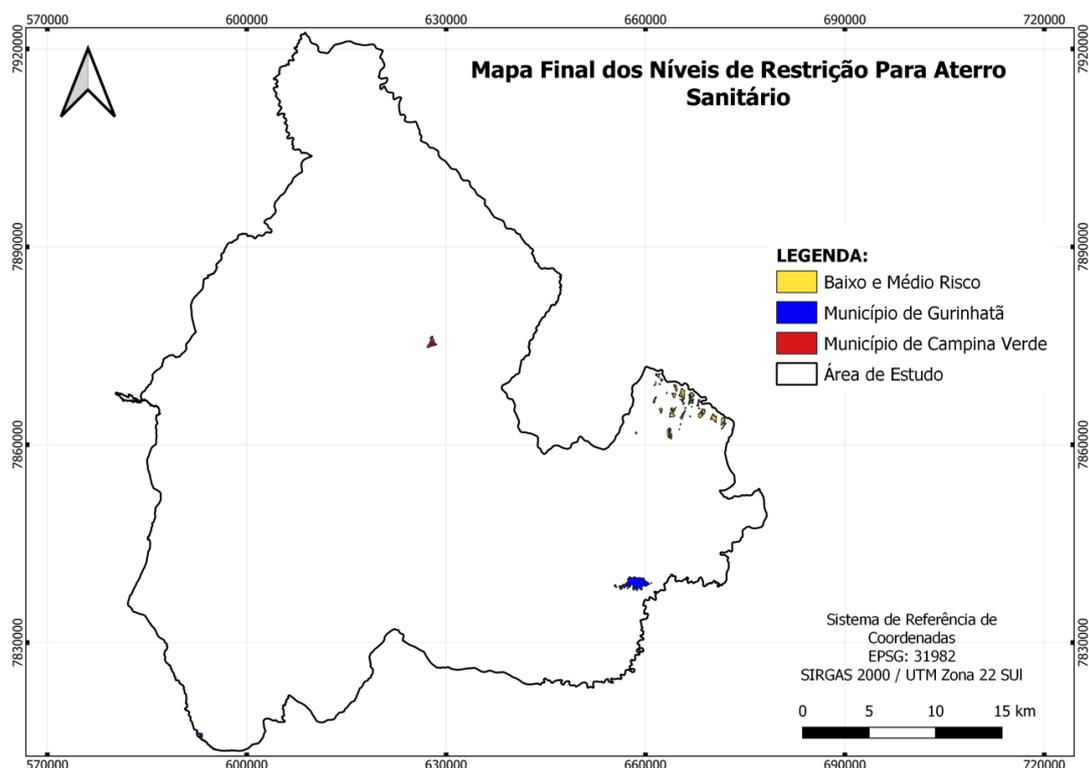


Fonte: Autores 2023

O mapa apresentado na figura 13 foi elaborado levando em consideração as áreas urbanas dos municípios em estudo, a fim de fornecer uma melhor compreensão sobre suas localizações. Além disso, foram identificadas as áreas consideradas apropriadas para a implantação de um aterro sanitário, como as áreas de baixo e médio risco.

É relevante ressaltar que essas áreas estão situadas a noroeste de Campina Verde-MG e sudeste de Gurinhatã-MG. O resultado final desse processo pode ser visualizado no mapa abaixo:

Figura 13 – Mapa final dos níveis de restrição para aterro sanitário



Fonte: Autores 2023

É interessante observar como a análise do mapa de aptidão permite identificar as regiões mais propícias e as menos adequadas para a instalação de aterros sanitários. A escolha de locais com baixa fragilidade do solo e baixa declividade é uma medida importante para minimizar os impactos e riscos ambientais associados à implantação desses empreendimentos. As áreas aptas à instalação de aterro sanitário, obtidas através da avaliação por lógica booleana são, portanto, apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Áreas aptas à instalação de aterro sanitário nos perímetros Municipais de Campina Verde e Gurinhatã (MG).

Aptidão	Área Total (km ²)	Área Total (ha)	Área Total (%)
Restrita	1.937.120.172,52	193.712	35,63
Baixo Risco	70.604.036,82	7.060	1,30
Médio Risco	168.751.713,34	16.875	3,10
Alto Risco	2.690.745.083,57	269.074	49,49
Elevado Risco	569.897.429,42	56.989	10,48
TOTAL	5.437.120,67	543.712	100

Fonte: Autores 2023

Na área de estudo apresenta aproximadamente 1,30% do seu território, 70.604.036,82 km² e 7.060 ha, com características de baixo risco de aptidão para instalação de aterro sanitário. As áreas com média risco de aptidão correspondem a 3,10% da área, ou ainda 168.751.713,34 km² e 16.875 ha. A área de alto risco de aptidão representa 49,49% do território, 2.690.745.083,57 km² e 269.074 ha. As áreas de elevado risco de aptidão representam 10,48% do território, 589.897.429,42 km² e 56.989 ha. Já as áreas que apresentam restrições absolutas, correspondem a uma porção de 35,63% do território, 1.937.120.172,52 km², não sendo assim indicadas para a instalação de aterros sanitários.

A escolha da localização adequada para um aterro sanitário é um processo essencial para minimizar os impactos ambientais e garantir a segurança da população é importante usar uma abordagem integrada que leve em consideração critérios técnicos e ambientais, além de leis e regulamentos aplicáveis.

O uso de imagens de satélite e geoprocessamento podem ser úteis para identificar as áreas mais apropriadas para a implantação do aterro sanitário de forma rápida e eficiente. Além disso, a utilização de lógica booleana na análise espacial ajuda a eliminar a subjetividade na escolha dos locais, tornando o processo mais objetivo e transparente, contribuindo para uma gestão mais sustentável e efetiva dos resíduos sólidos.

De acordo com Moreita, Barberi e Oliveira (2019) este projeto não tem intenção de determinar qual área é melhor para instalar o aterro, e seriam necessários mais detalhes do campo de estudo. Entretanto é importante demonstrar o uso da ferramenta SIG para esta avaliação. Diante os resultados obtidos, é necessário investigar a limitação das áreas do campo de estudo, pois nem sempre existem áreas propícias e que outros municípios próximos possuam (MOREIRA, 2016).

Além desses aspectos mencionados, também é importante considerar a proximidade do aterro sanitário em relação às áreas urbanas e de preservação ambiental. A escolha de uma localização adequada minimiza os impactos negativos para a população e para o meio ambiente.

Outro ponto a ser levado em consideração é a infraestrutura existente na região, como estradas e acesso para transporte dos resíduos, além da disponibilidade de água e energia elétrica para o funcionamento do aterro sanitário.

É essencial realizar estudos de impacto ambiental e social para avaliar os possíveis efeitos da instalação do aterro sanitário na região, levando em conta aspectos como o aumento do tráfego de veículos, a geração de odores e a possibilidade de contaminação do solo e das águas subterrâneas.

Também é importante envolver a comunidade local e realizar consultas públicas para garantir a participação e o conhecimento dos moradores sobre o projeto do aterro sanitário, buscando minimizar possíveis conflitos e problemas futuros.

Enfim, a escolha de uma localização adequada para a construção de um aterro sanitário deve levar em consideração a vegetação, a titulação da área, a legalidade da documentação, a disponibilidade de espaço e a vida útil do local, a proximidade de áreas urbanas e de preservação, a infraestrutura existente, os estudos de impacto ambiental e social, e a participação da comunidade local.

4. CONCLUSÃO

Diante a análise de estudo e dos resultados propostos pela ferramenta multicritério, os locais selecionados a ser apta a implantação do aterro sanitário entre os perímetros municipais de Campina Verde e Gurinhatã – MG correspondem a 4,4% do campo de estudo, estando localizadas a noroeste de Campina Verde-MG, com aproximadamente 24.000 hectares, e aproximadamente 43 km de distância de Campina Verde, e com 52 km de distância a sudeste Gurinhatã. Tende-se avaliar entre as áreas propensas, qual delas é mais extensa para que assim, possa ser indicado a locação do aterro sanitário, e atender o descarte dos resíduos sólidos dos dois municípios, respeitando todas as normas estabelecidas dentro dos parâmetros regulamentados, cabendo ainda à realização de estudos científicos complementares e validações em campo.

Por fim, é fundamental o uso de ferramentas de geoprocessamento, para a tomada de decisões em planejamento ambiental. Além disso, ressalto que o poder público deve investir na gestão de resíduos sólidos, promovendo soluções regionais que garantam a eliminação dos lixões e a gestão sustentável dos resíduos. A utilização do SIG Quantum GIS pode ser uma opção eficaz e acessível para a seleção de áreas adequadas para a instalação de aterros sanitários, contribuindo para minimizar os impactos ambientais e, conseqüentemente, melhorar a qualidade de vida das comunidades locais.

Com base nos resultados obtidos, verifica-se que a utilização do SIG Quantum GIS foi bem-sucedida no cumprimento dos objetivos do trabalho, demonstrando-se uma opção eficaz e acessível para a seleção de áreas apropriadas para as implantações de aterros sanitários.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13896:1997**. Esta Norma fixa as condições mínimas exigíveis para projeto, implantação e operação de aterros de resíduos não

perigosos, de forma a proteger adequadamente. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/10510/nbr13896-aterros-de-residuos-nao-perigosos-criterios-para-projeto-implantacao-e-operacao>. Acesso em: 30 abr 2023.

ASEFA, E. M.; DAMTEW, Y. T.; BARASA, K. B. Landfill site selection using GIS based multicriteria evaluation technique in Harar City, Eastern Ethiopia. **Environmental health insights**, 15, 11786302211053174, 2021. <https://doi.org/10.1177/11786302211053174>

BECK, H. E.; ZIMMERMANN, N. E.; MCVICAR, T. R.; VERGOPOLAN, N.; BERG, A.; WOOD, E.F. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. **Scientific Data**, v.1, P. 1-12, 2018.

BERNASCONI, M; CHOIRAT, C.; SERI, R. The Analytic Hierarchy Process and the Theory of Measurement. **Management Science**, 56(4), p. 699-711, 2010.

BORN, V. **Avaliação de aptidão de áreas para instalação de aterro sanitário com uso de ferramentas de apoio à tomada de decisão por múltiplos critérios**. Curso Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Centro Universitário Univates, Lageado, 2013. Disponível em: <https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/374/1/VivianeBorn.pdf>. Acesso em: 30 abr 2023.

CALIJURI, M. L.; LOURES, S. S. P.; SANTIAGO, A. F. da.; SCHAEFER, C. E. G. R.; LUGÃO W. G.; ALVES, J. E. M. Identificação de Áreas Alternativas para Disposição de Resíduos Sólidos na Região do Baixo Ribeira do Iguape – SP. **Engenharia. Sanitária e Ambiental**, v.12, n 3, p.335-342, jul/set. 2007.

CARVALHO, T. R. R. **Estudo locacional de áreas para instalação de aterro sanitário no Município de Alegre-ES**. 2010. 49p. Monografia (Seminário de Graduação em Geologia) – Departamento de Engenharia Rural. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória – ES.

CHERNICHARO, C .A. L.; RUTKOWSKI, E. W.; VOLSCHAN JUNIOR, I.; CASSINI, S. T. A (org.). **Esgotamento sanitário: operação e manutenção de sistemas simplificados de tratamento de esgotos**. Guia do profissional em treinamento: nível 2 / Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – Belo Horizonte : ReCESA, 2008. 112 p.

COLAVITE, A. P.; PASSOS, M. M. Integração de mapas de declividade e modelos digitais tridimensionais do relevo na análise da paisagem. **Revista Geonorte**, v. 2, n. 4, p. 1547-1559, 2012.

COPAM. Deliberação Normativa COPAM nº 118, 27 de junho de 2008. Alteram os artigos 2º, 3º e 4º da Deliberação Normativa 52/2001, estabelece novas diretrizes para adequação da disposição final de resíduos sólidos urbanos no Estado, e dá outras providências. Belo Horizonte.

DEUS, R. M.; BATTISTELLE, A. G.; SILVA, G. H. R. Resíduos sólidos no Brasil: contexto, lacunas e tendências. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.20, n.4, p.685-698, 2015.

FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Panorama da destinação dos resíduos sólidos urbanos no Estado de Minas Gerais em 2018**. Belo Horizonte: FEAM, 2019.

HAMADA, J. **Concepção de aterros sanitários: análise crítica e contribuições para seu aprimoramento no Brasil**. Bauru: UNESP/FEB, 2003. (Tese de Livre Docência). <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/BUBD-955QS7>. Acesso em: 30 abr. 2020.

IDE-Sisema. **Infraestrutura de dados espaciais do estado de Minas Gerais**. Disponível em: < <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis> >. Acesso em: jul 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico de 2022**. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>. Acesso em: setembro de 2023.

KAUR, P.; KAUR, G. J.; ROUTHAY, W.; RAHIMI, J.; NAIR, G. R.; SINGH, A. Recent advances in utilization of municipal solid waste for production of bioproducts: A bibliometric analysis. **Case Studies in Chemical and Environmental Engineering**, 4, 100164, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2021.100164>

LIMA, J.D. **Modelos de apoio à decisão para alternativas tecnológicas de tratamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil**. 400 f. Tese (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2012.

LOPES, R. C.; SILVA, R. N. F. Uso de lógica booleana na triagem de áreas aptas para a implantação de aterro sanitário no Município de Campina Verde, Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, 7(16), pp.487-499, 2020.

MAJID, M.; MIR, B. A. Landfill site selection using GIS based multi criteria evaluation technique. A case study of Srinagar city, India. **Environmental Challenges**, 3, 100031. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100031>, 2021.

MOREIRA, F. R.; BARBOSA, C.; CÂMARA, G.; ALMEIDA FILHO, R. Inferência geográfica e suporte à decisão. In. CÂMARA, G. et al. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap9-inferencia.pdf>. Acesso em: 03 abr 2023.

MOREIRA, L. L.; SCHWAMBACK, D.; CORRÊA, N. R.; COELHO, A. L. SIG aplicado à seleção de áreas potenciais para instalação de aterro sanitário no município de Serra – ES. **Geociências**, São Paulo, v. 35, n. 4, p. 531-541, 2016.

MOREITA, P. A.G.; BARBERI, M.; DE OLIVEIRA, A. L. G. Delimitação de áreas para implantação de aterro sanitário utilizando metodologia multicritérios no município de Goiás, Goiás. **Revista Brasileira de Assuntos Regionais e Urbanos**, Goiânia, v. 4, n. 2, p. 223-235, fev. 2019. ISSN 2448-0460. Disponível em: <https://doi.org/10.18224/baru.v4i2.7019>. Acesso em: 05 abr. 2020.

OLIVEIRA NETO, J. T. **Determinação de áreas favoráveis à implantação de aterro Sanitário de resíduos sólidos urbanos para o município de Piumhi-MG**. 2011. 43 f. Monografia (Especialização) - Curso de Geoprocessamento, Departamento de Cartografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process**. McGraw-Hill-New York: London, 1980.

SILVA, N. L. S. **Aterro Sanitário para resíduos sólidos urbanos RSU - Matriz para Seleção da Área de Implantação**. 2011. 57p. (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Feira de Santana, 2011.

TOPODATA. Banco de Dados Geomorfológicos do Brasil. **Modelo Digital de Elevação (MDE)**. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>. Acesso em: junho de 2023.

CAPÍTULO V

GEOPROCESSAMENTO PARA ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA REGIÃO DE BAURU-SP

GEOPROCESSING TO ANALYZE CHANGES IN LAND USE AND OCCUPATION IN THE BAURU-SP REGION

DOI: 10.51859/amplla.aca638.1323-5

Edson Luiz de Carvalho dos Santos ¹
Lucas Augusto dos Santos ¹
Magda Stella de Melo Martins ²
Daniel Pena Pereira ³

¹ Pós-graduando em Geoprocessamento, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro - IFTM Uberaba, MG, Brasil

² Professora Doutora em Agronomia. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro. IFTM Uberaba, MG, Brasil.

³ Professor Doutor em Produção Vegetal Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro - IFTM Uberaba, MG, Brasil

RESUMO

Este trabalho descreve a região imediata de Bauru, situada no centro do estado de São Paulo e composta por 19 municípios. Destaca-se a transformação da paisagem ao longo dos anos devido ao uso e ocupação do solo, principalmente nas atividades agrícolas, como cana de açúcar e eucalipto. Foi usada a ferramenta MapBiomias para monitorar a cobertura e uso do solo nesta região. O trabalho propôs o uso do geoprocessamento para estudar as mudanças na paisagem da região ao longo dos anos. Conclui-se que a região passou por transformações notáveis de 2001 a 2021, com destaque para o crescimento da silvicultura (86,9%) e citricultura (1200%), além do aumento das áreas de cana de açúcar (90%) e formações florestais (23%). O estudo contribuiu para uma melhor compreensão das relações entre as mudanças na paisagem, tendências na economia e os fatores que as influenciam, podendo ser utilizado como base para futuras análises e planejamento de políticas públicas voltadas para o desenvolvimento sustentável da região de Bauru/SP.

Palavras-chave: Transformação da paisagem, Geoprocessamento, Desenvolvimento sustentável.

ABSTRACT

This work describes the immediate region of Bauru, located in the center of the state of São Paulo and composed of 19 municipalities. The transformation of the landscape over the years due to land use and occupation is highlighted, especially in agricultural activities such as sugarcane and eucalyptus. The MapBiomias tool was used to monitor land cover and use in this region. The study proposed the use of geoprocessing to study changes in the region's landscape over the years. It is concluded that the region underwent notable transformations from 2001 to 2021, with significant growth in silviculture (86.9%) and citriculture (1200%), as well as an increase in sugarcane areas (90%) and forest formations (23%). The study contributed to a better understanding of the relationships between landscape changes, economic trends, and influencing factors. It can serve as a basis for future analyses and the planning of public policies aimed at the sustainable development of the Bauru/SP region.

Keywords: Landscape transformation, Geoprocessing, Sustainable development.

1. INTRODUÇÃO

A região geográfica imediata de Bauru está localizada ao centro do estado paulista é uma das quatro regiões imediatas que compõem a região geográfica intermediária de Bauru do estado de São Paulo e está dividida em 19 municípios. Faz parte da região imediata de Bauru os municípios de Agudos, Arealva, Avaí, Balbinos, Borebi, Cabrália Paulista, Duartina, Iacanga, Lençóis Paulistas, Lucianópolis, Macatuba, Pederneiras, Piratininga, Paulistânia, Pirajuí, Presidente Alves, Reginópolis, Ubirajara. Esta região possui uma área total de 8.508,670 km² (Cidade-Brasil, 2023).

Ao longo dos anos vem se observando uma mudança na paisagem, devido ao processo de uso e ocupação do solo, das cidades pertencentes a região imediata de Bauru, um estudo revela o novo perfil da agricultura no estado de São Paulo. A cana de açúcar foi a atividade agrícola que ocupou a maior parte do espaço no estado, assim como o eucalipto que cresceu 20% do território (DRONESHOW, 2018). O autor ainda cita que a pecuária foi a atividade que mais perdeu espaço, ficando atrás da cana de açúcar e das reservas de vegetação nativas. Os citros apresentaram uma redução de área no estado de 180 mil hectares; apesar disto, alguns municípios foram na contramão e ampliaram seus pomares (DRONESHOW, 2018).

Nas últimas décadas, com as mudanças de mercado e o avanço das tecnologias, a agricultura e pecuária sofreram constantes transformações. O estudo realizado no município de Guaraciaba / SC com o uso da aplicação e técnicas do geoprocessamento e sensoriamento remoto, segundo Basei e Bones (2020), contribuem para análise de alterações antrópicas na ocupação do solo em atividades agropecuárias, e os dados obtidos podem contribuir para pesquisas e usados no planejamento das atividades.

A utilização de modelos de uso e ocupação do solo pode ser amplamente utilizado para estudar as características de uma região, as mudanças aos longos dos anos são possíveis ser observadas através do sensoriamento remoto, que, segundo Meneses e Almeida (2012), é definido como uma técnica e procedimentos tecnológicos de obtenção de imagens de objetos da superfície terrestre, sem que haja necessidade de contato físico direto, entre o sensor e o objeto de interesse. Através da junção de diversas tecnologias, é possível obter informações pertinentes e úteis a respeito de uma área de interesse. Nesse contexto, fazem presentes a confecção de mapas de uso e ocupação do solo.

Ferramenta de auxílio ao sensoriamento remoto é o Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil (MapBiomas, 2023) que é uma ação criada com a finalidade de apresentar resultados sobre o uso e a cobertura do solo no país. Essa plataforma consegue

processar conjuntos de dados em grande escala, gerando séries históricas de mapas de cobertura e uso da terra, contribuindo para o aprimoramento de uma metodologia confiável e rápida (SOUZA JUNIOR, 2017).

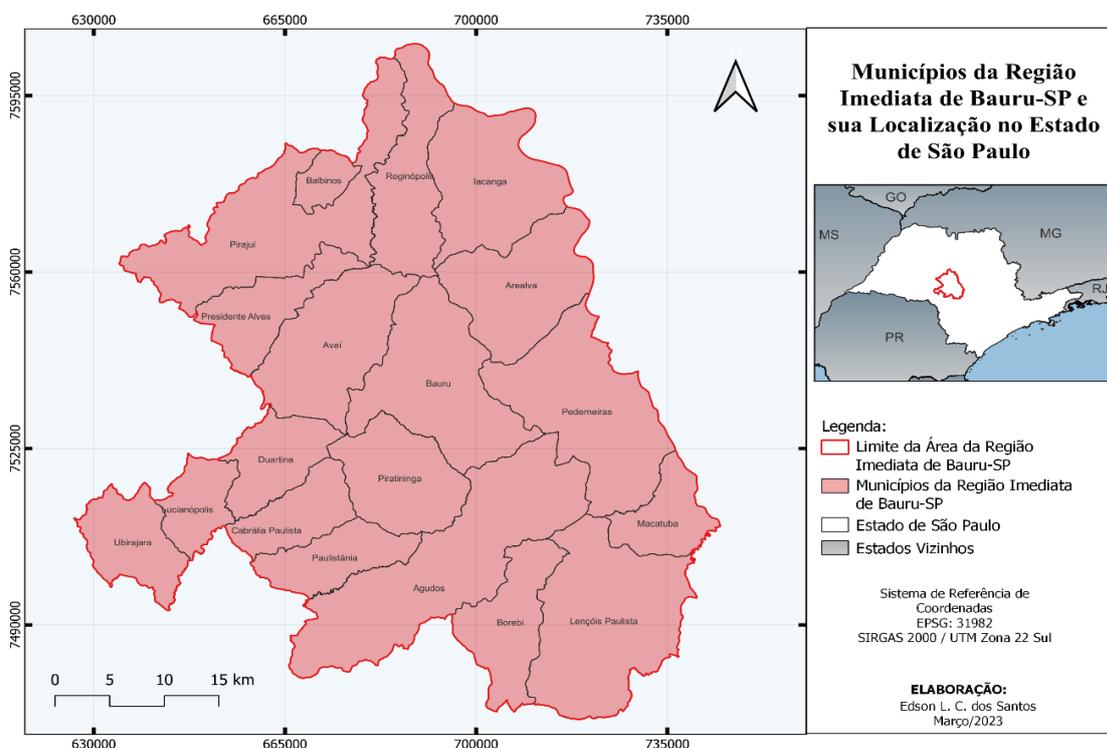
A maior parte dos estudos que buscam entender sobre o uso e ocupação do solo no Brasil, foram feitos na grande maioria por municípios, portanto, carecem de estudos a região imediata de Bauru, onde está inserido 19 municípios, neste cenário a região mostra-se propícia para o desenvolvimento deste tipo de trabalho, já que é uma forte região agropecuária, e as empresas buscam a exploração agrícola de forma regional. Para isso, estudar o uso e ocupação a nível regional permite de forma detalhada sobre a dinâmica do uso do solo. Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo a utilização do geoprocessamento para estudo da mudança de paisagem ao longo dos anos imageados, para as cidades pertencentes a região imediata de Bauru-SP.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo

A região imediata de Bauru-SP pertence à região central do Estado de São Paulo, segundo o censo demográfico do IBGE (2010), possui uma área de 5.586 km², uma população de 648.833 habitantes estimada e é composta por 19 municípios (Figura 1).

Figura 1 – Mapa de Localização da área de estudo.



Fonte: Autoria própria (2023).

2.2. Aquisição de dados

O Sistema de Informações Geográficas é um conjunto de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e exibir dados espaciais referentes ao espaço terrestre. Para realização deste estudo da evolução do uso e ocupação do solo foram obtidas imagens dos anos 2001, 2008, 2015 e 2021 do estado de São Paulo no banco de dados do MapBiomas (2023), os mapas foram gerados no GEE (Google Earth Engine) MapBiomas *User Toolkit 1. 14. 0*, dos satélites *LandSat* resolução de 30 metros. Também se obteve os limites geográficos dos municípios da região imediata de Bauru/SP como também o Shapefile-SHP do estado de São Paulo, no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022a).

2.3. Processamento de dados

Para o processamento, classificação e confecção dos mapas utilizou-se o Software livre Quantum Gis (QGIS) 3.22 *Biatowieza*, primeiramente foi corrigida o (SCP) Sistema de referência de coordenadas para EPSG:31982 SIRGAS 2000 / UTM Zona 22 Sul, do Shapefile-SHP do estado de São Paulo e do MapBiomas. A área de interesse dos municípios abrangentes, foram digitalizadas de forma manual, através da ferramenta “Selecionar feições por área” disponível na barra de ferramenta, depois realizou-se o corte da imagem obtidas no MapBiomas com os limites do município da região imediata de Bauru/SP para que se obtivesse somente a imagem da área de interesse. Já com a imagem da área recortada, foi feita a Renderização “Peletizados/Valores únicos” para classificar as cores de cada ocupação, em seguida feita a reclassificação conforme a tabela Coleção 7 do MapBiomas, onde passo foi, “ botão direito do mouse sobre o arquivo, propriedades da camada, tipo de renderização” depois usou o plugin “Reportar camada raster valor único” da caixa de ferramenta de processamento para cada ano do estudo, onde os resultados foram de 17 classificações de uso do solo, mais para interesse do estudo foram determinados 5 classes de ocupação: “Formação Florestal, Silvicultura, Pastagem, Cana de açúcar e Citrus”, nesta reclassificação foi utilizada a ferramenta “Reclassificar por tabela” o critério de escolha das classes se baseou nas principais características da paisagem que ocupam a maior parte do solo da região.

Tabela 1 - Classes de cobertura e uso da terra estudados.

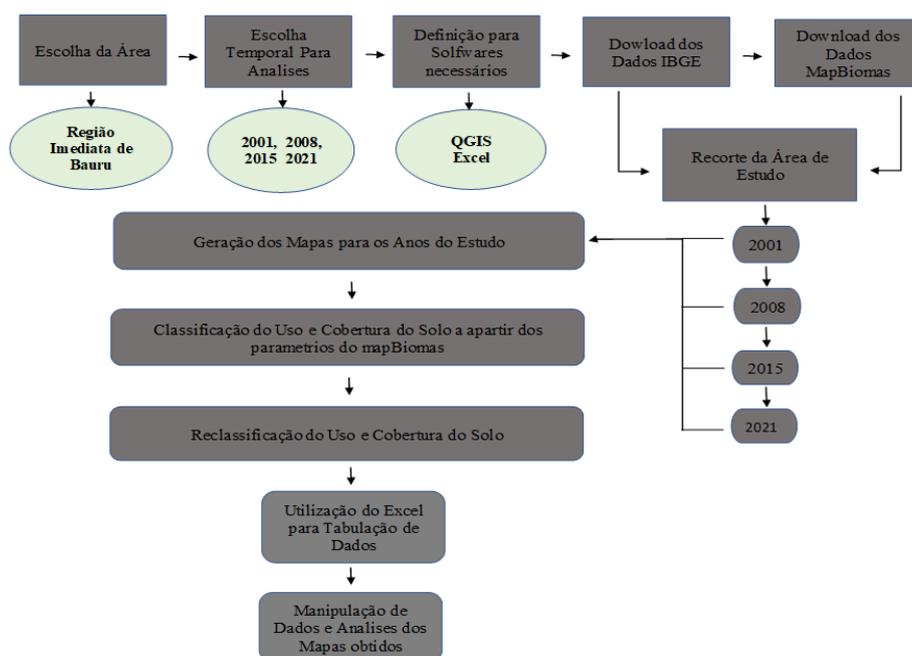
Classes
Formação Florestal
Silvicultura
Pastagem
Cana
Citrus

Fonte: Autoria própria (2023).

2.4. Comparação entre os mapas

Os mapas de uso do solo dos anos 2001, 2008, 2015 e 2021 após gerados e classificados conforme coleção 7 MapBiomias, foram avaliados e comparados, para cada ano individual, onde para obter os resultados utilizou-se a ferramenta “Reportar camada raster de valor único” e adicionado o ano de interesse, foi gerado pelo algoritmo uma saída HTML na caixa de diálogo de resultados, os resultados se deu em m² para as classes, para melhor compreensão e análise dos resultados os dados foram convertidos em área (hectares) e sua porcentagem para cada tipo de uso do solo, a fim de avaliar as mudanças de aumento ou redução das classes de uso do solo estudadas. A figura 2 ilustra de forma concisa o processo completo para desenvolver a modelagem dos materiais essenciais para o estudo em questão, onde é possível a confecção e comparação dos mapas.

Figura 2 - Fluxograma de Desenvolvimento do Estudo



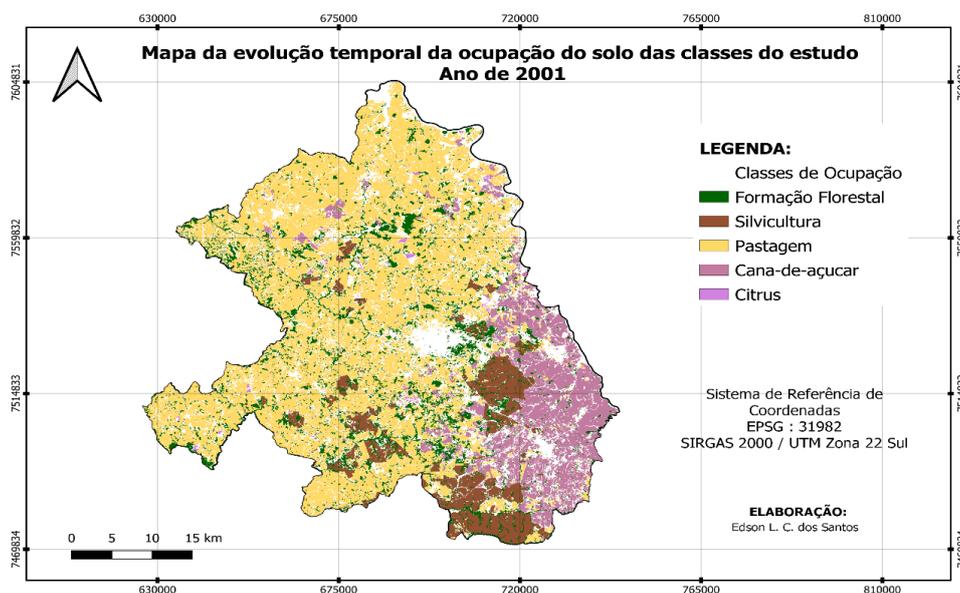
Fonte: Autoria própria (2023).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após analisar os resultados, constatou-se que houve alterações nas classes de ocupação do solo agrícola, pastagem e florestal ao longo do tempo, conforme mostrado na Tabela 1. Além disso, essas mudanças também podem ser vistas nos mapas temáticos correspondentes a cada ano estudado.

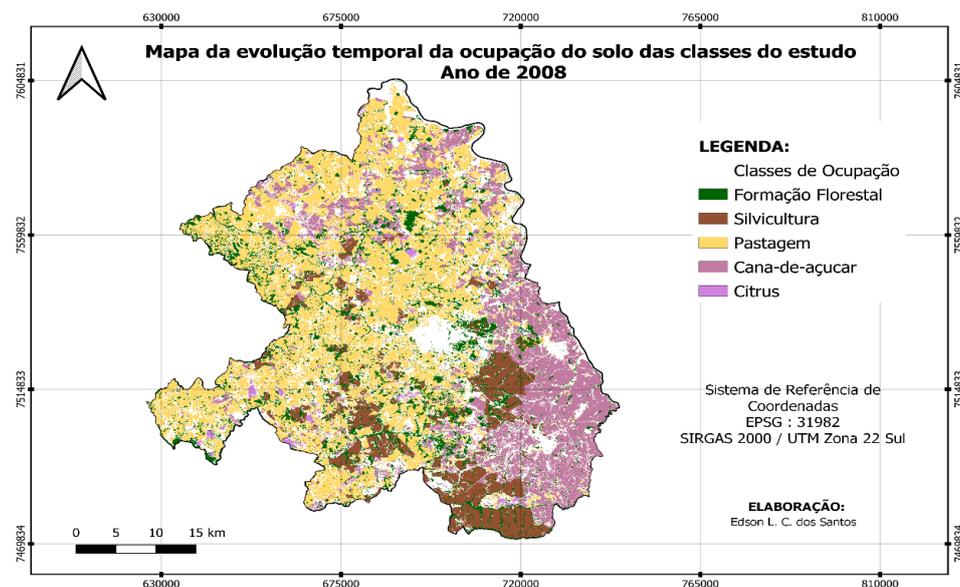
As figuras 3, 4, 5 e 6 revelam a evolução da ocupação do solo das diferentes classes de estudo ao longo de duas décadas, de 2001 a 2021. Cada mapa é uma janela para um período específico, mostrando como a paisagem se transformou ao longo do tempo.

Figura 3 - Mapa da evolução temporal da ocupação do solo das classes do estudo, para o ano de 2001.



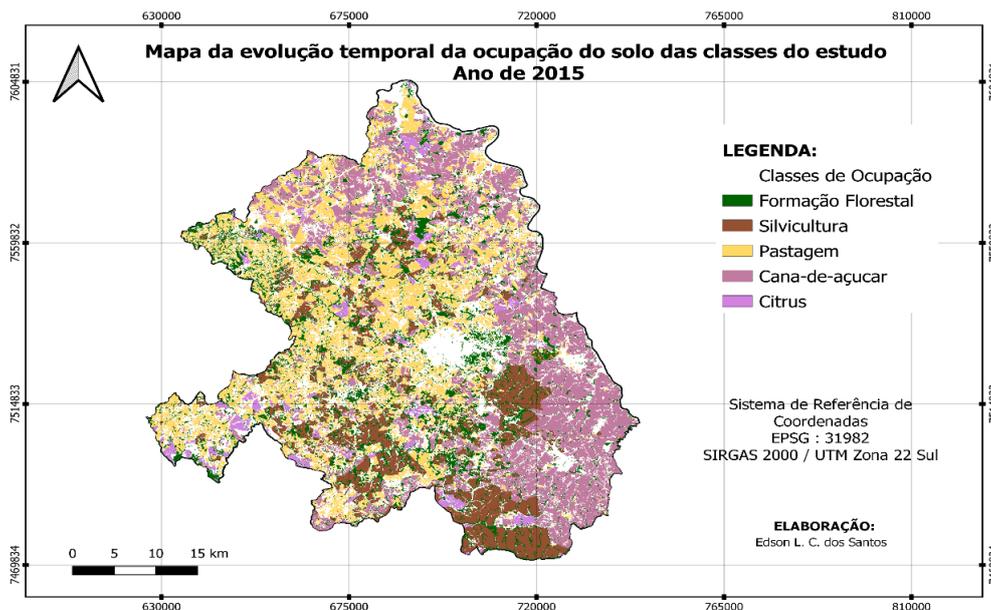
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 4 - Mapa da evolução temporal da ocupação do solo das classes do estudo, para o ano de 2008.



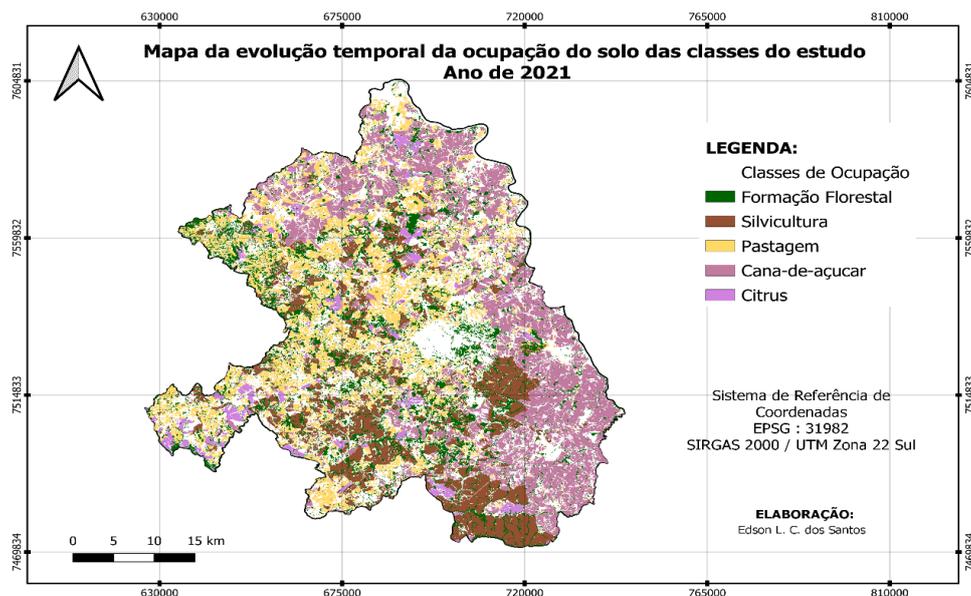
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 5 - Mapa da evolução temporal da ocupação do solo das classes do estudo, para o ano de 2015.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 6 - Mapa da evolução temporal da ocupação do solo das classes do estudo, para o ano de 2021.



Fonte: Autoria própria (2023).

A tabela 1 mostra os resultados encontrados da classificação das imagens para as diferentes classes de ocupação do solo e sua representatividade em relação ao percentual da área total, para cada ano de estudo.

Tabela 1 - Resultados obtidos na classificação das imagens para as classes de ocupação do solo em relação ao percentual da área total.

Classes	2001	2008	2015	2021
Formação Florestal	13,35	14,80	16,66	19,30
Silvicultura	9,47	12,38	16,95	20,64
Pastagem	61,80	48,63	31,71	24,99
Cana	15,08	23,29	30,98	30,74
citrus	0,30	0,90	3,70	4,33

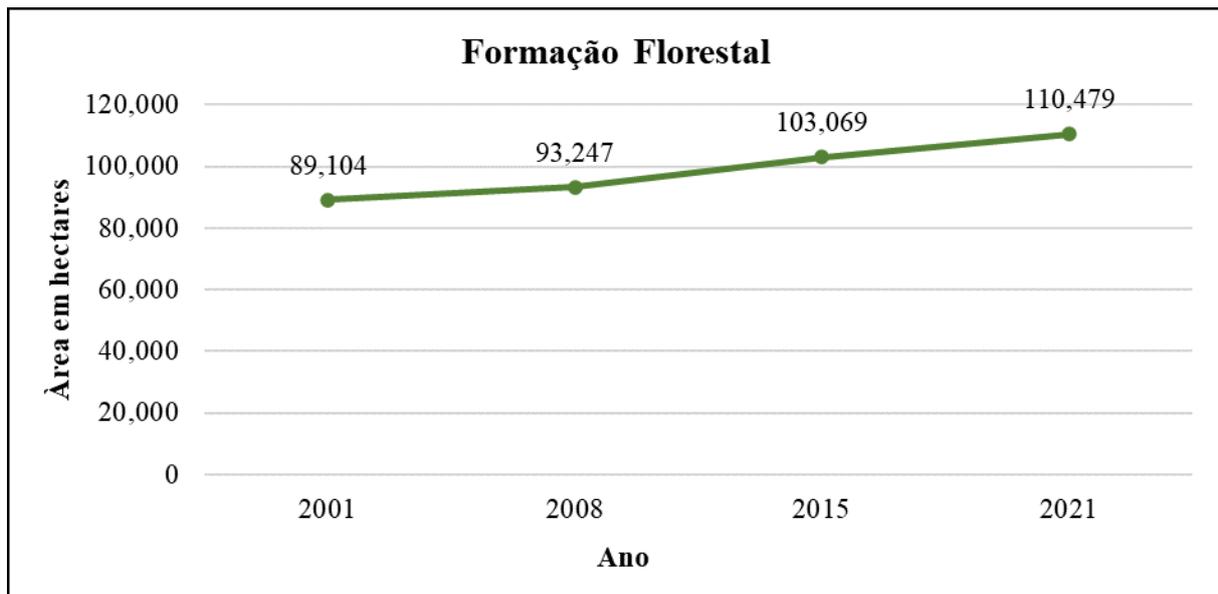
Fonte: Autoria própria (2023).

3.1. Formação Florestal

Para as classes Formação Florestal, observou-se no gráfico 1, os seguintes resultados: no ano de 2001 existia uma área de 89.104 ha, onde ocupava 13,35%, para o ano de 2008 uma área de 93.247 ha, havendo um incremento de 4,65%, o total de área com relação às demais ocupações sendo de 14,80%. Para o ano de 2015 uma área de 103.069 ha, uma adição de 10,53% em 7 anos, sendo 16,66% da área ocupada. Para o ano de 2021 existia uma área de 110.179 ha, um acréscimo de 7,19% e sua área era de 19,30% para análise dos 7 anos. Quando analisados a ocupação Florestal entre 2001 e 2021, obteve um aumento aproximadamente de 21.375 ha ou 24,00%.

No gráfico 1 podemos ver a evolução da Formação Florestal: Uma Análise de 2001 a 2021. Desde 2001 até 2021, é notável o crescimento das áreas cobertas por florestas, revelando uma tendência de aumento constante.

Gráfico 1 - Resultados de áreas em hectares da Formação Florestal obtidos na classificação das imagens (2001-2021).



Fonte: Autoria própria (2023).

A baixa disponibilidade de dados em trabalhos sobre a Formação Florestal da região imediata de Bauru, dificultam a comparação e mensuração dos dados obtidos com a realidade atual. Podemos afirmar que analisando os resultados dos anos 2001 a 2008 quando a formação florestal cresceu somente 4,65% e 2008 a 2015, um aumento de 10,53%, ou seja, mais da metade do total de área, isso tem relação com o novo código florestal.

De acordo com a Lei 12.651, de 25 de maio de 2012, as florestas existentes no território nacional e as demais formas de vegetação nativa, reconhecidas de utilidade às terras que revestem, são bens de interesse comum a todos os habitantes do País e que na utilização e exploração da vegetação de forma irregular, aplica se a lei e multa. (BRASIL, 2012). A nova legislação buscou traçar novos horizontes para a utilização e preservação do meio ambiente, com isso conseguiu determinar as áreas de reserva legal e a sua porcentagem de ocupação, que poderia ser destinada à proteção ambiental (JÚNIOR et al., 2017).

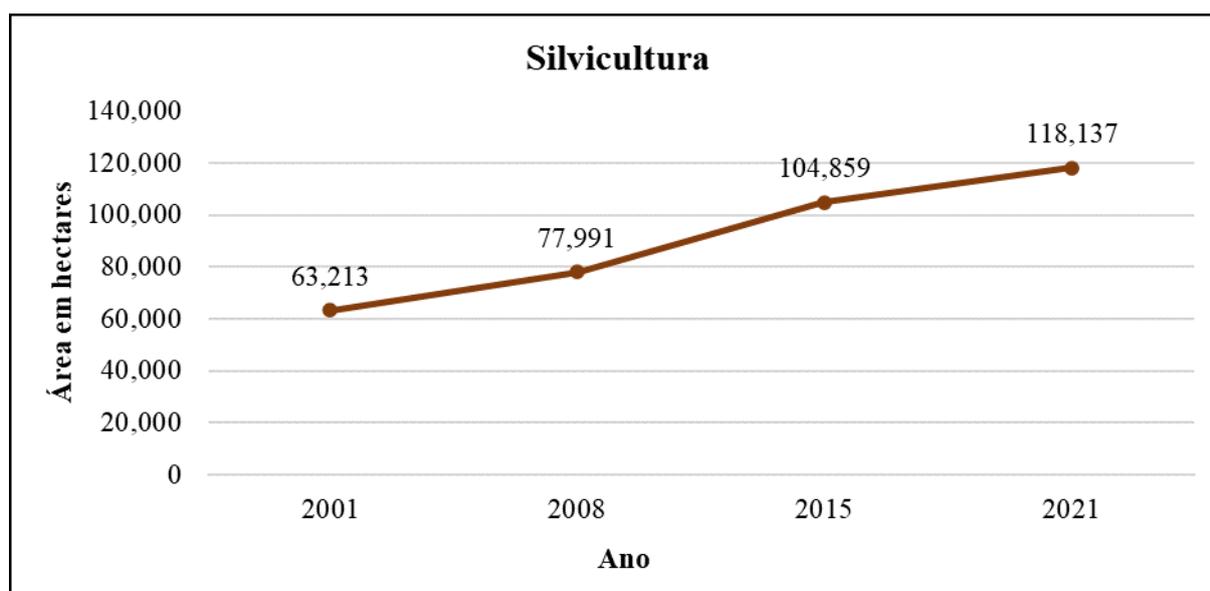
3.2. Silvicultura

Para áreas ocupadas de Silvicultura em 2001, observou-se uma área no gráfico 2, de 63.213 ha, sendo sua ocupação de 9,47%. No ano de 2008 obteve 77.991 ha, um incremento com relação a 2001 de 23,38%, sendo sua ocupação de 12,38%. Para o ano de 2015 uma área de 104.859 ha, e sua ocupação de 16,95%, adicionando 34,45%. Já para o ano de 2021, a área ocupada de Silvicultura era 118.137 ha, sendo sua ocupação de 20,64%, onde o acréscimo foi

de 12,66% com relação aos 7 anos antecedentes analisados. Quando analisados o cenário de 2001 a 2021 a Silvicultura teve um aumento significativo na sua ocupação de 86,89%.

No gráfico 2, podemos observar a evolução da Silvicultura: Uma Análise de 2001 a 2021. Ao longo desse período, é notável o crescente e constante aumento das áreas cobertas por florestas de Silvicultura. Os dados revelam uma tendência de expansão contínua, sinalizando um progresso significativo ao longo dos anos.

Gráfico 2 - Resultados de áreas em hectares da Silvicultura obtidos na classificação das imagens (2001-2021).



Fonte: Autoria própria (2023).

A silvicultura no Brasil vem em crescimento os vários anos, segundo dados do (IBGE, 2022c) a silvicultura se manteve em crescimento com 26,1% em 2021, e que o valor da produção em todos os grupos da silvicultura acentuou na madeira em tora, aumento de 26,3%. Outro fator de relevância para o estudo, se dá que em 2018 na área de estudo, já existia uma empresa do setor de silvicultura, e passou por uma nova gestão, sendo adquirida pelo grupo RGE da Indonésia. Segundo Bracell (2018) o grupo asiático chega à indústria Brasileira de celulose, assumindo 100% a produção de celulose de eucalipto do grupo paulista Lwart e Lwarcel, e passando a se chamar Bracell. Este grupo possui 52 mil hectares de áreas plantadas, e em nota a empresa diz que “aquisição da Lwarcel está em linha com a estratégia de ampliar sua capacidade global de celulose, em busca de vantagens competitivas”.

Principal insumo da Bracell, o eucalipto plantado na região de Bauru e Lençóis Paulista é a matéria-prima da celulose, produzida pela empresa em larga escala e voltada para a exportação. A competitividade do setor de exportação de madeira do Brasil, especialmente nos setores de polpa química de madeira e madeira serrada de coníferas, tem sido objeto de análise (SILVA e MACIEL, 2022). Entre fevereiro de 2020 e maio de 2021, cerca de 100.000 toneladas

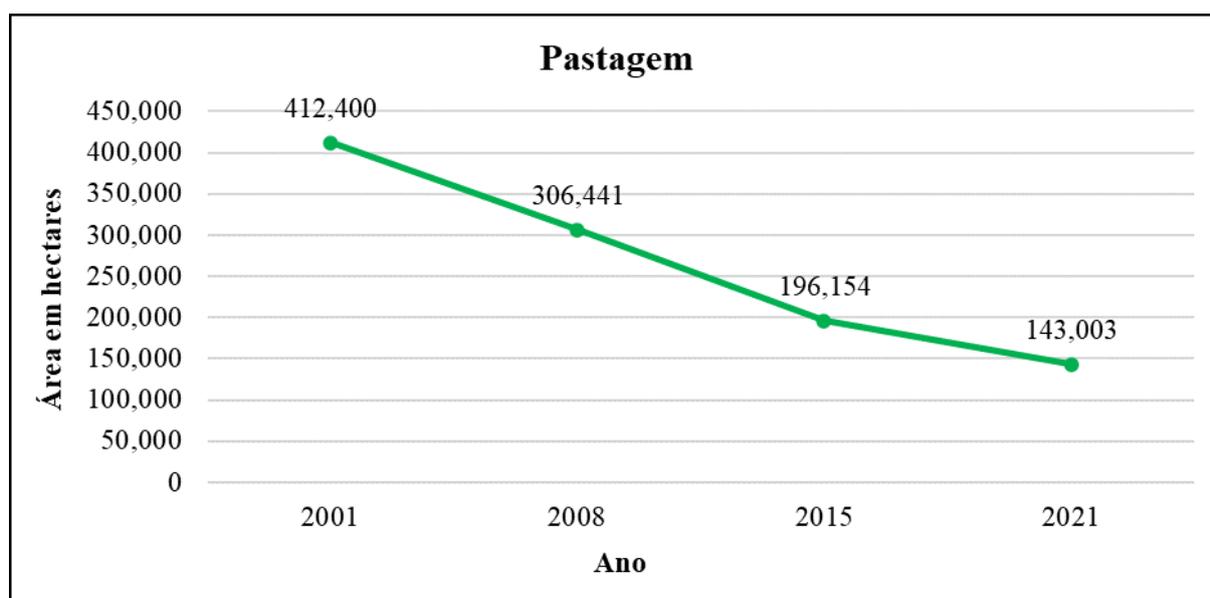
métricas de madeira foram exportadas do Brasil para os Estados Unidos, França, Japão, Alemanha e Bélgica (BARROS, 2022). O que se retira do trabalho, analisando o período de 2015 a 2021, a silvicultura teve incremento de somente 12,66% e 13.278 hectares, acreditando que em novos estudos após 2021, esse número irá se mostrar em crescimento, já que a nova empresa foi adquirida próximo ao período de análise deste estudo.

3.3. Pastagem

Os resultados encontrados para a classe de pastagem nos anos analisados, foi: em 2001 a área ocupada por pastagem era de 412.400 ha, sua ocupação era 61,80%, sendo assim a principal ocupação. Em 2008 uma área de 306.441 ha, havendo uma redução de 25,69%, e sua área ocupada de 48,63%. Já no ano de 2015 a pastagem ainda continuou queda, com 196.154 ha de área e 31,71% da ocupação, mas a diminuição da área continuou sendo 35,99%. No ano de 2021 a pastagem obteve 143.003 há, uma redução de 27,10% e sua ocupação era aproximadamente 25%. Quando analisados entre 2001 e 2015 a Pastagem era a principal ocupação, mas em 2021 ela passou para segunda posição em quantidade de área para a Cana de açúcar.

No gráfico 3, podemos analisar a evolução das Pastagens na série temporal entre 2001 a 2021. Ao longo desse período, chama a atenção a diminuição significativa das áreas de pastagem. Os dados revelam uma tendência mais marcante de redução contínua.

Gráfico 3 - Resultados de áreas em hectares das Pastagens obtidos na classificação das imagens (2001-2021).



Fonte: Autoria própria (2023).

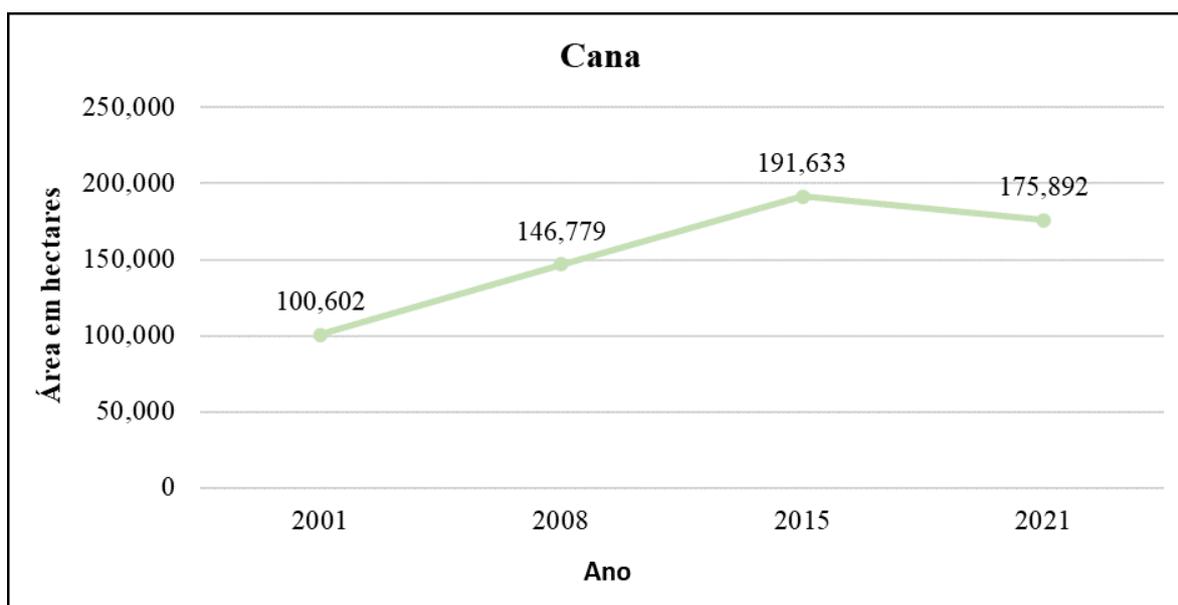
A pastagem é uma das culturas que ocupam a maior parte das áreas agropecuária do Brasil, mais sua redução não se deu somente na área estudada, onde de 2001 a 2021 perdeu aproximadamente 65% da ocupação, onde de 2001 a 2015 a Pastagem era cultura predominante e somente em 2021 deixou de ser, passando então para a Cana, com uma leve alteração. A intensificação da produção pecuária no Brasil, aliada a concomitante substituição de área de pastagem por culturas agrícolas explica a redução da área total de pastagem (LANDAU et al., 2018). Segundo Ângelo e Ghobril (2017), obterão resultados quando comparados a pastagem no estado de São Paulo de 1990 a 2015, que a partir de 2005 os números mostram redução significativa de área, passando de 50% para 33% da área rural do estado em 2015 e a redução se deu a partir do ano 2000 com entrada dos carros biocombustíveis, acontecendo investimento no setor sucroalcooleiro e a expansão da atividade. Analisando os resultados da Tabela 5, de 2015 a 2021 onde a porcentagem da área diminuiu com relação a 2008 e 2015, isso se deu que após 2017 as usinas de Cana, foram proibidas de realizar a queima de cana, com isso passaram a investirem e máquinas para a realização da colheita, e as declividades acima de 6 e 8%, se torna inviável a realização da colheita, com isso, as usinas não renovaram seus contratos, levando alguns produtores retornar com a criação do gado e outros viram a Silvicultura como forma de saída.

3.4. Cana de açúcar

No ano de 2001 a cana de açúcar ocupou 100.602 ha, sendo 15,08% da ocupação. No ano de 2008 quando comparado com o ano de 2001, pode se afirmar que a cana apresentou incremento de 45,90% e contendo 23,29% da ocupação. Em 2015 os resultados mostram 191.633 ha, sua ocupação de 30,98% e acréscimo de 30,46% quando comparado com 2008. Em 2021 a Cana passou a ser a classe predominante com 175.892 ha, 30,74% da área total, mesmo sendo predominante obteve redução de 8,22% da área, quando comparados entre 2015 a 2021, analisando entre 2001 a 2021 a Cana teve um aumento de 74,84% sendo a principal classe de ocupação.

Como se observa no gráfico 4, entre 2001 a 2015, observa-se um aumento significativo na produção de cana de açúcar. No entanto, como em qualquer caminho, houve momentos de desafios. Desde então, a produção de cana apresentou uma queda gradual a partir de 2015 até 2021, trazendo consigo um senso de resiliência e a necessidade de adaptação.

Gráfico 4 - Resultados de áreas em hectares da cana de açúcar obtidos na classificação das imagens (2001-2021).



Fonte: Autoria própria (2023).

Os resultados obtidos mostram consonância com a realidade do estado de São Paulo, onde o desenvolvimento do setor veio com a implantação do programa Nacional Proálcool, criado em 1975 em relação ao alto valor do petróleo (BARBOSA et al., 2022). O estado de São Paulo apresenta 55% da área no Brasil ocupada com cana de açúcar, sendo que com a adoção de novas tecnologias e o aumento no uso de máquinas modernas, atualmente as usinas conseguem reduzir custos para se manterem de forma eficiente no mercado. Outro ponto é o crescimento da indústria automobilística no país, e a diversificação do combustível, o chamado carro Flex-fuel (etanol e gasolina).

Benvenuti et al. (2023), examinaram a evolução da tecnologia de combustível para veículos de passeio no Brasil e os papéis de vários atores na condução das transições de sustentabilidade. Eles identificaram três fases principais no desenvolvimento da tecnologia de combustível do Brasil: o surgimento do etanol como uma alternativa viável na década de 1970, a consolidação do setor de etanol na década de 1980 e a diversificação das fontes de combustível nas décadas de 1990 e 2000. Por outro lado, segundo Araújo e Araújo Sobrinho (2020), analisando o período de 2017 a 2019, identificaram grande diminuição da produção de etanol, caracterizado ainda pelo período em que o Brasil perdeu a posição de maior produtor mundial de cana de açúcar para a Índia. Isso causou uma redução de área cultivada no Brasil e a produção daquela cultura em virtude de crises hídricas. Assim, analisando os resultados de 2015 a 2021, a região de Bauru/SP apresentou uma redução de 8,22% do total da área, isso se deve ao fato, da alteração de uso de terras com declividades elevadas e que dificulta a colheita

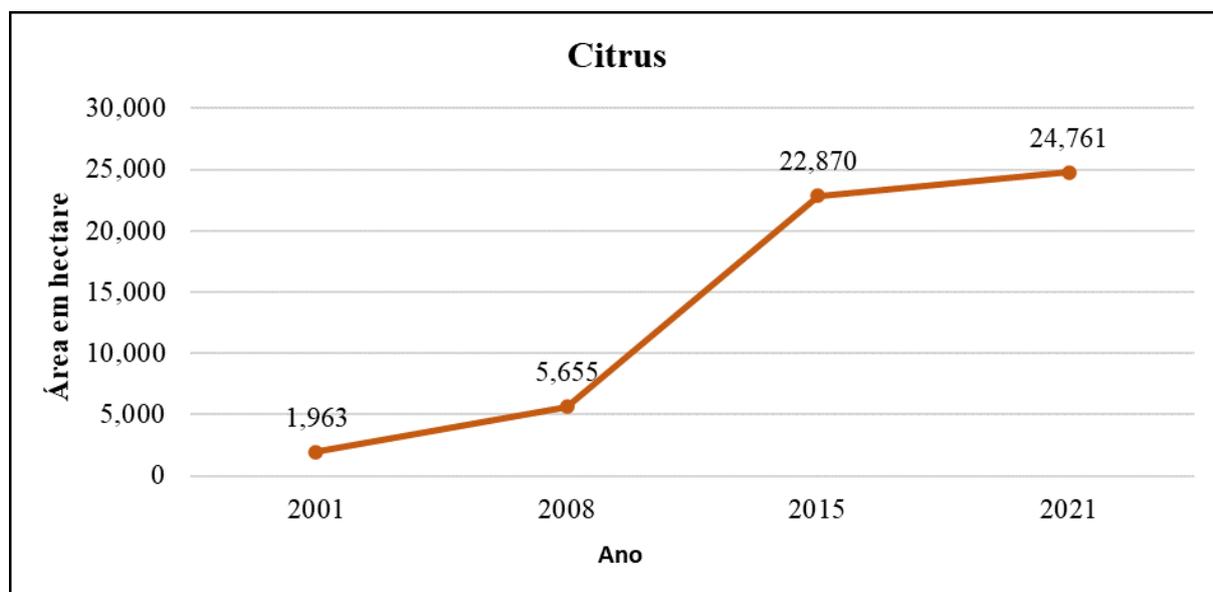
mecanizada. Outro fator relevante para a diminuição de áreas é o clima mais restritivo nos últimos anos, relativo às anomalias na deficiência hídrica (CRUZ e MACHADO, 2023).

3.5. Citrus

No ano de 2001 a classe de *citrus* apresentou 1.963 ha, e 0,30% da ocupação, sendo a menor classe analisada. Em 2008 comparado com 2001, apresentou 188% de crescimento de área, passando a 5.655 ha e 0,90% de ocupação. Para o ano de 2015 comparado com 2008, também se manteve em forte crescimento, chegando a 22.870 ha, incremento de 304,42% e 3,70% da área ocupada. Em 2021 o *citrus* chegou a 24.761 ha e 4,33% da área ocupada, com aumento de 8,27%. O *citrus* mesmo com elevado aumento de área entre os anos 2001 a 2015, ainda foi a menor classe de ocupação do estudo.

Na análise do gráfico 5, é evidente um notável crescimento na cultura do *citrus* no período estudado. Desde então, a produção de citros tem continuado a expandir, registrando um aumento significativo de 2001 a 2021. É importante ressaltar que entre os anos de 2008 a 2015, esse aumento foi especialmente expressivo.

Gráfico 5 - Resultados de áreas em hectares do *citrus* obtidos na classificação das imagens (2001-2021).



Fonte: Autoria própria (2023).

Analisando os resultados apesar de não ser muito expressiva a quantidade de hectares com relação às demais culturas, o *citrus* obteve expressivo crescimento entre 2001 a 2008, chegando a 188,08% de 2008 a 2015 atingindo 304,42% uma alta muito significativa. Isso se dá a novas tecnologias e novas variedades e acreditamos que esse número teve um leve crescimento devido à falta de áreas para sua expansão, chegando somente a 8,27% entre 2015

a 2021, não somente o citrus mais as demais culturas também nesse mesmo período. A proporção de áreas foi menor, segundo dados do IBGE (2022b), o estado de São Paulo segue sendo o maior produtor, contribuindo com quase 80% da produção do país. Carvalho et al. (2019) consideram que as limitações de ordem técnica do agronegócio dos citros, principalmente as ameaças fitossanitárias, os avanços no sistema de produção de mudas e de material básico de citros nas duas últimas décadas foram essenciais para garantir a competitividade e eficiência da citricultura brasileira. Outro fator que contribuiu para expansão da citricultura na região de estudo, se dá a proximidade com a indústria Cutrale, empresa de beneficiamento do *citrus* localizada em Araraquara-SP e com a Citrosuco, em Matão-SP, onde a produção e a comercialização se tornam viáveis.

4. CONCLUSÃO

O geoprocessamento com auxílio do sensoriamento remoto e as técnicas de processamento de imagem sempre são eficazes para a construção dos mapas temáticos. Após os resultados obtidos das imagens e tabelas, foi possível estimar a evolução ou diminuição das mudanças da ocupação do solo, tais como; Formação Florestal e Lavouras Permanentes e Temporárias da região estudada.

A região estudada passou por transformações significativas de 2001 a 2021. Essas mudanças na paisagem podem refletir diversos fatores, como o desenvolvimento urbano, a influência das diferentes culturas presentes na região, expansão das empresas do setor sucroenergético e silvicultura, fatores climáticos e até mesmo com os avanços tecnológicos. As seguintes maiores mudanças são destacadas: 86,9% para a expansão da silvicultura e o crescimento de praticamente incremento de 12 vezes no setor de citricultura para o período de 2001 a 2021. A cana de açúcar apresentou um crescimento de cerca de 90% de 2001 a 2015, após, houve ligeiro decréscimo. Em última análise, não menos importante, as formações florestais cresceram cerca de 23% no período analisado.

O estudo contribuiu para uma melhor compreensão das relações entre as mudanças na paisagem, tendências na economia e os fatores que as influenciam. Além disso, esse estudo pode ser utilizado como base para futuras análises e planejamento de políticas públicas voltadas para o desenvolvimento sustentável da região de Bauru/SP.

REFERÊNCIAS

- ÂNGELO; J. A.; GHOBIL; C. N. **Estudos Sobre a Ocupação e Uso do Solo Agrícola no Estado de São Paulo, Período de 1990 a 2015**. Análises e Indicadores do Agronegócio, ISSN 1980 0711, v. 12, n. 6, junho 2017.
- ARAÚJO, D. F. C.; ARAÚJO SOBRINHO, F. L. A cultura agrícola da cana-de-açúcar no Brasil: contribuição ao estudo dos territórios rurais e suas contradições e conflitos. **Geopauta**, v. 4, n. 1, pp. 162-183, 2020. DOI: <https://doi.org/10.22481/rg.v4i1.6303>
- BARBOSA, P. I.; SZKLO, A.; GURGEL, A. Sugarcane ethanol companies in Brazil: Growth challenges and strategy perspectives using Delphi and SWOT-AHP methods. **Biomass and Bioenergy**. 2022 Mar 1;158:106368.
- BARROS, C. **Brazil: timber export boom under Bolsonaro**. Disponível em: <https://lab.org.uk/brazil-timber-export-boom-under-bolsonaro/>. Acesso em: setembro 2023.
- BASEI, A. F.; BONES, F. J. **Geoprocessamento para análise de ocupação do solo agrícola em série temporais para o município de Guaraciaba-Santa Catarina**. São Miguel do Oeste-SC, IFSC, 2020.
- BENVENUTTI, L. M.; CAMPOS, L. M. S.; VAZQUEZ-BRUST, D.; LISTON-HEYES, C. The changing roles of actors in 'fortuitous' sustainability transitions: An analysis of Brazil's passenger vehicles fuel technology from 1970 to 2020. **Technological Forecasting and Social Change**. 2023 Jul 1;192:122584.
- BRACELL. **Nova empresa do setor de celulose no Brasil**. 2018. Disponível em: <https://www.bracell.com/institucional/sobre-nos/>. Acesso em: setembro 2023.
- BRASIL. Lei 12.651 de 25 de maio de 2012: **Novo Código Florestal Brasileiro**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acesso em: setembro 2023.
- BRASIL DE FATO. **República do Eucalipto: a Bracell e o agronegócio nas terras do centro-oeste paulista**, publicado em 24 de dezembro de 2020. Disponível em: <https://www.brasildefato.com.br/2020/12/24/republica-do-eucalipto-a-bracell-e-o-agronegocio-nas-terras-do-centro-oeste-paulista>. Acesso em: março 2023.
- CARVALHO, S. A.; GIRARDI, E. A.; MOURÃO FILHO, F. D.; FERRAREZI, R. S.; COLETTA FILHO, H. D. Advances in citrus propagation in Brazil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 41:e-422, 2019.
- CIDADE-BRASIL. **Microrregião de Bauru**, 2023. Disponível em: <https://www.cidade-brasil.com.br/microrregiao-de-bauru.html>. Acesso em: março 2023.
- CRUZ, T. V.; MACHADO, R. L. Measuring climate change's impact on different sugarcane varieties production in the South of Goiás. **Scientific Reports (Nature)**, 13, 11637 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-36582-7>

DRONESHOW – **Estudo revela novo perfil da agricultura no estado de São Paulo**. 2018. Disponível em: <https://droneshowla.com/estudo-revela-novo-perfil-da-agricultura-no-estado-de-sao-paulo/>. Acesso em: março 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico de 2010**. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: maio de 2023.

_____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malha Municipal**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/todos-os-produtos-geociencias/15774-malhas.html>. Acesso em: novembro de 2022 (a).

_____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola - Lavoura Permanente**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/15/11863?localidade1=35>. Acesso em: novembro de 2022 (b).

_____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **PEVS - Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/todos-os-produtos-estatisticas/9105-producao-da-extracao-vegetal-e-da-silvicultural>. Acesso em: novembro de 2022 (c).

JÚNIOR, J. P. S.; APARECIDA, R.; ASSIS, R. B.; SANTOS, C. C. J. **O novo Código Florestal Brasileiro e suas alterações**. Publicado em: junho de 2017, disponível em: <https://jus.com.br/artigos/58372/o-novo-codigo-florestal-brasileiro-e-suas-alteracoes>. Acesso em março 2023.

LANDAU, E. C.; SILVA, G. A.; MOURA, L.; HIRSCH, A.; GUIMARÃES, D. P. (Ed.). **Dinâmica da produção agropecuária e da paisagem natural no Brasil nas últimas décadas: produtos de origem animal e da silvicultura**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. v. 3, cap. 46, p. 1555-1578.

MAPBIOMAS. Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil, 2023. **Mapa das coleções: coleção 7**. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: maio de 2023.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (org.). **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília: Unb Cnpq, 2012.

SANTOS, H. F.; CASTILLO, R. Vulnerabilidade territorial do agronegócio globalizado no Brasil: **crise do setor sucroenergético e implicações locais**. GEOUSP Espaço e Tempo (Online), v. 24, n. 3, p. 508-532, 2020.

SETOR FLORESTAL. **Valor da produção florestal atinge o recorde de R\$ 30,1 bilhões em 2021**, publicado em 29/09/2022 e atualizado em 31/10/2022, disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/meio-ambiente-e-clima/2022/09/valor-da-producao-florestal-atinge-o-recorde-de-r-30-1-bilhoes-em-2021>. Acesso em: março 2023.

SILVA J. C.; MACIEL, A. S. International trade standards and competitiveness of the chemical wood pulp and conifer sawn wood sectors do Brazil and Chile front of major world exporters. **Forest Policy and Economics**. 2022 Apr 1;137:102706.

VALOR ECONÔMICO-GLOBO. **Dono da indonésia April compra Lwarcel**. Publicado em 24 maio de 2018, disponível em: <https://valor.globo.com/empresas/noticia/2018/05/24/dono-da-indonesia-april-compra-lwarcel.ghtml>. Acesso em: março 2023.

SOUZA JUNIOR, C. **MapBiomass General "Handbook"**. 1. ed. [S.l.]: [s.n.], 2017. Disponível em: <http://amazonaws.com/mapbiomasecstage/Base+de+dados/Metodologia/ATBD+MapBiomass+Geral+2017-03-22.pdf>. Acesso em: março 2023.

CAPÍTULO VI

USO DE FERRAMENTAS DE GEOPROCESSAMENTO NA SELEÇÃO DE ÁREAS ADEQUADAS PARA A INSTALAÇÃO DE UM ATERRO SANITÁRIO CONSORCIADO NOS MUNICÍPIOS DE BAMBUÍ, MEDEIROS E IBIÁ NO ESTADO DE MINAS GERAIS.

USE OF GEOPROCESSING TOOLS IN THE SELECTION OF SUITABLE AREAS FOR THE INSTALLATION OF A CONSORTIATED LANDFILL IN THE MUNICIPALITIES OF BAMBUÍ, MEDEIROS AND IBIÁ IN THE STATE OF MINAS GERAIS.

DOI: 10.51859/amplla.aca638.1323-6

Lucas de Oliveira Vicente ¹
Joyce Silvestre de Sousa ²
Daniel Pena Pereira ²

¹ Estudante do Curso de Pós-Graduação lato sensu em Geoprocessamento, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro – campus Uberaba.

² Professor(a) do Programa de Pós-Graduação lato sensu na área Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro – campus Uberaba.

RESUMO

O grande desenvolvimento dos centros urbanos, somado ao crescimento exponencial da população humana e seus hábitos de consumo exagerados, resulta em um aumento significativo na geração de resíduos sólidos. Atualmente, muitos municípios enfrentam um problema em comum, a falta de um sistema adequado de coleta, tratamento e disposição final dos seus resíduos sólidos. O trabalho tem como objetivo identificar as áreas potenciais para a implantação de um aterro sanitário consorciado para os municípios de Bambuí-MG, Medeiros-MG e Ibiá-MG. Como metodologia utilizou-se a Analytic Hierarchy Process (AHP), adotando como critérios restritivos: declividade do terreno máxima de 30%, áreas a menos de 500 metros da infraestrutura urbana, áreas com distâncias inferiores a 100 metros de ferrovias e dutovias e áreas pertencentes a Unidades de Conservação Ambiental; e critérios não restritivos: distância da fonte geradora de Resíduos Sólidos Urbanos com o limite mínimo de 500 metros; distância das rodovias com mínimo de 200 metros; distância dos corpos hídricos; tipologia do solo e geologia e valor da terra nua. O mapa final de vulnerabilidade ambiental foi elaborado classificando os graus de riscos em: baixo risco, médio baixo risco, médio risco, médio alto risco e alto risco. O resultado destacou as áreas que oferecem o

menor risco ambiental, considerando os critérios adotados. As melhores áreas para locação do aterro sanitário são ao norte de Ibiá, abrangendo uma área de 5.515,83 hectares.

Palavras-chave: Resíduos sólidos; Aterro; QGIS; Easy AHP.

ABSTRACT

Due to the great development of urban centers, added to the exponential growth of the human population, it results in a significant increase in the generation of solid waste. Currently, many municipalities face a major problem in common, the lack of collection systems, treatment and final disposal of their solid waste correctly. The objective of this work is to identify potential areas for the implementation of a sanitary landfill in partnership with the municipalities of Bambuí-MG, Medeiros-MG and Ibiá-MG, using the Analytic Hierarchy Process (AHP) methodology. The following restrictive criteria were evaluated: maximum terrain slope of 30%, areas less than 500 meters from urban infrastructure, areas with distances of less than 100 meters from railways and pipelines and areas belonging to Environmental Conservation Units; and non-restrictive criteria: distance from the source generating Urban Solid Waste with a minimum limit

of 500 meters; distance from highways with a minimum of 200 meters; distance from water bodies; soil typology and geology and value of bare land. The final map of environmental vulnerability was prepared, classifying the degrees of risk into: low risk, medium low risk, medium risk, medium high risk and high risk. The result highlighted the areas

that offer the lowest environmental risk, considering the adopted criteria. The best areas for leasing the landfill are north of Ibiá, covering an area of 5.515,83 hectares.

Keywords: Solid waste; Landfill; QGIS; Easy AHP.

1. INTRODUÇÃO

Devido ao exacerbado aumento da geração de resíduos sólidos, ocasionado pelo aumento expressivo da população humana, do consumismo de produtos descartáveis ou com ciclos de vida menores, a questão do lixo urbano tornou-se um desafio ambiental contemporâneo, que exige atenção especial e a busca por soluções eficientes e ao mesmo tempo viáveis (NASCIMENTO NETO, 2013). Ter uma adequada disposição final dos resíduos sólidos de um município é de grande importância para a gestão ambiental, do saneamento e da saúde pública. Para se ter uma gestão eficiente, os resíduos devem ser gerenciados de forma integrada, começando por sua origem e seguindo até a sua disposição final, com medidas que incluem a minimização ou redução da quantidade gerada, a reciclagem e a reutilização.

Em termos de disposição final, a criação de aterros sanitários é uma solução ambientalmente correta, quando sua criação acontece a partir da seleção de áreas adequadas para a implantação. Essa seleção envolve inúmeros critérios que devem ser respeitados, tais como: características socioambientais, legislação vigente, a distância de núcleos urbanos, vias públicas e coleção hídrica, as propriedades do solo e o uso e cobertura da terra (ZUQUETTE, 2015).

Desenvolvida por Saaty na década de 1970, a ferramenta Analytic Hierarchy Process (AHP), é utilizada para calcular fatores de ponderação necessários com a ajuda de uma matriz, onde, todos os critérios relevantes são comparados entre si, para produzirem um fator final de preferência, sendo esse associado a um peso (BORN, 2013). Quando utilizada de forma correta, as ferramentas de geotecnologias, alinhadas com os estudos e processos ambientais permitem uma redução dos custos e maior agilidade no processo. Isso é possível pois, através da coleta, processamento e análise dos dados com referências geográficas, torna-se possível estudar o espaço e seus aspectos ambientais, sendo assim, o que a torna uma aliada no planejamento e gestão territorial de vários tipos de empreendimentos, dentre eles, o aterro sanitário (ZUQUETTE, 2015; REZAEISABZEVAR et al., 2020).

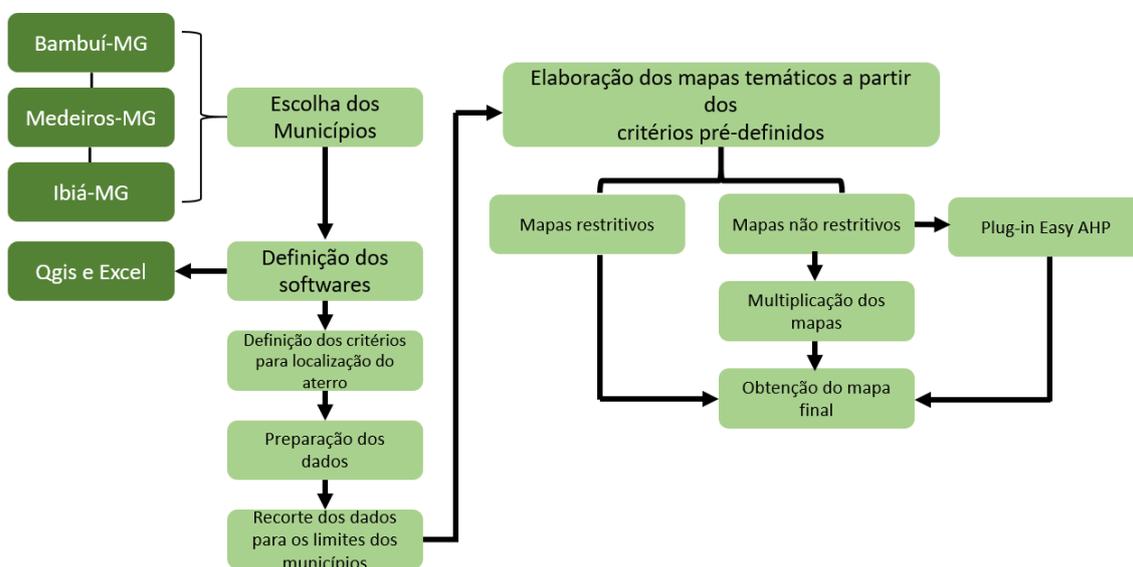
Em 07 de setembro de 1923 criou-se o Município de Ibiá. Situado na Região do Alto Paranaíba, Estado de Minas Gerais, possui as coordenadas geográficas: Latitude: 19° 28' 40" S, Longitude: 46° 32' 20" O. O Município de Ibiá apresenta-se em território montanhoso, numa altitude de 895,53m, ocupando uma área de 2.704.132 km² e com uma população de 24.946 habitantes, segundo dados do IBGE (IBGE,2010).

2.2. Aquisição e processamento dos dados

Para geração das áreas propícias, foi criado um banco de dados no software QGIS versão 3.26.3. Utilizou-se a análise multicritério para avaliar a aptidão do território em estudo, ou seja, para identificar a área ótima e disponível à localização do aterro sanitário. No QGIS, houve um cruzamento das informações de modo a analisar espacialmente os dados e o *Analytic Hierarchy Process (AHP)*, para definir os pesos de influência das variáveis. A metodologia utilizada permite a análise de critérios com diferentes grandezas e pode ser replicada para qualquer região onde haja disponibilidade de dados e informações (ANDRADE et al., 2015).

Com o intuito de apresentar uma melhor compreensão do passo a passo utilizado na metodologia do presente estudo, a Figura 2, ilustra o caminho realizado a fim de atingir o objetivo proposto.

Figura 2 – Fluxograma das etapas da pesquisa.



Fonte: Autores, 2023.

A partir da definição dos municípios a serem estudados, a fim de executar a proposta do mapeamento das áreas ambientalmente adequadas à implementação do aterro, optou-se pela definição do *software* QGIS em sua versão 3.26.3 como principal ferramenta deste estudo, uma vez, que esse software, é livre e de fácil acesso.

Dentre as legislações vigentes que abordam o presente tema, destacam-se: a NBR 8419 (1992), a Lei nº18.031 de 2009, a Lei nº12.305 de 2010, a Deliberação Normativa (DN) do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) nº 52 de 2001 e a DN COPAM nº 118 de 2008. O Quadro 1 apresenta de forma detalhada a abordagem de cada legislação.

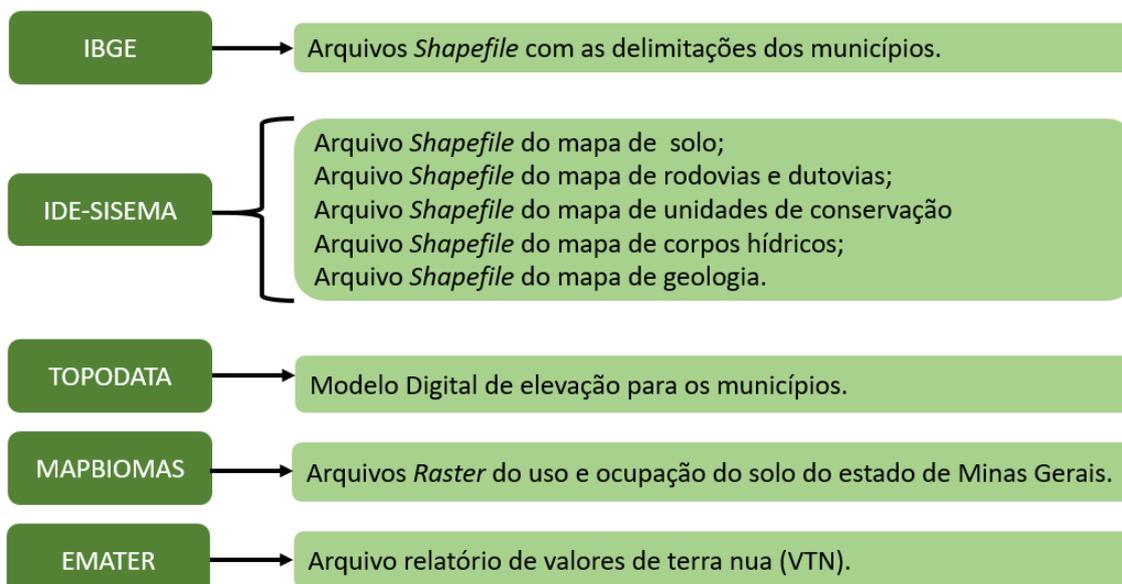
Quadro 1 - Critérios considerados para definição das áreas adequadas à implementação do aterro.

Critérios Restritivos	Critérios não restritivos
Terreno com declividade máxima de 30%; (DN COPAM nº 118/2008)	Distância dos corpos hídricos a partir do limite mínimo de 300 metros; (DN COPAM nº 118/2008)
Área situado a uma distância mínima de 500 metros de núcleos populacionais; (DN COPAM nº 118/2008)	Distância da fonte geradora de resíduos sólidos urbanos respeitando o limite mínimo de 500 metros; (OLIVEIRA NETO, 2011)
Área não situada em Unidades de Conservação e em manchas de Mata Atlântica; (DN COPAM nº 118/2008)	Distância das vias de acesso a partir do limite mínimo estabelecido de 200 metros; (DN COPAM nº 118/2008)
Área situada a uma distância mínima de 100 metros de ferrovias e dutovias. (DN COPAM nº 118/2008)	Permeabilidade dos solos; (FREIRE,2009)
Áreas situadas a uma distância de até 200m de cursos d'água; (DN COPAM nº 118/2008)	Geologia; (FREIRE,2009)
Áreas de Mata Nativa (MAPBIOMAS, 2023).	Valor monetário da terra (EMATER, 2023).

Fonte: Autores, 2023.

Na etapa seguinte, objetivando a preparação dos dados e coleta de informações, recorreu-se a acervos públicos para obtenção dos arquivos vetoriais (*shapefile*) e de imagens (*rasters*) necessários para caracterização da área em estudo a partir dos critérios previamente definidos, conforme apresenta a Figura 3.

Figura 3 - Acervos utilizados com os respectivos dados necessários às análises do mapeamento.



Fonte: Autores, 2023.

Foi realizada a classificação a partir dos parâmetros do MapBiomias (2021) utilizando o código de legenda coleção 7, seguindo-se com a reclassificação das classes visando enfatizar apenas as Infraestruturas Urbanas dos municípios supracitados.

Após realizar os ajustes necessários, juntamente com os arquivos recortados contemplando apenas as delimitações dos municípios de Bambuí, Medeiros e Ibiá, seguiu-se para a confecção dos mapas temáticos restritivos fazendo uso do comando *buffer*. Posteriormente, realizou a confecção dos mapas individuais não restritivos. A Tabela 1 apresenta as análises individuais dos diferentes critérios utilizados nos referidos mapas.

Tabela 1 - Relação entre critérios, classes e pesos para obtenção dos mapas não restritivos.

Critérios	Classes	Pesos
Distâncias dos corpos hídricos	Até 300 m	255
	300 m a 600 m	130
	600 m a 900 m	75
	900 m a 1.200 m	50
	1.200 m a 15.000 m	25
Distâncias de rodovias	Até 200 m	255
	200 m a 2.000 m	175
	2.000 m a 4.000 m	130
Distâncias da fonte geradora de RSU	4.000 m a 6.000 m	95
	6.000 m a 8.000 m	55
	Mais de 8.000 m	25
	Até 500 m	255
	500 m a 3.000 m	150
	3.000 m a 5.000 m	100

Critérios	Classes	Pesos
	5.000 m a 15.000 m	50
	15.000 m a 20.000 m	30
	Mais de 20.000 m	15
Tipos de solos	Argissolo vermelho	100
	Latossolo vermelho	130
	Cambissolo; Neossolo	255
Formação geológica	Sedimentar	255
	Metamórfica	170
	Ígnea	130
	Ígnea; Sedimentar	100
Valor da terra nua	Silvicultura	130
	Pastagem	150
	Lavoura	175
	Mata Nativa	255

Fonte: Autores, 2023.

Para essa finalidade, optou-se por trabalhar com diferentes classes e pesos (estes variando de 0 a 255, conforme escala RGB disponível no software QGIS) de modo a permitir adequada correlação entre os parâmetros. A Tabela 2 apresenta de forma detalhada a relação entre critérios, classes e pesos considerados neste estudo.

Tabela 2 - Matriz AHP 6×6.

Mapa Não Restritivos	Mapa não restritivo de corpos hídricos	Mapa não restritivo de geração de RSU	Mapa não restritivo de rodovias	Mapa não restritivo de solos	Mapa não restritivo de geologia	Mapa não restritivo de valor da terra nua
Mapa não restritivo de corpos hídricos	1					
Mapa não restritivo de geração de RSU		1				
Mapa não restritivo de rodovias			1			
Mapa não restritivo de solos				1		
Mapa não restritivo de geologia					1	
Mapa não restritivo de valor da terra nua						1

Fonte: Autores, 2023.

Os mapas foram divididos em mapas com critérios restritivos: declividade do terreno máxima de 30%, áreas a menos de 500 metros da infraestrutura urbana, áreas com distâncias inferiores a 100 metros de ferrovias e dutovias, e áreas pertencentes a Unidades de Conservação Ambiental. Já os critérios não restritivos foram: a distância da fonte geradora de Resíduos Sólidos Urbanos com o limite mínimo de 500 metros; distância das rodovias com

mínimo de 200 metros; distância dos corpos hídricos; tipologia do solo e geologia e valor da terra nua.

Seguindo a metodologia proposta por Saaty (1991), cada elemento ou fatos é comparado um contra o outro, ou de dois-a-dois, com base na importância que um fator tem sobre o outro. A Tabela 3 apresenta a escala de valores para a Matriz de Comparação.

Tabela 3 - Escala de valores para a Matriz de Comparação.

Intensidade de importância	Definição e Explicação
1	Importância igual – os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância moderada – um fator é ligeiramente mais importante que o outro.
5	Importância essencial – um fator é claramente mais importante que o outro.
7	Importância demonstrada – um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática.
9	Importância externa – a evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível.
2, 4, 6 e 8	Valores intermediários entre julgamentos – possibilidade de compromissos adicionais

Fonte: Adaptado de Saaty, 1991.

Com os valores da intensidade de valores adotados acima obteve-se um λ máximo de 4,098; um Índice de consistência (Ci) = 0,033; e a taxa de consistência (CR) = 0,037, valor menor ao indicado por Saaty (1991).

Para os critérios restritivos a atribuição de pesos no presente estudo, foi ponderado com as notas 0 e 1. As classes com nota 1 representam as áreas não restritivas e as classes com nota 0 representam as áreas restritas. Ou seja, para as áreas onde não é permitida a instalação de aterros sanitários atribuiu-se valores iguais a 0 e para as áreas onde é permitida a instalação de aterros sanitários atribuiu-se valores iguais a 1 (Tabela 4).

Tabela 4 – Pesos para os critérios restritivos.

Critérios	Classes	Pesos
Declividade	Acima de 30%	0
	Abaixo de 30%	1
Distância de núcleos populacionais	Abaixo de 500 metros	0
	Acima de 500 metros	1
Unidades de Conservação Ambiental	Dentro do perímetro	0
	Fora do perímetro	1

Critérios	Classes	Pesos
Distância de Ferrovia e Dutovias	Abaixo de 100 metros	0
	Acima de 100 metros	1
Mapa de águas	Áreas ocupadas por água	0
	Demais áreas	1

Fonte: Autor, 2023.

Após a definição das relações entre critérios, classes e pesos, pôde-se gerar os mapas individuais não restritivos fazendo uso das ferramentas “*buffer*”, “*multiple distance buffer*” e “*recortar*”.

Consequentemente, visando a obtenção das áreas ambientalmente adequadas à implantação do aterro e considerando as diferentes variáveis, neste estudo definidas a partir dos mapas restritivos e não restritivos; dentre os métodos existentes no ambiente das decisões multicritério optou-se pela utilização do Método de Análise Hierárquica conhecido *Analytic Hierarchy Process* (AHP).

Desde maneira, o método AHP se propõe a calcular a Razão de Consistência dos julgamentos, atestado por:

$$RC = IC - IR \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde IR é o Índice de Consistência Randômico obtido para uma matriz recíproca de ordem n , com elementos não-negativos e gerada randomicamente. O Índice de Consistência (IC) é dado por:

$$IC = (\lambda_{\text{máx}} - n) / (n - 1) \quad \text{(Equação 2)}$$

Em que $\lambda_{\text{máx}}$ é o maior autovalor da matriz de julgamentos. Em seguida, as comparações são convertidas em números para calcular os respectivos pesos durante a tomada de decisão. Segundo Saaty (2000) a condição de consistência dos julgamentos é $RC \leq 0,10$ (SAATY, 1991).

Posteriormente, utilizou-se do *plug in Easy AHP* incorporado ao *software QGIS* para a obtenção dos pesos referentes a cada uma das variáveis representadas pelos seis mapas não restritivos. Para tanto, utilizou-se da escala numérica estabelecida por Saaty (1991) para a elaboração da matriz de ordem seis, conforme apresenta a Tabela 2.

Apossado dos pesos das variáveis não restritivas, utilizou-se a Calculadora Raster no *software QGIS* para a multiplicação dos mapas não restritivos e seus respectivos pesos, com posterior multiplicação do resultado obtido da soma desta primeira operação com os mapas restritivos, conforme apresenta a Equação 3.

((Mapa não restritivo Corpos hídricos × Peso_CH) + (Mapa não restritivo de geração de RSU × P_RSU) + (Mapa não restritivo de Rodovias × Peso_Rod) + (Mapa não restritivo de solos × Peso_solos) + (Mapa não restritivo de geologia × Peso_geologia) + (Mapa não restritivo de valor da terra nua × Peso_VTN)) × Mapa restritivo de núcleos populacionais × Mapa restritivo de mata nativa × Mapa restritivo de dutovias × Mapa restritivo de declividade × Mapa restritivo de cursos d'água

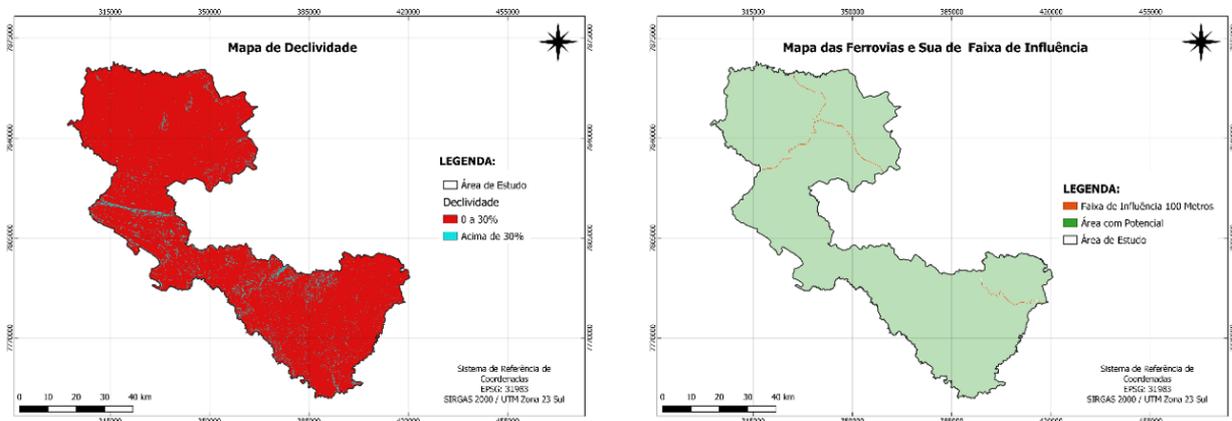
(Equação 3)

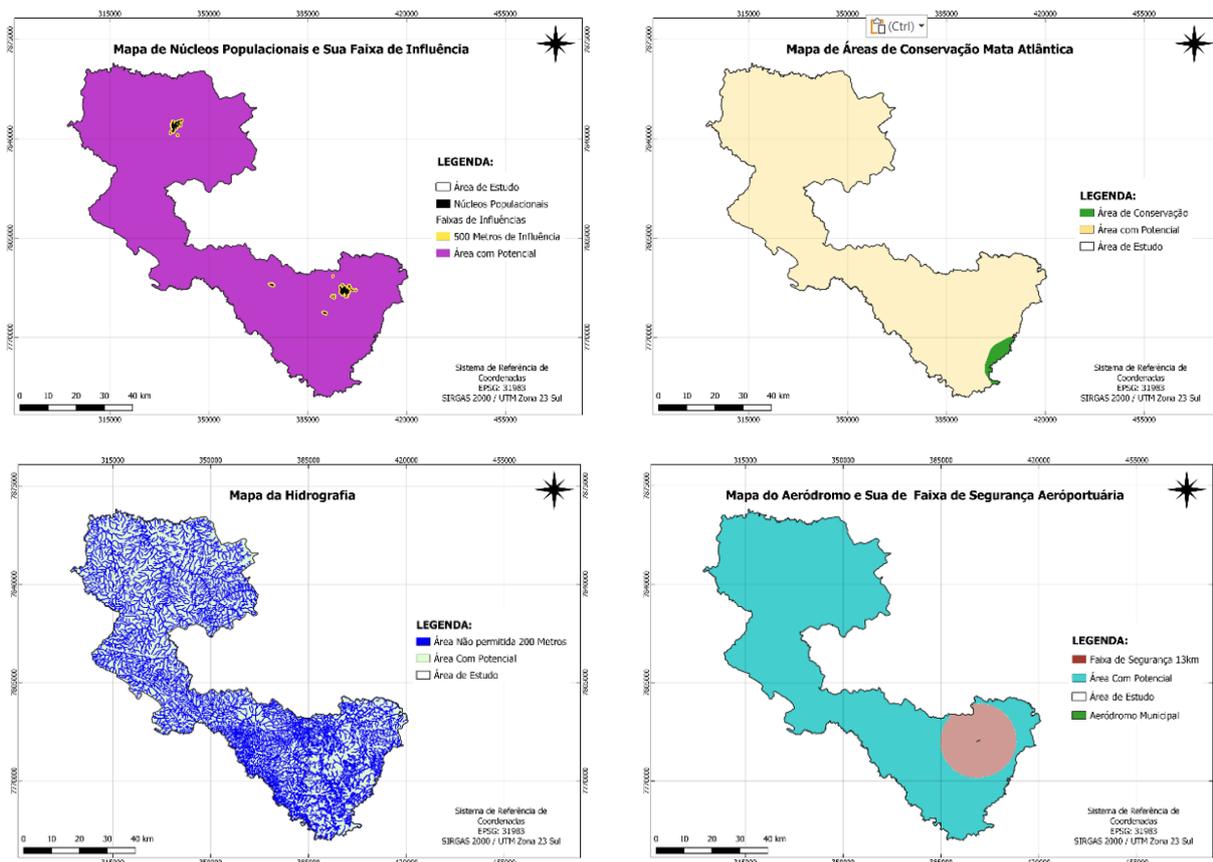
Ao concluir as operações na Calculadora Raster, pôde-se obter o mapa final com novas informações de áreas resultantes da combinação dos diferentes dados geográficos com a finalidade de indicar as áreas propícias à implantação do aterro sanitário nas áreas dos municípios em análise.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os primeiros resultados obtidos a partir das manipulações no software QGIS e em concordância com as premissas legais e normativas objetos de estudo desta pesquisa se referem às indicações das áreas consideradas restritas para a implantação do aterro sanitário para os municípios em questão (Figura 4).

Figura 4 - Análise individual dos critérios restritivos para posterior obtenção de áreas propícias à implementação de aterro sanitário.





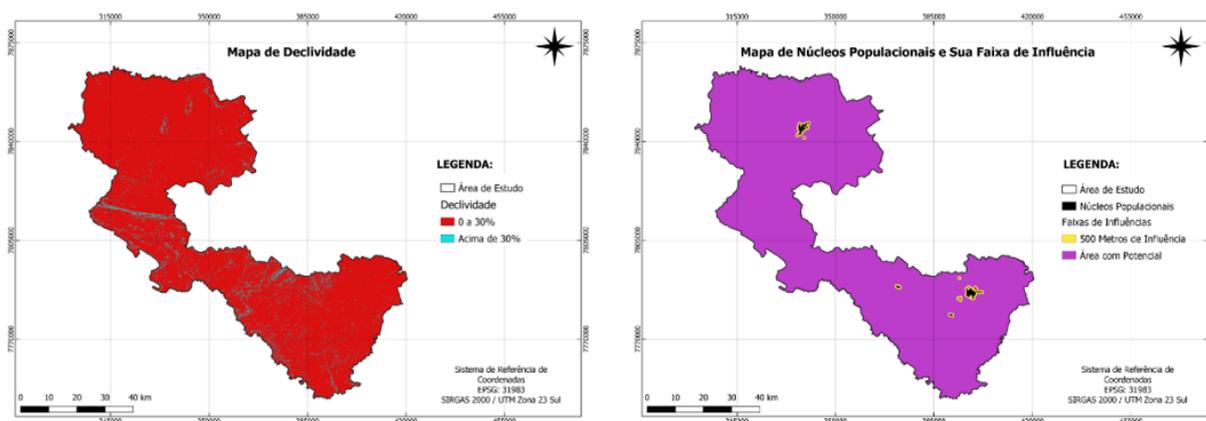
Fonte: Autores, 2023.

Uma ferramenta do sistema de informações geográficas foi utilizada por Colvero et al. (2018) para verificar a restrição de localização dos atuais aterros e lixões no estado de Goiás. Esta ferramenta cruzou morfologia, uso e ocupação do solo, conservação do meio ambiente, saúde pública e projeções populacionais para 2040 e indicou que, até 2040, Goiás terá 59.500 km² disponíveis para aterros sanitários, mas, por outro lado, 60% da área geográfica do estado estará fora dos limites para a construção de aterros sanitários. E como será visto adiante, isso é corroborado com o resultado de que cerca de 53% da área do presente estudo são restritas para a implantação de aterros.

Os municípios de Bambuí, Medeiros e Ibiá, não possuem um aterro sanitário controlado. A declividade dos municípios em questão, é plana, sendo poucas as áreas com declividades acentuadas maiores que 30%, critério utilizado conforme Deliberação Normativa do Conselho Estadual de Política Ambiental (DN COPAM) nº 118 de 2008. As áreas com as maiores declividades estão próximas aos cursos d'água. As altas declividades favorecem a instabilidades das encostas que potencializam eventos erosivos e dificulta a captação e o encaminhamento do chorume gerado pela decomposição da matéria orgânica além de possuir uma dificuldade operacional (Figura 5).

A DN COPAM nº118 de 2008 recomenda uma distância mínima de 500 metros dos núcleos populacionais. Os principais impactos ocasionados pelas proximidades entre os aterros sanitários e os núcleos urbanos são o mau cheiro, impacto visual negativo e atração de animais indesejados, tais como ratos e urubus. Na confecção do seguinte mapa foi utilizado a ferramenta buffer, com a distância de 500 metros a partir da área de infraestrutura urbana obtida por meio do *raster* baixado do projeto MapBiomias (Figura 5).

Figura 5 - Mapa da declividade dos municípios analisados e Distância da fonte geradora de resíduos sólidos urbanos.

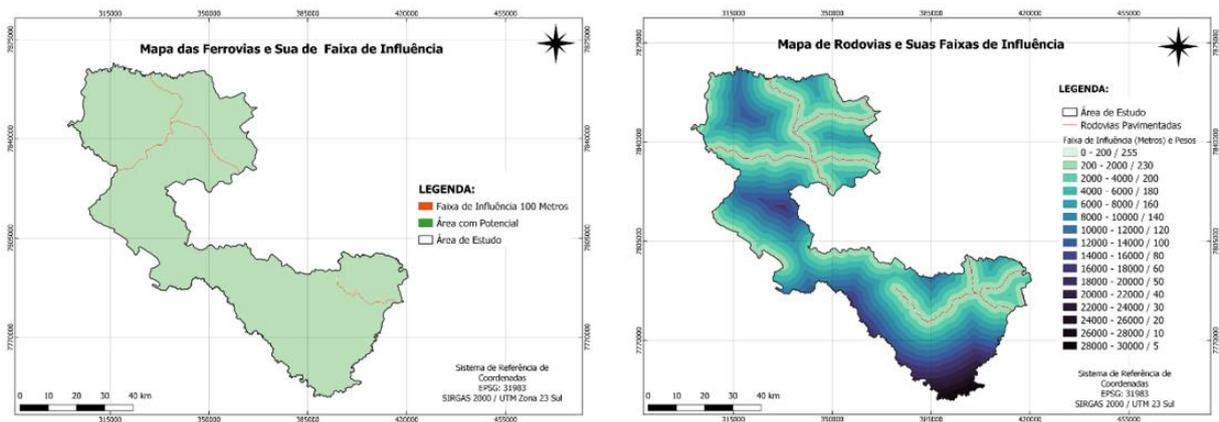


Fonte: Autores, 2023.

Através de uma análise criteriosa na plataforma do IDE-Sisema (2023) não foram encontradas Unidades de Conservação e nem dutovias no interior do perímetro dos municípios de Bambuí, Medeiros e Ibiá. Sendo assim, restou somente a confecção do mapa restritivo da distância da ferrovia. Para tal distância foi adotado o valor de 100 metros (Figura 6).

A infraestrutura de transporte, atribuída principalmente as rodovias, permite avaliar as áreas mais próximas das vias de acesso, tendo em vista, que um dos custos mais onerosos para a manutenção e operação do aterro sanitário é ocasionado pela logística. Existe a distância mínima de rodovias para a implantação de um aterro sanitário (100 metros), que objetiva preservar as áreas de transmissão do impacto visual provocado pelo aterro sanitário. Para a confecção do mapa foi utilizado o plugin “Multi Distance Buffer” (Figura 6).

Figura 6 - Mapas das ferrovias e suas faixas de influência e das distâncias, pesos e faixas de influência das rodovias.

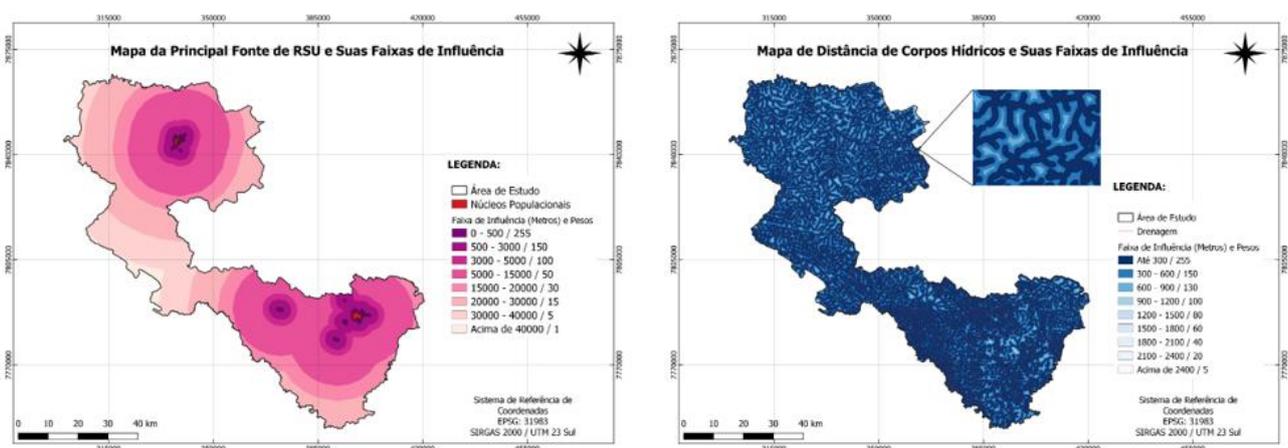


Fonte: Autores, 2023.

Conforme elucidado anteriormente, a logística da operação de um aterro, é um dos principais gastos, pois, locais muito distantes da fonte geradora de resíduos sólidos urbanos aumentam os custos de transporte, e em contrapartida, locais muito próximos causam insatisfação por parte da população. A Figura 07 ilustra a distância da fonte geradora de resíduos sólidos urbanos.

Segundo a DN COPAM nº118 de 2008 a distância mínima para qualquer corpo hídrico é de 300 metros. Isso faz com que um aterro sanitário, adote cuidados indispensáveis com a impermeabilização do solo e consequentemente do seu sistema de drenagem, com o intuito de evitar a contaminação dos recursos hídricos existentes no local. Sendo assim, é imprescindível a importância da localização do aterro sanitário perante os cursos d’água (Figura 7).

Figura 7 - Mapas da distância das fontes geradoras de resíduos sólidos urbanos e dos corpos hídricos.



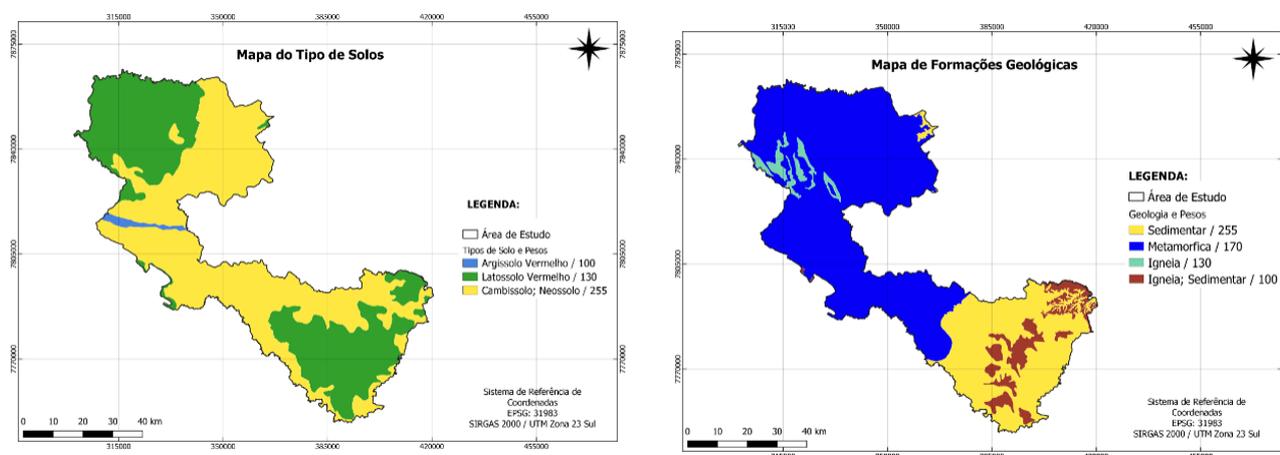
Fonte: Autores, 2023.

A permeabilidade do solo, é outro fator importantíssimo, que deve ser observado com cautela, durante a escolha da área de fixação de um aterro sanitário. De acordo com as diretrizes

DN COPAM nº118 de 2008, fica indicado que o aterro seja construído sob solos de baixa permeabilidade, pois isso, influencia diretamente na capacidade de depuração e na velocidade de infiltração. Além do mais, é obrigatório a aplicação de uma manta impermeável, porém a permeabilidade do solo é de grande importância para minimizar o impacto, caso haja um rompimento acidental e consequentemente a lixiviação do chorume.

A Figura 8 representa a reclassificação das classes de permeabilidade por meio da tipologia do solo da área. Nota-se uma maior dominância da tipologia Cambissolo; Neossolo, seguido da tipologia Latossolo Vermelho, sendo que a segunda tipologia, apresenta uma permeabilidade mais alta.

Figura 8 - Mapa da tipologia do solo e das formações geológicas.

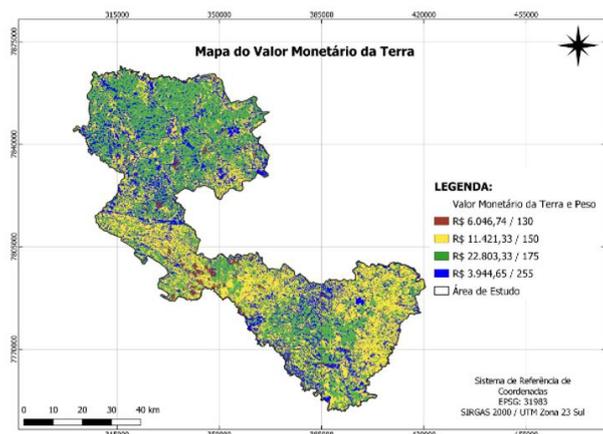


Fonte: Autores, 2023.

Do mesmo modo que o tipo de solo influencia diretamente a escolha da localização do aterro, o tipo de formação geológica também, pois ela pode potencializar o grau de risco de contaminação por meio da sua permeabilidade. As unidades geológicas presentes nos municípios em questão, foram: Sedimentar, com peso de 255; Metamórfica, com peso de 170; Ígnea, com peso de 130 e Ígnea/Sedimentar com peso de 100. A Figura 8 apresenta os pesos e as localidades das formações geológicas encontradas.

Através do portal da EMATER (2023), obteve-se os Valores da Terra Nua (VTN). Esses valores, são um informativo médio das terras nuas, essas informações são coletadas anualmente em cada município. O valor da terra pode influenciar a decisão da escolha da área final do aterro sanitário, sendo atribuídos maiores pesos para as áreas com maior valor e áreas de floresta nativa. A Figura 9 apresenta os valores e pesos adotados. Como ilustrado na figura abaixo, a cor marrom, representa as áreas de silvicultura; a cor amarela, representa as áreas de pastagem; a cor verde, representa as áreas de lavouras e a cor azul, representa as áreas preservadas, ambas com os respectivos pesos: 130, 150, 175 e 255.

Figura 9 - Valor monetário da Terra Nua.

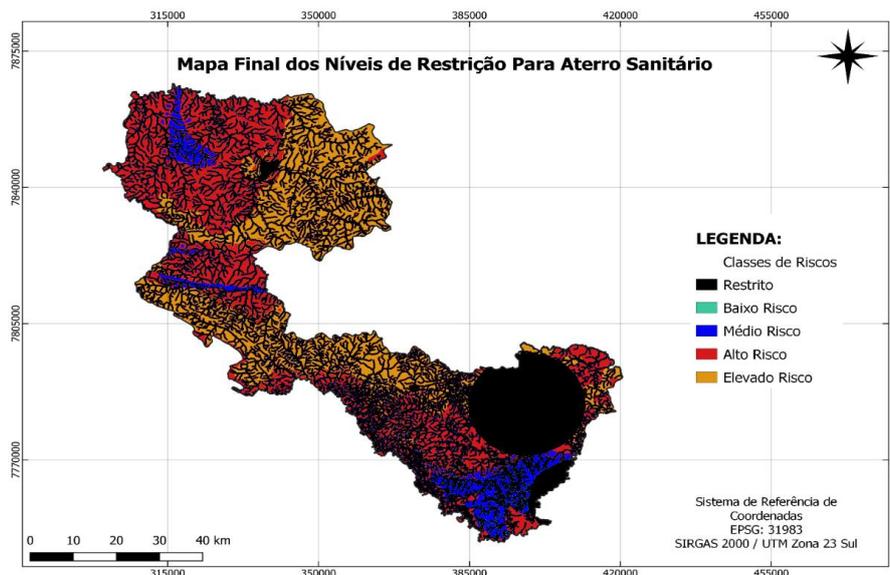


Fonte: Autor, 2023.

Por meio da metodologia AHP chegou-se aos valores do índice de consistência (Ci) igual a 0,033, o índice de consistência aleatória (λ) igual a 4,098 e a taxa de consistência de 0,037, que segundo Saaty (1991) deve ser inferior a 0,1. Com a matriz de comparação dos critérios chegou-se aos respectivos pesos, ou seja, o peso que determinado fator terá sobre os outros, por meio da média geométrica dos critérios de importância dividido pelas somas dessas médias. Os valores encontrados foram: distância dos corpos hídricos (0,074), distância da fonte geradora de RSU (0,145), distância de rodovias (0,366), tipologia do solo (0,415), formação geológica (0,238) e valor da terra nua (0,346).

Através da álgebra de mapas, com o auxílio da ferramenta Calculadora Raster, foi possível combinar os critérios escolhidos, a fim confeccionar um mapa que apontasse as áreas mais e menos propícias à construção de um aterro sanitário. O mapa final foi classificado em 6 classes de vulnerabilidade ambiental (Figura 10) de acordo com a pontuação final das áreas, obtidas através da multiplicação dos mapas temáticos. A classificação seguiu os seguintes valores: 0 (Restrito) 0 a 58,73 (Baixo Risco); 58,73 a 117,47 (Médio Risco); 117,74 a 176,20 (Alto Risco) e 176,20 a 234,94 (Elevado Risco).

Figura 10 - Mapa final com indicação das classes de aptidão para implantação do aterro sanitário.



Fonte: Autor, 2023.

Constata-se, portanto, que as áreas consideradas de Baixo Risco e Médio Risco são aquelas que melhor propiciam benefícios socioeconômicos à cidade envolvida no consórcio do aterro sanitário. A indicação destas áreas se dá pelo fato de nesta região se concentrarem as ocupações de solo que representam menor valor monetário, bem como pela presença de solos menos permeáveis.

Sumathi, Natesan e Sarkar (2008) identificaram 17 locais aptos para a implantação de aterro sanitário na Índia, sendo um deles localizado em grande área, com solo apto e área isolada com 0,36 km². Esses autores também utilizaram uma abordagem multicritério em conjunto com análise de sobreposição baseada em SIG. Já Torkayesh, Malmir e Rajabi Asadabadi (2021), face às incertezas e à subjetividade adotada pelo tomador de decisão, propuseram utilizar a teoria dos conjuntos fuzzy em combinação com modelos multi-critérios. E isso foi realizado por Gorsevski et al. (2012) em estudos na região da Macedônia. A integração de funções de pertinência fuzzy e combinados pela integração de técnicas de processo hierárquico analítico (AHP) e média ponderada ordenada (OWA), facilitou uma melhor compreensão dos padrões que emergem das alternativas de decisão envolvidas no processo de tomada de decisão.

A tabela 5, mostra o tamanho das áreas, em consideração ao nível de aptidão para acomodar o aterro sanitário na região deste estudo. Nota-se, que os municípios abordados pelo presente estudo, contam com aproximadamente 8.743,86 ha e 39.670,65 ha de áreas consideradas de baixo e médio risco respectivamente.

Tabela 5 - Tamanho das áreas aptas para instalação do aterro sanitário.

Nível de aptidão	Área total (m ²)	Área total (ha)	Área total (%)
Restrita	2.731.077.900	273107,79	53,36%
Baixo Risco	87.438.600	8743,86	1,70%
Médio Risco	396.706.500	39670,65	7,75%
Alto Risco	1.045.403.100	104540,31	20,43%
Elevado Risco	857.577.600	85757,76	16,76%
Total	5.118.203.700	511820,37	100,00%

Fonte: Autores, 2023.

Já a tabela 6 mostra as cidades que apresentaram as melhores áreas para a instalação do aterro e seus respectivos tamanhos, nota-se que a cidade de Medeiros-MG, não apresentou em seu território, nenhum com aptidão desejável para a instalação do aterro, ficando apenas as cidades de Bambuí-MG e Ibiá-MG, como municípios aptos a receber a instalação do aterro, obtendo um total de 14.527,71 ha e 25.223,40 ha respectivamente.

Tabela 6 - Municípios que apresentaram as áreas mais propensas para a instalação do aterro.

Municípios	Nível de aptidão	Área total (m ²)	Área total (ha)	Área total (%)
Bambuí	Médio Risco	145.277.100	14527,71	37%
Medeiros	-	-	-	-
Ibiá	Médio Risco	252.234.000	25223,40	63%
Total		396.706.500	39670,65	100,00%

Fonte: Autores, 2023.

Semelhante estudo de Chakraborty e Dolui (2023) foi baseado em 14 critérios de influência, bem como em sete critérios de restrição. O modelo do Laboratório de Ensaio e Avaliação Fuzzy para Tomada de Decisão (Fuzzy-DEMATEL) foi utilizado para realizar pesos relativos de critérios para seleção de locais de descarte. Os resultados mostraram áreas aptas em maior extensão das que as obtidas no presente estudo e que 12,96% da área de estudo é altamente adequada, 18,45% é moderadamente adequada, 20,47% é adequada, 22,87% é menos adequada e 25,24% é inadequada para a seleção de lixões na região metropolitana de Vizag, Índia. Reforçam Rezaeisabzevar et al. (2020) que o uso do AHP para a seleção de locais de aterros sanitários ajuda a garantir um processo de tomada de decisão transparente e sistemático que leva em conta vários fatores ambientais.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observa-se que dos 511.820,37 ha presente nos três municípios do estudo, 463.406 ha (90,5%) não podem ser utilizados para implantação do aterro por se enquadrarem como áreas restritas, conforme estabelece a DN COPAM nº118 de 2008. Ademais, quando analisadas as

áreas não restritas, as áreas enquadradas como baixo e médio risco, mostram-se como as de melhor aptidão para implementação do aterro, correspondendo a um total de 48.414,51 ha, equivalentes a 9,5 % da área total dos municípios.

O município de Medeiros-MG, foi a única cidade que não apresentou em sua extensão territorial, áreas com aptidões desejadas para a instalação do aterro, no entanto, os municípios de Bambuí-MG e Ibiá-MG, apresentaram um total de 39.670,65 ha de áreas aptas para a instalação do aterro, sendo que 37% (14.527,71 ha) dessas áreas, encontram-se no município de Bambuí-MG e os outros 63% (25.223,40 ha) estão localizadas no município de Ibiá-MG.

Por fim, destaca-se que as técnicas utilizadas nesta pesquisa integram uma etapa preliminar para a indicação de potenciais áreas de implantação de um aterro sanitário para os municípios mineiros de Bambuí, Medeiros e Ibiá, fornecendo informações que irão auxiliar as administrações públicas dos municípios nas tomadas de decisões. Ressalta-se que cabe ainda a realização de estudos científicos complementares e validações em campo.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8419: apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos – procedimento. Rio de Janeiro, 1992.

_____. NBR 10004: resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 2004.

_____. NBR 13896: aterros de resíduos não perigosos – critérios para projeto, implantação e operação – procedimento. Rio de Janeiro, 1997.

ANDRADE, A. J. B.; BARBOSA, N. P. P. Combinação do método AHP e SIG na seleção de áreas com potenciais para a instalação de aterro sanitário: caso da ilha do Fogo, na república de Cabo Verde. *Revista de Geografia (UFPE)* V. 32, No. 2, 2015.

BORN, V. Avaliação da aptidão de áreas para a instalação de aterro sanitário com o uso de ferramentas de apoio à decisão por múltiplos critérios. Monografia. Centro Universitário UNIVATES. 2013.

BRASIL. Lei nº 12.305 de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: maio de 2023.

CHAKRABORTY, S.; DOLUI, S. Mapping alternative solid waste disposal sites using fuzzy-DEMATEL method in coastal city of Visakhapatnam, Andhra Pradesh (India). In: *Water, Land, and Forest Susceptibility and Sustainability*. Academic Press, 2023, p. 215-260, 2023.

COLVERO, D. A.; GOMES, A. P. D.; CRUZ TARELHO, L. A.; MATOS, M. A. A.; SANTOS, K. A. Use of a geographic information system to find areas for locating of municipal solid waste management facilities. *Waste management*, v. 77, p. 500-515, 2018.

COPAM. Deliberação Normativa COPAM nº 52, 14 de dezembro de 2001, convoca municípios para o licenciamento ambiental de sistema adequado de disposição final de lixo e dá outras providências. Minas Gerais, Belo Horizonte, 15/12/2001. Disponível em: < http://www.blogdocancado.com/wp-content/uploads/2011/02/dn_copam52-01-lixo.pdf>. Acesso em: maio de 2023.

_____. Deliberação Normativa COPAM nº118, 27 de junho de 2008 altera os artigos 2º, 3º e 4º da Deliberação Normativa 52/2001, estabelece novas diretrizes para adequação da disposição final de resíduos sólidos urbanos no Estado, e dá outras providências. Minas Gerais, Belo Horizonte, 01/07/2008. Disponível em:< <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=7976>>. Acesso em: maio de 2023.

_____. Lei nº 18.031 de 2009. Dispõe sobre a política estadual de resíduos sólidos. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/LEI/18031/2009/?cons=1>. Acesso em: maio de 2023.

EMATER. EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL DO ESTADO DE MINAS GERAIS. “Valor de terra nua (VTN)”. Disponível em https://www.emater.mg.gov.br/portal.do?flagweb=novosite_pagina_interna&id=19167flagweb=novosite_pagina_interna&id=19167. Acesso em: junho de 2023.

FREIRE, G. J. M. Análise de municípios mineiros quanto à situação de seus lixões. 2009. 104p. (Dissertação de Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais). Departamento de Cartografia -Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2009.

GORSEVSKI, P. V.; DONEVSKA, K. R.; MITROVSKI, C. D.; FRIZADO, J. P. Integrating multi-criteria evaluation techniques with geographic information systems for landfill site selection: A case study using ordered weighted average. *Waste Management*, 32(2), 287–296, 2012. doi:10.1016/j.wasman.2011.09.023

IDE-Sisema. Infraestrutura de dados espaciais do estado de Minas Gerais. Disponível em: < <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis> >. Acesso em: jul 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico de 2010: Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/bambui/panorama>. Acesso em: maio de 2023.

MAPBIOMAS. Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil, 2023. Mapa das coleções: coleção 7. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: maio de 2023.

NASCIMENTO NETO, P. Resíduos sólidos urbanos: perspectivas de gestão intermunicipal em regiões metropolitanas. ATLAS, 2013. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522479528/>. Acesso em: 09 mai. 2023.

OLIVEIRA NETO, J. T. Determinação de áreas favoráveis à implantação de aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos para o município de PIUMHI/MG. XIII Curso de especialização em Geoprocessamento. Belo Horizonte: UFMG, 2011.

REZAEISABZEVAR, Y.; BAZARGAN, A.; ZHOOURIAN, B. Landfill site selection using multi criteria decision making: Influential factors for comparing locations. *Journal of Environmental Sciences*, 93, 170-184, 2020.

SAATY, T. L. How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operations Research*, 48, 9-26. 1991.

SAATY, T. L. *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process (Analytic Hierarchy Process Series, Vol. 6)*. RWS Publications, Pittsburgh. 2000.

SUMATHI, V. R.; NATESAN, U.; SARKAR, C. GIS-based approach for optimized siting of municipal solid waste landfill. *Waste management*, v. 28, n. 11, p. 2146-2160, 2008.

TOPODATA. Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. Modelo Digital de Elevação (MDE). Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>. Acesso em: junho de 2023.

TORKAYESH, A. E.; MALMIR, B.; RAJABI ASADABADI, M. Sustainable waste disposal technology selection: The stratified best-worst multi-criteria decision-making method. *Waste Management*, 122, 100–112, 2021. doi:10.1016/j.wasman.2020.12.040;

ZUQUETTE, L. *Geotecnia Ambiental*. Grupo GEN, 2015. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595155466/>. Acesso em: 7 mai. 2023.

CAPÍTULO VII

O PAPEL DA EDUCAÇÃO AMBIENTAL NA MANUTENÇÃO DE PLANOS MUNICIPAIS DE ARBORIZAÇÃO

THE ROLE OF ENVIRONMENTAL EDUCATION IN MAINTAINING MUNICIPAL URBAN ARBORIZATION PLANS

DOI: 10.51859/amplla.aca638.1323-7

Otavio Augusto Pereira de Oliveira¹
Magda Stella de Melo Martins²
Joyce Silvestre de Sousa²
Marina Farcic Mineo²

¹ Estudante do Curso de Pós-Graduação lato sensu em Gestão Ambiental: Diagnóstico e Adequação Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro – campus Uberaba.

² Professor(a) do Programa de Pós-Graduação lato sensu na área Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro – campus Uberaba.

RESUMO

A arborização urbana é essencial à melhoria da qualidade de vida da população, à preservação dos recursos naturais e proteção da biodiversidade. O planejamento da arborização por meio dos planos municipais de arborização urbana garante a manutenção desses benefícios e evita que as árvores sejam percebidas como elementos negativos na cidade. A educação ambiental é importante aliada para que haja o sucesso e a sustentabilidade do plano, pois cabe à população e ao poder público a manutenção das ações implementadas. Sendo assim, buscou-se abordar o papel da educação ambiental na manutenção de planos municipais de arborização, levantando informações sobre os aspectos históricos e legais que envolvem o tema, bem como analisar a importância dessas atividades para que haja efetividade na manutenção das medidas advindas da implementação dos planos. Sugere-se momentos de diálogo com a população anteriores ao plano (consultas públicas, reuniões, atividades em escolas, capacitação dos trabalhadores), durante a implementação (folders, cartazes, divulgação em redes sociais, projetos escolares, palestras) e de manutenção das ações (cartilhas, blitzes educativas em feiras e eventos populares, reportagens em rádio e TV). O estímulo à participação social em relação ao desenvolvimento do plano e na conservação da arborização, contribui para gerar e manter uma cultura de sustentabilidade, promovendo o planejamento e gestão coletivos das áreas verdes, proporcionando engajamento e sentimento de pertencimento. A participação popular é um ponto chave para que as ações advindas de planos municipais de arborização permaneçam e, nesse sentido, a educação ambiental pode ter papel estratégico.

Palavras-chave: Arborização urbana. Gestão ambiental pública. Participação popular.

ABSTRACT

Urban afforestation is essential to improving the population's quality of life, preserving natural resources and protecting biodiversity. Planning afforestation through municipal urban afforestation plans guarantees the maintenance of these benefits and prevents trees from being perceived as negative elements in the city. Environmental education is an important ally for the success and sustainability of the plan, as it is up to the population and public authorities to maintain the implemented actions. Therefore, we sought to address the role of environmental education in the maintenance of municipal afforestation plans, gathering information on the historical and legal aspects that involve the topic, as well as analyzing the importance of these activities so that there is effectiveness in maintaining the measures arising from the implementation of plans. Moments of dialogue with the population are suggested prior to the plan (public consultations, meetings, activities in schools, worker training), during implementation (folders, posters, publicity on social networks, school projects, lectures) and maintenance of actions (booklets, educational blitzes at fairs and popular events, radio and TV reports). Encouraging social participation in relation to the development of the plan and the conservation of afforestation contributes to generating and maintaining a culture of sustainability, promoting collective planning and management of green areas, providing engagement and a feeling of belonging. Popular participation is a key point for the actions arising from municipal afforestation plans to remain and, in this sense, environmental education can play a strategic role.

Keywords: Popular participation. Public environmental management. Urban afforestation.

1. INTRODUÇÃO

A urbanização no Brasil teve início no século XX, a partir da crescente industrialização, que foi um dos principais fatores para o deslocamento da população rural em direção a áreas urbanas, processo denominado êxodo rural. A concentração espacial do desenvolvimento da economia fez com que houvesse uma transferência da população do campo para as cidades.

O rápido e desordenado processo de urbanização ocorrido no Brasil trouxe uma série de consequências, em sua maior parte negativas, como, por exemplo, a ausência de planejamento urbano adequado. Esse fato se reflete no atual cenário de degradação das cidades, tornando cada vez mais evidente a necessidade de reflexão sobre como se aproximar do equilíbrio entre o espaço modificado para o assentamento urbano e as áreas naturais. Por esse motivo, as áreas verdes urbanas, como os parques e praças, e arborização das cidades, assumem um importante papel como indicadoras na avaliação não só da qualidade de vida da população, mas também da qualidade ambiental.

A arborização urbana prevê muitos benefícios em diferentes esferas, tais como a ambiental, ou socioambiental e a paisagística. Ela possui a importante função de reduzir efeitos da poluição e dos ruídos, age diretamente na redução da temperatura e na velocidade dos ventos, além de influenciar no balanço hídrico, aumentar a estabilidade e capacidade de infiltração do solo e servir de abrigo a diversos animais silvestres que vivem nas cidades, como pássaros, insetos e até macacos, favorecendo a proteção da biodiversidade.

O planejamento em relação a arborização pode ainda auxiliar na manutenção do microclima urbano que, favorecido pelas estruturas e elementos da cidade (asfalto, edificações, concreto, amianto, vidro e metal) com elevada capacidade refletora, geram as “ilhas de calor”, responsáveis pelo aumento de chuvas de grande intensidade e, conseqüentemente, de inundações. Entretanto, quando realizado sem estudos técnicos, a arborização pode ocasionar problemas como rachaduras em áreas pavimentadas, danos a construções, rompimento de tubulações de água e esgoto, fiações elétricas e prejudicar o trânsito, dificultando a passagem de pedestres em calçadas, o estacionamento de veículos e a visualização de placas de sinalização.

A arborização urbana é um tema de grande importância, especialmente em tempos de mudanças climáticas e de crescimento acelerado das cidades. É necessário debater sobre as melhores práticas para a gestão e manutenção das áreas verdes em ambientes urbanos, destacando: a contribuição para o desenvolvimento sustentável; promoção do bem-estar da população; possibilidade de disseminar informações relevantes sobre qualidade ambiental

urbana; contribuição para o avanço da pesquisa e, principalmente, ressaltar a importância da participação popular na manutenção das ações implementadas.

Sendo assim, pretendeu-se abordar o papel da educação ambiental na manutenção de planos municipais de arborização. Como objetivos específicos, propôs-se levantar informações sobre: os aspectos históricos e legais que envolvem os planos municipais de arborização, a relevância de sua implantação e manutenção para as cidades, as ações de educação ambiental mais comumente empregadas nos planos vigentes, bem como analisar a importância dessas atividades para que haja efetividade na manutenção das medidas advindas da implementação dos planos.

Ao compreender a importância da educação ambiental nesse contexto, pode-se estimular a integração efetiva da educação ambiental nos planos de arborização urbana, contribuindo para a construção de cidades mais sustentáveis, com áreas verdes preservadas e uma população engajada e consciente de seu papel na proteção do meio ambiente.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O PROCESSO DE URBANIZAÇÃO E A ARBORIZAÇÃO NAS CIDADES

A urbanização no Brasil, se comparada a outros países, é recente. A fase mais intensa da expansão urbana no Brasil ocorreu na segunda metade do século XX. Somente a partir de 1960 que a população urbana brasileira se tornou superior à rural (BRITO, 2006). A partir do avanço das cidades no espaço geográfico pode-se observar significantes prejuízos econômicos, sociais e comprometimento da qualidade de vida das comunidades urbanas. À medida que uma cidade cresce, se torna cada vez mais complexa devido o número crescente de modificações no ambiente (SPOSITO, 2001 apud PINHEIRO, 2017), o que pode gerar prejuízos econômicos, e socioambientais. As cidades crescem em proporção inversa a capacidade de planejamento.

Segundo o Relatório Mundial das Cidades do ano de 2022 (UN-HABITAT, 2022), a população urbana continua crescendo, e a previsão é de que cidades em todo mundo tenham 2,2 bilhões de habitantes a mais até 2050. No ritmo atual, a estimativa é que a população urbana passe de 56% do total global em 2021 para 68% em 2050.

À medida que a população urbana cresce e as áreas urbanizadas se expandem, as administrações públicas têm demonstrado um interesse cada vez maior na arborização das cidades. Segundo Bonametti (2001), o interesse se concentra principalmente na busca pela qualidade e preservação dos espaços de circulação presentes nessas áreas. Isto vem sendo fortalecido e incentivado pela própria comunidade, assim como influenciado pelo atual

discurso ecológico, o qual incorpora esses espaços como sinal de uma melhor qualidade de vida, progresso e desenvolvimento urbano.

O conhecimento acerca da biologia vegetativa e reprodutiva das árvores é extremamente importante no planejamento urbano, pois é por meio dele que podem ser eliminados quase que totalidade dos problemas causados com raízes, galhos quebrados e ramificação abundante, que são problemas comuns ao se referir a arborização urbana. Além disso, a maioria das plantas arbóreas cultivadas em ruas, avenidas, praças e jardins de nossas cidades são de espécies trazidas de outros países (espécies exóticas) (LORENZI, 1992), o que pode trazer alguns impactos negativos tanto para o meio ambiente quanto para a própria cidade.

Ao planejar a arborização urbana, é recomendado evitar o uso de espécies com espinhos no tronco, espécies que produzam frutos muito grandes e espécies com princípios ativos tóxicos ou alergênicos. É preferível optar por espécies com um sistema radicular pivotante e folhagem permanente (SILVA et al, 2002). Além disso, é importante selecionar árvores com copas de formato, dimensão e engalhamento adequados. Essas diretrizes visam garantir a segurança, a funcionalidade e a harmonia da arborização urbana. Quando ocorre o plantio de espécies arbóreas e/ou arbustivas com características inadequadas ao espaço existente, ou a mudança de uso ocorrida nesse espaço ao longo do tempo, muitas vezes a árvore pode ser percebida como um elemento negativo na cidade.

A arborização está diretamente ligada ao conforto térmico, ao microclima da cidade, a amplitudes térmicas, ao isolamento direto, à taxa de transpiração, entre outros. À medida em que o solo é impermeabilizado para uma construção, ambientes naturais são suprimidos e, com isso, é afetada a intensidade com que acontecem determinadas dinâmicas naturais. Em estudo realizado por Hoffman e Shashua-Bar (2000 *apud* PINHEIRO, 2017), pequenas áreas verdes inseridas no meio urbano na cidade têm efeito amenizador do microclima que pode ser sentido até um raio de 100 metros de distância, diminuir cerca de 10% de poeira do ar, e, ainda, promover a melhoria e estabilidade microclimática, pelo fato de liberar grandes volumes de vapor de água na atmosfera, proporcionar sombra, entre outros benefícios. Áreas arborizadas também podem ajudar a minimizar os impactos negativos da impermeabilização urbana, reduzindo o escoamento superficial uma vez que as raízes das plantas podem ajudar a quebrar o solo compactado e permitem a entrada de água no solo, filtrando poluentes e nutrientes que podem ser transportados pela água da chuva, bem como por meio da interceptação da água da chuva pelas copas das árvores (ALVES & FORMIGA, 2019). A vegetação e tratamento paisagístico podem contribuir para a revalorização desses espaços contemporâneos. Ao mesmo tempo, essa mesma vegetação pode vir a contribuir para a redução de níveis de poluição

atmosférica e sonora, a estruturação de vias e a criação de espaços de identidade e referência na cidade (BONAMETTI, 2001), além da manutenção da fauna e da flora, do bem-estar populacional, planejamento urbano e até mesmo à saúde pública.

A arborização urbana dos municípios é definida de maneira geral nos Planos Diretores e pode ser detalhada nos Planos Municipais de Arborização Urbana. O Plano de Arborização Urbana é um documento municipal oficial que legitima e descreve todas as ações referentes à gestão, implantação, plantio, manutenção e monitoramento das espécies arbóreas e/ou arbustivas. Essas ações podem servir tanto para intervir na arborização já existente, como para atuar em áreas que ainda não possuem arborização (MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DO PARANÁ, 2018).

2.2. A EDUCAÇÃO AMBIENTAL E A PARTICIPAÇÃO POPULAR

A educação ambiental desempenha um papel relevante na conscientização e na formação de uma população capacitada para cuidar e preservar o meio ambiente. De acordo com a Política Nacional de Educação Ambiental (BRASIL, 1999):

“A Educação Ambiental compreende os processos por meio dos quais o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente, bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida e sua sustentabilidade” (BRASIL, 1999).

A educação ambiental pode ser trabalhada de distintas formas. Há a educação ambiental formal, que é de responsabilidade das instituições de ensino de todos os níveis e deve ser institucionalizada em suas matrizes curriculares de maneira transversal para que o aluno tenha uma visão sistêmica de como distintos conteúdos estão relacionados com as questões ambientais. A educação ambiental não formal constitui os processos pedagógicos com vistas à formação ambiental dos indivíduos e grupos sociais fora das instituições de ensino, enquanto a educação ambiental informal representa os processos destinados a ampliar a sensibilização e a conscientização pública sobre as questões socioambientais, normalmente veiculados por meios de comunicação de massa, tais como jornais, revistas, rádio, televisão e redes sociais, sendo destinada à comunidade como um todo (MINAS GERAIS, 2020). Todas essas abordagens têm como objetivo levar informação, sensibilizar, mobilizar e capacitar as pessoas como sujeitos ecológicos, promovendo uma sociedade mais consciente e engajada com a sustentabilidade socioambiental e capaz de exercer seu direito de participação na gestão ambiental pública.

A participação popular caracteriza-se pela existência de instrumentos que possibilitem a qualquer pessoa atuar, controlar ou fiscalizar atividades estatais, especialmente às

desenvolvidas pela administração pública em âmbito federal, distrital, estadual e municipal (PEREZ, 2004). Quando se trata do planejamento de arborização, a incorporação da educação ambiental pode ser uma ferramenta estratégica para garantir o sucesso e a sustentabilidade do plano, pois cabe à população e ao poder público a manutenção das ações implementadas. Uma população com conhecimento para exercer sua cidadania está apta a atuar em distintos processos relacionados à gestão do ambiente em que vive.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente, foi realizado um levantamento das leis, normas e outros documentos técnicos relacionados à arborização urbana em âmbito nacional, estadual e municipal, bem como os órgãos responsáveis por implantar e manter a arborização.

A segunda etapa consistiu em elencar, por meio de pesquisa bibliográfica, os aspectos positivos e negativos (se houver) da arborização urbana, da implantação e manutenção dos planos municipais de arborização para as cidades.

A terceira e última etapa do presente estudo é discorrer sobre a presença de ações de educação ambiental serem contempladas nos planos municipais de arborização urbana, bem como a verificação se há previsão de ações de educação ambiental em planos municipais de arborização vigentes. Ao final, pretendeu-se sugerir ações que possam ser incluídas com a finalidade de aumentar a participação popular e resultar em manutenção adequada das ações e medidas advindas da implementação dos planos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não é possível determinar com certeza uma data específica de quando foram criados os primeiros planos de arborização urbana no Brasil. Contudo, na década de 1940, várias cidades do país começaram a desenvolver políticas públicas para a arborização de suas áreas urbanas. No entanto, foi somente na década de 1980 que a arborização urbana começou a ser tratada de forma mais sistemática e planejada em todo o país, com a criação de leis e regulamentações específicas e o aumento do investimento em programas de plantio de árvores nas cidades brasileiras. Alguns exemplos relevantes destes marcos históricos brasileiros são algumas das principais leis e regulamentações relacionadas à arborização urbana que incluem:

- Lei de Parcelamento do Solo Urbano - Lei Federal nº 6.766/79 (BRASIL, 1979): essa lei estabelece que os loteamentos urbanos devem destinar uma porcentagem mínima de suas áreas para espaços verdes, como parques, praças e jardins.

- Estatuto das Cidades – Lei Federal nº 10.257/2001: regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal e estabelece diretrizes gerais para a política urbana dispondo sobre a obrigação dos municípios de formular e executar o plano diretor e o plano de desenvolvimento urbano.
- Código Florestal - Lei Federal nº 12.651/12 (BRASIL, 2012): essa lei estabelece a obrigatoriedade da manutenção de áreas verdes e de preservação permanente em propriedades urbanas e rurais.
- Norma Técnica de Arborização Urbana – NBR 16246 (ABNT, 2013): essa norma estabelece os critérios técnicos e as diretrizes para o planejamento, implantação e manutenção da arborização urbana em todo o país.
- Lei Federal nº 13.731/2018 (BRASIL, 2018): essa lei estabelece mecanismos de financiamento para a arborização urbana e a recuperação de áreas degradadas.

Além dessas leis e regulamentações federais, muitos municípios brasileiros têm suas próprias leis e normas específicas relacionadas à arborização urbana, que variam de acordo com as características locais e as necessidades de cada região. Em geral, sua elaboração e implementação ficam a cargo das secretarias municipais de meio ambiente. Pode-se dizer que os planos de arborização urbana no Brasil surgiram ao longo do tempo, como resultado de um processo gradual de conscientização ambiental e desenvolvimento urbano em todo o país. Outro fator que estimulou os projetos de arborização urbana foi o fato do Estatuto das Cidades (BRASIL, 2001) tornar obrigatório o plano diretor para os municípios a partir de vinte mil habitantes, contendo os parâmetros de uso e ocupação do solo.

A elaboração de um plano de arborização urbana segue um processo que envolve várias etapas, de forma geral, se iniciando a partir da realização de um diagnóstico das condições existentes, avaliando as espécies, saúde e infraestrutura urbana. Em seguida, são definidos os objetivos do plano, considerando os benefícios desejados. O planejamento inclui diretrizes gerais, como áreas prioritárias, critérios de seleção de espécies e técnicas de plantio. Após o planejamento, ocorre a implementação, com ações como o plantio de mudas e ajustes na infraestrutura. O monitoramento contínuo é fundamental para avaliar o crescimento das árvores e a efetividade das ações implementadas. Estão disponíveis atualmente manuais que orientam quanto à estrutura, redação e formalização dos planos, tais quais o Manual para elaboração do Plano Municipal de Arborização Urbana do Ministério Público do Estado do Paraná (2018) e o Roteiro para elaboração do Plano Municipal de Arborização Urbana do governo do estado do Mato Grosso do Sul (2020).

No entanto, para garantir que esses planos sejam efetivos e que os ganhos e ações alcançados sejam mantidos ao longo do tempo, exige-se mais do que simplesmente elaborar e executar projetos técnicos de arborização. É necessário um componente fundamental: a educação ambiental. É importante mobilizar a comunidade durante todas as etapas, mesmo antes da elaboração dos planos. Sugere-se realizar consultas públicas e reuniões a fim de apresentar a iniciativa à população e colher suas demandas e expectativas. Abrir espaços para ouvir a comunidade desde o início demonstra a intenção do poder público em realizar uma gestão participativa. Além disso, colabora para o envolvimento da comunidade e desperta nela o sentimento de fazer parte da ação e, por consequência, zelar pela manutenção das ações advindas da implementação do plano.

No estado do Paraná, para o fornecimento de subsídios para a elaboração do Plano Municipal de Arborização Urbana - PMARB às Prefeituras Municipais, a EMBRAPA criou um Manual para Elaboração de Planos Municipais e nele destaca a importância de envolver a comunidade no processo:

“Para que um plano de arborização se concretize é preciso ter a aceitação da comunidade local. Para tanto, a fim de promover a educação ambiental dos munícipes com relação à importância e aos benefícios da arborização urbana, evitando-se, por exemplo, perdas de mudas por atos de vandalismo, é preciso estabelecer ações de conscientização junto à população. Deve-se indicar, então, quais ações devem ser realizadas, podendo-se utilizar práticas com escolares, associação de moradores, lideranças locais, abordagem pessoal, comunicação visual, etc.” (EMBRAPA, 2012).

Nota-se que os questionários realizados por meio de formulários *online* têm sido muito utilizados por algumas prefeituras a fim de realizar um diagnóstico da percepção ambiental da população e levantar demandas. Recentemente, observou-se ações desse tipo sendo feitas por algumas prefeituras, tais como as dos municípios de Curitiba – PR (CURITIBA, 2021), Joinville – SC (JOINVILLE, 2021), Sorocaba - SP (SOROCABA, 2020) e Uberaba – MG (UBERABA, 2022).

Destaca-se que, tão importante quanto realizar um levantamento do conhecimento da população sobre o tema e ouvir suas expectativas, é a divulgação dos resultados obtidos com as consultas públicas, bem como informar como quais dados serão passíveis de inclusão no plano ou não, com suas respectivas justificativas.

Anteriormente à implantação das ações elencadas no plano, recomenda-se a capacitação adequada dos servidores e terceirizados que participarão das etapas seguintes, o que pode desempenhar um papel crucial na implantação efetiva do plano de arborização, garantindo uma equipe comprometida e informada. A educação ambiental como parte da formação dos profissionais envolvidos pode ser ofertada em palestras, workshops, treinamentos, que possam abordar conceitos fundamentais de ecologia, ética, responsabilidade e sustentabilidade

socioambiental. Além disso, é importante que esses cursos ofereçam instruções sobre técnicas adequadas de plantio e manejo das árvores, bem como orientações sobre a importância da manutenção da biodiversidade local. Ao compreenderem a importância da arborização, da escolha adequada de espécies e das técnicas de manejo das árvores, esses profissionais contribuem para um desenvolvimento saudável das áreas arborizadas. Essa abordagem, aliada à educação ambiental da população em geral, resulta em um ambiente urbano mais sustentável e resiliente para as gerações presentes e futuras.

A educação ambiental pode ser trabalhada nos espaços escolares por meio de material instrucional como folders, cartazes e material digital voltados para estudantes de distintos níveis. A abordagem do tema de maneira sistemática e a promoção de atividades teórico-práticas sobre o tema da arborização urbana, como oficinas e visitas a áreas verdes, pode tornar esse público um disseminador/multiplicador de informação em seus domicílios e outras áreas de convívio. Pode também ser uma ferramenta de incentivo à participação da população na gestão dos espaços verdes no estímulo à participação da população na conservação e manutenção das áreas verdes, através de campanhas de voluntariado e de sensibilização sobre os cuidados necessários para a preservação desses espaços. É possível também que a temática da arborização urbana seja acrescida à educação ambiental formal, por meio de projetos e atividades práticas que podem despertar o interesse e a consciência ambiental nas crianças e jovens. Ainda, a realização de eventos como mutirões de plantio, caminhadas ecológicas, blitzes educativas em praças públicas e feiras também podem contribuir com a sensibilização da população e fortalecerá o senso de pertencimento e responsabilidade compartilhada pela arborização urbana.

Informações podem ser disponibilizadas ao público em geral por meio das redes sociais, possibilitando interação. Alguns municípios produziram cartilhas que reúnem informações técnicas com linguagem acessível ao público leigo sobre o plano de arborização urbana vigente, tal como o município de Caraguatatuba – SP (CARAGUATATUBA, 2022). Sugere-se que a divulgação desse material seja feita em distintos meios visando a publicidade devida do documento.

Sendo assim é necessário que os planos municipais de arborização promovam ações de educação ambiental como método de efetivação das ações previstas com caráter de continuidade. É comum que os planos municipais de arborização contemplem diretrizes para o plantio e manejo de árvores, mas é necessário que sejam incluídas estratégias educativas. No caso de não haver previsão de ações de educação ambiental no plano, é fundamental que sejam incorporadas nas próximas revisões.

Neste contexto, em exemplo positivo é o Plano Integrado de Arborização Urbana do município de Timóteo-MG, publicado em 2016 pela prefeitura municipal (TIMÓTEO, 2016). O documento ressalta a importância da compreensão por parte da população do papel da arborização urbana para a melhoria da qualidade de vida dos munícipes e equilíbrio ambiental. Seguindo o objetivo de promover a responsabilidade, a sustentabilidade e a visão coletiva em relação à arborização urbana, o texto sugere ações como abordagens domiciliares, campanhas nas escolas, diálogo com associações de bairro em consonância com o Plano Integrado de Educação Ambiental municipal.

Ademais, mediante aos avanços tecnológicos é fundamental propor medidas que visem criar uma comunicação que acompanha as tendências atuais, como plataformas, redes sociais, boletins informativos ou aplicativos, para manter os moradores informados sobre as ações de arborização, educação ambiental e oportunidades de participação, bem como promover a aproximação da gestão municipal com a população por meio da interatividade. Dessa forma, a inclusão de ações de educação ambiental nos planos municipais de arborização urbana contribuirá para a informação, conscientização, engajamento e participação ativa da população, resultando em uma manutenção adequada das áreas arborizadas e em benefícios duradouros para o meio ambiente e a comunidade urbana.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A arborização urbana desempenha um papel fundamental na melhoria da qualidade de vida nas cidades, proporcionando benefícios como sombreamento, redução da poluição do ar, mitigação do efeito de ilhas de calor, além de contribuir para a beleza paisagística e bem-estar geral da população. A inclusão de ações de educação ambiental nos planos municipais de arborização urbana é de extrema importância para promover a conscientização e engajamento da população em relação à preservação e cuidado com o meio ambiente. Dessa forma, é possível informar e sensibilizar os moradores sobre a importância das árvores e de práticas adequadas de manejo, como o plantio, poda, irrigação e proteção das árvores. Isso cria uma base de conhecimento sólida que incentiva a participação ativa da comunidade no cuidado e manutenção das áreas verdes urbanas.

O estímulo à participação social em relação ao desenvolvimento do plano e na conservação da arborização, contribui para gerar e manter uma cultura de sustentabilidade, promovendo o planejamento e gestão coletivos das áreas verdes, proporcionando engajamento e sentimento de pertencimento. A participação popular é um ponto chave para que as ações

advindas de planos municipais de arborização permaneçam e, nesse sentido, a educação ambiental pode ter papel estratégico.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16246: Florestas urbanas - Manejo de árvores, arbustos e outras plantas lenhosas**. Comitê Brasileiro de Manejo Florestal (ABNT/CEE-103). 2013.

ALVES, P. L.; FORMIGA, K. T. M. Efeitos da arborização urbana na redução do escoamento pluvial superficial e no atraso do pico de vazão. *Ciência Florestal*, v.29(1), p. 193 - 207. 2019.

BONAMETTI, J. H. Arborização Urbana. **Terra e Cultura**, n. 36, p. 51-55. 2001.

BORELLI, E. Urbanização e qualidade ambiental: o processo de produção do espaço da costa brasileira. **Interthesis**, v. 4(1), p. 1-27. 2007.

BRASIL. 1979. **Lei Nº 6.766/1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências**. 1979. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6766.htm. Acesso em: 1 mai. 2023.

BRASIL. **Lei Nº 9.795/1999. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências**. 1999. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9795.htm. Acesso em: 2 mai. 2023.

BRASIL. **Lei Federal nº 10.257/2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências**. 2001. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10257.htm. Acesso em: 2 mai. 2023.

BRASIL. 2012. **Lei Nº 12.651/2012. 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**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 1 mai. 2023.

BRASIL. 2018. **Lei Nº 13.731/2018. Dispõe sobre mecanismos de financiamento para a arborização urbana e a recuperação de áreas degradadas**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/l13731.htm. Acesso em: 1 mai. 2023.

BRITO, F. O deslocamento da população brasileira para as metrópoles. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 20(57), p. 221-236, 2006.

CARAGUATATUBA. **Caraguá tem arborização urbana**. 2022. Disponível em: <https://www.caraguatatuba.sp.gov.br/pmc/wp-content/uploads/2022/06/Cartilha-Arborizacao-Atualizada.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2023.

CURITIBA. **Consulta pública: Ajude a Prefeitura a construir o futuro da arborização urbana.** 2021. Disponível em: <https://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/ajude-a-prefeitura-a-construir-o-futuro-da-arborizacao-urbana/59670>. Acesso em: 2 mai.2023.

JOINVILLE. **População pode participar de Consulta Pública do Plano de Arborização Urbana.** 2021. Disponível em: <https://www.joinville.sc.gov.br/noticias/populacao-pode-participar-de-consulta-publica-do-plano-de-arborizacao-urbana/>. Acesso em: 1 mai. 2023.

LIMA, W. J.; BACELAR, M. M. P.; HERRERA, R. C.; FRANÇA, I. F.; PARRY, S. M. Diagnóstico qualiquantitativo da arborização urbana da cidade de Monte Alegre, Pará, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 30 (4), p. 1019-1031, 2020.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**, vol. 1. Nova Odessa: Plantarum, 1992.

MATO GROSSO DO SUL. **Roteiro para elaboração do Plano Municipal de Arborização Urbana.** Secretaria de Meio Ambiente, Desenvolvimento Econômico, Produção e Agricultura Familiar – SEMAGRO, Campo Grande, 2020.

MINAS GERAIS. **Educação ambiental, e agora?** Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Belo Horizonte: Semad, 2020.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DO PARANÁ. **Manual para elaboração do Plano Municipal de Arborização Urbana.** 2. ed. Curitiba, 2018.

NESPOLO, C. C. da C. et al. Planos diretores de arborização urbana: necessidade de incorporação na legislação brasileira. **Revista Brasileira de Arborização Urbana**, Curitiba - PR, v. 15 (2), p. 42-55, 2020.

PEREZ, M. A. **A administração pública democrática.** 1ª. ed. Belo Horizonte: Fórum, 2004.

PINHEIRO, C. R.; SOUZA, D. D. de. A importância da arborização nas cidades e sua influência no microclima. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 6(1), p. 67-81, 2017.

Prefeitura Municipal de Uberaba. **Lei nº 10.297/2007. Dispõe sobre o Plano de Arborização Urbana do Município de Uberaba e dá outras providências.** Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a1/mg/u/uberaba/lei-ordinaria/2007/1029/10297/lei-ordinaria-n-10297-2007-dispoe-sobre-o-plano-de-arborizacao-urbana-do-municipio-de-uberaba-e-da-outras-providencias?r=p>. Acesso em: 02 de mai. 2023.

SILVA, E. M. da; SILVA, A. M. da; MELO, P. H. de; BORGES, S. S.; LIMA, S. do C. Estudo da arborização urbana do bairro Mansour, na cidade de Uberlândia-MG. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 3(5), p. 73-83, 2002.

SILVA, J. O. R. da; OLIVEIRA, M. S. de. Arborização urbana e a educação ambiental como fator conscientizador. **Scientia Generalis**, v. 1(1), p. 49-59, 2021.

SOROCABA. **Consulta pública on-line quer saber o que a população espera da arborização urbana da cidade.** 2020. Disponível em: <https://noticias.sorocaba.sp.gov.br/consulta-on-line->

quer-saber-o-que-a-populacao-espera-da-arborizacao-urbana-da-cidade/. Acesso em 1 mai.2023.

TIMÓTEO. **Plano Municipal Integrado de Arborização Urbana de Timóteo - MG.** 2016. Disponível em: <https://adminsidade.timoteo.mg.gov.br/arquivos/Imprensa/DownloadsDiversos/A0010170.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2023.

UBERABA. **População já pode participar da construção do Plano de Arborização de Uberaba.** 2022. Disponível em: https://portal.uberaba.mg.gov.br/secretaria_noticias/populacao-ja-pode-participar-da-construcao-do-plano-de-arborizacao-de-uberaba. Acesso em: 1 mai. 2023.

UNITED NATIONS HUMAN SETTLEMENTS PROGRAMME (UN-Habitat). **World Cities Report 2022: The Case for Sustainable Urbanization.** Nairobi, Quênia: UN-Habitat, 2022. 279 p. Disponível em: https://unhabitat.org/sites/default/files/2022/06/wcr_2022.pdf. Acesso em: 02 mai. 2023.

CAPÍTULO VIII

ANÁLISE TEMPORAL E QUANTIFICAÇÃO DA EXPANSÃO URBANA NO MUNICÍPIO DE TEÓFILO OTONI-MG

TEMPORAL ANALYSIS AND QUANTIFICATION OF URBAN EXPANSION IN THE MUNICIPALITY OF TEÓFILO OTONI-MG

DOI: 10.51859/amplla.aca638.1323-8

Mateus de Almeida Rodrigues¹
Gilmar Pagliaro Silva²
Fausto Antônio Domingos Júnior³
Renato Farias do Valle Junior⁴
Daniel Pena Pereira⁵

¹ Engenheiro Agrônomo. Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM

² Engenheiro Agrônomo. Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM

³ Doutor em Agronomia. Professor do Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM

⁴ Doutor em Agronomia. Professor do Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM

⁵ Doutor em Produção Vegetal. Professor do Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM

RESUMO

O estudo mostra a expansão urbana do município de Teófilo Otoni utilizando o software QGIS 2.22 Biatowieza e dados do MapBiomias disponibilizados na plataforma do Google Earth Engine. A área urbana do município foi isolada e vetorizada para calcular a área de expansão urbana relativa aos períodos de interesse. O estudo mostrou que, embora a área urbanizada tenha aumentado no período, a população total diminuiu. A expansão urbana desorganizada está aumentando principalmente em áreas periféricas onde há carência de planejamento, apresentando riscos à população. A ocupação dessas áreas apresenta riscos geológicos e ambientais, como enchentes e inundações durante a estação chuvosa. É necessário políticas de planejamento urbano para minimizar esses riscos. O estudo conclui que a ferramenta mapa biomas e as técnicas de geoprocessamento são uma forte aliada no diagnóstico de questões de ocupação do solo, mas é necessário aliar a essas ferramentas estudos prévios, conhecimento do local e até mesmo teste da veracidade das informações obtidas por meio de idas a campo.

Palavras-chave: Geoprocessamento. Google Earth Engine. Planejamento urbano. Riscos geológicos e ambientais.

ABSTRACT

The study shows the urban expansion of the municipality of Teófilo Otoni, using the QGIS 2.22 Biatowieza software and MapBiomias data available on the Google Earth Engine platform. The urban area of the municipality was isolated and vectorized to calculate the area of urban expansion relative to the periods of interest. The study showed that while the urbanized area increased in the period, the total population decreased. Disorganized urban sprawl is increasing, especially in peripheral areas where there is a lack of planning, posing risks to the population. The occupation of these areas presents geological and environmental risks, such as flooding and flooding during the rainy season. Urban planning policies are needed to minimize these risks. The study concludes that the biome map tool and geoprocessing techniques are a strong ally in the diagnosis of land occupation issues, but it is necessary to combine these tools with previous studies, knowledge of the site and even testing the veracity of the information obtained through field trips.

Keywords: Geoprocessing. Google Earth Engine. Town planning. Geological and environmental hazards.

1. INTRODUÇÃO

O município de Teófilo Otoni, localizado no estado de Minas Gerais, tem apresentado um crescimento urbano desordenado, com expansão principalmente em áreas periféricas. Segundo Ramos (2016), a expansão urbana desorganizada está aumentando principalmente em áreas periféricas onde há carência de planejamento. A ocupação dessas áreas apresenta riscos geológicos e ambientais, como enchentes e inundações durante a estação chuvosa. A literatura confirma que a ocupação dessas áreas – vertentes e margens de rios e ribeirões – apresenta riscos à população. Resulta também da urbanização desordenada a degradação dos recursos hídricos presentes na sede do município, que registra enchentes e inundações durante a estação chuvosa (FERRAZ, 2017).

Ferraz (2022) enfatiza em seu estudo o histórico de inobservância das potencialidades e limitações do sítio de ocupação, que se perpetua no tempo e no espaço, esteja intimamente associado às causas de inundações em vários setores da cidade. Quer pela ocupação de áreas impróprias, quer pela carência de planejamento da expansão urbana, a fixação de moradores às margens de canais fluviais hoje configura áreas de recorrentes inundações. Muitos dos riscos de desastres naturais são consequências do fenômeno da urbanização, que por sua vez traz em seu processo construtivo riscos que se manifestam pela carência de ajuste e ou aderência da produção do espaço urbano aos sistemas naturais, como frequência e intensidade de chuvas e vento, tal qual a biodiversidade (MARANDOLA et al., 2013).

Segundo estudos da Fundação João Pinheiro (2020), o fator determinante para a configuração demográfica da de Teófilo Otoni esteve diretamente relacionado aos movimentos migratórios e, provavelmente, assim o permanecerá. No primeiro momento, observa-se intensa migração rural-urbana que, no longo prazo, levará à estabilização da população rural em torno de 15% da população total.

Através do uso de técnicas de sensoriamento remoto aliada a Sistemas de Informações Geográficas torna-se possível de forma viável e eficaz, a identificação e validação de mudanças antropológicas no uso e ocupação do solo (FLORENZANO, 2002). Através do método de identificação do uso do solo de forma manual, tendo como base imagens remotas dos anos de estudo, é possível realizar o método de álgebra de mapas com finalidade de obter a diferença de geometrias que representam a infraestrutura do município (RODRIGUES, 2021).

O projeto MapBiomias realiza essa identificação de forma automatizada, através de métodos de classificação por meio do uso de aprendizado de máquinas (Random Forest) obtendo-se através do mesmo acurácia média satisfatória. (MAPBIOMAS, 2023).

Diante do exposto o presente trabalho teve por objetivo realizar as análises da expansão urbana do município de Teófilo Otoni – MG, entre os anos de 1991 a 2001 e 1991 a 2021. Por meio da ferramenta Mapa Biomas, coleção 7, disponível na plataforma Google Earth Engine.

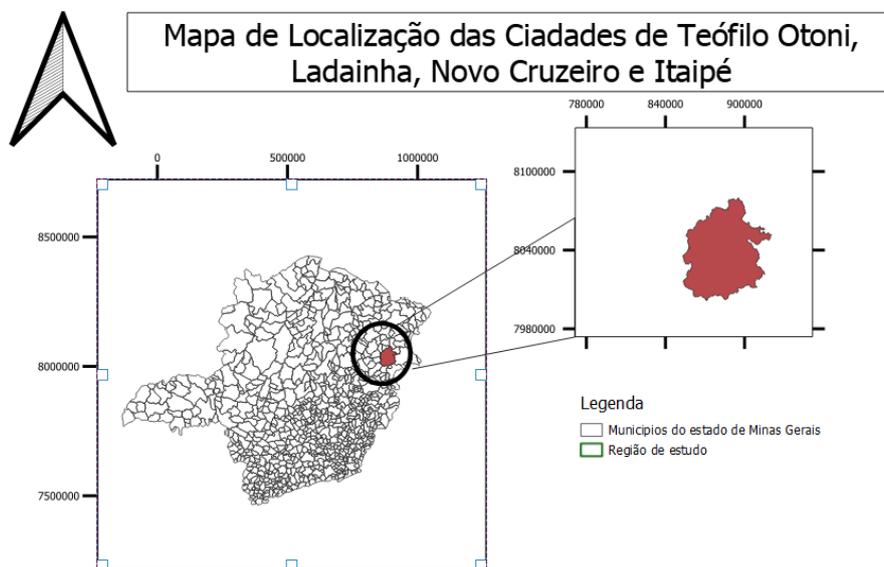
2. METODOLOGIA

2.1. Descrição da área do estudo

O município de Teófilo Otoni, localizado no estado de Minas Gerais, apresenta uma área de estudo de uso e ocupação do solo bastante diversificada. De acordo com o Plano Diretor Municipal de Teófilo Otoni de 2018 (BATELLA, 2018), a região é caracterizada por uma grande variedade de atividades econômicas, como a agricultura, a pecuária, a mineração, o comércio e a prestação de serviços.

O município localiza-se na região nordeste do Estado de Minas Gerais, conforme se apresenta na Figura 1. Situa-se na latitude $17^{\circ} 51' 15''$ Sul e a uma longitude $41^{\circ} 30' 23''$ a Oeste, apresentando a uma altitude máxima de 1.138 m, na sua divisa com o município de Caraií, e a uma altitude mínima de 366 m, na foz do córrego São Julião. Sua área total é de 629.237 hectares e encontra-se a 450 km da capital mineira (IBGE, 2021).

Figura 1 - mapa de localização do município de Teófilo Otoni-MG



Fonte: Autoria própria.

No que se refere à agricultura, a região é conhecida pela produção de café, milho, feijão, mandioca, entre outros produtos agrícolas. Segundo o IBGE (2021), a área plantada no município é de aproximadamente 28 mil hectares, sendo que a maior parte é destinada à

produção de café. Além disso, a pecuária também é uma atividade importante na região, com destaque para a criação de bovinos, suínos e aves.

Outra atividade econômica relevante em Teófilo Otoni é a mineração, com destaque para a extração de pedras preciosas, como o topázio imperial. De acordo com o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), o município é responsável por cerca de 80% da produção nacional de topázio imperial.

O clima predominante é do tipo Tropical Quente, Semiúmido. A temperatura anual média é de 23° C, mínima absoluta de 6° C e a máxima absoluta é de 38° C. A precipitação média anual é de 1.100 mm, das quais, a metade do volume pluviométrico ocorre no trimestre mais chuvoso que vai de novembro a janeiro. Apresenta déficit hídrico acumulado de 193,6 mm período de abril a setembro, sendo que a média mensal no período é de 32,3 mm, com excedente hídrico acumulado de 311,9 mm no período de outubro a março, acima da média mensal no mesmo período que é de 52,0 mm e a evaporação média anual é de 875 mm (IBGE, 2021).

2.2. Banco de dados

Os dados do mapa biomas coleção 7 foram adquiridos pela plataforma Google Earth Engine, enquanto os dados vetoriais dos municípios foram obtidos pelo site do IBGE. O Projeto MapBiomas coleção 7 é uma iniciativa promovida por uma rede colaborativa de especialistas em uso da terra, ocupação e biomas, disponibilizada na plataforma do Google Earth Engine. O estudo utilizou apenas uma fonte de raster extraída do projeto Mapa Biomas, que possui acurácia de classificação de 82,4%.

Inicialmente, os arquivos .Shp que englobavam a extensão geográfica da região em questão foram submetidos a um processo meticuloso de tratamento utilizando técnicas avançadas de geoprocessamento. O objetivo primordial era isolar estritamente a área que compreendia o escopo do estudo. Cada etapa deste processo envolveu a aplicação de algoritmos especializados e a cuidadosa seleção de parâmetros para assegurar a precisão e a integridade dos dados obtidos.

Simultaneamente, o arquivo raster correspondente foi submetido a um procedimento análogo, conduzido com o mesmo propósito: focalizar somente a região alvo, agora em formato rasterizado. Novamente, técnicas avançadas de geoprocessamento foram empregadas para garantir a exatidão da delimitação.

Com a região de interesse devidamente isolada, prosseguiu-se com a etapa crucial de reclassificação. Neste ponto, a ferramenta GASS r.reclass entrou em cena, sendo instrumental na segmentação da área urbana, identificada pelo código 24, das demais classes presentes no

conjunto de dados. A precisão desta operação foi vital, uma vez que delineou com precisão as zonas urbanizadas de interesse.

Posteriormente à reclassificação, implementou-se um processo de vetorização da imagem raster resultante. Esta etapa crucial visava transformar o conjunto de pixels classificados em uma representação vetorial, permitindo a análise e cálculos específicos associados à geometria da área urbana.

Com a representação vetorial da área urbana devidamente gerada, a etapa seguinte consistiu na determinação precisa da área de expansão urbana relativa aos períodos de interesse. Este cálculo foi efetuado diretamente na tabela de atributos do arquivo .shp. A fórmula \$área foi empregada para calcular individualmente as áreas urbanas identificadas pela classificação. Os resultados obtidos foram então registrados em um campo denominado "área".

Posteriormente, para obter a área total de expansão urbana, utilizou-se a fórmula "sum("área")", que permitiu a agregação das áreas individuais calculadas, culminando na geração do campo "área_tot". Este valor consolidado representou a extensão total da expansão urbana na região em análise.

2.3. Análise temporal da expansão urbana

A análise temporal de expansão urbana é uma ferramenta importante para entender como as cidades crescem e se desenvolvem ao longo do tempo. Segundo Silva et al. (2019), essa análise pode ser realizada por meio de técnicas de geoprocessamento, que permitem a manipulação de dados espaciais e a criação de mapas temáticos.

Para realizar a análise temporal de expansão urbana, é necessário coletar dados sobre o uso do solo em diferentes períodos. De acordo com Souza et al. (2010), esses dados podem ser obtidos por meio de imagens de satélite, fotografias aéreas, mapas históricos e registros administrativos.

Uma vez que os dados foram coletados, é possível utilizar técnicas de geoprocessamento para analisar as mudanças no uso do solo ao longo do tempo. Segundo Lima et al. (2018), essas técnicas incluem a criação de mapas de densidade, que mostram a distribuição espacial dos diferentes tipos de uso do solo, e a análise de métricas de paisagem, que permitem avaliar a fragmentação e a conectividade do ambiente urbano.

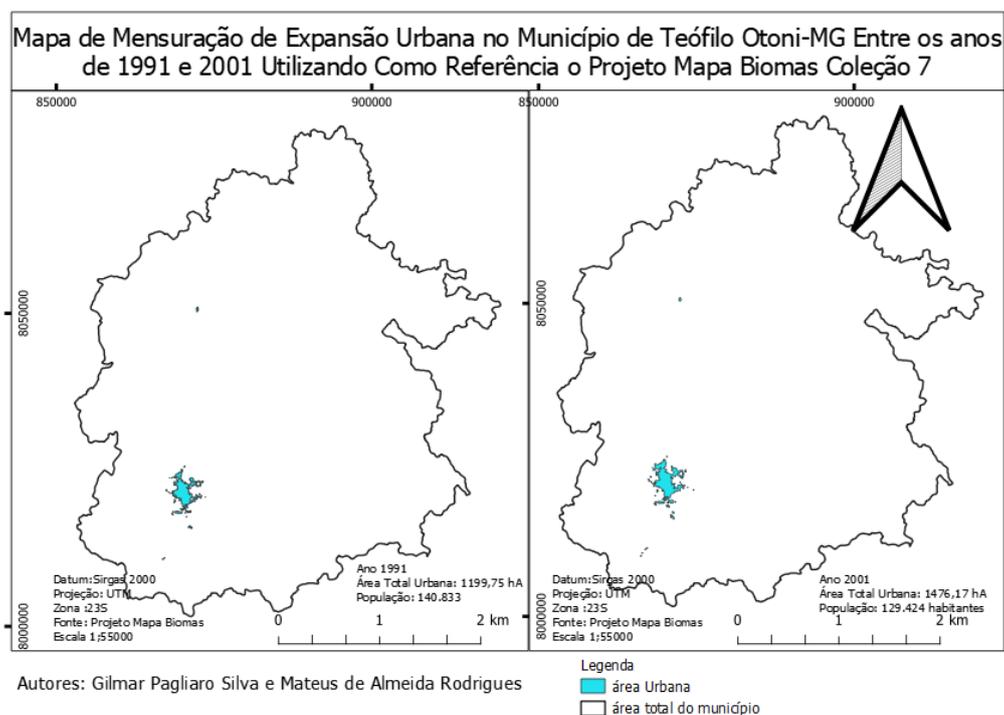
Além disso, é importante considerar fatores socioeconômicos e políticos que possam influenciar a expansão urbana. De acordo com Carvalho et al. (2017), esses fatores incluem políticas públicas de planejamento urbano, investimentos em infraestrutura e transporte, e mudanças na economia e na demografia da região.

Em resumo, a análise temporal de expansão urbana é uma ferramenta importante para entender como as cidades crescem e se desenvolvem ao longo do tempo. Para realizá-la, é necessário coletar dados sobre o uso do solo em diferentes períodos e utilizar técnicas de geoprocessamento para analisar as mudanças no ambiente urbano. Além disso, é importante considerar fatores socioeconômicos e políticos que possam influenciar a expansão urbana.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mapa a seguir nos mostra a expansão da área urbana do município de Teófilo Otoni, nele podemos ver que embora a área urbanizada tenha aumentado no período, sua população total diminuiu, segundo estudos da fundação João Pinheiro (2020), O fator determinante para a configuração demográfica da de Teófilo Otoni esteve diretamente relacionado aos movimentos migratórios e, provavelmente, assim o permanecerá. No primeiro momento, observa-se intensa migração rural-urbana que, no longo prazo, levará à estabilização da população rural em torno de 15% da população total. Teoricamente, pode-se pensar nesse contingente como o mais vulnerável à migração, dada a pressão que exerce sobre os fatores de produção locais. Somada a isso, está a incapacidade das áreas urbanas de absorver essa população rural (potenciais migrantes), uma vez que elas próprias não conseguem reter sua população por falta de oportunidades socioeconômicas.

Figura 2 - Mensuração da expansão urbana entre os anos de 1991 e 2001.



Fonte: Autoria própria

Na tabela abaixo podemos ver como se comportou o crescimento populacional de Teófilo Otoni desde a década de 1990 e como especialistas do IBGE, preveem o seu crescimento, corroborando com nossos resultados e com os resultados da Fundação João Pinheiro.

Tabela 1 - Taxa de crescimento populacional

Regiões	Taxas de crescimento (%)				
	1991/2000	2000/2010	2010/2020	2020/2030	2030/2040
Minas Gerais	1,43	0,91	0,65	0,43	0,11
RGInt de Teófilo Otoni	0,13	0,39	0,25	0,23	-0,32
Ataléia	-0,73	-1,28	-1,10	-0,11	-1,11
Carai	-0,41	0,81	0,59	0,36	-0,76
Umburatiba	-0,28	-0,42	-0,04	0,14	-1,44
Senador Modestino Gonçalves	-0,25	-1,08	-0,91	-0,36	0,28
Felício dos Santos	-0,14	-0,89	-0,74	-0,48	0,30
Teófilo Otoni	-0,05	0,59	0,27	0,56	0,26
Comercinho	-0,04	-1,87	-1,54	-0,23	-1,66
Santo Antônio do Jacinto	0,05	-0,13	-0,10	0,08	0,04
Santo Antônio do Itambé	0,35	-0,85	-0,71	-0,23	0,01
Berilo	0,37	-0,35	-0,28	0,26	0,12
Felisburgo	0,44	1,16	0,81	0,46	-1,09
Joáima	0,57	0,44	0,33	0,24	-1,25
Divisópolis	1,08	3,50	2,07	0,66	0,15
Ponto dos Volantes	2,28	0,93	0,66	0,39	-0,70
Palmópolis	2,41	-2,28	-1,84	-0,48	-0,44
Itaipé	2,46	1,12	0,78	0,45	-0,52
Divisa Alegre	3,18	2,21	1,03	0,68	0,50

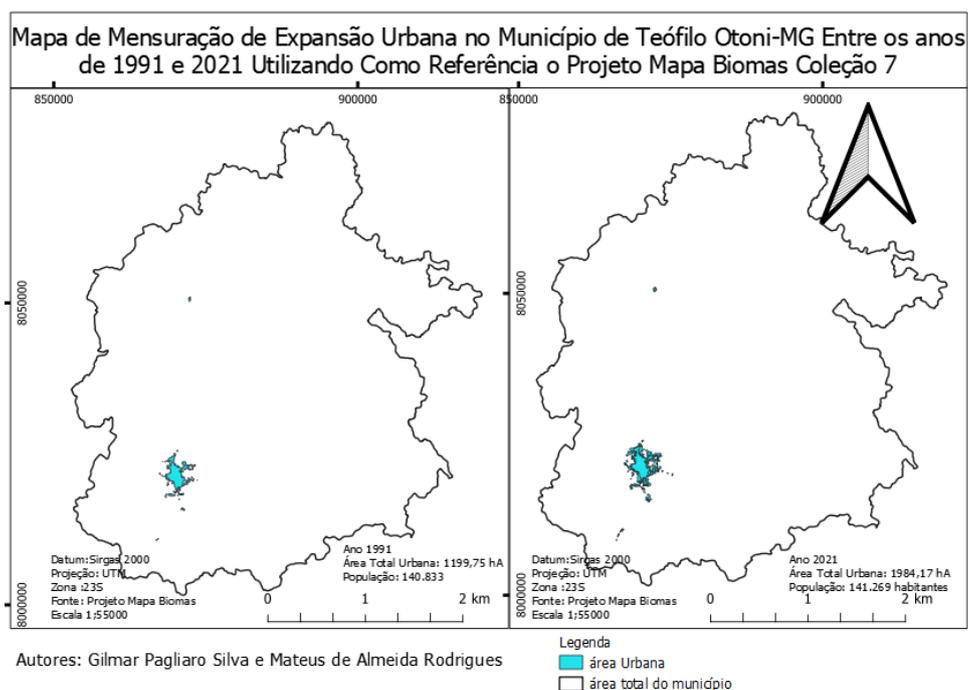
Fonte: Dados básicos: IBGE, Censos Demográficos de 2000 e 2010. FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2019.

Nota: municípios selecionados com base nas maiores e menores taxas de crescimento populacionais no período. Municípios ordenados conforme as menores taxas de crescimento observadas para a década de 1991/2000.

Fonte: Fundação João Pinheiro, 2020

Nota-se na Figura abaixo, que houve um aumento significativo de área urbanizada entre os anos de 1991 e 2021, mas o aumento populacional não acompanhou esse aumento em áreas urbanizada como se esperaria.

Figura 3 - Mensuração da expansão urbana entre os anos de 1991 e 2021

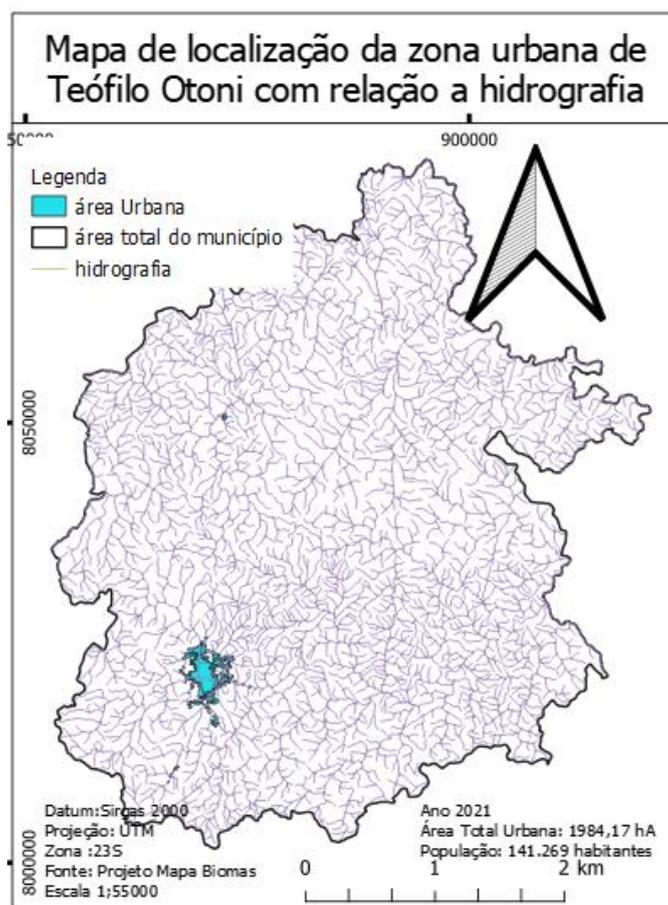


Fonte: autoria própria.

Nota-se que a expansão urbana desorganizada está aumentando principalmente em áreas periféricas onde há carência de planejamento. Segundo Ramos (2016), é na periferia que a questão se agrava, haja vista que além da falta de planejamento urbanístico e ambiental, as construções não são respaldadas por técnicas ou normas, que se fossem cumpridas serviriam para minimizar os riscos geológicos e ambientais.

Nota-se que a cidade em sua maior porção está concentrada próxima a corpos d'água, tal como encosta de morros, pois em seu processo de surgimento e futuramente expansão os principais meios de transporte de pessoas e mercadorias se dava por hidrovias e ferrovias. Tal observação corrobora com Batella (2018), que sustenta a opinião de que se deve atentar, ainda, para o papel da infraestrutura de transporte para estruturação da cidade, e também com Barroso (2016) que afirma que, o município de Teófilo Otoni em seu surgimento apoiou-se primeiramente nas hidrovias, que por sua vez, faziam a ligação entre os núcleos urbanos do norte de Minas Gerais com o litoral. Na sequência, a ferrovia passou a desempenhar o papel principal como meio de transporte de pessoas e mercadorias, sendo então substituída pelo atual sistema rodoviário no decorrer do século XX.

Figura 4 - mapa de localização da zona urbana com relação a hidrografia



Fonte: Autoria própria.

A literatura confirma que a ocupação dessas áreas – vertentes e margens de rios e ribeirões – apresenta riscos à população. O crescimento urbano de Teófilo Otoni apresenta desequilíbrio no aproveitamento e respeito às potencialidades e limitações do meio natural. Isso não apenas ocorreu em seu passado histórico, mas se repete no presente, configurando décadas de desrespeito à legislação vigente, ao bom senso e dando prova de carência de planejamento e gestão urbana. Resulta também da urbanização desordenada a degradação dos recursos hídricos presentes na sede do município, que registra enchentes e inundações durante a estação chuvosa (FERRAZ, 2017).

É necessário políticas de planejamento urbano para que os órgãos públicos não somente fiscalizem, mas também identifiquem e sistematizem técnicas adequadas para minimizar os riscos tanto geológicos quanto ambientais, principalmente no que se diz respeito a inundações. Ferraz (2022) enfatiza em seu estudo o histórico de inobservância das potencialidades e limitações do sítio de ocupação, que se perpetua no tempo e no espaço, esteja intimamente associado às causas de inundações em vários setores da cidade. Quer pela ocupação de áreas impróprias, quer pela carência de planejamento da expansão urbana, a fixação de moradores às margens de canais fluviais hoje configura áreas de recorrentes inundações.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora a área urbanizada tenha aumentado no período, a população total diminuiu. A expansão urbana desorganizada está aumentando principalmente em áreas periféricas onde há carência de planejamento, apresentando riscos à população. A ocupação dessas áreas apresenta riscos geológicos e ambientais, como enchentes e inundações durante a estação chuvosa.

É necessário políticas de planejamento urbano para minimizar esses riscos. O estudo conclui que a ferramenta mapa biomas e as técnicas de geoprocessamento são uma forte aliada no diagnóstico de questões de ocupação do solo, mas é necessário aliar a essas ferramentas estudos prévios, conhecimento do local e até mesmo teste da veracidade das informações obtidas por meio de idas a campo.

REFERÊNCIAS

BARROSO, L. Nas trilhas da Estrada de Santa Clara. *Sistemas, Cibernética e Informática*. v.13, n. 2, p. 57-62, 2016

BATELLA, W. Estruturação urbana de Teófilo Otoni/MG: a topografia social de uma cidade média no Vale do Mucuri/Urbanstructuring of Teófilo Otoni/MG: the social topography of a medium-sized city in the Mucuri Valley. *Caderno de Geografia*, v. 28, n. 54, p. 793-811, 2018.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades e Estados, 2021. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 29 mar. 2023.

CARVALHO, M. S. et al. Análise da expansão urbana de Teresina-PI: uma abordagem a partir de imagens de satélite. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 10, n. 6, p. 2047-2060, 2017.

FERRAZ, C. M. L.; VALADÃO, R. C.; ALMEIDA, R. A.; SCHETINI, A. C. S.; GOMES, G. V. Expansão urbana de Teófilo Otoni–MG: aplicação de técnicas de geoprocessamento na contribuição para ordenamento territorial. *Revista Vozes dos Vales. Teófilo Otoni*, v. 1, n. 11, p. 1-22, 2017.

FERRAZ, C. M. L.; VALADÃO, R. C.; PINTO, D. B. .F.; ALMEIDA, R. A. Inundações e alagamentos em Teófilo Otoni, Minas Gerais, Brasil, segundo indicadores geomorfológicos. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 23, n. 4, p. 1893-1910, 2022.

Fundação João Pinheiro, Estudos Populacionais - Demografia, V.2, N.3, 08 de Abril de 2020.

MapBiomas Brasil. Annual Land Use Land Cover Maps of Brazil. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/>. Acesso em: 19 de maio de 2023.

MARANDOLA, JR. E.; MARQUES, C.; DE PAULA, L, T.; CASSANELI, L. B. Crescimento urbano e áreas de risco no litoral norte de São Paulo. *Revista Brasileira de Estudos de População*, v. 30, p. 35-56, 2013.

LIMA, L. M. et al. Análise temporal da expansão urbana de São Luís-MA: uma abordagem utilizando métricas de paisagem. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 11, n. 5, p. 1745-1757, 2018.

RODRIGUES, R. B.; PEREIRA, D. P.; GUIMARÃES, P. P.; FIEDLER, D. C. Análise temporal e quantificação da expansão urbana em função do crescimento do agronegócio no município de Conceição das Alagoas/MG. *AGROPECUÁRIA CIENTÍFICA NO SEMIÁRIDO*, v. 16, n. 4, p. 183-189, 2021.

RAMOS, O. J.; GOMES, A. J. L. Estratégias para Prevenção de Riscos Ambientais e Geológicos nos Espaços Urbanos da Cidade de Teófilo Otoni. *Revista Vozes dos Vales. Teófilo Otoni*, v. 1, n. 9. , p. 1-16, 2016.

SILVA, R. A. et al. Análise temporal da expansão urbana de São Luís-MA: uma abordagem utilizando técnicas de geoprocessamento. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 12, n. 2, p. 438-450, 2019.

SOUZA, R. C. M. et al. Análise temporal da expansão urbana de Teresina-PI: uma abordagem a partir de imagens de satélite. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 3, n. 2, p. 123-134, 2010.

CAPÍTULO IX

PANORAMA DA LOGÍSTICA REVERSA DE MEDICAMENTOS NA CIDADE DE UBERABA FRENTE AO NOVO DECRETO 10.388/22

OVERVIEW OF REVERSE LOGISTICS OF MEDICINES IN THE CITY OF UBERABA IN VIEW OF THE NEW DECREE 10,388/22

DOI: 10.51859/amplla.aca638.1323-9

Gilmara Aparecida da Silva ¹
Fausto Antônio Domingos Júnior ²
Maytê Maria Abreu Pires de Melo Silva ³
Marina Farcic Mineo ⁴

¹ Estudante do curso de pós-graduação em Gestão Ambiental. Instituto Federal do Triângulo Mineiro – IFTM.

² Doutor em Agronomia. Professor do Instituto Federal do Triângulo Mineiro – IFTM.

³ Doutora em Agronomia. Professor do Instituto Federal do Triângulo Mineiro – IFTM.

⁴ Doutora em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais. Professora do Instituto Federal do Triângulo Mineiro – IFTM.

RESUMO

Os medicamentos foram desenvolvidos para ajudar a humanidade a enfrentar os problemas de saúde, porém o seu descarte de maneira indiscriminada pode não apenas impactar o ambiente que nos cerca como ironicamente causar danos à saúde humana, quer seja pela contaminação direta ou pela contribuição no desenvolvimento das superbactérias. Outra grande preocupação é a contaminação do solo e corpos hídricos, pois para muitas substâncias não há maneira de remoção eficiente e/ou viável até o momento. Por esse motivo, surge o decreto 10.388/2020 que regulamenta a logística reversa desses materiais pelas próprias farmácias e drogarias de municípios com mais de 300 mil habitantes. Uberaba, um município com cerca de 340 mil habitantes, teve uma lei de logística reversa vetada na câmara, devido à falta de estudo técnico econômico. Sendo assim, realizou-se o presente diagnóstico para conhecer a situação atual do tema como forma de serem propostas regulamentações e projetos para que o decreto seja atendido. Verificou-se que mais de 60% dos entrevistados afirmaram descartar as embalagens de medicamentos no lixo doméstico, bem como mais de 50% dos medicamentos. A maioria (78%) dos participantes afirma ter noção dos riscos, o que demonstra ser a falta de informação sobre o descarte correto um grande problema a ser enfrentado para um sistema de logística reversa que de fato atenda o decreto 10.388/22.

Palavras-chave: Descarte de medicamentos, Gestão ambiental, Meio ambiente, Resíduos da área da saúde, Resíduos químicos.

ABSTRACT

Medicines were developed to help humanity face health problems, but their indiscriminate disposal can not only impact the environment that surrounds us, but ironically cause damage to human health, either through direct contamination or by contributing to the development of superbugs. Another major concern is the contamination of soil and water bodies, as for many substances there is no efficient and/or feasible way of removal to date. For this reason, Decree 10,388/2020 arises, which regulates the reverse logistics of these materials by pharmacies and drugstores in municipalities with more than 300 thousand inhabitants. Uberaba, a municipality with about 340,000 inhabitants, had a reverse logistics law vetoed in the chamber of deputies, due to the lack of technical economic study. Therefore, the present diagnosis was carried out to know the current situation of the subject as a way to propose regulations and projects so that the decree is complied with. It was found that more than 60% of the interviewees stated that they dispose of the packaging of medicines in the household waste, as well as more than 50% of the medicines. The majority (78%) of the participants say they are aware of the risks, which demonstrates that the lack of information about correct disposal is a major problem to be faced for a reverse logistics system that actually complies with Decree 10,388/22.

Keywords: Drug Disposal, Environmental Management, Environment, Healthcare Waste, Chemical Waste.

1. INTRODUÇÃO

O descarte irregular de resíduos gera grandes problemas, não apenas do ponto de vista ambiental, como também na questão social, afetando diretamente a saúde das populações humanas. Um dos tipos de resíduo que mais causa preocupação atualmente é o da área da saúde, mas especificamente os resíduos de medicamentos.

Sendo o Brasil um dos países que mais utiliza medicamentos no mundo, pode-se observar o tamanho do problema que o país enfrenta. Segundo dados publicados pelo relatório da ABDI em 2013, as vendas de medicamentos no Brasil em 2010 chegaram a 103 mil toneladas de medicamentos e sendo que destes o descarte correto variou entre 11,3 e 19,6 mil toneladas. Pode-se observar um cenário extremamente preocupante diante do desconhecimento de técnicas que retirem essas substâncias da água e do solo, que são as principais vias de descarte irregular (EICKHOFF; HEINECK; SEIXAS, 2009).

Apesar de estar devidamente prevista na Política Nacional de Resíduos Sólidos desde 2012, a logística reversa de medicamentos apenas ganhou um decreto regulamentador em 2020, com o decreto 10.388/20 que vai passar a obrigar a existência de pontos de coleta de medicamentos em farmácias, começando por municípios com mais de quinhentos mil habitantes do primeiro ao segundo ano da fase 2 e terminando com municípios com mais de cem mil habitantes do terceiro ao quinto ano da fase 5.

O planejamento é fundamental para as atividades governamentais, uma vez que possibilita sair da improvisação para assegurar que os programas e ações públicas estejam de acordo com as necessidades do seu público-alvo, ampliando assim suas chances de sucesso, e para que esse planejamento seja eficiente é preciso valer-se dos dados elencados num diagnóstico situacional (IBGE, 2023). Dessa forma, o presente estudo buscou obter um levantamento de dados diagnósticos acerca da questão da logística reversa de medicamentos no município de Uberaba-MG, à luz do novo decreto, como forma de subsidiar a tomada de decisão por parte dos gestores, uma vez o município já apresenta um projeto de lei que foi arquivado por falta de uma base de estudo sólida na questão (BARCELOS, 2022).

Partindo daí este estudo teve como objetivo realizar um diagnóstico situacional da logística reversa de medicamentos em Uberaba-MG, analisando o número de estabelecimentos de venda de medicamentos, os mecanismos que já se dispõe e o nível de informação da população sobre o destino desses resíduos, buscando gerar um material que sirva de base para as futuras regulamentações a serem feitas pelo poder público.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O uso de medicamentos é uma prática antiga, que acompanha a evolução da humanidade desde meados dos anos 2000 A.C. Ao longo da história, desde o modo de fabricação quanto às formas de consumo foram modificados, passando de chás e extratos naturais para fórmulas químicas complexas (DOS ANJOS SILVA, 2020).

Em 2019, o mercado de medicamentos movimentou só no Brasil 85,9 bilhões de reais e gerou um total de 5,3 bilhões de embalagens (CMED, 2021). Um gravíssimo problema, visto que apenas 20% das embalagens no mundo têm um destino ecologicamente correto. E, quando descartadas de forma incorreta, essas substâncias afetam diretamente os organismos que encontram no caminho, quer seja no meio aquático ou terrestre, até chegar ao topo da cadeia alimentar (ECYCLE, 2021).

Grande parte desses resíduos está propensa à bioacumulação, ou seja, eles persistem nos organismos e são passados através da alimentação de uma espécie para outra, além de não se saber quais efeitos podem causar ao se encontrar com outras substâncias no ambiente (GRACIANI; FERREIRA, 2014).

Essa preocupação tem se tornado cada vez mais assustadora, principalmente com o surgimento das “superbactérias”, que são resistentes à maioria dos tipos de antibióticos existentes até hoje e já causam, apenas nos Estados Unidos, 23 mil mortes por ano, que de acordo com estimativas internacionais, podendo chegar em 2050 a 300 milhões de mortes devido às superbactérias, e uma perda estimada de 60 a 100 trilhões de dólares em perda de produção e cuidados com a saúde (SILVA, 2017).

Com uma proporção de redes farmacêuticas cerca de 3 vezes maior do que a recomendada pela OMS, o Brasil é um país que tem muito com o que se preocupar. Visto que o número de fármacos identificados no ambiente saltou de 25 em 1996, para 80 diferentes substâncias já identificadas em 2002. E que os atuais sistemas de tratamento de água são ineficientes na remoção dos mesmos. Como se não bastasse, já é possível perceber efeitos desses compostos em órgãos e células em toda a cadeia alimentar, contanto com indícios de ação prejudicial até mesmo em seres humanos segundo estudo feito com águas do rio Olona próximo a Milão que evidenciou a diminuição do crescimento de células embrionárias, além é claro, das evidências de feminização de peixes em águas com certa concentração de fármacos (GRACIANI; FERREIRA, 2014).

No Brasil, a lei 12.305/12 – Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituiu um importante mecanismo para controle da poluição: a logística reversa. E, apesar de existirem

normas como as resoluções Anvisa RDC 306/04 e CONAMA 358/05, não existia um mecanismo que tratasse exclusivamente da logística reversa de medicamentos. Porém, surge em 2020 o Decreto Federal 10.388 de 5 de junho de 2020, com a finalidade de regulamentar essa logística reversa para medicamentos de uso doméstico, um importante avanço para a busca da minimização dos graves impactos ambientais causados pelo descarte indevido dessas substâncias. O decreto prevê a criação de ações cooperativas entre estado, indústria e organizações para a criação e implementação de pontos de coleta de medicamentos em desuso nas próprias redes farmacêuticas. Cria obrigatoriamente um ponto de coleta para cada dez mil habitantes, a começar pelas cidades com mais de quinhentos mil habitantes, seguido em fase posterior, por municípios menores (BRASIL, 2020).

O município de Uberaba-MG, localizado na microrregião do Triângulo Mineiro, com uma área de mais de 4 mil quilômetros quadrados, conta com uma população estimada de mais de 340 mil habitantes (IBGE, 2023). É nesse cenário que se pretende avaliar como está a situação da logística reversa de medicamentos, quais os mecanismos estão ou não funcionando e quais mecanismos podem ser criados para que isso aconteça de acordo com as exigências do decreto 10.388/20 nos próximos anos.

3. METODOLOGIA

Inicialmente, o projeto foi submetido à análise do Comitê de Ética de Pesquisa. Após aprovação (Parecer consubstanciado CEP-UFTM nº 5.935.153), foi realizada uma pesquisa bibliográfica para levantar os dados sobre o município bem como procurar por mecanismos que já existam no município para atender ao novo decreto federal.

Para o levantamento do número de estabelecimentos comerciais foi utilizado o mapa de empresas do governo digital, além de bases de dados do Google Earth. A verificação da existência ou não de mecanismos de logística reversa implantados nestes estabelecimentos por informações da Prefeitura Municipal de Uberaba-MG e o levantamento de dados sobre as ações que porventura existirem realizadas por meio de visita in loco e questionário físico.

Os questionários online têm se tornado cada vez mais aliados da pesquisa científica, quer seja pela sua praticidade em fornecer dados de fácil interpretação, ou pela sua capacidade de romper barreiras territoriais (FALEIROS et al, 2016). Desse modo, foi utilizada a metodologia “Bola de Neve Virtual” adotada por Costa (2018), que consiste na utilização das redes sociais virtuais como meio de divulgação e multiplicação de conteúdo, aproveitando-se da característica viral de tais redes, para que fosse possível perceber como a população lida com o assunto no dia a dia. Os dados obtidos de percepção e ações do público em geral, juntamente

com o levantamento feito nas farmácias, subsidiaram a análise sobre os possíveis entraves para o cumprimento do decreto federal na cidade. Ambos os questionários foram adaptados de Pflugseder (2015).

Também se contou com a pesquisa bibliográfica de modelos e metodologias que já existiam como forma de se criar um comparativo de cenários, utilizando das bases de dados como Google acadêmico, Scielo e Periódicos CAPES.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Brasil é um dos dez países que mais consomem medicamentos no mundo, havendo, em média, uma farmácia para cada 3.300 habitantes, e, segundo a OMS, cerca de 50% dos usuários de medicamentos fazem o uso de forma incorreta (CNS, 2015). Minas Gerais possui um total de 17.540 estabelecimentos farmacêuticos, segundo dados do Conselho Regional de Farmácia (BRASIL, 2022).

O município de Uberaba está localizado na Mesorregião do Triângulo Mineiro que conta atualmente com uma população estimada de 340.277 habitantes, e possui uma área territorial de mais de 4.500 km², com uma área urbana de 98,72km². Possui uma economia que movimenta um PIB de quase 60 mil reais per capita e conta com 71 estabelecimentos de saúde pelo SUS, segundo dados do IBGE (IBGE, 2023). Possui um total de 203 empresas ativas no ramo de comércio de produtos farmacêuticos, sendo, dessas, 121 microempresas e 27 empresas de pequeno porte segundo dados do mapa de empresas do governo federal (BRASIL, 2023).

A partir da sobreposição dessas informações com o mapa do Google Earth foi possível gerar um mapa de distribuição de empreendimentos no território urbano do município (FIGURA 1). Nota-se uma maior concentração de farmácias e drogarias na região central, onde foi possível identificar 13 estabelecimentos num raio de cerca de 200 metros.

Além dos pontos comerciais mencionados, em Uberaba há uma farmácia solidária que entregou mais de 1 milhão de medicamentos gratuitos até 2021. O projeto que funciona a partir de medicamentos arrecadados de doações de médicos, representantes e principalmente da própria população que doa medicamentos que não estão em uso, os quais são distribuídos mediante apresentação de receita, sendo atualmente um dos principais mecanismos utilizados pelo município (UBERABA, 2021).

pela organização sem fins lucrativos - VALORMED, sendo implantado no período de 2016 a 2020 (VALORMED, 2021).

No relatório que a VALORMED (2021) divulgou em 2021, foi possível observar a importância da sensibilização e do diagnóstico para o início do processo de implantação e ao longo dos anos. Analisando o processo de sensibilização apontado no relatório, os meios de comunicação priorizados foram as redes sociais em especial, Facebook, LinkedIn e Instagram, além das newsletters oferecidas aos parceiros. Outro ponto que se pôde destacar foram as ações diversificadas de sensibilização amplamente utilizadas durante todo o processo, ocorrendo ações do tipo Caminhadas pela Promoção da saúde, Feiras da Saúde, ações para crianças do Pré-escolar, ações para jovens, Seminários/Fórum Educacional, além de visitas às farmácias participantes, programas de rádio e tv, criação de conteúdo na internet, distribuição de panfletos e sacolas para armazenamento dos remédios até o descarte.

Ainda, segundo observado nos dados disponibilizados pela VALORMED (2021), o programa conta atualmente com 134 centros de recepção, 2.903 farmácias participantes das 2.922 existentes, totalizando um ponto de coleta para cada 3.193 habitantes. O sistema elaborado pela empresa conta com parceiros para fazerem o transporte e armazenamento e tratamento das embalagens, centros de triagem que separam os materiais recicláveis que são revertidos para a reciclagem, como é o caso das embalagens, enquanto os resíduos não recicláveis são encaminhados para recuperação energética, e se baseia na adesão tanto de fabricantes como comerciantes, de forma que se possa controlar e perceber a efetividade do trabalho quanto às quantidades de produtos produzidos.

Desta forma, possibilitou-se a recolha no ano de 2021 de cerca de 1.142 toneladas de medicamentos, destacando o potencial de resíduos de embalagens de cerca de 5.124 toneladas dos que foram declarados à empresa apenas em 2021. A sustentabilidade da empresa é mantida pela valorização tanto dos recicláveis comerciáveis oriundos de embalagens (37,7%) quanto da recuperação energética oriunda da incineração dos resíduos medicamentosos (61,41%), o que ocorre com cerca de 95,7% dos que são destinados à destruição (VALORMED, 2021).

A segunda etapa do presente trabalho contou também com uma pesquisa tipo entrevista realizada em dois meios distintos, o meio virtual utilizando-se da ferramenta Formulários Google e uma via pesquisa presencial por meio de questionário físico distribuído na rede farmacêutica.

Do questionário virtual, foram totalizados 44 preenchimentos. O número de participantes foi menor do que o esperado para um formulário virtual, dada a facilidade com que ele pode alcançar um grande número de pessoas mesmo com compartilhamento em várias

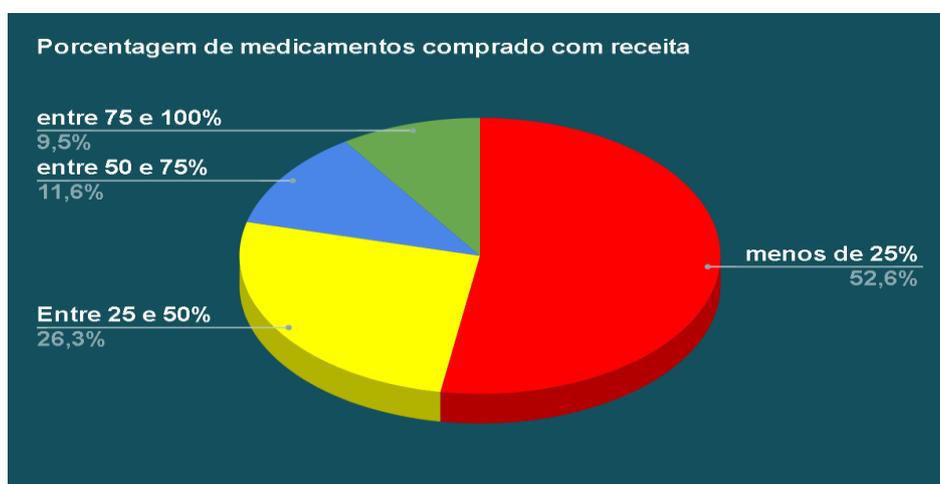
redes sociais, sendo elas Instagram, whatsapp, Telegram e Facebook. Alguns fatores podem ter colaborado com a baixa adesão, dentre eles a falta de afinidade com o tema, dificuldade ou demora no preenchimento, ou até mesmo insegurança em fornecer os dados. Sobre o público participante, cerca de 45,2% dos participantes estão na faixa etária entre 18 a 39 anos, e outros 50% de 39 a 59 anos e apenas 4,8% acima de 60 anos Evidenciando a adesão mais acentuada do público mais jovem e de meia idade à pesquisa, possivelmente por dificuldade ou tempo menor de acesso à internet.

A respeito da escolaridade dos participantes, 54,8% apontou estar no nível de pós-graduação e outros 33,3% no nível superior, enquanto o nível ensino médio apresentou apenas 11,9% dos participantes. Evidenciando uma maior adesão por parte do público com maior nível de escolaridade, o que pode associar o engajamento com nível de instrução a que o indivíduo é submetido, uma vez que pessoas com menos escolaridade não teriam facilidade para compreensão acerca da importância de participar neste tipo de estudo.

Sobre o costume de consumir medicamentos, a maioria (90,5%) confirmou esse hábito. O medicamento mais consumido pelos entrevistados é o analgésico (sendo mencionado por 61% dos participantes), seguido pelo o anti-inflamatório (25%), os medicamentos hormonais (20%), antibióticos (15%), antidepressivos (13%), antialérgicos (6%) e anti-hipertensivos (6%). Os entrevistados podiam marcar mais de uma opção.

Ao referir-se ao percentual de medicamento consumido com receita médica, menos de 10% dos entrevistados mencionaram comprar entre 75% e 100% dos seus medicamentos com indicação médica (Figura 2), sendo evidenciado o hábito de consumir medicamentos sem receita médica.

Figura 2 - Medicamentos comprados com receita informados por meio de formulário virtual com a população de Uberaba-MG.

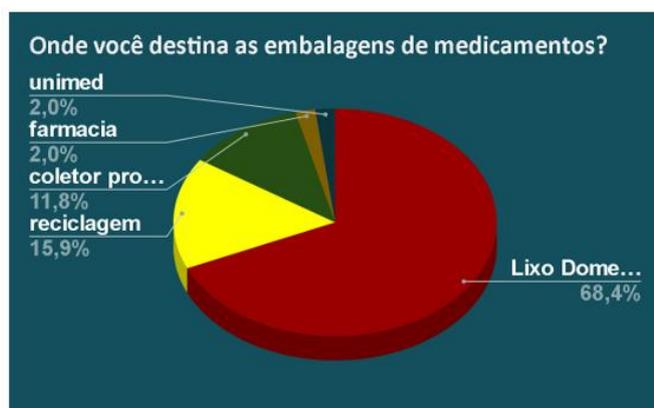


Fonte: do autor.

Quanto ao destino dado às embalagens de medicamentos, destaca-se que 68,4% dos entrevistados descartam as embalagens de medicamentos no lixo doméstico, enquanto apenas 11,8% descartam o coletor próprio e 15,9% separam para a reciclagem (Figura 3). Sobre as sobras de medicamentos, 53,6% dos participantes alegam descartar no lixo doméstico, enquanto 16% alega que não sobram medicamentos e 11,3% dizem que guardam em casa as sobras (Figura 4). Um dado preocupante quando não se sabe de que forma os medicamentos são armazenados em casa e qual fim eles possuem a longo prazo. Um outro dado relevante apresentado foi o hábito de jogar os medicamentos vencidos diretamente no vaso sanitário.

De maneira contrastante, houve a afirmação por parte de 78,6% dos participantes de terem noção que existem riscos ao descartar embalagens e medicamentos no lixo doméstico, porém é possível justificar essa atitude uma vez que a maioria dos entrevistados menciona como motivo para a não-destinação adequada desses resíduos a falta informação (88,1%), bem como falta de campanhas de incentivo (69%), conscientização das pessoas sobre o tema (76%) e falta de pontos de coleta (66,7%).

Figura 3 - Destino de embalagens de remédio.



Fonte: do autor.

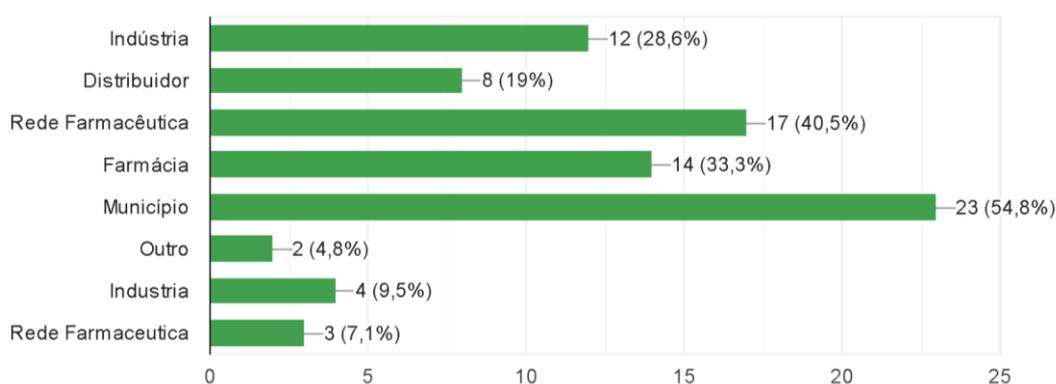
Figura 4 - Destino das sobras e vencidos.



Fonte: do autor.

Quando questionados acerca de quem deveria ser responsável pela destinação adequada de medicamentos e embalagens, foi possível notar que mais da metade dos entrevistados (54,8%) julga ser uma obrigação do poder público, enquanto 40,5% acreditam que a responsabilidade seria da rede farmacêutica (Figura 5).

Figura 5 - Responsabilização sobre os resíduos de medicamentos de acordo com entrevistados no município de Uberaba-MG.



Fonte: do autor.

Quanto aos questionários entregues aos estabelecimentos da rede farmacêutica, foram respondidos 17, sendo um por estabelecimento. Essas farmácias estão localizadas em sua maioria na região central, shopping e nas proximidades do parque Fernando Costa, todos locais de grande circulação de pessoas, ao longo de um trajeto de aproximadamente 10 quilômetros.

A primeira informação que se percebe nos questionários distribuídos pela rede farmacêutica, é a de que é possível confirmar a informação dos consumidores que o tipo de medicamento mais vendido é o analgésico, conforme se verificar na tabela 1 abaixo, em que 12 dos 17 estabelecimentos apontam como o mais vendido,, seguido pelo anti-inflamatório apontado como segundo mais vendido por 9 dos 17 locais, bem como é possível perceber uma distribuição quase uniforme entre os outros colocados. Sendo 7 dos 71 julgando o terceiro e quarto mais vendido como sendo o antidepressivo (7 dos 17 em 3º e 5 dos 17 em 4º, respectivamente) , aparece o hormonal com 8 das 17 respostas. E o que se pode observar é que há uma grande diferença nas respostas, de acordo com o público usuário.

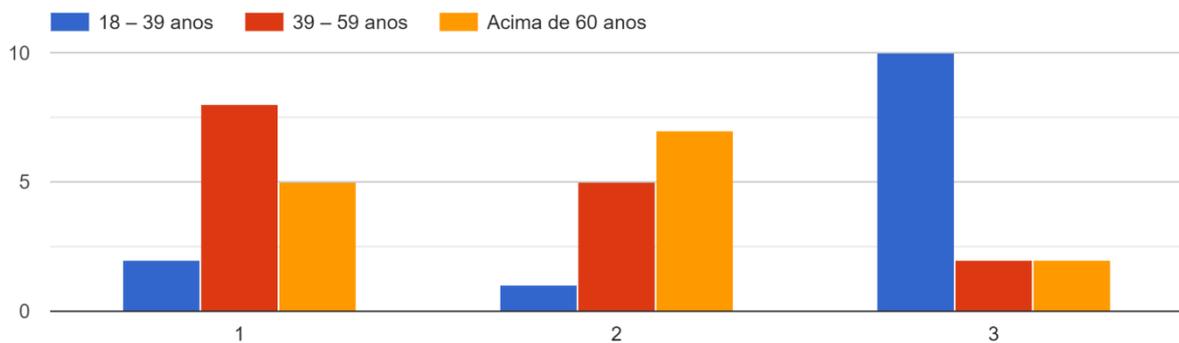
Analisando a faixa etária dos clientes foi possível perceber 3 padrões distintos conforme apresentado na figura 6 a seguir, o que demonstra que a idade dos clientes varia em função da localização do estabelecimento. Vale ressaltar que foi possível observar que nos estabelecimentos nas proximidades com escolas o público de maior circulação dos estabelecimentos consequentemente são os mais jovens, enquanto que nas proximidades de lojas e áreas de lazer o público de maior frequência altera para a meia idade e idosos. Assim como a faixa etária a quantidade de pessoas que passam diariamente em cada estabelecimento varia conforme a localização, porém foi possível chegar a uma média de 184 pessoas por dia que frequentam os estabelecimentos participantes.

Tabela 1 - Ordene de forma crescente (1 a 5) os medicamentos mais consumidos pelos clientes.

Ordene de forma crescente (de 1 a 5) os medicamentos mais consumidos pelos clientes desse estabelecimento																	
estabelecimentos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Antibiótico	1º	4º	5º		3º	3º	5º	5º	2º	3º	5º	4º	4º	5º	3º	5º	4º
Anti-inflamatório	1º	1º	3º		2º	2º	2º	4º	4º	2º	4º	2º	1º	2º	2º	2º	2º
Analgésico	1º	2º	2º		1º	1º	1º	1º	5º	1º	1º	1º	2º	1º	1º	1º	1º
Antidepressivo	1º	3º	1º	1º	4º	4º	3º	2º	1º	4º	3º	3º	3º	4º	4º	3º	3º
Hormonal	1º	5º	4º		5º	5º	4º	3º	3º	5º	2º	5º	5º	3º	5º	4º	5º

Fonte: do autor.

Figura 6 - Faixa etária dos clientes que mais consomem medicamentos.



Fonte: do autor.

Quanto ao uso de receita o que se observa é uma predominância de medicamentos vendidos sem receita, sendo que 13 dos 17 estabelecimentos apontaram que mais de 50% dos clientes compram medicamentos sem receita médica.

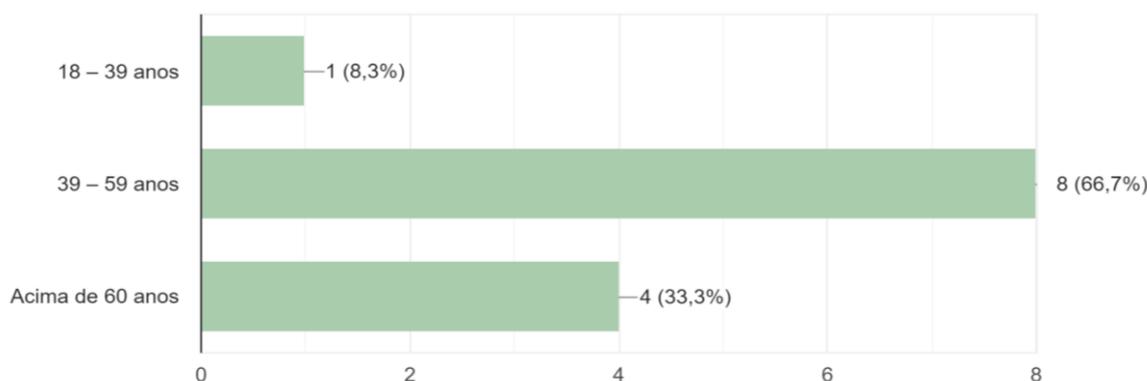
A respeito de informar seus clientes sobre o descarte correto de medicamentos foi possível obter que quase metade dos estabelecimentos (47,1%) não informam seus clientes do assunto, ainda que 81,3% tenha apontado oferecer um coletor específico nos estabelecimentos, porém localizado visualmente pelo pesquisador somente em 3 locais, sendo um não foi na forma de totem deposite aqui, mas como caixas empilhadas no fundo do balcão, o qual só foi possível identificar por meio das etiquetas externas.

Quanto ao que levou o estabelecimento a adotar tal procedimento, a grande maioria (92,3%) apontou se tratar de uma política adotada pela rede, enquanto pouco mais de 50% apontou ser uma preocupação com o meio ambiente.

Em relação a quantidade de pessoas que descartam medicamentos ou embalagens por dia, foi possível calcular uma média de 2 pessoas para cada estabelecimento ao dia, porém segundo informação dos profissionais é difícil estimar por dia essa quantidade, uma vez que as pessoas deixam juntar certa quantidade de medicamentos e embalagens antes de devolver ao estabelecimento, podendo acontecer poucas devoluções por mês.

Ao observar a faixa etária dos consumidores que descartam corretamente, foi possível notar uma maior participação do público de meia idade, apontada pela maioria dos estabelecimentos (Figura 7).

Figura 7 - Respostas dos representantes das farmácias sobre a faixa etária do público que costuma descartar corretamente os medicamentos e embalagens.



Fonte: do autor.

Quanto ao formato de descarte dos resíduos nas farmácias, foi indicado como principal os medicamentos vencidos (66,7%), seguido de sobras de medicamentos (33,3%) e embalagens (25%). Os entrevistados podiam marcar mais de uma opção. Quanto à quantidade de quilos de medicamentos coletados por mês, pode-se notar uma grande variação com respostas que vão desde 300g a 20 kg. Porém vale ressaltar que essa quantidade varia também em função da visibilidade e informação ofertada aos clientes. Embora muitas afirmam passar a informação para o cliente, durante a realização do estudo não foi observado nenhuma ocorrência nesse sentido.

Ao serem questionados sobre o destino dado aos medicamentos vencidos e sobras, a maioria dos profissionais só souberam informar a empresa especializada no recolhimento, sem, contudo, saber o destino que a empresa dá aos medicamentos. Das poucas que souberam informar o destino, relataram que é realizado pela própria rede.

Por fim, os estabelecimentos apontam como responsáveis pela logística reversa os próprios estabelecimentos e a rede farmacêutica em conjunto com a indústria, ao quase o mesmo que foi notado pelos consumidores, com a diferença que os participantes indicam também responsabilidade por parte do poder público, representado pelo município.

Sobre as dificuldades do estudo, é importante perceber que nem todos os estabelecimentos visitados souberam responder a pesquisa, uma vez que condicionam a tarefa ao profissional farmacêutico, demonstrando que os demais atendentes muitas vezes não ficam inteirados do assunto. Nesse ponto é importante notar que uma forma de tornar mais eficiente

a disseminação de informação para os clientes, poderia ser trabalhar a informação para todos os atendentes, por meio de minicursos ou palestras.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir daí é possível concluir que, a questão dos medicamentos é uma questão séria que exige uma tomada de decisão por parte do poder público, como uma maneira de fomentar uma educação ambiental eficiente a ponto de serem estruturados sistemas realmente funcionais.

Porém este não é um resultado possível de se alcançar sem o conhecimento de estudos prévios tais como o proposto por este trabalho, para que haja o correto dimensionamento e entendimento sobre o tema, reforçando a relevância do presente trabalho para o atual momento do município de Uberaba.

O que chama a atenção no estudo foi o impacto da falta de informação, que é o principal meio apontado para o impedimento de ações mais efetivas, uma vez que as pessoas até sabem que existem riscos ao descartar incorretamente o medicamento, porém muito pouco frequentemente elas são realmente informadas quanto ao local e forma de descarte correto do material.

Um outro ponto que chama a atenção é o fato de as pessoas responsabilizar o poder público pela falta de iniciativa, enquanto se observa algum movimento, embora desconexo e descoordenado dos estabelecimentos para o estabelecimento da prática da logística reversa, mostrando que os estabelecimentos até contam com certa estrutura, porém não possuem uma visão ampla da situação e não sabem como coordenar as ações. o que fortalece a ideia, sem sombra de dúvida, que cabe a Gestão Pública coordenar os movimentos para torná-los eficiente.

Porém a esta sozinha também falta informação, mesmo que haja vontade, cabe portanto às instituições detentoras do conhecimento, como as universidades, colaborar para que ações efetivas sejam tomadas de forma eficiente.

Aqui é possível notar que abre-se uma brecha que caberia uma coordenação entre o poder público e as empresas e as instituições de ensino, no sentido de ordenar campanhas e programas de incentivo, promovendo a informação. Vale pensar se não caberiam ações como informações nas embalagens, meios de comunicação, bem como recipientes mais visíveis e de fácil acesso nos estabelecimentos. Bem como caracterização quanto ao custo para o empreendimento. Uma vez que muitos pagam para descartar o material, pode não haver o interesse por parte da rede de expandir o descarte para os consumidores em função do

aumento do custo de descarte que deverá ser arcado pela rede. Uma das razões que pode explicar a falta de interesse em investir nesse tipo de campanha por parte do setor comerciante.

A alternativa nesse caso seria criar mecanismos de incentivo para que as redes comerciantes possam disponibilizar o serviço sem, contudo, onerar ainda mais os custos do negócio, como por exemplo a redução de impostos para as redes que ofereçam os serviços.

Por fim, embora haja uma grande dificuldade por parte dos estabelecimentos em fornecer respostas, uma vez que, alguns se recusaram a responder a pesquisa e, outros informaram que apenas o farmacêutico responsável teria as informações. O que dificulta um diagnóstico mais preciso da situação, porém foi possível coletar respostas de duas grandes redes, que embora possuam uma certa flutuação de dados devido a localização e frequência de público, é possível notar um certo padrão de estrutura oferecida, o que demonstra resultados satisfatórios em relação às informações aqui coletadas.

REFERÊNCIAS

BARCELOS, Gisele. Elisa veta projeto que previa regra para descarte de remédio vencido. *Jornal da Manhã*. 2022. Disponível em: <<https://jmonline.com.br/novo/?noticias,6,POL%C3%8DTICA,221610>>. Acesso em 14 de dez. de 2022.

BRASIL. Portaria MS n. 3.916, de 30 de outubro de 1998. Política Nacional de Medicamentos. Brasília: Ministério da Saúde, 1998.

BRASIL. Lei no 12.305, de 02 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/biblioteca_legislacao_detalhe.cfm?BibLegislacaoID=984>. Acesso em: 12 jun. 2022.

BRASIL.. Decreto nº 10.388, de 5 de junho de 2020. Regulamenta o § 1º do caput do art. 33 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, e institui o sistema de logística reversa de medicamentos domiciliares vencidos ou em desuso, de uso humano, industrializados e manipulados, e de suas embalagens após o descarte pelos consumidores. Brasília: Secretaria-Geral.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução nº 306. Dispõe sobre o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde a ser observado em todo o território nacional, seja na área pública, seja na privada. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 7 dez.2004. Disponível em <http://cfo.org.br/wp-content/uploads/2009/10/resolucao_rdc_306_ANVISA_2004.pdf> Acesso em 13 jun. 2022

BRASIL. Mapa de empresas. 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/empresas-e-negocios/pt-br/mapa-de-empresas>>. Acesso em 13 jun. 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 358, de 29 de abril de 2005. Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 29 abr. 2005. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5046>> Acesso em 13 jun. 2022

BRASIL. Ministério da Saúde. Conselho Nacional de Saúde. Ata da ducentésima sexagésima quinta reunião ordinária do Conselho Nacional de Saúde - CNS. Brasília, DF, 2015. Disponível em: <https://conselho.saude.gov.br/atas/2015/Ata265.docx>. Acesso em 13 jun. de 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Conselho Regional de Saúde. Consumo de medicamentos: um autocuidado perigoso. Disponível em: <https://conselho.saude.gov.br/ultimas_noticias/2005/medicamentos.htm> Acesso em 20 jun 2022.

CMED. Anuário Estatístico do Mercado Farmacêutico. Edição comemorativa 2019/2020 [Internet]. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – Anvisa. 2021 . Disponível em: <<https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/medicamentos/cmed/informes/anuario-estatistico-2019-versao-final.pdf>>. Acesso em 20 jun 2022.

CONSELHO REGIONAL DE SAÚDE, Consumo de medicamentos: um autocuidado perigoso. Revista eletrônica. 2022. Disponível em: <http://www.conselho.saude.gov.br/ultimas_noticias/2005/medicamentos.htm> Acesso em: 14 de dez. de 2022.

COSTA, Barbara Regina Lopes. Bola de neve virtual: o uso das redes sociais virtuais no processo de coleta de dados de uma pesquisa científica. Revista interdisciplinar de gestão social, v. 7, n. 1, 2018.

DOS ANJOS SILVA, Isiane; DE OLIVEIRA ALVIM, Haline Gerica. A HISTÓRIA DOS MEDICAMENTOS E O USO DAS FÓRMULAS: A CONSCIENTIZAÇÃO DO USO ADEQUADO. Revista JRG de Estudos Acadêmicos, v. 3, n. 7, p. 475-488, 2020.

EICKHOFF, Patrícia; HEINECK, Isabela; SEIXAS, Louise J. Gerenciamento e destinação final de medicamentos: uma discussão sobre o problema. Revista Brasileira de Farmácia, v. 90, n. 1, p. 64-68, 2009.

EQUIPE ECYCLE. Como Fazer o Descarte de Medicamentos Vencidos? Ecycle. 2023. Disponível: <<https://www.ecycle.com.br/descarte-de-medicamentos/#Descarte-de-medicamentos-no-Brasil>> Acesso em, 20 jun 2023.

FALEIROS, Fabiana et al. Uso de questionário online e divulgação virtual como estratégia de coleta de dados em estudos científicos. Texto & Contexto-Enfermagem, v. 25, 2016.

G1 TRIÂNGULO E ALTO PARANAÍBA. Vereadores aprovam projeto que obriga drogarias e farmácias de Uberaba a disponibilizar urnas coletoras de medicamento. G1 Triângulo e Alto Paranaíba. Revista eletrônica. 2021. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/triangulo-mineiro/noticia/2021/12/20/vereadores-aprovam-projeto-que-obriga-drogarias-e-farmacias-de-uberaba-a-disponibilizar-urnas-coletoras-de-medicamentos.ghtml>>. Acesso em 14 de dez. de 2022.

GRACIANI, Fernanda Silva; FERREIRA, Gabriel Luis Bonora Vidrih. Descarte de medicamentos: Panorama da logística reversa no Brasil. Revista ESPACIOS| Vol. 35 (Nº 5). 2014.

IBGE. Cidades e estados: Uberaba. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. 2023.
MARQUES, Hedi Lamar. Câmara mantém dois vetos encaminhados pelo Executivo. Departamento de Comunicação CMU. Revista eletrônica. 2022. Disponível em: <<https://camarauberaba.mg.gov.br/noticias/camara-mantem-dois-vetos-encaminhados-pelo-executivo/>>. Acesso em 14 de dez de 2022.

PFLUGSEDER, C. A. Avaliação da logística reversa de medicamentos no município de Lajeado/RS. 2015. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, 01 dez. 2015. Disponível em:<<http://hdl.handle.net/10737/991>>. Acesso em 01 ago 2022.

SILVA, Inês Matos et al. Antibióticos beta-lactâmicos e as 'superbactérias'. Dissertação de Mestrado. 2017.

UBERABA. Farmácia Solidária completa 4 anos com mais de 1 milhão de itens oferecidos a 26,6 mil pessoas. Saúde notícias. Revista eletrônica, 2021. Disponível em:<<http://uberaba.mg.gov.br/portal/conteudo,53090>>. Acesso em 14 de dez de 2022.

VALORMED, relatório de atividades. Revista Eletrônica. 2021. Disponível em: https://valormed.pt/assets/stores/1041/userfiles/Relat%C3%B3rio%20de%20Actividades_2021_Resumo.pdf. Acesso em 26 de mar. de 2023.

CAPÍTULO X

MAPA DE MUDANÇAS NO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO PARA AS CIDADES DE ITAIPÉ, LADAINHA, NOVO CRUZEIRO E TEÓFILO OTONI NO ESTADO DE MINAS GERAIS

LAND USE AND LAND COVER CHANGE MAP FOR THE CITIES OF ITAIPÉ, LADAINHA, NOVO CRUZEIRO, AND TEÓFILO OTONI, STATE OF MINAS GERAIS

DOI: 10.51859/amplla.aca638.1323-10

Mateus de Almeida Rodrigues¹

Gilmar Pagliaro Silva²

Fausto Antônio Domingos Júnior³

Marina Farcic Mineo⁴

Maytê Maria Abreu Pires de Melo Silva⁵

¹ Engenheiro Agrônomo. Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM

² Engenheiro Agrônomo. Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM

³ Doutor em Agronomia. Professor do Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM

⁴ Doutora em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais. Professora do Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM

⁵ Doutora em Agronomia. Professora do Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM

RESUMO

Pesquisas relacionadas às mudanças no uso e ocupação do solo são importantes para a conservação da biodiversidade e dos recursos hídricos, bem como para o desenvolvimento sustentável de uma região. Desta forma, objetivou-se apresentar as mudanças no uso e ocupação do solo na região do Alto do Mucuri, em Minas Gerais, Brasil. O estudo foi realizado a partir de imagens de satélite dos anos de 1991, 2001, 2011 e 2021. Os resultados mostraram que houve um aumento da área com vegetação nativa, que passou de 284.901,84 hectares em 1991 para 318.546,81 hectares em 2021. Esse aumento foi acompanhado por uma redução da área com pastagens, que passou de 199.347,03 hectares em 1991 para 173.852,10 hectares em 2021. A área destinada à agricultura também aumentou ligeiramente, passando de 138.858,21 hectares em 1991 para 129.080,52 hectares em 2021. A área urbana também aumentou, passando de 1.233,72 hectares em 1991 para 2.481,21 hectares em 2021. É possível atribuir o aumento da área com vegetação nativa a uma combinação de fatores, incluindo o aumento da conscientização ambiental, o desenvolvimento de políticas públicas de proteção ambiental e a redução da demanda por terras para agricultura.

Palavras-chave: Geoprocessamento. Geotecnologias. Meio ambiente. Planejamento urbano.

ABSTRACT

Research related to changes in land use and occupation is important for the conservation of biodiversity and water resources, as well as for the sustainable development of a region. Thus, the objective of this study was to present the changes in land use and occupation in the Alto do Mucuri region, in Minas Gerais, Brazil. The study was carried out using satellite images from the years 1991, 2001, 2011 and 2021. The results showed that there was an increase in the area with native vegetation, which went from 284,901.84 hectares in 1991 to 318,546.81 hectares in 2021. This increase was accompanied by a reduction in the area with pastures, which went from 199,347.03 hectares in 1991 to 173,852.10 hectares in 2021. The area allocated to agriculture also increased slightly, from 138,858.21 hectares in 1991 to 129,080.52 hectares in 2021. The urban area also increased, from 1,233.72 hectares in 1991 to 2,481.21 hectares in 2021. The increase in the area with native vegetation can be attributed to a combination of factors, including increased environmental awareness, the development of public policies for environmental protection, and the reduction in demand for land for agriculture.

Keywords: Geoprocessing. Geotechnologies. Environment. Town planning.

1. INTRODUÇÃO

O uso de geoprocessamento na produção de mapas de uso e ocupação do solo é fundamental para a coleta, análise e integração de dados para ajudar a produzir informações precisas e confiáveis. Por meio dessa tecnologia, ferramentas de análise espacial, como sensoriamento remoto, podem ser usadas para identificar e quantificar mudanças na superfície da Terra (BEZERRA; BRASIL, 2018).

O mapeamento do uso e ocupação do solo é uma ferramenta importante para a avaliação da capacidade de suporte ambiental e para a construção de cenários ambientais e indicadores, visando o desenvolvimento sustentável de determinada região (SANTOS E SANTOS, 2010; BORGES et al, 2008). Através da utilização de técnicas de geoprocessamento, é possível avaliar e monitorar a ocupação do meio físico, garantindo a conservação de seus recursos naturais.

A Mata Atlântica é o segundo maior bioma em Minas Gerais, abrangendo cerca de 40% da área do Estado (IEF, 2022). A região apresenta um significativo índice pluviométrico, o que evidencia a necessidade de conservação e recuperação dos remanescentes florestais, uma vez que a região possui características geológicas que dificultam a absorção da água pelo solo. Com o objetivo de proteger os remanescentes de fragmentos florestais e proteger as áreas de recargas hídrica, o governo do Estado de Minas Gerais instituiu a Área de Proteção Ambiental (APA) do Alto do Mucuri, localizada nos Municípios de Caraí, Catuji, Itaipé, Ladainha, Malacacheta, Novo Cruzeiro, Poté e Teófilo Otoni (IEF, 2011).

Um estudo desenvolvido pela SOSMA (2015) demonstrou que o Município de Teófilo Otoni ainda resguarda aproximadamente 16% de cobertura florestal. As principais pressões que a mata sofre na região estão associadas à ampliação das atividades agrossilvipastoril, incêndios florestais, degradação dos recursos naturais, falta de uma Educação Ambiental (EA) efetiva e de políticas públicas voltadas para a conservação e recuperação da Mata Atlântica.

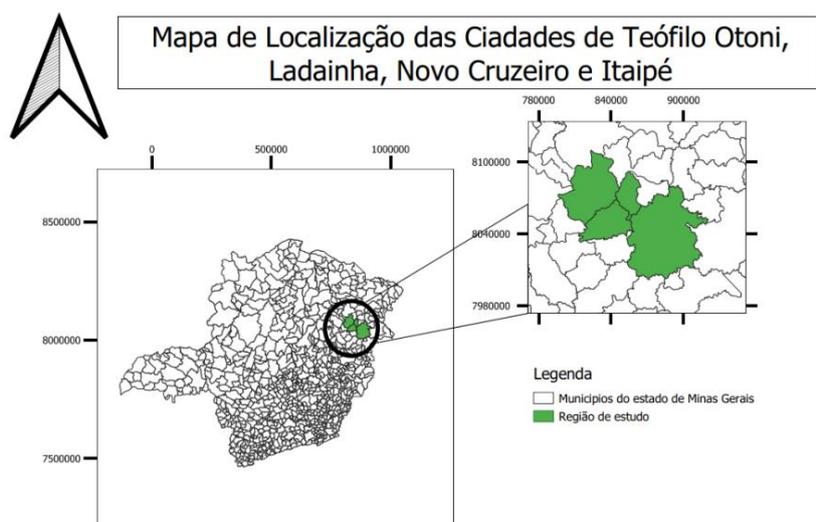
Diante desse contexto, esta pesquisa teve como objetivo a geração do mapa de mudanças de uso e ocupação do solo, utilizando arquivos raster disponíveis no plugin do mapa biomas para o Google Earth Engine para as cidades de Itaipé, Ladainha, Novo Cruzeiro e Teófilo Otoni, no estado de Minas Gerais. O estudo estimou a mudança de tipos de uso e ocupação do solo para os anos de 2001, 2011 e 2021, utilizando como primeiro ano base o ano de 1991 para a realização das análises. Através da análise dos resultados, espera-se contribuir para a avaliação e monitoramento da ocupação do meio físico, garantindo a conservação de seus recursos naturais e promovendo o desenvolvimento sustentável da região.

2. METODOLOGIA

A área de estudo abrange o consórcio de municípios situados na região nordeste do Estado de Minas Gerais, delineada com precisão na Figura 1. As coordenadas geográficas da área compreendem a latitude 17° 51' 15" Sul e a longitude 41° 30' 23" Oeste. A topografia é marcada por uma variação altimétrica notável, com a altitude máxima de 1.138 metros, evidenciada na divisa com o município de Caraí, e uma mínima de 366 metros, localizada na foz do córrego São Julião. Quanto à sua dimensão territorial, a área abarca um total de 629.237 hectares, localizando-se a cerca de 450 quilômetros da capital do estado de Minas Gerais, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) referentes ao ano de 2021.

O clima predominante nessa região é classificado como Tropical Quente, Semiúmido. A média anual da temperatura oscila em torno de 23° C, com registros mínimos absolutos de 6° C e máximos absolutos de 38° C. No que concerne à precipitação pluviométrica, a média anual alcança 1.100 mm. Dessa quantidade, metade é observada no trimestre de maior pluviosidade, compreendido entre os meses de novembro a janeiro. Já no período de abril a setembro, verifica-se um déficit hídrico acumulado de 193,6 mm, com uma média mensal de 32,3 mm. Em contrapartida, nos meses de outubro a março, ocorre um excedente hídrico acumulado de 311,9 mm, com uma média mensal de 52,0 mm. A evaporação média anual é estimada em 875 mm, segundo dados do IBGE de 2021.

Figura 1 - Mapa de localização da região de estudo.



Fonte: Autoria própria.

A caracterização do uso do solo na área rural é notável pela presença de pequenas propriedades voltadas à agricultura familiar. Dada a extensão territorial considerável,

predomina o cultivo de culturas como milho, feijão, frutas, mandioca, hortaliças, banana e cana-de-açúcar. Adicionalmente, a pecuária mista em regime extensivo desempenha um papel preponderante na economia local. É pertinente mencionar que os recursos agropastoris exercem um impacto considerável no ambiente, notadamente no que tange ao uso de fertilizantes e agrotóxicos, bem como à demanda substancial de parcelas de solo e recursos hídricos. Nesse contexto, torna-se imperativo o monitoramento e controle efetivos, como destacado por Teixeira da Costa et al. (2020).

No que concerne à biodiversidade, a região abriga uma diversidade notável de espécies vegetais e animais endêmicos, destacando-se ecossistemas únicos e áreas de preservação ambiental de relevância significativa. Ademais, a influência do uso do solo na conservação desses recursos naturais torna-se uma consideração crucial para o manejo sustentável e a preservação da biodiversidade local.

Dentre os desafios enfrentados pela região, destaca-se a necessidade de um planejamento territorial estratégico que concilie o desenvolvimento socioeconômico com a conservação dos recursos naturais, promovendo assim a sustentabilidade a longo prazo. A colaboração entre as comunidades locais, órgãos governamentais e instituições de pesquisa desempenha um papel fundamental nesse contexto, visando a implementação de políticas e práticas que promovam o equilíbrio entre o crescimento econômico e a proteção ambiental.

O desenvolvimento deste estudo foi iniciado com a aquisição de imagens raster no formato .png do estado de Minas Gerais, por meio do plugin de mapas biomas disponível na plataforma Google Earth Engine, abrangendo os anos de 1991, 2001, 2011 e 2021. Paralelamente, procedeu-se à obtenção dos arquivos do tipo shapefile (.shp) delimitando os municípios, obtidos no portal do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

No ambiente de trabalho do aplicativo QGIS para o sistema operacional Windows, os procedimentos adotados seguiram uma sequência estruturada e meticulosa. Inicialmente, efetuou-se a importação dos arquivos .shp e .png, permitindo a integração das informações geoespaciais relevantes para a análise em questão.

Posteriormente, foi aplicado o comando de exportação do arquivo .png, visando converter as coordenadas para o Datum EPSG:31983. Esse passo crítico foi fundamental para garantir a precisão cartográfica e coerência espacial necessárias à qualidade da análise.

Com o arquivo resultante da conversão para o Datum EPSG:31983 devidamente integrado ao ambiente de trabalho, assegurou-se a correta georreferenciação, fator crucial para a acuracidade das análises subsequentes.

A etapa seguinte envolveu o emprego do comando de recorte do raster através da camada de máscara, disponível no menu raster, com o intuito de delimitar as áreas de estudo conforme os parâmetros definidos previamente. Este procedimento conferiu precisão à definição das áreas de interesse, permitindo uma análise detalhada e específica.

Posteriormente, foram definidas as classes de uso e ocupação do solo de interesse para o estudo. A cada uma delas, foram atribuídos valores de 0 a 5, a saber: 0 para áreas sem relevância para a pesquisa, 1 para áreas de vegetação nativa, 2 para áreas com predominância de pastagens, 3 para áreas com predomínio de atividades agrícolas, 4 para áreas urbanas e 5 para corpos d'água. Tal classificação propiciou uma base sólida para a análise subsequente.

A aplicação do comando `r.reclass`, disponível no menu GRASS, representou um passo crítico na metodologia. Este procedimento permitiu a reclassificação do raster, gerando uma imagem com cinco categorias de interesse, alinhadas com a legenda da coleção sete, disponível no sítio do mapa biomas. Os parâmetros utilizados foram meticulosamente configurados, garantindo a precisão e a fidedignidade dos resultados obtidos.

Na etapa subsequente, procedeu-se à sobreposição dos arquivos reclassificados para a elaboração do mapa de mudanças, utilizando o comando "land cover change" no menu SCP > Post Processing > land cover change. Esta fase crítica proporcionou uma visualização clara e abrangente das alterações na cobertura do solo ao longo dos anos estudados.

Uma vez gerado o arquivo, foi realizada a reclassificação para categorizar as classes de interesse, com base na classificação obtida pelo programa. Este procedimento foi conduzido através do menu `r.reclass`, disponível no menu GRASS, utilizando os parâmetros detalhados no Apêndice 1. Esta etapa de refinamento foi essencial para a precisão e confiabilidade dos resultados.

Assim, a metodologia adotada foi conduzida de maneira rigorosa, garantindo a integridade e a fidedignidade dos resultados obtidos. A sequência estruturada de procedimentos, aliada à aplicação criteriosa de comandos e configurações, forneceu uma base sólida e confiável para a análise das mudanças de cobertura do solo ao longo dos anos estudados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como previamente delineado, a reclassificação das imagens raster foi conduzida mediante a definição de seis classes distintas. Destas, cinco foram identificadas como de interesse primordial, às quais foram atribuídos valores escalonados de 1 a 5. A sexta classe, por

sua vez, foi designada com o valor 0, representando áreas de menor relevância para o escopo do estudo.

Com o intuito de proporcionar uma compreensão mais aprofundada do propósito central deste trabalho, que consiste na elaboração do mapa de mudanças no uso e ocupação do solo na região em questão, procederemos à apresentação detalhada dos dados relativos aos anos de interesse.

Para além da reclassificação das imagens, é crucial considerar as nuances temporais que envolvem as transformações na paisagem. Neste sentido, a exposição dos dados para os anos selecionados permitirá uma análise mais abrangente e criteriosa das tendências de evolução no uso da terra ao longo do período de estudo. Cada ano em foco representa um ponto temporal significativo, fornecendo insights valiosos para a compreensão das dinâmicas e padrões de mudança observados na região.

Ao abordar de maneira pormenorizada os dados específicos de cada ano, estaremos instrumentalizando o leitor com um conjunto sólido de informações, o que por sua vez, constituirá a base essencial para a elaboração de inferências e conclusões substanciais acerca das transformações ocorridas na paisagem ao longo do período de estudo. Dessa forma, almejamos fornecer uma visão abrangente e embasada sobre as mudanças no uso e ocupação do solo na região de interesse.

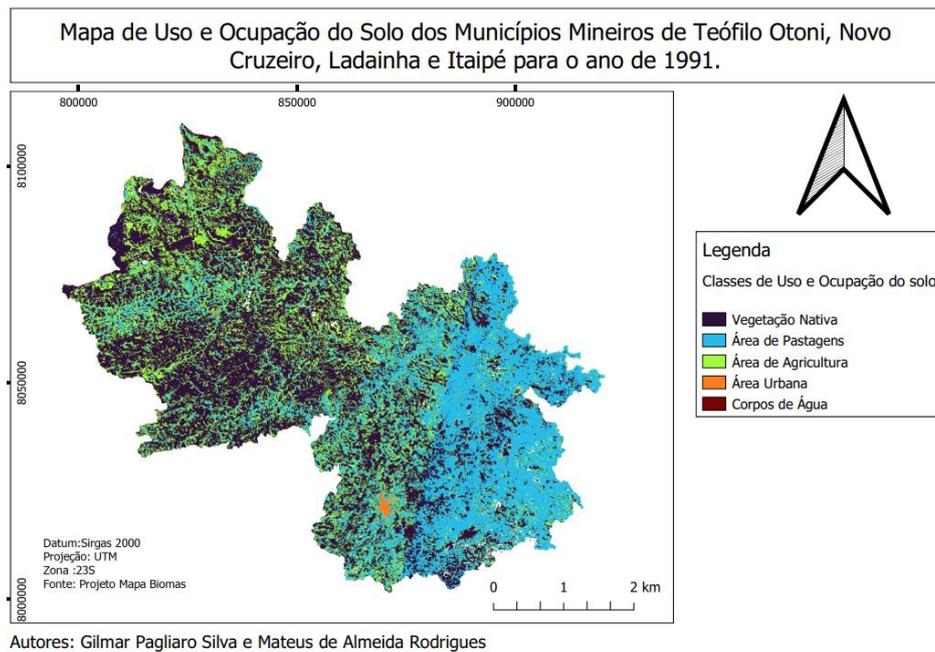
3.1. MAPAS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

No ano de 1991, os registros de ocupação do solo na região apresentaram os seguintes valores distintos: uma extensão de 284.901,84 hectares de áreas cobertas por vegetação nativa, demonstrando a preservação de uma parcela considerável do ambiente natural. Adicionalmente, foram identificados 199.347,03 hectares destinados a pastagens, indicando uma relevante atividade agropecuária na área. No âmbito agrícola, foram contabilizados 138.858,21 hectares destinados a práticas agrícolas, sinalizando a importância dessa atividade na economia local. As áreas urbanizadas totalizaram 1.233,72 hectares, refletindo o desenvolvimento de núcleos habitacionais e atividades urbanas na região. Por fim, corpos d'água ocuparam 78,39 hectares (Figura 2).

No ano de 2001, os indicadores de ocupação do solo na mesma região revelaram notáveis variações em relação à década anterior. A extensão de áreas cobertas por vegetação nativa reduziu-se para 280.791,63 hectares, indicando uma certa pressão sobre os recursos naturais. Em contrapartida, as áreas destinadas a pastagens aumentaram para 214.635,42 hectares, sinalizando uma expansão na atividade agropecuária. A agricultura, por sua vez,

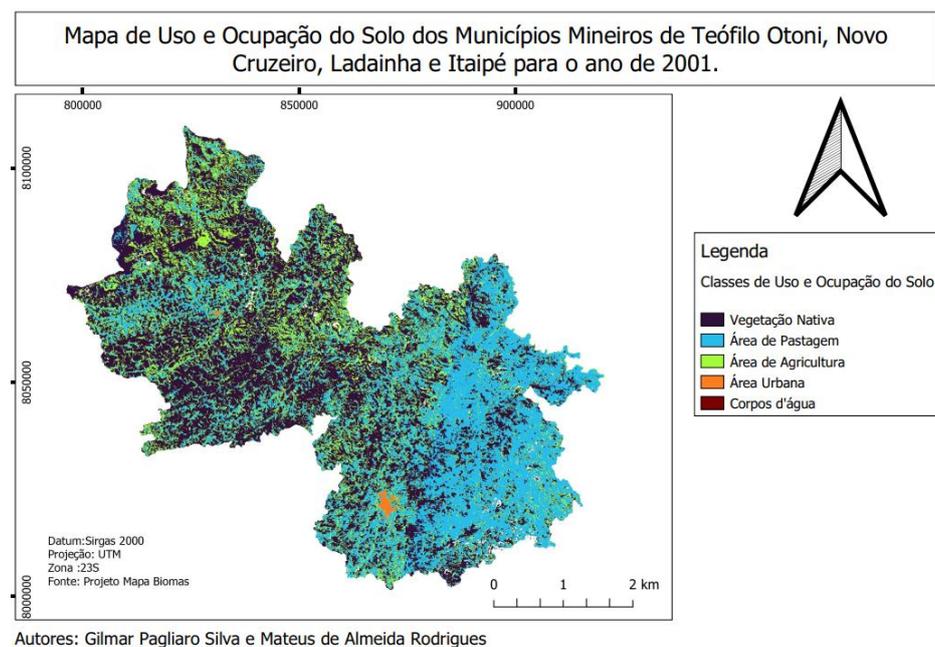
ocupou uma área de 127.067,31 hectares, refletindo uma possível otimização nas práticas agrícolas. No contexto urbano, observou-se uma expansão das áreas urbanizadas, que totalizaram 1.727,37 hectares, indicando um crescimento demográfico e desenvolvimento urbano. Quanto aos corpos d'água, sua área ocupada aumentou para 123,84 hectares, apontando para a importância desses recursos hídricos na região (Figura 3).

Figura 2 - Mapa de uso e ocupação do solo no ano de 1991.



Fonte: Autoria própria.

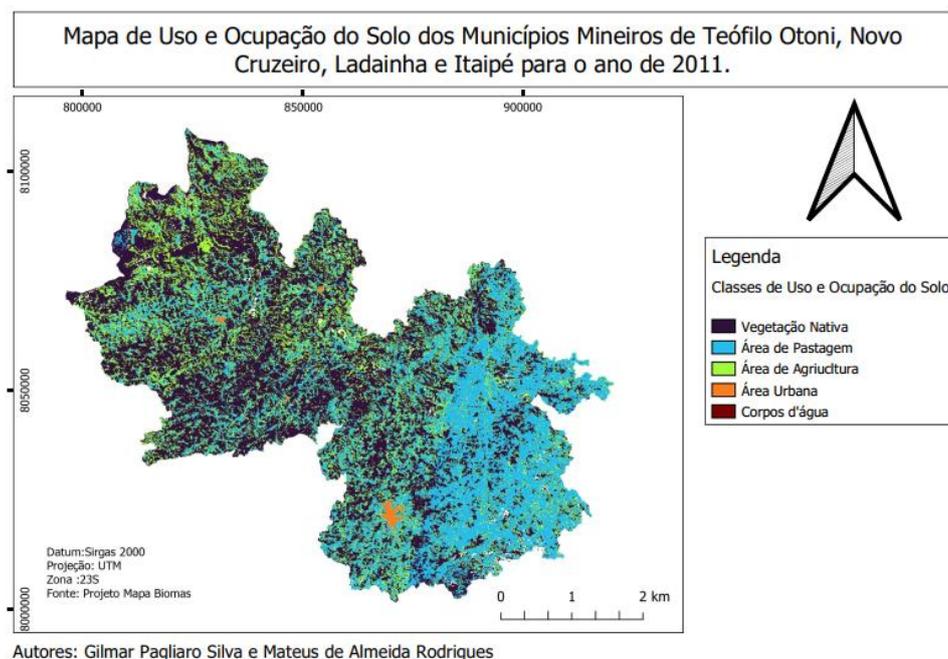
Figura 3 - Mapa de uso e ocupação do solo no ano de 2001.



Fonte: Autoria própria.

No ano de 2011 (FIGURA 4), a análise da ocupação do solo na região desvelou uma série de padrões notáveis. As áreas envoltas por vegetação autóctone totalizaram 290.521,71 hectares, representando um valioso patrimônio ambiental. Esse número denota a contínua dedicação à conservação e preservação dos recursos naturais na área de estudo, enfatizando um compromisso duradouro com a sustentabilidade ambiental ao longo dos anos.

Figura 4 - Mapa de uso e ocupação do solo no ano de 2001.



Fonte: Autoria própria.

No contexto agropecuário, as áreas alocadas a pastagens abrangeram uma extensão de 199.317,69 hectares. Esse valor indica a significativa relevância dessa atividade na economia local, bem como a necessidade de estratégias de manejo sustentável para assegurar a produtividade a longo prazo.

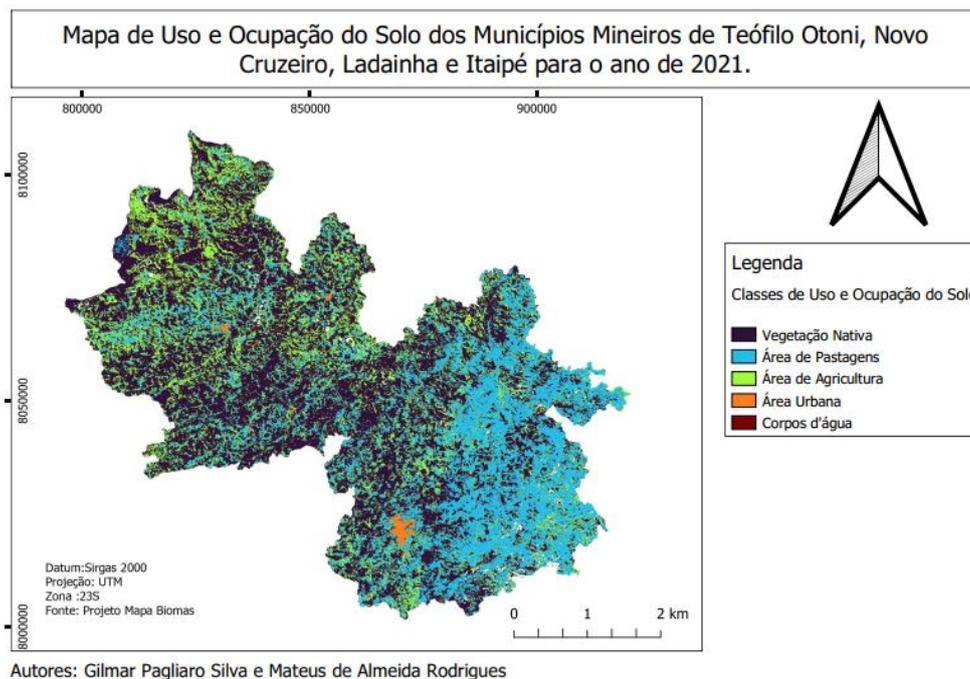
A agricultura, por sua vez, ocupou uma área de 132.220,44 hectares em 2011. Essa parcela da paisagem sugere uma prática agrícola vigorosa na região, com possíveis adaptações e otimizações ao longo do tempo para atender às demandas e desafios da produção agrícola.

A marca do desenvolvimento urbano é notável na região, com uma extensão de 2.120,40 hectares ocupados por áreas urbanizadas. Este aumento é um reflexo dos processos contínuos de urbanização, possivelmente impulsionados por mudanças demográficas e econômicas que moldam o crescimento das áreas urbanas. Enquanto que os corpos hídricos ocuparam uma área de 55,53 hectares no ano de 2011.

No ano de 2021 (FIGURA 5), os dados referentes à ocupação do solo na região apresentaram um panorama expressivo. Observou-se uma ampliação da área coberta por

vegetação nativa, totalizando 318.546,81 hectares. Esta expansão sugere um esforço notável na preservação e conservação dos recursos naturais na área estudada, indicando um importante compromisso com a sustentabilidade ambiental.

Figura 5 - Mapa de uso e ocupação do solo no ano de 2021.



Fonte: Autoria própria.

No que se refere às áreas destinadas a pastagens, registrou-se uma redução para 173.852,10 hectares em comparação com o ano 2001. Este declínio pode indicar uma tendência de reavaliação e otimização do uso agropecuário, possivelmente associado a estratégias de manejo mais sustentáveis e eficientes.

A atividade agrícola ocupou uma área de 129.080,52 hectares em 2021, mantendo uma extensão relativamente estável em relação à década anterior. Esta estabilidade pode ser interpretada como um sinal de equilíbrio nas práticas agrícolas adotadas na região, com possíveis ajustes de produtividade e manejo.

O desenvolvimento urbano na área demonstrou uma trajetória ascendente notável, com as áreas urbanizadas totalizando 2.481,21 hectares. Este aumento sugere uma intensificação da urbanização, possivelmente associada a fatores socioeconômicos e demográficos que influenciam o crescimento das áreas urbanas.

A presença de corpos d'água, vitais para o equilíbrio ecológico da região, abrangeu uma área de 347,85 hectares em 2021. Estes recursos hídricos desempenham um papel crucial na manutenção dos ecossistemas locais, fornecendo suporte vital para a biodiversidade e para as atividades humanas.

Essas análises detalhadas dos dados de ocupação do solo ao longo das décadas fornecem uma compreensão aprofundada das dinâmicas e tendências na região. Cada categoria de uso do solo reflete não apenas mudanças na paisagem física, mas também fatores socioeconômicos, ambientais e políticos que moldam a evolução do ambiente local. Ao considerar esses dados de forma integrada, somos capazes de obter uma visão abrangente e fundamentada das transformações ocorridas na área de estudo ao longo do tempo.

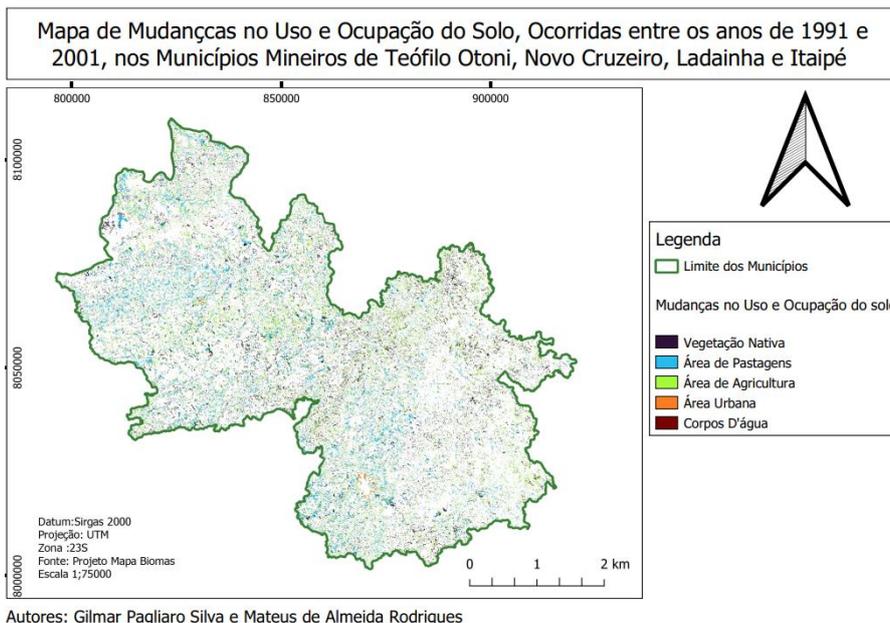
3.2. MAPAS DE MUDANÇAS

A análise minuciosa das Figuras 6 a 8 revela uma notável alternância entre as categorias de uso do solo nos anos selecionados. Destaca-se, sobretudo, a marcante transformação ocorrida no intervalo entre 1991 e 2001, quando se observou uma expansão considerável das áreas destinadas a pastagens, que avançaram sobre territórios previamente ocupados por agricultura e vegetação nativa. Esse incremento superou os 16 mil hectares durante esse período, apontando para uma significativa reconfiguração do cenário regional. No entanto, ao longo dos anos subsequentes, verificou-se uma tendência de redução no tamanho das áreas ocupadas, culminando em 173.852,10 hectares em 2021, o menor índice registrado nos anos abordados pelo estudo. Este fenômeno merece uma análise aprofundada, a qual será abordada ao longo do desenvolvimento do trabalho.

Em relação às áreas destinadas à agricultura, observa-se uma estabilidade relativa em termos de magnitude das alterações. Destaca-se, entretanto, o período entre 2001 e 2011, quando houve uma expansão em direção às áreas de pastagens, seguida por uma subsequente contração, evidenciando uma dinâmica de alternância entre essas categorias.

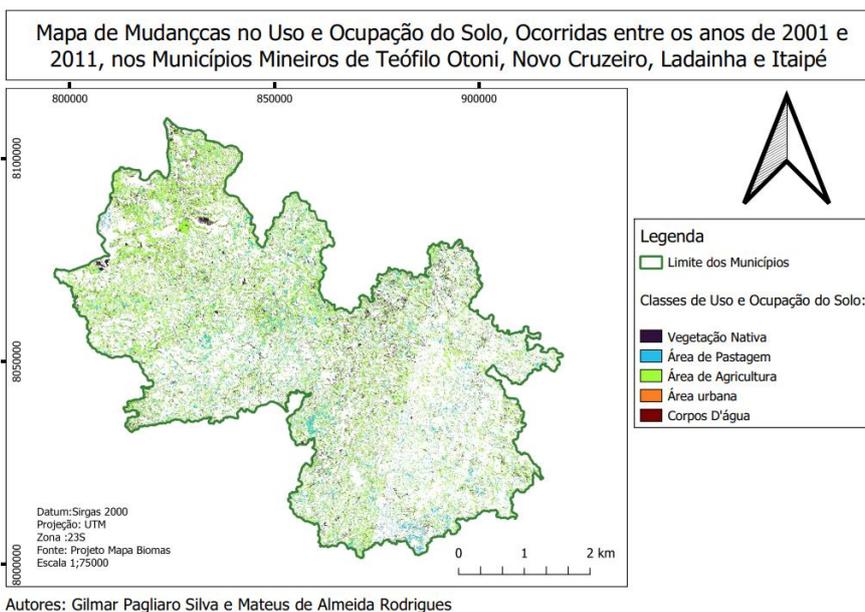
A categoria de “vegetação nativa”, por sua vez, apresentou uma variação sutil na área ocupada entre os anos 1991 e 2001, seguida de uma notável expansão nos períodos subsequentes. Destaca-se que os valores de área superaram os registros de 1991, ano de início do estudo, indicando uma recuperação significativa dessas áreas. Em especial, merece destaque o ano de 2021, último ano analisado pelo estudo, no qual se observou um acréscimo de 33.664 hectares em relação a 1991. Esta expansão ocorreu principalmente às custas de áreas anteriormente destinadas a pastagens, delineando um processo de recuperação e fortalecimento da cobertura vegetal nativa na região.

Figura 6 - Mapa de mudanças ocorridas entre os anos de 2001 e 2011.



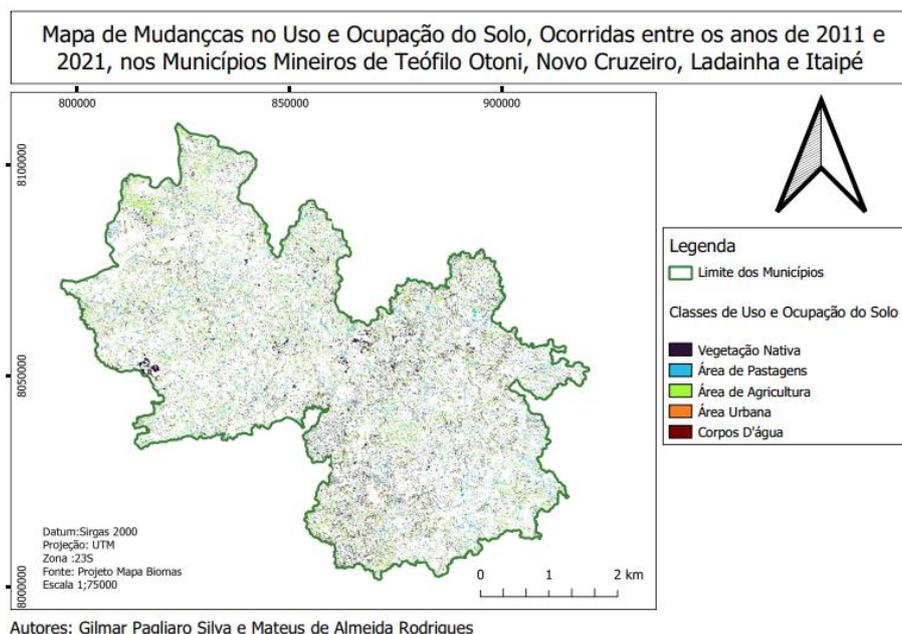
Fonte: Autoria própria.

Figura 7 - Mapa de mudanças ocorridas entre os anos de 1991 e 2001.



Fonte: Autoria própria.

Figura 8 - mapa das mudanças ocorridas entre os anos de 2011 e 2021.



Fonte: Autoria própria.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise detalhada da evolução do uso e ocupação do solo na região nordeste do Estado de Minas Gerais ao longo das décadas proporciona um panorama abrangente das transformações ocorridas. Os dados revelam uma dinâmica complexa, influenciada por uma série de fatores socioeconômicos, ambientais e demográficos.

Destaca-se o notável aumento das áreas destinadas a pastagens entre os anos de 1991 e 2001, que se expandiram sobre territórios previamente ocupados por agricultura e vegetação nativa. Essa transformação significativa sinaliza um reordenamento na utilização do solo, possivelmente em resposta a demandas econômicas e produtivas da região.

A categoria de agricultura, por sua vez, manteve uma relativa estabilidade, com ajustes notáveis entre 2001 e 2011, indicando uma adaptação às demandas do mercado e às condições ambientais vigentes. Observa-se também a expansão das áreas destinadas à agricultura sobre territórios anteriormente utilizados como pastagens, seguida por uma subsequente recuperação de áreas nativas.

A preservação da vegetação nativa surge como um ponto de destaque, evidenciando uma contínua preocupação com a conservação dos recursos naturais na região. A expansão dessas áreas, sobretudo após o ano de 2001, denota um esforço visível na recuperação e fortalecimento da cobertura vegetal nativa, em detrimento de áreas destinadas a pastagens.

O crescimento urbano emerge como um fator preponderante, com uma clara expansão das áreas urbanizadas ao longo do período analisado. Esse fenômeno está intrinsecamente ligado a mudanças demográficas e econômicas que impulsionam o desenvolvimento das áreas urbanas.

A gestão adequada dos recursos hídricos também se destaca como uma prioridade para a sustentabilidade da região. A conservação e manejo eficaz dos corpos d'água são cruciais para a manutenção da integridade dos ecossistemas locais e para atender às necessidades da comunidade de maneira sustentável.

Em síntese, a compreensão das dinâmicas de uso e ocupação do solo na região nordeste de Minas Gerais é essencial para o planejamento e implementação de políticas e práticas que promovam o desenvolvimento sustentável. A colaboração entre comunidades locais, entidades governamentais e instituições de pesquisa desempenha um papel fundamental nesse processo, visando ao equilíbrio entre crescimento econômico e conservação ambiental, garantindo assim um futuro próspero e sustentável para a região.

REFERÊNCIAS

BEZERRA, D.D.; BRASIL, G.V. O uso de geotecnologias para aferição de áreas não prioritárias em instalação de aterro sanitário. 2018.

BORGES, A. L. et al. Uso do geoprocessamento na análise do uso e ocupação do solo em bacias hidrográficas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 12, n. 2, p. 125-132, 2008.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades e Estados, 2021. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 29 mar. 2023.

IEF. Instituto Estadual de Florestas. Mata Atlântica em Minas Gerais. Disponível em: https://www.ief.mg.gov.br/images/stories/mata_atlantica_em_minas_gerais.pdf. Acesso em: 18 out. 2023.

IEF. Instituto Estadual de Florestas. Área de Proteção Ambiental do Alto do Mucuri. Disponível em: <https://www.ief.mg.gov.br/component/content/article/16-areas-protegidas/apa/apa-do-alto-do-mucuri>. Acesso em: 18 out. 2023.

QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>, 2021.

SANTOS, R. C.; SANTOS, J. A. Uso do geoprocessamento na análise do uso e ocupação do solo em bacias hidrográficas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 12, n. 2, p. 125-132, 2010.

SOSMA. Sociedade de Estudos e Preservação do Meio Ambiente. Diagnóstico da Mata Atlântica no Município de Teófilo Otoni. Disponível em: <http://www.sosma.org.br/wp-content/uploads/2015/09/Diagn%C3%B3stico-da-Mata-Atl%C3%A2ntica-no-Munic%C3%ADpio-de-Te%C3%B3filo-Otoni.pdf>. Acesso em: 18 out. 2023.

TEIXEIRA DA COSTA, S. A. et al. EXTENSÃO RURAL PARA CONSERVAÇÃO DO SOLO NA AGRICULTURA FAMILIAR. Extensão em Foco, [S.l.], n. 20, mar. 2020.

CAPÍTULO XI

IMPLANTAÇÃO DA LOGÍSTICA REVERSA NO SETOR DE ELETROELETRÔNICO NO MUNICÍPIO DE UBERABA-MG: DESAFIOS E OPORTUNIDADES

IMPLEMENTATION OF REVERSE LOGISTICS IN THE ELECTRO-ELECTRONICS SECTOR IN THE MUNICIPALITY OF UBERABA-MG: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES

DOI: 10.51859/amp11a.aca638.1323-11

Elaine Letícia Silva Sene¹
Daniel Pena Pereira²
Magda Stella de Melo Martins²

¹ Estudante do Curso de Pós-Graduação *lato sensu* em Gestão Ambiental: Diagnóstico e Adequação Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro – *campus* Uberaba.

² Professor(a) do Programa de Pós-Graduação *lato sensu* na área Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro – *campus* Uberaba.

RESUMO

Este estudo tem como objetivo analisar as normativas que regem a logística reversa no Brasil e descrever os elementos e instrumentos que beneficiam a logística reversa, bem como os Acordos Setoriais e instrumentos firmados pelo Poder Público. A Logística Reversa tem ganhado importância, tanto no meio acadêmico quanto na prática das instituições e governos, não só por ser um dos instrumentos para a prática da sustentabilidade, como também pelo seu papel estratégico em muitos segmentos econômicos. A pesquisa teve caráter exploratório, trabalhando com dados primários, possibilitando, assim, a análise da situação atual das ações da logística reversa no município de Uberaba. Permitiu-se, ainda, comparar ações de instituições privadas (Instituto Agronelli) e setor público (Codau), para que o conhecimento sobre o tema no local seja ampliado pela população. Conclui-se que o desenvolvimento de atividades que tenham como pontos de entregas voluntárias para a coleta de resíduos de eletroeletrônicos seja de grande importância para aprimorar a sensibilização de toda comunidade acadêmica.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos. Sustentabilidade. Coleta seletiva. Destinação adequada. Legislação.

ABSTRACT

This study aims to analyze the regulations that govern reverse logistics in Brazil and describe the elements and instruments that benefit reverse logistics, as well as the Sector Agreements and instruments signed by the Public Authorities. Reverse Logistics has gained importance, both in academia and in the practice of institutions and governments, not only because it is one of the instruments for the practice of sustainability, but also because of its strategic role in many economic segments. The research had an exploratory nature, working with primary data, thus enabling the analysis of the current situation of reverse logistics actions in the city of Uberaba. It was also possible to compare actions by private institutions (Instituto Agronelli) and the public sector (Codau), so that local knowledge on the topic is expanded by the population. It is concluded that the development of activities that have voluntary delivery points for the collection of electronic waste is of great importance to improve awareness among the entire academic community.

Keywords: Solid Waste. Sustainability. Selective collect. proper destination. Legislation.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e, conseqüentemente, a geração de resíduos sólidos, é um dos maiores desafios da sociedade moderna, sobretudo em países em desenvolvimento, em que são observadas significativas alterações nas suas características, resultantes dos modelos de desenvolvimento adotados, da mudança nos padrões de consumo, da rápida urbanização e do surgimento das questões ambientais, buscando a destinação correta dos resíduos e áreas cada vez menores para a sua disposição.

O incessante avanço tecnológico, o consumo compulsivo e a destinação inadequada dos resíduos sólidos têm impulsionado as discussões das questões ambientais. Computadores, celulares e demais aparelhos eletroeletrônicos passaram a ser substituídos com maior frequência. A legislação sobre o tema transcorre sobre a logística reversa, porém, ainda não responsabiliza totalmente os fabricantes pela destinação correta dos produtos ao final da sua vida útil e a grande maioria dos consumidores também desconhecem como proceder com os equipamentos que não utilizam mais.

Ao serem descartados junto com as coletas domiciliares, os resíduos eletroeletrônicos podem liberar substâncias tóxicas que, se destinadas incorretamente, penetram no solo e contaminam os lençóis freáticos, as plantas, animais e seres humanos. Caso o seu destino seja os aterros sanitários, essas substâncias podem interferir no tratamento do efluente gerado, propiciando maiores custos e impactos negativos.

O Ministério do Meio Ambiente destaca que parte significativa dos resíduos produzidos no país é decorrente das atividades desenvolvidas pelo setor público, estando cartuchos, toners e resíduos eletrônicos entre os principais resíduos produzidos por esse segmento (BRASIL, 2009). Dessa forma, é fundamental que se pense em soluções para a destinação adequada desses resíduos, tais como a logística reversa.

Conforme a Lei Federal nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), no seu art. 3º, inciso XII, a logística reversa é classificada como:

um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

Um dos principais problemas do mundo é o resíduo tecnológico que vem aumentando significativamente em um curto espaço de tempo. Estudos revelam que a matéria-prima desses resíduos tecnológicos, ao chegarem ao meio ambiente, polui, destrói o ecossistema e libera gases tóxicos na atmosfera.

A logística reversa é um termo bastante genérico e significa, no seu sentido mais amplo, todas as operações relacionadas com a reutilização de produtos e materiais, englobando todas as atividades logísticas de coletar, desmontar e processar produtos e/ou materiais e peças usadas, a fim de assegurar uma recuperação sustentável (LEITE, 2003).

No setor de eletroeletrônico, a logística reversa é regulamentada pelo Decreto Nº 10.240/2020, que estabelece diretrizes coletivas para fabricantes, importadores, distribuidores e varejistas de pilhas, baterias e produtos eletroeletrônicos de uso domiciliar. As empresas de pequeno, médio e grande porte que importam, fabricam, distribuem ou comercializam eletroeletrônicos de uso domiciliar precisam implementar um sistema de logística reversa.

Este artigo tem por objetivo analisar as normativas que regem a logística reversa no Brasil e descrever os elementos e instrumentos que beneficiam a logística reversa, bem como os Acordos Setoriais e instrumentos firmados pelo Poder Público.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para contextualizar a operação de logística reversa, é fundamental observar os aspectos legais, a responsabilidade socioambiental, a gestão de resíduos eletroeletrônicos e a percepção ambiental.

2.1. Aspectos legais

Um assunto muito importante se tratando de resíduo é a sua abordagem do ponto de vista legal, ou seja, as normas vigentes acerca da sua caracterização, coleta, acondicionamento, tratamento e destinação final.

O termo “logística reversa”, assim como os estudos iniciais dessa temática, pode ser encontrado na literatura desde a década de 70, com foco, principalmente, no retorno de bens para serem processados em reciclagem dos materiais, sendo denominados e analisados como canais de distribuição (HERNÁNDEZ *et al.*, 2012).

No Brasil, a discussão acerca do tema Logística Reversa ganhou impulso com a publicação da Lei nº 12.305/2010, que é um marco regulatório na área de resíduos no Brasil. Ela dispõe nos seus princípios sobre a gestão integrada e o gerenciamento de resíduos sólidos, incluindo os perigosos e as responsabilidades dos geradores (BRASIL, 2010).

A referida PNRS destaca no seu artigo 30 sobre a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, a ser implementada e que envolve os fabricantes, importadores,

distribuidores e comerciantes, os consumidores e os titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

A Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) nº 16.156/2013, que diz respeito à gestão de resíduos eletroeletrônicos, trata da manufatura reversa de equipamentos eletroeletrônicos em geral (ABNT, 2013).

A partir do momento que se conhece as disposições legais, é possível se ter noção sobre os aspectos que tangem as suas implicações no meio ambiente e na saúde da população, principalmente, devido à composição química desses resíduos.

É importante continuar promovendo e aplicando as normatizações para seguir na direção de um sistema mais sustentável de produção e descarte de produtos, garantindo, assim, a preservação do meio ambiente e a promoção da economia circular.

2.2. Responsabilidade socioambiental

A responsabilidade social e ambiental é uma temática fundamental quando se discute sustentabilidade, uma vez que o bem-estar do homem é condição para a garantia do desenvolvimento sustentável. O conceito de responsabilidade social, na visão do Instituto Ethos (2003), é apresentado como a incorporação de critérios de compromisso social na gestão estratégica do negócio, que traduzam as políticas de inclusão social e de promoção da qualidade ambiental, como metas que devem ser computadas na sua avaliação de desempenho (WEINGRILL, 2003).

A logística reversa pode ser expressa como:

um modelo de gestão baseado em comportamento ético e responsável na condução dos negócios, cujas decisões e ações resgatam valores humanos e universais, preservam e respeitam os direitos de todas as partes direta ou indiretamente envolvidas no negócio (ALESSIO, 2004, p. 142-143).

É importante entender que a atuação humana com responsabilidade social e ambiental se apresenta como um dos principais pressupostos para a concretização da sustentabilidade, porque somente a partir de uma conscientização, tanto no âmbito das organizações como em cada indivíduo, é possível verificar mudanças significativas no contexto atual.

O principal agente modificador é a educação, responsável pela formação de um cidadão que entenda os seus limites e cumpra o seu papel social. Essa conscientização é um processo que precisa ser construído, com vista ao estabelecimento de uma mudança de postura.

A adoção de práticas sustentáveis é motivada por questões econômicas, sociais e políticas. No âmbito econômico, a responsabilidade ambiental surge como um diferencial

competitivo e gera diminuição de custos através da redução de desperdícios de água e energia, por exemplo, além de influenciar no comportamento dos consumidores sensíveis a essas questões. Em termos sociais, empresas e o poder público podem gerar melhoria na qualidade de vida da população. Quanto às motivações políticas, as empresas são pressionadas pelos governos, através de legislações mais exigentes, e pela sociedade civil, que serve de agente fiscalizador (DIAS, 2010).

O controle social é a capacidade que a população tem de intervir nas políticas públicas, interagindo com o governo na definição das prioridades e na elaboração dos planos de desenvolvimento local. A Responsabilidade Social se traduz na forma como uma pessoa ou uma instituição conduz as suas atividades de maneira que se torne corresponsável pelo desenvolvimento da sociedade. O Terceiro Setor é uma das modalidades que poderá contribuir para o melhor desempenho desse controle social e na construção de uma vida sustentável (MELLO, 2011)

A preocupação com o social deve ser um compromisso do meio empresarial, do poder público e da sociedade como um todo. Cada indivíduo deve repensar o seu modo de vida e os padrões adotados, isso envolve uma mudança de comportamento que permita a harmonização da convivência em sociedade e do desenvolvimento social.

2.3. Gestão de resíduos eletroeletrônicos

No que tange à facilidade do retorno, no caso de produtos de pós-venda ou não consumidos, ele se dará a partir da própria cadeia de distribuição, o que, de certa forma, poderá facilitar a sua organização, enquanto o retorno de produtos de pós-consumo se reveste de complexidade maior, pois exige de fabricantes e da cadeia direta, o comprometimento com a responsabilidade estendida do seu produto. Essa responsabilidade não cessa ao entregar o produto no mercado, mas continua até a correta destinação final ao produto (LEITE, 2009).

Conforme GUARNIERI, 2013, pode-se observar que ainda existem vários entraves que tornam a logística reversa um processo complexo e desafiador para a gestão de resíduos eletroeletrônicos. Alguns desses entraves incluem:

a) Falta de conscientização: muitos consumidores ainda não estão cientes da importância da logística reversa e do descarte adequado de resíduos eletroeletrônicos, fato que dificulta a implementação efetiva da logística reversa;

b) Infraestrutura inadequada: a falta de infraestrutura adequada para a coleta, transporte e processamento de resíduos eletroeletrônicos pode ser um obstáculo significativo. É necessário

estabelecer uma rede abrangente de pontos de coleta e instalações de reciclagem para atender à demanda;

c) Custos elevados: a logística reversa de resíduos eletroeletrônicos pode ser cara devido aos custos associados à coleta, transporte, triagem e reciclagem dos materiais. Os custos financeiros podem ser um desafio para as partes envolvidas, como fabricantes, empresas de reciclagem e consumidores;

d) Complexidade dos materiais: os resíduos eletroeletrônicos contêm uma variedade de materiais, alguns dos quais são complexos e difíceis de reciclar. Por exemplo, componentes eletrônicos contêm metais de alto custo, mas também podem conter substâncias tóxicas que requerem tratamento especializado;

e) Legislação e regulamentação: a falta de regulamentações objetivas e aplicáveis pode dificultar a implementação efetiva da logística reversa. É importante estabelecer leis e políticas que determinem os envolvidos na cadeia de valor dos resíduos eletroeletrônicos;

f) Responsabilidade compartilhada: a logística reversa requer uma abordagem colaborativa de todos os atores envolvidos, desde fabricantes e varejistas até os consumidores. A falta de cooperação e engajamento de todas as partes interessadas pode dificultar a implementação e o sucesso da logística reversa.

Superar esses entraves requer ações coordenadas e esforços conjuntos de todos os envolvidos. É importante investir em conscientização, infraestrutura adequada, pesquisa e desenvolvimento de tecnologias de reciclagem, além de estabelecer regulamentações claras e incentivos para a implementação efetiva da logística reversa de resíduos eletroeletrônicos.

Dessa forma, é muito importante promover a investigação das formas que o indivíduo entende, conhece e reage sobre as questões que envolvem os impactos ambientais que podem ser desencadeados a partir do descarte incorreto.

2.4. Percepção ambiental

O ser humano responde ao meio em que o cerca de diversas formas e sentidos, entretanto, é por meio do conjunto de mecanismos sensoriais, intelectuais e sentimentais, que se dá a percepção propriamente dita.

A percepção ambiental consiste no conjunto de atitudes, motivações e valores que influem nos distintos grupos sociais no momento de definir o meio ambiente percebido, o qual

não somente afeta o seu conhecimento como também seu comportamento dentro deste (SILVA; LEITE, 2008).

Segundo Braga *et al.* (2018), a educação ambiental é considerada uma ferramenta de promoção ao estímulo à preservação ambiental, embasando o processo de conhecimento de definições e a inserção de aptidões, no intuito da mudança de condutas relacionadas ao meio ambiente, servindo, também, para o fortalecimento da percepção sobre o ambiente.

Quando se trata de ambiente acadêmico, faz-se necessária a abordagem, discussão e sensibilização por parte de todas as classes que a compõe, sejam docentes, discentes e técnicos administrativos, no intuito de se promover maneiras eficazes e ambientalmente corretas para amenizar os efeitos danosos que o lixo eletroeletrônico traz (MEDEIROS; BARBOSA, 2017).

De acordo com Zago, Rocha e Costa (2020), a utilização de estudos em percepção ambiental ajuda na sensibilização, promovendo a redução de danos oriundos de ações antrópicas. A partir dos levantamentos realizados, pode-se concluir, então, que a percepção ambiental é um conjunto de interpretações na qual cada indivíduo está submetido.

A PNRS apresenta diretrizes básicas para a gestão integrada dos resíduos sólidos, considerando a reciclagem como forma de inclusão social, tendo a logística reversa como forma de promover a recuperação dos produtos pós-consumo e a coleta seletiva como alternativa de reduzir a quantidade de resíduos (ALMEIDA, 2018).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. O estado da arte

Para atender aos objetivos propostos, adotou-se o tipo de pesquisa bibliográfica e documental de caráter exploratório, baseado nas informações governamentais disponíveis e de outras publicações consideradas recentes e confiáveis. Dessa forma, também foram pesquisadas as informações contidas em livros, artigos em revistas e jornais, internet e outros documentos, para o levantamento e a análise do que já se produziu sobre o assunto. Para pesquisar a bibliografia, utilizou-se como palavras-chave, os termos relacionados a resíduos eletroeletrônicos, destinação de resíduos, meio ambiente, poluição, reciclagem, gestão ambiental, legislações ambientais e logística reversa.

3.2. A prática da logística reversa

Nos seguintes tópicos serão abordados os temas que abrangem, em linhas gerais, a prática da logística reversa, tanto de maneira mais abrangente, como especificamente no que diz respeito ao município de Uberaba-MG.

Para o descarte correto de eletroeletrônicos, é recomendado não desmontar os produtos. Para tanto, deve-se colocá-lo no coletor inteiro, se o aparelho tiver bateria de lítio, como em celulares, notebook, dentre outros, deixando-o dentro do produto e descartá-lo na área para eletroeletrônicos (GREEN ELETRON, 2023).

3.3. Análise dos dados da logística reversa em Uberaba-MG

Para a análise dos dados sobre logística reversa no município, foram levantados dados e informações de duas instituições que trabalham com o recolhimento na cidade em questão: o CODAU e o Instituto Agronelli de Desenvolvimento Social (IADES).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Brasil está entre os cinco países que mais produz resíduos eletrônicos no mundo. Todo esse material precisa ser descartado corretamente para que essa tecnologia que não é mais usada não vire um problema ambiental. O descarte incorreto dos resíduos eletrônicos impacta na saúde pública, devido aos metais pesados, gerando danos ao meio ambiente pela contaminação de solos, lençóis freáticos e os organismos da fauna e da flora e, além disso, reduz o tempo de vida dos aterros sanitários.

A Associação Brasileira de Reciclagem de Eletroeletrônicos e Eletrodomésticos (ABREE) também vem demonstrando papel significativo no cenário nacional sobre o gerenciamento dos resíduos eletroeletrônicos. A entidade se destaca pela relação com os seus associados e parcerias com redes varejistas e startups - são mais de 3800 pontos em 1200 municípios e 1300 pontos de coleta (ABREE, 2023).

A ABREE, além de auxiliar na gestão da logística reversa do pós-consumo, também atua no mercado de contratação, fiscalização e auditoria dos serviços prestados por terceiros para implementar sistemas coletivos. A ABREE também opera gerando e compartilhando informações acerca dos resíduos eletroeletrônicos e o seu respectivo sistema reverso (ABREE, 2023).

4.1. A logística reversa de eletroeletrônicos em Uberaba MG

O descarte específico dos resíduos de eletroeletrônicos foi inaugurado na região em estudo no ano de 2008. Atualmente, há somente 11 ecopontos localizados em pontos estratégicos para descarte de todos os tipos de resíduos volumosos, pois os domiciliares são coletados por empresa terceirizada contratada por licitação com frequência de três dias semanais em todos os setores.

Ter o conhecimento sobre a logística reversa permite a contribuição da população em se destinar adequadamente os resíduos de eletroeletrônicos, contribuindo com o recolhimento e a reinserção desses resíduos nas vias de distribuição, fazendo valer a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos instituída na PNRS.

Freitas e Oliveira (2021) destacam que a reciclagem dos resíduos eletroeletrônicos possibilita a recuperação, o tratamento e o reaproveitamento da matéria-prima em novos produtos. Sendo assim, é possível reciclar quase todos os componentes contidos no interior das pilhas e das baterias.

4.2. Instituto Agronelli de Desenvolvimento Social - IADES

O Instituto Agronelli de Desenvolvimento Social (IADES) foi criado no ano 2000 com o propósito e foco de atuação no exercício da responsabilidade socioambiental, participando das políticas públicas no município de Uberaba e região. As ações são desenvolvidas em parcerias com instituições públicas, privadas e do terceiro setor, mantendo projetos de pesquisas na área ambiental, além de cursos, palestras e seminários (IADES, 2023).

Com a atuação direta em conselhos de políticas públicas na prática da mobilização social, observou a necessidade de colaborar com a coleta dos resíduos de eletroeletrônicos, já que não existia no município iniciativas em que a comunidade poderia encaminhar os equipamentos inservíveis (IADES, 2023).

O incentivo ainda abriu oportunidades para o voluntariado e para oportunidades com os aprendizes e estagiários em diversas áreas nos projetos e ações, intensificando a sensibilização tanto da comunidade quanto das empresas e empreendimentos comerciais para a importância do descarte correto dos equipamentos eletrônicos que não são mais utilizados. Isso é necessário, pois tais materiais, infelizmente, ainda são encontrados descartados em lugares inapropriados pelos gestores públicos de limpeza urbana.

Os resíduos eletrônicos são recebidos durante todo o ano no Instituto Agronelli de Desenvolvimento Social - IADES, em parceria com empresas, comércios, Instituições de

atendimento, buscando sempre a mobilização de todas as classes para a participação e com a sensibilização da importância da destinação correta desses resíduos, dando a oportunidade para que tragam ao IADES para a destinação correta.

No ano de 2022, foram coletados 921,04 quilos de resíduos eletrônicos (Tabela 1), que foram vendidos, gerando captação de recursos para o Projeto Ambiental “Gincana Verde”.

Tabela 1 - Quantitativo de resíduos coletados até o ano 2022

Resíduos eletroeletrônicos	2022	TOTAL DE 2008_2022
Sucatas Res. Eletrônicos - Doação - Kg	892,8	42.951,50
Resíduo eletrônico - venda - Kg	921,04	4.112,70
Monitores	73	73

Fonte: Instituto Agronelli de Desenvolvimento Social (2022)

Num período de 14 anos, o IADES recebeu 47.137,2 Kg de resíduos eletroeletrônicos, sendo 91% de sucatas de eletrônicos, 8,8% de eletrônicos e 0,2% de monitores.

4.3. Companhia Operacional de Desenvolvimento, Saneamento e Ações Urbanas

A Companhia Operacional de Desenvolvimento, Saneamento e Ações Urbanas (CODAU) assinou o Termo de Cooperação em 1º julho de 2022 junto à Associação Brasileira de Reciclagem de Eletroeletrônicos e Eletrodomésticos (ABREE), para implantar o programa de logística reversa no Município. A parceria tem como principal objetivo conscientizar e reforçar a importância do descarte ambientalmente correto de produtos eletroeletrônicos e eletrodomésticos pós-consumo da região mineira.

A assinatura do Termo de Cooperação entre CODAU e ABREE, uma entidade sem fins lucrativos, garante o cumprimento do Decreto Federal nº 10.240/2020 (BRASIL, 2020), que regulamenta a implementação do sistema de logística reversa dos produtos eletroeletrônicos e dos seus componentes do uso doméstico.

A adesão de um ponto de entrega voluntária na CODAU, no Centro de Tecnologia e Educação Ambiental (CETA), localizado dentro do Parque das Barrigudas (Univerdecidade), funciona como ponto de coleta, controle, acondicionamento e armazenamento temporário dos produtos eletroeletrônicos descartados pelos consumidores até a sua transferência para a destinação final.

A ABREE é responsável pela retirada dos produtos armazenados na Central em Uberaba e pela destinação ambientalmente correta. A população pode descartar, pessoalmente, os

produtos eletroeletrônicos e eletrodomésticos, juntamente com seus componentes. Vale ressaltar que a entidade está presente em todo o Brasil e faz esse serviço desde 2021.

Na Tabela 2, são apresentadas as quantidades de resíduos eletroeletrônicos recebidos pela CODAU, onde é feito um trabalho de sensibilização por meio de atitudes voluntárias da população, que conhece o projeto da Central de Logística Reversa, a partir da divulgação pelas redes sociais da autarquia ou mesmo pelo programa Cata-trecos, que está diariamente em toda cidade com dois caminhões, percorrendo as ruas e recolhendo os resíduos volumosos descartados incorretamente.

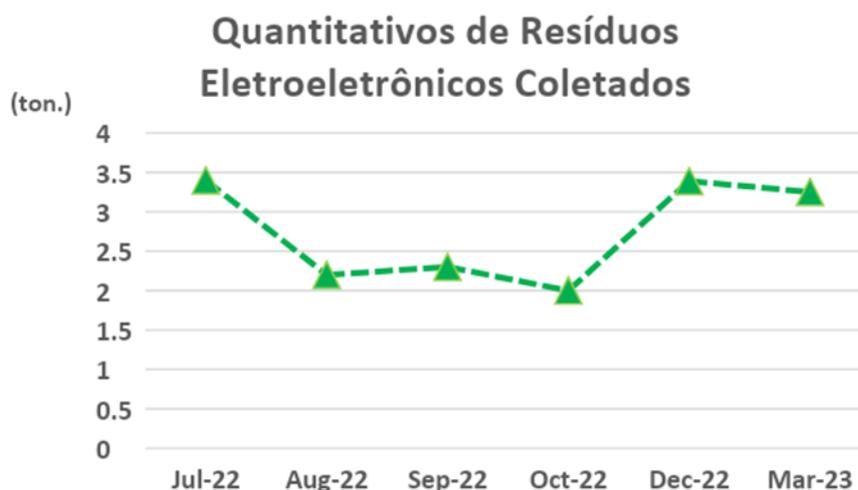
Tabela 2 - Quantidade de resíduos eletroeletrônicos recolhidos pela CODAU

MESES	QUANTIDADE (Kg)
JULHO 2022	3.400
AGOSTO 2022	2.200
SETEMBRO 2022	2.300
OUTUBRO 2022	2.000
DEZEMBRO 2022	3.390
MARÇO 2023	3.250
TOTAL	16.540

Fonte: Autoria Própria.

O gráfico 1 apresenta as tendências da entrega voluntária no período de julho a março de 2023.

Gráfico 1 - Quantitativos de Resíduos Eletroeletrônicos coletados CODAU



Fonte: Autoria Própria.

A instalação dos pontos de disposição de entregas voluntárias do poder público, leva em consideração a movimentação de pessoas e a oferta de serviços públicos, como Centro de Referência de Assistência Social – CRAS, Programa de Proteção e Defesa do Consumidor – PROCON, Universidades e outras entidades do município.

A Tabela 3 relaciona os dias de coleta em 2022 com análises estatísticas de pesos em toneladas que foram coletadas e analisadas, incluindo a média diária.

Tabela 3 - Médias de resíduos coletados diariamente

COLETA	DATA	DIAS	PESO(TON)	MÉDIA DIÁRIA
1	07/07/2022	*	3400	*
2	19/08/2022	43	2200	51,16
3	12/09/2022	24	2300	95,83
4	21/10/2022	39	2000	51,28
5	18/12/1022	58	3390	58,44
6	07/03/2023	79	3250	41,13
7	12/07/2023	127	2700	21,25
MÉDIA DE COLETA DIÁRIA				53,19

Fonte: Autoria Própria.

Observando a coleta pela média diária é possível observar que há uma flutuação na entrega voluntária, que pode ser afetado por vários fatores que demandam maiores estudos.

Analisando sob o aspecto das organizações, Nascimento, Lemos e Mello (2008) pontuam que a educação ambiental constitui a base do processo de implementação de uma gestão socioambiental estratégica. Quando uma organização desperta para a necessidade da adoção de novas ideias e práticas de sustentabilidade em seu cotidiano, assim como em várias outras situações, precisa investir em um sistema de comunicação eficiente que mobilize o maior número possível de integrantes em todos os níveis hierárquicos por intermédio da execução de um programa de educação ambiental capaz de interferir na cultura organizacional.

A etapa da sensibilização é fundamental sobretudo para reforçar a percepção de que todos os membros, e não apenas os dirigentes, são responsáveis pelas questões ambientais que se apresentam em uma organização.

É importante salientar que a PNRS, destaca em seu artigo 30 sobre a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, a ser implementada envolvendo os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, os consumidores e os titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

Segundo o Decreto nº 10.240/2020, é preciso implementar um sistema de logística reversa nas empresas de pequeno, médio e grande porte que importam, fabricam, distribuem ou comercializam eletroeletrônicos de uso domiciliar, como computadores (GREEN ELETRON, 2023).

Outra estratégia que poderia ser implantada é o ecodesign, que corresponde a examinar todo o ciclo de vida do produto e propor alterações de projeto, de forma a minimizar o impacto ambiental desde a fabricação até o descarte. O ecodesign representaria a redução no consumo de materiais; uso de materiais ambientalmente corretos (renováveis, não agressivos, reciclados, de baixo conteúdo energético); processos produtivos de menor impacto ambiental; otimização do processo de distribuição; aumento da vida útil, entre outros (Araújo, et al, 2012).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A logística reversa expressa em Lei é uma responsabilidade de todos e condição *sine qua non* para que haja uma redução nos resíduos descartados de forma inadequada e nos impactos ambientais gerados.

A análise dos dois casos de implantação da logística reversa de eletroeletrônicos no município de Uberaba-MG revela que há demanda para iniciativas como essas, mas que é preciso parcerias que viabilizem a logística desde a entrega voluntária, armazenamento temporário, acondicionamento correto, recolhimento nos pontos de entrega e encaminhá-los para uma destinação final ambientalmente adequada.

Para o sucesso do programa, é importante que ações de educação ambiental sejam adotadas, como prática constante, no que diz respeito à comunicação e sensibilização da população sobre a importância de depositar esses resíduos nos pontos de coleta apropriados.

Enfim, a logística reversa de eletroeletrônicos é uma iniciativa benéfica que requer a colaboração de várias partes interessadas, incluindo o poder público, associações, empresas e a comunidade em geral. A conscientização e a educação são essenciais para seu sucesso contínuo, e políticas públicas bem elaboradas desempenham um papel crucial na promoção de práticas de descarte responsáveis e na redução dos impactos ambientais.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16.156/2013 Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos - Requisitos para atividade de manufatura reversa. São Paulo, 2023.

ABREE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RECICLAGEM DE ELETROELETRÔNICOS E ELETRODOMÉSTICOS. Associados e parceiros. 2023. Disponível em: <https://abree.org.br/empresas-associadas> Acesso em: 01 out. 2023.

ALESSIO, Rosemeri. Responsabilidade Social das empresas no Brasil: reprodução de postura ou novos rumos? Porto Alegre: EDIPUCRS, 2004.

ALMEIDA, J. A. Gestão de resíduos sólidos em instituições de ensino: experiências internacionais, nacionais no município de Belo Jardim/PE. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, Florianópolis, v. 7, n. 1, p. 467-485, abr. 2018.

ARAÚJO, F. S. *et al.* Estratégias de Ecodesign aplicadas às atividades da logística reversa. Revista Brasileira de Estratégia, São Paulo, v. 5, n. 1, p. 105-116, mar 2012.

BRAGA, W. R. O. *et al.* A construção da percepção ambiental de estudantes universitários brasileiros. Revista Observatório, São Paulo, v. 4, n. 3, p. 1076-1106, abr. 2018.

BRASIL. Decreto nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/decreto-n-10.936-de-12-de-janeiro-de-2022-373573578>. Acesso em: 22 abr. 2023.

BRASIL. Decreto nº 10.240, de 12 de fevereiro de 2020. Regulamenta o inciso VI do caput do art. 33 e o art. 56 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, e complementa o Decreto nº 9.177, de 23 de outubro de 2017, quanto à implementação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/Decreto/D10240.htm. Acesso em: 23/03/2023.

BRASIL. Lei nº 12.305 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 08 fev. 2023.

CODAU. Codau implanta 10 pontos de coleta da Central de Logística Reversa de Eletroeletrônicos. Disponível em: <http://www.codau.com.br/noticiaDetalhe.php?codigo=5000901>. Acesso em: 15 abr. 2023.

DIAS, R. Gestão ambiental: Responsabilidade social e sustentabilidade. São Paulo: Atlas, 2010.
FREITAS, R. R.; OLIVEIRA, V. Z. Educação Ambiental e o descarte de resíduos eletroeletrônicos no sul de Santa Catarina. Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA), [S. l.], v. 16, n. 4, p. 134–152, 2021.

FOLHA DE UBERABA. Codau faz primeira remessa da central de logística reversa com mais de três toneladas. Disponível em: <https://www.folhauberaba.com.br/codau-faz-primeira-remessa-da-central-de-logistica-reversa-com-mais-de-tres-toneladas/>. Acesso em: 08 fev. 2023.

G1 TRIÂNGULO E ALTO PARANAÍBA. População ganha ponto para descarte de itens eletroeletrônicos em Uberaba. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/triangulo->

mineiro/noticia/2022/07/01/populacao-ganha-ponto-para-descarte-de-itens-eletronicos-em-uberaba.shtml. Acesso em: 15 abr. 2023.

GREEN ELETRON. Onde descartar eletroeletrônicos. 2023. Disponível em: <https://greeneletron.org.br/lixo-eletronico2>. Acesso em: 01 out. 2023.

GUARNIERI, Patricia. Logística Reversa e os Impactos da Política Nacional de Resíduos Sólidos. Recife: Trigueiro Fontes, 2013.

HERNÁNDEZ, C. T. *et al.* A logística reversa e a responsabilidade social corporativa: um estudo de caso num consórcio de gestão de resíduos. *In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA - SEGeT*, 4., 2007, Resende. Anais... Resende, 2007.

INSTITUTO AGRONELLI DE DESENVOLVIMENTO SOCIAL - IADES. Programas Socioambientais. Disponível em: <https://institutoagronelli.org.br/programas-socioambientais/>. Acesso em: 20 abr. 2023.

LEITE, P. R. Logística reversa: meio ambiente e competitividade. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

MEDEIROS, L. L. S.; BARBOSA, A. C. L. A cultura do descarte e reciclagem dos resíduos eletroeletrônicos: um estudo de caso na UFERSA - Centro Multidisciplinar Pau dos Ferros/RN. *Revista Mundi Sociais e Humanidades*, [S. l.], v. 2, n. 2, p. 1-26, 16 out. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.21575/25254774rms2017vol2n2297>.

MELLO, Valéria de Oliveira. Terceiro Setor e Responsabilidade Social Empresarial: Sinergia Possível para o Desenvolvimento Sustentável. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 2011

NASCIMENTO, Luis Felipe; LEMOS, Ângela Denise da Cunha; MELLO, Maria Celina Abreu de. *Gestão socioambiental estratégica*. Porto Alegre: Bookman, 2008.

SILVA, M. M. P.; LEITE, V. D. Estratégias para realização de educação ambiental em escolas do ensino fundamental. *Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental*, Rio Grande, v. 20, p. 372-398, abr 2008. Disponível em: <https://periodicos.furg.br/index.php/remea/article/view/3855/2299>. Acesso em: 01 out. 2023.

WEINGRILL, Carmen (coord.). *Práticas empresariais de responsabilidade social: relações entre os princípios do Global Compact e os indicadores Ethos de responsabilidade social*. São Paulo: Instituto Ethos, 2003. Disponível em: <http://www.ethos.org.br/sistemas/ifc/>. Acesso em: 10 jun. 2023.

ZAGO, J. P.; ROCHA, M. B.; COSTA, P. M. M. da. Percepção de estudantes de Engenharia Ambiental sobre a contribuição das atividades extraclasse em sua formação acadêmico-profissional. *Terra e Didática*, Campinas, SP, v. 16, p. e020033, jun 2020.

