

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Instituto de Geociências

Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais

Douglas Felipe Lucas

**ANÁLISES DE MULTICRITÉRIOS E SIMULAÇÃO DO USO E
COBERTURA DA TERRA NA ÁREA DE ENTORNO DA UHE
ITUTINGA:
UM SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO AMBIENTAL**

BELO HORIZONTE

2021

Douglas Felipe Lucas

**ANÁLISES DE MULTICRITÉRIOS E SIMULAÇÃO DO USO E COBERTURA
DA TERRA NA ÁREA DE ENTORNO DA UHE ITUTINGA:
um subsídio ao planejamento ambiental**

Versão final

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Bráulio Magalhães Fonseca

Belo Horizonte

2021

L933a
2021

Lucas, Douglas Felipe.
Análises de multicritérios e simulação do uso e cobertura da terra na área de
entorno da UHE Itutinga [manuscrito] : um subsídio ao planejamento ambiental /
Douglas Felipe Lucas. – 2021.
96 f., enc.: il. (principalmente color.)

Orientador: Bráulio Magalhães Fonseca.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais,
Departamento de Cartografia, 2021.
Bibliografia: f. 88-95.
Inclui anexo.

1. Modelagem de dados – Aspectos ambientais – Teses. 2. Política ambiental
– Minas Gerais – Teses. 3. Análise multivariada – Teses. I. Fonseca, Bráulio
Magalhães. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de
Cartografia. III. Título.

CDU: 911.2:519.6(815.1)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS

FOLHA DE APROVAÇÃO

**ANÁLISES DE MULTICRITÉRIOS E SIMULAÇÃO DO USO E COBERTURA DA TERRA NA ÁREA DE ENTORNO DA UHE ITUTINGA:
um subsídio ao planejamento ambiental**

DOUGLAS FELIPE LUCAS

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS, como requisito para obtenção do grau de Mestre em ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS, área de concentração ANÁLISE, MODELAGEM E GESTÃO DE SISTEMAS AMBIENTAIS.

Dr. Bráulio Magalhães Fonseca - Orientador
IGC/UFMG

Dr. Ítalo Sousa de Sena
Masaryk University

Dr. Marcelo Antonio Nero
IGC/UFMG

Belo Horizonte, 25 de maio de 2021.

Documento assinado eletronicamente por **Ítalo Sousa de Sena, Usuário Externo**, em 31/05/2021, às 16:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art.



5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marcelo Antonio Nero, Professor do Magistério Superior**, em 31/05/2021, às 17:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Braulio Magalhaes Fonseca, Subchefe de departamento**, em 31/05/2021, às 19:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0746388** e o código CRC **7C7BD21C**.

AGRADECIMENTOS

À minha família e amigos pelo apoio em todos os momentos.

Ao meu orientador Prof. Bráulio Fonseca, pela dedicação e contribuições no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, pela oportunidade de aperfeiçoamento.

RESUMO

Devido ao elevado potencial de aproveitamento hidráulico do Brasil, a maior parte da energia elétrica nacional é proveniente de usinas hidrelétricas. Contudo, a implantação e a operação destas podem causar danos ao meio ambiente. Diante deste cenário passou a ser exigida, no licenciamento de hidrelétricas, a apresentação do Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno de Reservatório Artificial (PACUERA), que pode ser definido como um conjunto de diretrizes e proposições com o objetivo de disciplinar a conservação, recuperação, o uso e ocupação do entorno do reservatório artificial, baseado em diagnóstico e zoneamento socioambiental. Um dos subsídios para a delimitação do zoneamento socioambiental é a detecção e predição das mudanças de uso e ocupação do solo. O objetivo desta pesquisa é construir um modelo preditivo de mudança para o ano de 2030 e simular dois cenários hipotéticos, sem considerar as diretrizes de uso presentes no zoneamento socioambiental do PACUERA e assumindo a implementação das diretrizes. Bem como, avaliar o potencial de antropização e preservação da área e seu conflito de interesse. Para tal empregou-se análises multicriteriais pelo método de Pesos de Evidências para a identificação do potencial para expansão das atividades antrópicas e potencial para preservação ambiental, e pelo método de Análise Combinatória para a avaliação dos conflitos de interesse. Para simulação de uso e cobertura da terra para o ano de 2030 empregado o módulo Land Change Modeler – LCM que compõe o software IDRISI versão Selva. Na estimativa da quantidade de mudanças foram empregados como dados de entrada os mapas de uso e cobertura da terra dos anos de 2007 e 2018, sendo empreendido o cálculo das taxas de transição com base em Cadeias de Markov. A aprendizagem baseada em observação ponderada por similaridade (SimWeight) foi utilizada para cálculo de potenciais de transição de mudanças de terreno, considerando a influência de um conjunto de variáveis explicativas espaciais. Os resultados do modelo revelam uma tendência de crescimento das atividades agrícolas e expansão urbana em detrimento de áreas de pastoreio e vegetação natural nativa. Os cenários hipotéticos simulados demonstraram que a adoção do zoneamento socioambiental do PACUERA disciplina as mudanças de classe de uso e cobertura da terra, corroborando para um ambiente mais sustentável na

circunjunção da UHE Itutinga. Como implicações práticas, tais resultados demonstram que a implementação do zoneamento socioambiental do PACUERA pode compatibilizar os interesses diversos em relação à utilização das águas e dos solos no entorno do reservatório, de modo a evitar a degradação do ambiente e maximizar benefícios socioeconômicos decorrentes do empreendimento. A pesquisa desenvolvida nesta dissertação é original e combina, de forma lógica e estruturada, conceitos chave de modelagem de sistemas ambientais. O trabalho contribui como um subsídio ao planejamento ambiental ao explicitar arcabouço metodológico para proteção, recuperação e promoção do uso sustentável dos ecossistemas terrestres, de forma a deter a perda de biodiversidade.

Palavras-chave: Ordenamento Territorial, Modelagem de Sistemas Ambientais, PACUERA, Análises Multicriteriais

ABSTRACT

Due to the high potential of hydraulic use in Brazil, most of the national electric energy comes from hydroelectric plants. However, their implementation and operation can cause damage to the environment. Given this scenario, the presentation of the Environmental Plan for the Conservation and Use of the Artificial Reservoir Surroundings (PACUERA) is now required in the licensing of hydroelectric plants. It can be defined as a set of guidelines and proposals with the objective of disciplining conservation, recovery, use and occupation of the surroundings of the artificial reservoir, based on socio-environmental diagnosis and zoning. One of the subsidies for the delimitation of socio-environmental zoning is the detection and prediction of changes in land use and occupation. The objective of this research is to build a predictive model of change for the year 2030 and simulate two hypothetical scenarios: one without considering the usage guidelines present in the PACUERA socio-environmental zoning and other assuming the implementation of the guidelines. It will also be evaluated the potential for anthropization and preservation of the area and its conflict of interest. For this purpose, multicriteria analysis were used with the Weighted Sum method to identify the potential for expansion of human activities and potential for environmental preservation, and the Combinatorial Analysis method to assess conflicts of interest. To simulate land use and land cover for the year 2030, the Land Change Modeler – LCM module that composes the IDRISI Selva software version was used. In estimating the amount of changes, the land use and land cover maps for the years 2007 and 2018 were employed as input data and the calculation of transition rates based on Markov Chains was undertaken. Similarity weighted instance-based learning (SimWeight) was applied to calculate the transition potentials of terrain changes, considering the influence of a set of spatial explanatory variables. The model results reveal a trend of growth in agricultural activities and urban expansion at the expense of grazing areas and native natural vegetation. The simulated hypothetical scenarios demonstrated that the adoption of PACUERA's socio-environmental zoning disciplines changes in land use and coverage classes, supporting a more sustainable environment in the surroundings of the Itutinga HPP. As practical implications, these results demonstrate that the

implementation of PACUERA's socio-environmental zoning can reconcile the various interests in relation to the use of water and soil around the reservoir, in order to avoid environmental degradation and maximize socioeconomic benefits arising from the enterprise. The research developed in this dissertation is original and combines, in a logical and structured way, key concepts of modeling environmental systems. The work contributes as a subsidy to environmental planning by explaining the methodological framework for the protection, recovery and promotion of the sustainable use of terrestrial ecosystems, in order to stop the loss of biodiversity.

Keyword: Territorial Planning, Modeling of Environmental Systems Territorial, PACUERA, Multicriteria Analysis

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema metodológico dos dois métodos de Análise de Multicritérios	28
Figura 2 - Mapa de Localização	32
Figura 3 - Ambiência e sua descaracterização da Vila Cemig	34
Figura 4 - Assentamento em no município de Nazareno.....	35
Figura 5 - Uso e cobertura da terra – 2018	40
Figura 6 - Fluxograma das etapas metodológicas.....	45
Figura 7 - Etapas de modelo espacial de simulação de mudanças de uso e cobertura da terra.....	54
Figura 8 - Representação do espaço variável produzido por duas variáveis.....	56
Figura 9 -Zoneamento Socioambiental da UHE Itutinga.	59
Figura 10 - Variáveis e Potencial para Expansão das Atividades Antrópicas	66
Figura 11 - Variáveis e Potencial para Preservação Ambiental.....	67
Figura 12- Mapa da Matriz de Interesses Conflitantes	69
Figura 13 - Mapeamento do uso e cobertura da terra para os anos de 2007 e 2018	72
Figura 14 – Potenciais de Transição.....	75
Figura 15 – Uso e cobertura da terra de 2020 mapeado sobre imagem Google Earth e projetado pelo Land Change Modeller (LCM).....	76
Figura 16 – Cenários de uso e cobertura da terra projetado para 2030	77

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Escala de importância do AHP	29
Quadro 2 - Condições de Saneamento Básico na área de entorno da UHE Itutinga.....	36
Quadro 3 - Bases cartográficas: Potencial para Expansão das Atividades Antrópicas.....	46
Quadro 4 - Notas atribuídas às classes de declividade.....	47
Quadro 5 - Notas atribuídas as classes de litologia	47
Quadro 6- Bases cartográficas: Potencial para Preservação Ambiental	48
Quadro 7- Notas atribuídas as classes de uso e cobertura da terra.....	49
Quadro 8 - Matriz de Interesses Conflitantes	52
Quadro 9- Variáveis testadas para modelo espacial de simulação	57
Quadro 10– Descrição do Zoneamento Socioambiental da UHE Itutinga e Matriz de Incentivo e Restrição.....	60
Quadro 11 - Pesos oriundos de AHP para identificação do Potencial de Expansão das Atividades Antrópicas.....	63
Quadro 12 - Pesos oriundos de AHP para identificação do Potencial de Preservação Ambiental	63
Quadro 13 Quantitativos de classes por Zoneamento e Transições	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantificação das classes de uso e cobertura da terra na área de entorno da UHE Itutinga.....	33
Tabela 2 – Análise quantitativa da Matriz de Interesses Conflitantes.....	68
Tabela 3 - Quantitativo de tipologias de uso e cobertura da terra nos anos 2007 e 2018.....	70
Tabela 4 - Variáveis testadas e selecionadas para o modelo de simulação.....	73
Tabela 5 – Matriz de transição com percentuais de persistência e mudanças	78
Tabela 6 Quantitativo de tipologias de uso e cobertura da terra nos anos 2007, 2018 e 2030.....	78

LISTA DE ABREVIATURAS

AHP - Analytic Hierarchy Process (Processo de Análise Hierárquica)

AMC - Análise de Multicritérios

APP - Áreas de Preservação Permanente

Cemig - Companhia Elétrica de Minas Gerais

Cesp - Companhia Energética de São Paulo

CLUE - The Conversion of Land Use and Effects

CODEMIG - Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CR - Código de Represa

DINAMICA EGO - Environment for Geoprocessing Objects

Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICR - Índice de Concentração da Rugosidade

IDW - Inverse Distance Weighting

IGDR - Índice Global de Dissecação do Relevo

IH - Índice de Hack (Stream Length-Gradient Index)

LandSHIFT - Land Simulation to Harmonize and Integrate Freshwater Availability and the Terrestrial Environment

LCM - Land Change Modeler

MDE - Modelo digital de elevação

PACUERA - Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno de Reservatório Artificial

PDR - Plano Diretor de Reservatório

RDE - Relação Declividade-Extensão

Sidra - Sistema IBGE de Recuperação Automática

SIG - Sistemas de Informação Geográfica

SimWeight - Aprendizado computacional baseada em observação ponderada por similaridade

UHE - Usina Hidrelétrica

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
2.1 Modelagem de uso e cobertura da terra.....	19
2.2 Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno de Reservatório Artificial (PACUERA).....	22
2.3 Análise de Multicritérios.....	26
3. A ÁREA DE ESTUDO.....	30
3.1 Aspectos socioeconômicos	33
3.2 Aspectos ambientais	38
4. MATERIAIS E MÉTODOS	44
4.1 Potencial para Expansão das Atividades Antrópicas e Potencial para Preservação Ambiental	46
4.2 Matriz de Interesses Conflitantes	51
4.3 Detecção e Quantificação de Mudanças no Uso e Cobertura da Terra	53
4.4 Modelo Espacial de Simulação	53
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	63
5.1 Análises Multicriteriais	63
5.2 Detecção de Mudanças.....	70
5.3 Simulação de Mudanças para 2030	73
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	82
REFERÊNCIAS.....	84
ANEXO A	95

1. INTRODUÇÃO

O crescimento acelerado das atividades humanas, principalmente ao longo dos dois últimos séculos, modificou a superfície do planeta. A demanda progressiva por energia é um agente relevante deste processo. No Brasil, devido ao seu elevado potencial de aproveitamento hidráulico, 68,1% da energia elétrica é proveniente de usinas hidrelétricas (EPE, 2018). Essas caracterizadas, na maioria dos casos, por usinas de grande porte situadas a grande distância dos centros consumidores. Contudo, a implantação e operação de usinas podem causar impactos negativos severos ao meio ambiente, estes verificáveis ao longo e além do tempo de vida da usina, bem como ao longo do espaço físico envolvido.

A degradação dos ecossistemas terrestres e aquáticos e sua biodiversidade, provocada pelo alagamento de extensas áreas e alteração do regime lótico para lântico, podem ser observados através da morte de indivíduos de várias espécies, redução de hábitat, intensificação dos processos erosivos, assoreamento, aumento da evapotranspiração potencial e comprometimento da qualidade da água. No âmbito social, temos a remoção e reassentamento de populações humanas, a precarização da infraestrutura regional e a desarticulação das atividades econômicas pretéritas. Ainda podemos acrescentar a perda irreversível do patrimônio cultural, representado pelos bens arqueológicos, históricos e paisagísticos (GUERRA; CARVALHO, 1995; SOUSA, 2000).

Face aos danos impostos ao meio ambiente e às comunidades os empreendimentos hidrelétricos, quando vistos como de interesse coletivo de uma sociedade, propiciam uma melhor qualidade de vida através da oferta de energia e promoção do uso racional e sustentável dos recursos naturais. No entanto, para que isso ocorra, são necessários a gestão e o planejamento ambiental eficientes a partir das fases iniciais do projeto, passando pela etapa de obras e ao longo da vida útil da usina a fim de minimizar os efeitos negativos e maximizar os benefícios. Conforme Sousa (2000), seguindo essa concepção, um determinado projeto hidrelétrico deve ser considerado como de aproveitamento múltiplo, onde a geração de energia faz parte dos diferentes usos da água e cuja preponderância irá depender de diferentes fatores.

Dentro desse contexto deve-se inserir o Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno de Reservatório Artificial (PACUERA). De acordo com a definição da Resolução nº 302/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002) o PACUERA é um conjunto de diretrizes e proposições com o objetivo de disciplinar a conservação, recuperação, o uso e ocupação do entorno do reservatório artificial, de forma a garantir a conservação ambiental dos recursos hídricos. A elaboração do PACUERA é realizada abrangendo os meios físico, biótico e socioeconômico.

Inicia-se com um diagnóstico socioambiental da área de entorno, a fim de realizar sua caracterização e identificar peculiaridades, necessidades, potenciais e fragilidades. Depois são propostos o zoneamento socioambiental e as diretrizes para cada zona proposta. A fim de consolidar o zoneamento, é realizada a consulta pública, onde a proposta é exposta à população, órgãos públicos, associações e entidades interessadas, para sua discussão, objetivando uma gestão integrada dos usos múltiplos do reservatório e seu entorno, especialmente a médio e longo prazos.

Um dos subsídios para a delimitação do zoneamento socioambiental é a detecção e predição das mudanças de uso e ocupação do solo. O estudo do mesmo é responsável pela detecção de uma série de aspectos da mudança ambiental global e suas forças dirigentes, tendo por isso recebido crescente atenção dos cientistas e tomadores de decisão. Nas últimas duas décadas, o foco da investigação tem se direcionado para a modelagem de sistemas, através da previsão de mudanças e da exploração de possíveis cenários futuros (MAS *et al.*, 2014; OLIVEIRA, 2012).

A ampla disponibilização de dados de sensoriamento remoto e o desenvolvimento e popularização de plataformas de Geoprocessamento, em especial os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) impulsionou e facilitou esta tendência (CARVALHO DE LIMA *et al.*, 2013). A modelagem espacialmente explícita é uma importante técnica para projetar e explorar cenários alternativos futuros, para conduzir experimentações que auxiliam no entendimento e quantificação dos processos envolvidos na dinâmica da paisagem (MAS *et al.*, 2014). Este enfoque exploratório e prospectivo permite que os modelos sejam usados como ferramentas de suporte ao planejamento e análise ambiental e têm-se tornado um importante instrumento de auxílio ao ordenamento territorial (OLIVEIRA, 2012).

Ordenamento Territorial é aqui entendido como o processo de planejamento, que visa à promoção da sustentabilidade, envolvendo metodologias e estratégias

para avaliar, diagnosticar e propor soluções para conflitos entre os atributos ambientais naturais e os aspectos antrópicos/socioeconômicos (STEINITZ *et al.*, 2005). Para Bohrer e Dutra (2009),

processo de ordenamento territorial busca integrar avaliações das características do ambiente natural e as relações entre seus atributos com os distintos tipos e intensidades de intervenções antrópicas, visando o estabelecimento de um "uso ótimo", com a manutenção da capacidade do ambiente de abrigar os processos ambientais e ecológicos.

Nessa perspectiva, métodos utilizados no contexto de estudos baseados em Geodesign apresentam-se como uma alternativa para compor uma estrutura metodológica e conceitual para o ordenamento territorial. Dotado por métodos e conceitos para resolver problemas amplos, complexos e significativos em diferentes escalas geográficas, o Geodesign objetiva a integração sustentável das atividades antrópicas com o ambiente natural, respeitando as peculiaridades culturais e possibilitando um processo de tomada de decisão com a participação dos atores sociais envolvidos. Conforme Fonseca (2015), sua origem está relacionada com surgimento dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que permitiu que o método de sobreposição (*overlay method*) se tornasse o principal instrumento de análise no campo do planejamento da paisagem, do ordenamento territorial e, sobretudo das análises de aptidão do território.

Diante do exposto anteriormente, surgem as questões norteadoras deste estudo. Seria possível identificar as principais mudanças de uso e cobertura da terra no entorno de um reservatório hidrelétrico? Seria possível identificar e quantificar as os conflitos de interesse entre as áreas com aptidão para expansão das atividades antrópicas e as áreas que necessitam ser ambientalmente preservadas nas imediações de um aproveitamento hidrelétrico? Cabe investigar se a adoção das diretrizes do zoneamento socioambiental do PACUERA proporcionaria um ambiente sustentável na circunjunção de uma usina hidrelétrica?

Neste contexto o trabalho tem como principal objetivo construir um modelo preditivo de mudança para o ano de 2030 e simular dois cenários hipotéticos, sem considerar as diretrizes de uso presentes no zoneamento socioambiental do PACUERA e assumindo a implementação das diretrizes. Os objetivos específicos são: (a) identificar as áreas de potencial para expansão das atividades antrópicas, (b) identificar as áreas com potencial para preservação ambiental e (c) detectar e

quantificar as mudanças de uso e cobertura da terra no entorno da UHE Itutinga entre os anos 2007 e 2018.

A dissertação está organizada em 6 (seis) capítulos. O primeiro, INTRODUÇÃO, apresenta o tema bem como os objetivos da pesquisa. O segundo capítulo, REFERENCIAL TEÓRICO, aborda os principais conceitos, definições e termos usados no contexto da modelagem de uso e cobertura da terra, PACUERA e análises de multicritérios. O terceiro capítulo, A ÁREA DE ESTUDO, fornece uma ideia geral da área de entorno do reservatório da usina hidrelétrica de Itutinga em Minas Gerais. O quarto capítulo apresenta os procedimentos metodológicos e materiais utilizados para atingir o objetivo do trabalho e foi denominado de MATERIAIS E MÉTODOS. A quinta parte, RESULTADOS E DISCUSSÕES, apresenta e discute os mapas de áreas potenciais para expansão de atividades antrópicas e preservação ambiental, a detecção de mudança e por último apresenta os resultados da simulação de uso do solo futuro conforme os dois cenários hipotéticos enunciados. O último capítulo, CONSIDERAÇÕES FINAIS, apresenta as conclusões do estudo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Modelagem de uso e cobertura da terra

Uma das consequências mais notáveis do desenvolvimento das atividades humanas é a mudança no uso e cobertura da terra. O crescimento urbano e o estabelecimento de áreas de cultivo em áreas naturais são exemplos das principais mudanças no uso e cobertura da terra observado nas últimas décadas (XAVIER; SILVA, 2018; XIONG *et al.*, 2014)

O estudo das mudanças de uso e cobertura da terra é responsável pela detecção de uma série de aspectos da mudança ambiental global e suas forças dirigentes e tem, por isso, recebido crescente atenção dos cientistas e tomadores de decisão. Nas últimas duas décadas, o foco da investigação tem se direcionado para a modelagem de sistemas, através da previsão de mudanças e da exploração de possíveis cenários futuros (MAS *et al.*, 2014; OLIVEIRA, 2012). A ampla disponibilização de dados de sensoriamento remoto e o desenvolvimento e popularização de plataformas de geoprocessamento, em especial os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) impulsionou e facilitou esta tendência.

A modelagem, particularmente espacialmente explícita¹, é uma importante técnica para projetar e explorar cenários alternativos futuros, para conduzir experimentações que auxiliam no entendimento e quantificação dos processos envolvidos na dinâmica da paisagem (MAS *et al.*, 2014). Este enfoque exploratório e prospectivo permite que os modelos sejam usados como ferramentas de suporte ao planejamento e análise ambiental e têm se tornado um importante instrumento de auxílio ao ordenamento territorial (OLIVEIRA, 2012).

Conforme Soares Filho *et al.* (2007), os principais passos para a construção de um modelo de mudanças no uso do solo são: configuração inicial, função de mudança e configuração de saída. A configuração inicial consiste em um mapa da paisagem, o qual pode ser derivado de uma série de dados, principalmente mapas históricos de uso do solo, obtidos via sensoriamento remoto. A construção de uma função de mudança não é trivial, consistindo sempre na parte mais complexa do

¹ Tipo de modelagem que gera mapas de simulação das mudanças temporal e espacialmente (VERBURG *et al.*, 2006 citado por COHENCA, 2016).

modelo. Ela pode ser decomposta em duas funções, uma de quantificação das mudanças e outra dedicada à alocação espacial das mudanças. A função de quantificação das mudanças, em geral, se dá pela aplicação de técnicas de interpretação e classificação de imagens multitemporais do sensoriamento remoto e a subsequente análise dos mapas resultantes, através de tabulação cruzada, visando à detecção e quantificação de mudanças. Um dos resultados desse processo consiste na matriz de transição para o período analisado.

Tendo como premissa que as mudanças em uma paisagem não se dão ao acaso, mas são condicionadas a uma estrutura espacial, a função de alocação espacial das mudanças é um modelo matemático que estima a potencialidade de mudança em função de um conjunto de variáveis explicativas das causas das mudanças no uso da terra. Este modelo permite avaliar em que locais provavelmente a mudança ocorrerá no futuro.

Os mapas de potencial ou favorabilidade de mudanças constituem os primeiros produtos da modelagem. Este cálculo da alocação espacial das mudanças pode ser aplicado através de diversos métodos. Destacam-se na literatura, a regressão logística, pesos de evidência, lógica fuzzy, algoritmos baseados em redes neurais e aprendizagem computacional ou de máquina. Exemplos são abordados em Amerikanos (2020), Fernandes *et al* (2020), Bisong, (2019), Fernandes *et al.* (2019), Fernandes *et al.* (2018), Oliveira *et al.* (2017), Oliveira e Nero (2013), Oliveira (2013).

As causas das mudanças no uso da terra podem ser classificadas como causas imediatas ou proximais e causas subjacentes. As causas proximais ou imediatas explicam as influências regionais na configuração espacial dos padrões de mudanças, por exemplo, distâncias às estradas e às cidades, fisiografia e divisão político-administrativa. Elas estão relacionadas com as características regionais físicas e socioeconômicas (cultura regional, acesso à tecnologia, mão de obra, características ambientais, preços de produtos e insumos) (VAN SOESBERGEN, 2016).

As causas subjacentes explicam as forças subjacentes ou motivadoras das mudanças, sendo muitas vezes consideradas como causas de contorno ou exógenas ao modelo espacial, mas que podem ser eventualmente integradas ao modelo espacial através de um modelo gerador de cenários, o qual processa a interação de subsistemas encadeados – e.g., modelos climático, demográfico,

econômico e político econômico – e seus efeitos na dinâmica do sistema estudado. Elas estão relacionadas às características macrorregionais físicas e socioeconômicas (políticas governamentais, macroeconomia, demografia, mercado internacional) (VAN SOESBERGEN, 2016).

A elencação das variáveis explicativas espaciais pode fazer uso de uma ampla gama de fontes (dados de sensoriamento remoto, variáveis biofísicas e socioeconômicas, indicadores econômicos, dados censitários, pesquisa de campo, etc.).

Por fim, a configuração de saída refere-se à calibração e validação do modelo. O processo de calibração deverá levar em conta o ajuste do modelo em relação à configuração espacial e/ou a estrutura da paisagem. Para a configuração, são sugeridos métodos de comparação de imagens com as múltiplas resoluções. Já para a comparação da estrutura da paisagem, são sugeridos os índices de dimensão fractal e medidas de conectividade da paisagem, tais como o índice de coesão de manchas – patch cohesion index (MCGARIGAL E MARKS, 1995 apud SOARES-FILHO *et al.*, 2007). Busca-se que o arranjo espacial explícito da paisagem seja captado pelo modelo. Alcançado mais de 75% de ajuste, o modelo estará validado, podendo ser extrapolado para outras áreas ou testar hipóteses de cenários através da alteração de parâmetros da função de mudança.

Em geral, a modelagem e em especial os modelos de previsão não estão livres de incertezas, pois elas podem estar associadas aos dados de entrada, a propagação dos erros do modelo e os erros implícitos no modelo devido à falta de total conhecimento dos processos envolvidos. Porém cabe ao modelador tentar reduzir essa incerteza, buscando conhecimento dos processos envolvidos na modelagem, utilização de algoritmo adequado e dados confiáveis e de qualidade (SATHISH KUMAR; ARYA; VOJINOVIC, 2013; VALADARES, 2017).

Existem diversos meios de obtenção de mapas que representem cartograficamente as mudanças de paisagem a partir de simulação da dinâmica ambiental. Em uma revisão, Soesbergen (2016) descreve as principais plataformas de modelagem de uso e cobertura da terra desenvolvidas atualmente. É possível destacar a família CLUE (*The Conversion of Land Use and Effects*), o LandSHIFT (*Land Simulation to Harmonize and Integrate Freshwater Availability and the Terrestrial Environment*), o DINAMICA EGO (*Environment for Geoprocessing Objects*) e o LCM (*Land Change Modeler*).

O *Land Change Modeler* (LCM) é um módulo integrado ao *software* IDRISI desenvolvido pela Clark Labs da Clark University (EUA) e dispõe ferramentas para avaliação e projeção de mudanças de cobertura da terra e suas implicações para espécies, habitats e biodiversidade. O LCM apresenta-se em uma estrutura fixa que divide a modelagem em etapas como: análise das mudanças de cobertura da terra, cálculo dos potenciais de transição, simulação de mudanças futuras além de ferramentas para avaliação de intervenções planejadas no uso da terra e impactos para biodiversidade. O LCM utiliza os métodos de regressão logística, redes neurais e aprendizado computacional para o cálculo dos potenciais de mudanças (CARVALHO DE LIMA *et al.*, 2013; EASTMAN, 2012a).

Conforme Xavier e Silva (2018), o LCM é um dos mais utilizados mundialmente em estudos relacionados à dinâmica do uso e ocupação do solo e também como subsídio a diversas pesquisas na área ambiental. Como exemplo de aplicações, os autores citam estudos realizados na Índia, Estados Unidos, Jordânia e em várias regiões do Brasil.

2.2 Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno de Reservatório Artificial (PACUERA)

No Brasil, devido ao seu elevado potencial de aproveitamento hidráulico 68,1% da energia elétrica é proveniente de usinas hidrelétricas caracterizadas, na maioria dos casos, por usinas de grande porte situadas a grande distância dos centros consumidores (EPE, 2018). Se comparada às fontes de geração termelétrica fóssil, a geração elétrica por meio do fluxo hidráulico pode ser considerada de menor custo e baixa emissão de gases estufa, viabilizando a regularização da oferta de água por meio de reservatórios e induzindo o desenvolvimento socioeconômico (TOLMASQUIM, 2012). Além da produção de energia, os reservatórios das usinas hidrelétricas podem prover uma série de outros usos tais como irrigação, controle de cheias, processamento industrial, suprimento de água para consumo humano, recreação.

Contudo, as usinas hidrelétricas geram severos danos nos ecossistemas terrestres, aquáticos e no âmbito social, haja vista a necessidade de alagamento de extensas áreas e a mudança na configuração natural de corpos hídricos, transformando sistemas lóticos em lênticos. Podem ser observados a morte de

indivíduos de várias espécies, redução de hábitat, intensificação dos processos erosivos, assoreamento, aumento da evapotranspiração potencial e comprometimento da qualidade da água. No âmbito social, temos a remoção e reassentamento de populações humanas, a precarização da infraestrutura regional e a desarticulação das atividades econômicas pretéritas. Além da perda irreversível do patrimônio cultural, representado pelos bens arqueológicos, históricos e paisagísticos (GUERRA; CARVALHO, 1995; SOUSA, 2000).

Diante de tal contexto, a partir da década de 1980 se inicia no Brasil um processo de reestruturação do planejamento energético com vista a estratégias mais sustentáveis de desenvolvimento, passando a ser empregado um sistema de licenciamento ambiental mais rigoroso para empreendimentos nesse setor (BARÃO, 2007). Nesse sentido, associado também às novas exigências estabelecidas pelos organismos financiadores como o Banco Mundial, foi aprovada a Política Nacional de Meio Ambiente por meio da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 (BRASIL, 1981), instituindo instrumentos de gestão, tais como o zoneamento ambiental, o licenciamento ambiental, a avaliação de impacto ambiental e as áreas especialmente protegidas. Posteriormente, a Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986 (CONAMA, 1986), regulamenta os critérios básicos e as diretrizes gerais para aplicação da Avaliação de Impacto Ambiental, assim como define as atividades que se enquadram nesta modalidade.

Considerando que a utilização da terra e da água das bacias de contribuição dos reservatórios, bem como da própria água armazenada, influenciam diretamente na qualidade e quantidade dos corpos hídricos, é fundamental que se estabeleçam diretrizes de controle da ocupação das áreas de entorno, por meio de instrumentos de gestão ambiental e, particularmente, dos recursos hídricos. Nesse sentido, passou a ser exigida na fase de operação do licenciamento ambiental de hidrelétricas, em nível nacional, a apresentação do Plano Ambiental de Conservação de Uso do Entorno de Reservatório Artificial (PACUERA). O PACUERA configura-se como um plano diretor e busca conciliar o uso antrópico da área de entorno de um reservatório com a conservação e manutenção de Áreas de Preservação Permanente (APP), sendo elaborado considerando-se a participação popular (BRASIL, 2012; CONAMA, 2002; MINAS GERAIS, 2013).

A elaboração do PACUERA é realizada abrangendo os meios físico, biótico e socioeconômico. Inicia-se com um diagnóstico socioambiental da área de entorno, a

fim de realizar sua caracterização e identificar peculiaridades, necessidades, potenciais e fragilidades. Depois são propostos o zoneamento socioambiental e as diretrizes para cada zona proposta. A fim de consolidar o zoneamento, é realizada a consulta pública, onde a proposta é exposta à população, órgãos públicos, associações e entidades interessadas, para sua discussão; objetivando uma gestão integrada dos usos múltiplos do reservatório e seu entorno, especialmente a médio e longo prazos.

O PACUERA teve sua concepção inicial a partir da década de 1970, quando foi denominado Plano Diretor de Reservatório (PDR). O PDR e o Código de Represa (CR) eram os documentos integrantes do Plano de Utilização, o qual deveria ser elaborado antes da implantação dos reservatórios de geração de energia elétrica. Esta exigência era descrita no documento intitulado Modelo Piloto de Projeto Integral elaborado pela Companhia Energética de São Paulo (Cesp), no final da década de 1970, não se constituindo, portanto, em uma exigência legal para todos os reservatórios do país (RAPOSO, 2020). Conforme aponta Soares (2005), PDR tinha como objetivo elaborar as propostas e recomendações, sob a forma de diretrizes, para restaurar o equilíbrio ecológico do novo ambiente modificado, considerando as possibilidades que surgem para uso múltiplo dos reservatórios. Por sua vez, o CR era entendido como o conjunto de normas e recomendações para que o uso do solo, nas áreas de intervenção direta e indireta não prejudicasse os recursos hídricos.

Nas décadas de 1970 e 1980 foram elaborados alguns planos diretores de reservatórios. Tendo em vista que naquela época os instrumentos relativos a essas questões estavam em fase de regulamentação, em grande parte dos casos, a elaboração de tais planos estava relacionada à iniciativa da própria empresa ou à exigência de organismos financiadores. Por serem mais abrangentes, os planos consideravam como área de influência a bacia ou sub- bacia hidrográfica. Em alguns casos, utilizavam-se níveis de detalhamento maior para áreas mais próximas aos reservatórios. Em todos os planos, as águas dos reservatórios também estavam incluídas na área de influência (SOARES, 2005).

Entretanto, segundo o mesmo autor, foi a partir do final da década de 1990 que alguns órgãos ambientais começaram a vislumbrar preocupações acerca da ocupação desordenada nas margens de reservatórios de usinas hidrelétricas, levando-os a exigir do empreendedor a elaboração de planos ambientais para o entorno dos reservatórios. A partir de tais exigências, a titulação dos planos passou

a incorporar o uso e ocupação como palavras dominantes, surgindo diversas denominações como Plano de Uso e Ocupação do Solo e Plano de Uso e Ocupação do Solo e das Águas.

A partir de março de 2002, com a Resolução CONAMA nº 302/2002 (CONAMA, 2002), Planos Diretores do Reservatório passam a ser uma exigência legal, sendo seu termo alterado para Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno de Reservatório Artificial (PACUERA). Para efeito da referida Resolução, o PACUERA é entendido como um conjunto de diretrizes e proposições com o objetivo de disciplinar a conservação, recuperação, o uso e ocupação do entorno do reservatório artificial (CONAMA, 2002). Ademais, a aprovação do PACUERA deverá ser precedida da realização de consulta pública, sob pena de nulidade do ato administrativo, atendendo a Resolução CONAMA nº 9, de 3 de dezembro de 1987 (CONAMA, 1987).

A Lei Federal nº 12.651 de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012) estabeleceu em suas diretrizes que o PACUERA, para os empreendimentos licitados a partir da vigência da referida lei, deverá ser apresentado ao órgão ambiental competente, concomitantemente com o Plano Básico Ambiental. Tal plano deve ser aprovado até o início da operação do empreendimento, não constituindo a sua ausência impedimento para a expedição da licença de instalação (BRASIL, 2012). Ficou estabelecido, ainda, que na implantação de reservatório d'água artificial destinado a geração de energia ou abastecimento público, é obrigatória a aquisição, desapropriação ou instituição de servidão administrativa pelo empreendedor das APPs criadas em seu entorno, conforme estabelecido no licenciamento ambiental.

Em âmbito estadual de Minas Gerais, pela Lei Estadual nº 20.922, de 16 de outubro de 2013 (MINAS GERAIS, 2013), são reforçadas as diretrizes implementadas na Lei Federal nº 12.651/2012 (BRASIL, 2012) no que se refere às dimensões da APP dos reservatórios artificiais destinado à geração de energia ou ao abastecimento público, bem como com relação ao PACUERA. De forma complementar, a citada lei estadual estabelece os itens mínimos a serem apresentados em tais planos, sendo eles: I - diagnóstico socioambiental; II - zoneamento socioambiental; III - programa de gerenciamento participativo do entorno do reservatório. A lei ainda reforça que para os empreendimentos em operação, o PACUERA deverá ser apresentado ao órgão ambiental e sua aprovação

é condição para a revalidação da licença ambiental de operação ou a emissão da licença ambiental corretiva (MINAS GERAIS, 2013).

2.3 Análise de Multicritérios

O método de Análise de Multicritérios (AMC) é amplamente utilizado para avaliar e integrar variáveis, sendo um interessante instrumento a ser aplicado em propostas de identificação de potencialidades, fragilidades e ordenamento de territórios uma vez que permite satisfazer diferentes objetivos para usos (OLIVEIRA, 2009). Seu emprego tem sido popular entre os usuários de SIG. Há duas razões para esta popularidade: primeira é pela simplicidade do método para integrar dados conforme os objetivos de análise seguindo múltiplos critérios; segunda, é a existência de ferramentas prontamente disponíveis em softwares de geoprocessamento, que podem ser utilizadas para implantar as etapas do processo de análise espacial por combinação de variáveis. O método vem sendo utilizado durante os últimos vinte anos, e já existe uma vasta literatura sobre o assunto (DAPUETO *et al.*, 2015; DEVARAKONDA *et al.*, 2021; MOURA, 2007; MOURA; JANKOWSKI, 2016; STICH *et al.*, 2011).

A AMC se baseia em álgebra de mapas², pois seleciona as principais variáveis que representam uma realidade, as representa de modo numérico e as integra. As etapas que compõem seu processo metodológico podem ser resumidas em:

- Definição de objetivos e aplicações do uso do procedimento;
- Organização da base de dados alfanumérica e cartográfica;
- Tratamento dos dados para a composição de representações matriciais (rasters);
- Definição de pesos das variáveis e de valores para seus componentes de legenda e;
- Integração das variáveis na Análise de Multicritérios.

² O termo “álgebra de mapas” é usado para indicar o conjunto de procedimentos de análise espacial em Geoprocessamento que produz novos dados, a partir de funções de manipulação aplicadas a um ou mais mapas. Esta visão concebe a análise espacial como um conjunto de operações matemáticas sobre mapas, em analogia aos ambientes de álgebra e estatística tradicional. Os mapas são tratados como variáveis individuais, e as funções definidas sobre estas variáveis (somas, subtrações, divisões ou multiplicações) são aplicadas de forma homogênea a todos os pontos do mapa (BARBOSA *et al.*, 1998; DANA TOMLIN, 2017).

A integração pode acontecer principalmente por dois métodos: Análise Combinatória (*Combinatorial Analysis*) e a Pesos de Evidência (*Weighted Sum*) (Figura 1).

A Análise Combinatória tem como função conhecer as possíveis coincidências territoriais das variáveis de acordo com o objetivo do pesquisador, fornecendo informação não hierarquizada, mas sim qualitativa e seletiva. A sua produção ocorre de forma gradual, diminuindo a complexidade da lógica entre os dados. Este método se apresenta como suporte a decisões sobre como atuar em uma área de estudo, interpretando as combinações de variáveis par-a-par, ou por combinação de resultados parciais com outras variáveis. (ROCHA; CASAGRANDE; MOURA, 2018).

No método de Pesos de Evidência, o objetivo é gerar um índice classificatório relativo, isto é, criar um ranking para um motivo de investigação, a partir do julgamento por diferentes pesos arbitrados pelo pesquisador segundo algum método de decisão. Esse processo é interessante para se classificar vulnerabilidades, potencialidades, interesses e probabilidades, ou seja, tudo que exige um ranking classificatório. Para arbitrar os pesos no método de Pesos de Evidência podem ser aplicados diferentes procedimentos, baseados em análise da realidade existente (*data-driven*) ou por consulta a especialistas (*knowledge-driven*). Motta *et al.* (2016) incluem ainda os métodos de *visual-driven*, no qual o investigador simula dinamicamente mudanças nos pesos e obtém resultados como suporte à escolha dos mesmos.

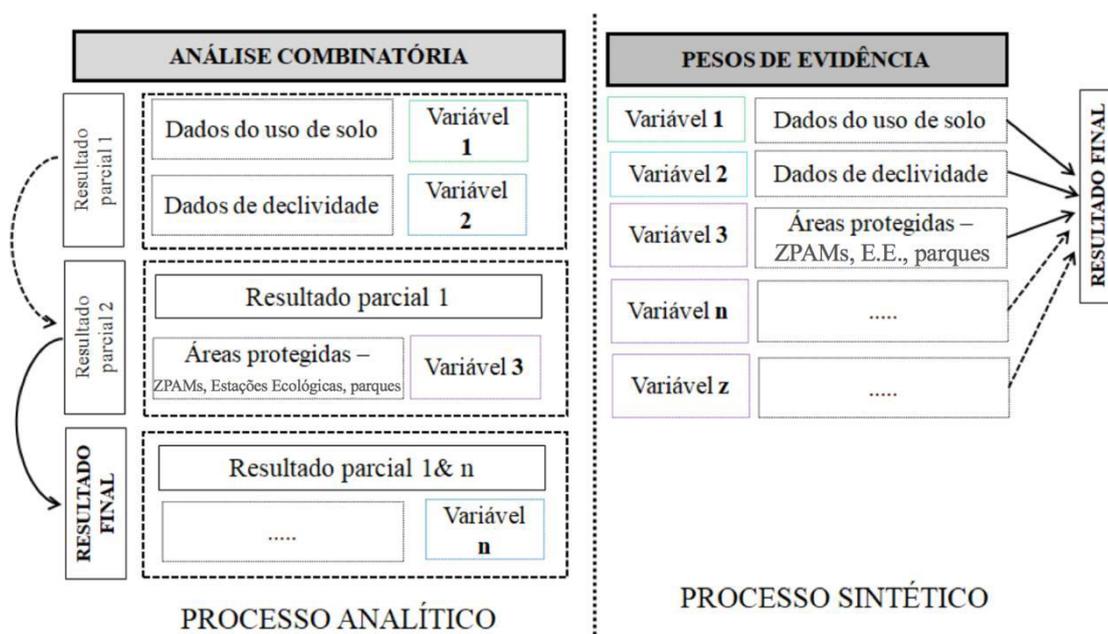


Figura 1 - Esquema metodológico dos dois métodos de Análise de Multicritérios Fonte: Rocha; Casagrande; Moura, (2018).

Entre os processos de definir os pesos por *data driven* podem ser citados os métodos que se baseiam em mineração de dados, que visam identificar as tendências da hierarquia das variáveis, de acordo com o que acontece na realidade, medido por amostras escolhidas no território investigado (CASTRO; MOURA, 2010).

Entre as técnicas de *knowledge-driven*, o objetivo é receber *feedback* de especialistas que entendem o fenômeno e a realidade investigada, e emitem suas opiniões de acordo com a probabilidade e o estado-da-arte da variável. Existem diferentes métodos para se realizar essa consulta, sendo os mais populares o método *Delphi* e o AHP (Processo de Análise Hierárquica - *Analytic Hierarchy Process*) (MOURA; JANKOWSKI, 2016; ROCHA; CASAGRANDE; MOURA, 2018).

O método *Delphi* foi inicialmente proposto na década de 1950 pela indústria militar norte-americana, o *Research and Development* (RAND), com o objetivo de dividir responsabilidades e obter a melhor solução que tenha sido consenso entre as pessoas envolvidas. A obtenção dos pesos e notas baseia-se na escolha de um grupo multidisciplinar de especialistas, que conheçam bem o fenômeno e melhor ainda se conhecerem bem a realidade espacial onde ele se localiza. A esses especialistas é solicitado que hierarquizem ou coloquem as variáveis ou planos de informação em ordem de importância para a manifestação ou ocorrência de

fenômeno estudado. Uma vez recebidas respostas do grupo, realiza-se a seleção da média e a indicação do predomínio nas manifestações. O especialista então recebe o resultado da consulta e é solicitado a rever suas posições – caso ele tenha firmeza das suas escolhas, mantém suas respostas, mas caso ele decida ajustar suas avaliações diante da resposta do grupo, ele manifesta nova opinião. Assim é feito por duas rodadas, mas há situações em que se aplicam três rodadas (MOURA, 2007; MOURA; JANKOWSKI, 2016).

Método desenvolvido pelo Prof. Thomas Saaty em 1977, na Universidade da Pensilvânia, o AHP auxilia na atribuição dos pesos as variáveis ou planos de informação, para determinar a contribuição relativa de cada um, mas ainda assim o especialista ainda deve definir a hierarquia entre as variáveis e os pesos de cada componente de legenda das mesmas. Uma explanação detalhada encontra-se em Saaty (1977) e Wind e Saaty (1980). A meta é decompor a complexidade da situação a fim de tomar as decisões sobre o que é mais importante (MOURA, 2007; MOURA; JANKOWSKI, 2016).

O AHP possibilita a atribuição dos pesos a um conjunto de variáveis a partir da comparação entre pares de variáveis. Essa técnica facilita a definição dos pesos, principalmente nos casos em que há um grande número de variáveis a serem consideradas. Para aplicação da técnica AHP, define-se a escala de importância relativa entre as variáveis em uma matriz de comparação pareada (Quadro 1). O peso de cada variável é obtido a partir do autovetor da matriz de comparação pareada (SACRAMENTO, 2016). Para verificar se os pesos foram atribuídos coerentemente, calcula-se o índice de razão de consistência; que varia entre 0 (completa consistência) e 1 (completa inconsistência). Conforme Saaty e Vargas (1991), a razão de consistência deve ser menor que 0,1.

Quadro 1 – Escala de importância do AHP

Escala Numérica	Explicação
1	Mesma importância
3	Importância moderada de um sobre o outro
5	Importância essencial ou forte
7	Importância muito forte
9	Importância extrema
2,4,6,8	Valores intermediários

Fonte: Adaptado de Sacramento (2016) e Wolf (2008)

3. A ÁREA DE ESTUDO

A usina hidrelétrica de Itutinga está situada no leito do Rio Grande, nas divisas dos municípios de Itutinga e Nazareno, na região sul do estado de Minas Gerais. Ela está a, aproximadamente, três quilômetros em linha reta a oeste da sede municipal de Itutinga, e a 8 km em linha reta a sul da sede municipal de Nazareno. Na margem esquerda do lago encontra-se o município de Itutinga e, na direita, o de Nazareno (Figura 2). Sua principal via de acesso é a rodovia federal BR 265, que liga Muriaé/MG a São José do Rio Preto/SP. Figurando entre os primeiros empreendimentos da Cemig (Companhia Energética de Minas Gerais), sua obra foi iniciada em abril de 1952 (CEMIG, 2006).

De acordo com o livro "Usinas da CEMIG: A História da Eletricidade em Minas e no Brasil" de 2006, a inauguração oficial da usina ocorreu em 3 de fevereiro de 1955, com a entrada em operação da primeira de suas quatro unidades geradoras de 60 Hz. A primeira e a segunda unidade, que entraram em funcionamento em julho do mesmo ano contam com potência unitária de 12,5 MW. Em setembro de 1959 e em abril de 1960, entraram em operação a terceira e a quarta unidades geradoras; ambas com potência unitária de 13,5 MW.

A Cemig implantou diversas linhas e subestações para escoamento da energia de Itutinga na região sul do estado e a integração da usina ao sistema interligado da empresa, assegurada pelas linhas de 138 kV construídas no percurso entre Itutinga, São João Del-Rei e a subestação de Nova Lima (CEMIG, 2006).

Localizada imediatamente a montante da hidrelétrica de Itutinga, a usina hidrelétrica de Camargos é a primeira usina em cascata dos aproveitamentos hidrelétricos do Rio Grande. A operação destas usinas ocorre de forma coordenada devido ao reservatório de acumulação de Camargos, que além de Itutinga, beneficia o aproveitamento de Funil.

Para a apreensão da dinâmica socioambiental no entorno da usina empregou-se mapeamento de uso e cobertura da terra elaborado através da vetorização das classes de uso e cobertura da terra identificadas em imagens do *Google Earth* (Figura 5) e o diagnóstico local realizado pelo Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno do Reservatório Artificial (PACUERA) da UHE Itutinga (BRANDT MEIO AMBIENTE, 2017). Tendo como base as classes de uso e cobertura da terra

descreve-se, a seguir, os diversos aspectos socioeconômicos e ambientais no entorno da UHE.

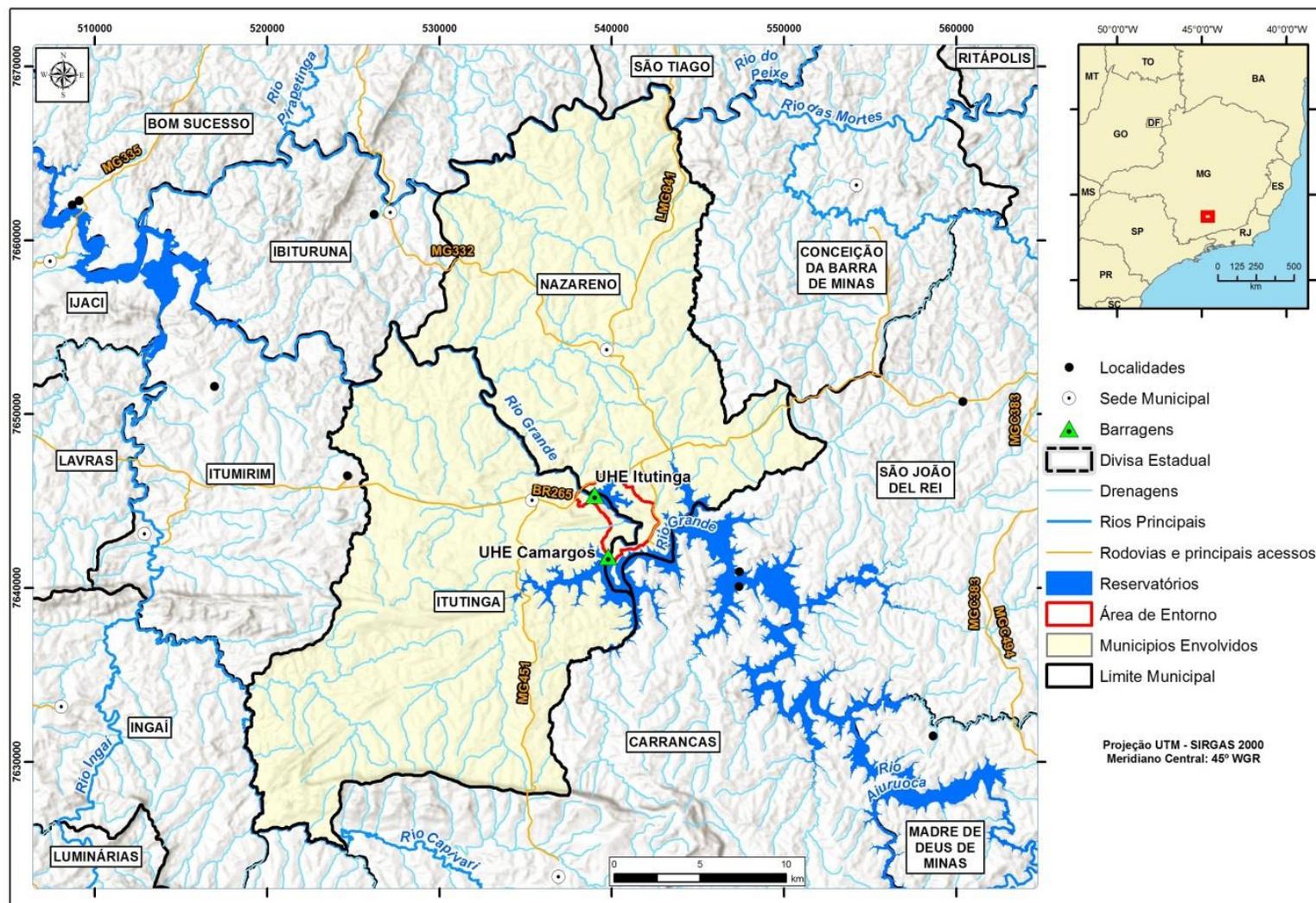


Figura 2 - Mapa de Localização

3.1 Aspectos socioeconômicos

As classes mapeadas e os respectivos quantitativos em hectares e porcentagem são apresentados na tabela abaixo.

Tabela 1 - Quantificação das classes de uso e cobertura da terra na área de entorno da UHE Itutinga

Classe	Área (ha)	Percentual (%)
Cultivo Agrícola	105,45	8,81
Edificações da Cemig	19,31	1,61
Erosão/Solo Exposto	4,61	0,39
Estação de Piscicultura	1,75	0,15
Floresta Estacional	194,55	16,26
Habitações	37,54	3,14
Massa d'água	9,54	0,80
Pastagem	382,84	31,99
Reservatório	182,00	15,21
Savana Arborizada	121,71	10,17
Savana Arborizada sobre Afloramentos Rochosos	123,75	10,34
Uso Industrial	1,12	0,09
Via de acesso	12,54	1,05
Total	1196,71	100,0

Fonte: Dados da pesquisa.

Conforme pode ser observado, na tabela 1, a maior parte da área de entorno é coberta por Pastagem (31,99%), seguido pela Floresta Estacional (16,26%). Os núcleos de ocupação humana (Edificações da Cemig, Estação de Piscicultura, Habitações e Uso Industrial) abrangem apenas 4,99% da área de entorno. As áreas

com cultivo agrícola, por sua vez, ocupam cerca de 8,81% da área (Figura 5). Dentre os núcleos de ocupação humana destacam-se dois assentamentos humanos, sendo um em Itutinga, a antiga vila dos funcionários da CEMIG, e outro em Nazareno. Ambos se destinam majoritariamente a segunda moradia e lazer de classes médias ou médias altas.

A antiga Vila Cemig é um bairro implantado para funcionários da hidrelétrica, concebido nos moldes das cidades jardins inglesas³ e que atualmente já não é de uso exclusivo dos funcionários da hidrelétrica. As moradias e equipamentos urbanos estão sendo vendidas e transferidas para terceiros. A maioria das residências da Vila já foi descaracterizada da ambiência do bairro, que era exemplificada pela ausência de fechamento dos lotes, os extensos jardins, a vegetação densa e a horizontalidade das edificações (Figura 3).



Figura 3 - Ambiência e sua descaracterização da Vila Cemig. Fonte: BRANDT MEIO AMBIENTE, 2017

O outro assentamento no município de Nazareno possui um formato linear seguindo a margem do reservatório. Os lotes são grandes, sendo que uma das testadas menores faz divisa com os fundos do reservatório e a outra testada menor é à frente dos lotes, cujo acesso é feito por uma via paralela às margens. Os lados

3 As Cidades Jardins surgiram na Inglaterra, no final do século XIX, concebida por Ebenezer Howard, como forma de aplacar as mazelas que as cidades industriais viviam naquele período. Sua concepção básica é da harmonia com a natureza, edificações e moradias agrupadas em baixa densidade, em lotes não murados, em extensas áreas verdes como se fossem grandes jardins. Essas ideias foram difundidas no mundo inteiro, tanto em vilas operárias e bairros para funcionários de empresas, como em bairros para as classes média e alta (BRANDT MEIO AMBIENTE, 2017).

maiores dos lotes são as divisas entre vizinhos. Seus lotes são fechados por muros de alvenaria que obstruem visadas do entorno natural, agravado pelo fato dos lotes fazerem divisas de fundos com o reservatório o que privatiza o acesso às águas e dificulta possíveis fiscalizações (Figura 4).

Se localizam nas margens do lago na parte de Itutinga, um clube recreativo dos funcionários da Cemig, e em ambas as margens outras edificações isoladas que se caracterizam como moradias secundárias ou de lazer e/ou sedes de propriedades rurais.



Figura 4 - Assentamento em no município de Nazareno. Fonte: BRANDT MEIO AMBIENTE, 2017

No tocante às condições de saneamento básico dessas ocupações humanas, observa-se no quadro 2 os valores percentuais encontrados para abastecimento de água, destinação de efluentes e coleta de lixo dos dois setores censitários que se conectam ao reservatório da UHE Itutinga, sendo um no município de Itutinga e outro no município de Nazareno.

Conforme dados dos setores censitários exibidos por Brandt Meio Ambiente (2017), a forma de abastecimento de água mais utilizada pelos residentes locais é a captação via poço artesiano ou nascente, sendo que essa opção representou 63,67% dos domicílios estudados. Essa forma de captação se caracteriza por não haver garantia do tratamento e da potabilidade da água.

Na disposição final dos esgotos gerados nas propriedades, os lançamentos executados em fossa rudimentar são os mais representativos da área analisada,

sendo que estão presentes em mais de 77% dos domicílios da área de entorno. Os lançamentos via rio ou lago foram registrados em 3,44% dos domicílios sendo que esses, em caso de lançamento em corpo d'água, possuem o maior potencial de influência na qualidade das águas do reservatório.

Para os resíduos sólidos gerados, a coleta de lixo é o serviço público analisado que possui melhor condição de atendimento nos setores. A coleta é realizada (via serviço de limpeza e caçamba) em 68,40% dos domicílios. Em contraponto ao panorama favorável apresentado, a queima de lixo também registra percentual significativa, chegando a cerca de 43,86% em um dos setores analisados e registrando em média 29,19%.

Quadro 2 - Condições de Saneamento Básico na área de entorno da UHE Itutinga

		Abastecimento de água por forma de provimento (%)				
Municípios	Número do setor censitário	Abastecimento de água da rede geral	Abastecimento de água de poço ou nascente na propriedade	Abastecimento de água da chuva armazenada em cisterna	Outra forma de abastecimento de água	
Nazareno	314450805000012	5,26	78,95	7,02	8,77	
Itutinga	313450905000007	17,74	48,39	0	33,87	
Média dos setores censitários		11,5	63,67	3,51	21,32	
		Esgotamento sanitário por forma de destinação (%)				
Municípios	Número do setor censitário	Esgotamento sanitário via rede geral de esgoto	Esgotamento sanitário via fossa séptica	Esgotamento sanitário via fossa rudimentar	Esgotamento sanitário via rio, lago ou mar	Esgotamento sanitário via outro escoadouro
Nazareno	314450805000012	0,88	4,39	89,47	5,26	0
Itutinga	313450905000007	19,35	11,29	66,13	1,61	1,62
Média dos setores censitários		10,115	7,84	77,8	3,435	0,81
		Destinação dos resíduos por forma de destinação (%)				
Municípios	Número do setor censitário	Lixo Coletado	Lixo queimado na propriedade	Lixo com outra destinação		
Nazareno	314450805000012	56,14	43,86	0		
Itutinga	313450905000007	80,65	14,52	4,84		
Média dos setores censitários		68,4	29,19	2,42		

Representando a classe Uso Industrial, ao longo da margem direita do reservatório e às margens da BR 265, no município de Nazareno, localiza-se a fábrica Laticínio Nazareno. O laticínio recebe 50 mil litros de leite por dia de fornecedores dos municípios de Carrancas, Itutinga, Nazareno, Conceição da Barra, Itumirim e Ibituruna. Essa fábrica produz diversas variedades de queijos e manteiga. A unidade possui estações de tratamento de água e de efluentes (VIDA MEIO AMBIENTE, 2008 apud BRANDT MEIO AMBIENTE, 2017).

Em relação ao uso do reservatório para atividades recreativas e de lazer, destaca-se a prática de pesca esportiva, esportes náuticos, realizados por barcos, tabladros e lanchas e a presença do Clube Grêmio Recreativo dos Funcionários da CEMIG. Além disso, as áreas limítrofes ao reservatório são utilizadas por banhistas.

Conforme o mapeamento de uso e ocupação do solo da UHE Itutinga identificou-se claramente o predomínio de pastagens nas áreas rurais em detrimento de terras cultivadas (Tabela 1 e Figura 5). Em termos de produção agrícola percebe-se que as áreas agricultáveis dos municípios do entorno são ocupadas principalmente pelo milho e soja, no município de Nazareno, e cultivo de tomate, no município de Itutinga.

Na porção sul do reservatório há a ocupação por produção de tomates, cultura que exige grande aplicação de agroquímicos e técnicas de melhoramento/preparação de solo. As áreas de plantio possuem grandes dimensões, sendo realizada a irrigação via gotejamento. O sistema é baseado em captação no reservatório em estudo.

A pecuária existente no local não se caracteriza como intensiva para Brandt Meio Ambiente (2017), visto que não são observados processos de manejo e aplicação de melhoramentos. As áreas com pastagens podem ser divididas entre pasto limpo e pasto sujo, atendendo principalmente à produção leiteira. Como, de modo geral, as áreas de pastagens chegam até as margens do reservatório, o gado acessa a água da represa para dessedentação.

Devido a esta ausência de manejo, ocorrem erosões por fluxos concentrados da água pluvial ao longo das vertentes, formando feições do tipo: sulcos, ravinas, terracetes e voçorocas, observadas na área de entorno do reservatório. Estas feições estão representadas pela classe Erosão/Solo Exposto, que perfaz 0,39% do total da área de entorno.

Terracetes são feições erosivas típicas de processos de rastejo geradas pelo pisoteio do gado. O pisoteio recorrente compacta faixas do terreno, reduz a permeabilidade do solo e favorece o desenvolvimento mais intenso de escoamento superficial, com potencial para a indução de erosão por fluxo concentrado (SELBY, 1982).

Os sulcos correspondem às feições erosivas lineares com traçado bem suave ao longo das vertentes enquanto as ravinas possuem traçado bem definido. As ravinas ocorrem geralmente ao longo do horizonte C do solo, mais friável, e é

geralmente condicionado por alterações no perfil da vertente, tais como abertura de acessos e trilhas de gado. A voçoroca é o estágio mais avançado da erosão acelerada. Estas consistem no desenvolvimento de canais nos quais o fluxo superficial se concentra e se forma devido à variação da resistência à erosão (MAGALHÃES, 2001 apud BRANDT MEIO AMBIENTE, 2017).

3.2 Aspectos ambientais

O reservatório da UHE Itutinga encontra-se inserido em um mosaico vegetacional composto por um ecótono⁴ entre duas fisionomias vegetais distintas: floresta estacional semidecidual do bioma Mata Atlântica e cerrado tropical semidecidual (savana) do bioma Cerrado (IBGE, 1992). Estas fisionomias estão representadas pelas classes de uso e cobertura da terra: Floresta Estacional, Savana Arborizada e Savana Arborizada sobre Afloramentos Rochosos. O Cerrado e a Mata Atlântica são considerados *hotspots* mundiais, isto é, dois dos biomas mais ricos e ameaçados do Planeta (MMA, 2002) (Figura 5).

As formações florestais concentram-se predominantemente ao longo dos cursos d'água e nos topos de morros no entorno do reservatório (Figura 5). As áreas com floresta estacional ocupam 16,26% da Área de Entorno (194,55 hectares) e se concentram ao longo das margens dos cursos d'água.

A fitofisionomia da Floresta Estacional Semidecidual Montana, presente na área de estudo, caracteriza-se pela porcentagem das árvores caducifólias do seu conjunto florestal e situa-se ordinariamente entre 20% e 50% pela sua ocorrência na faixa altimétrica que varia de 400 a 2000 m (IBGE, 2012a).

Por sua vez, os fragmentos remanescentes de savana abrangem em torno de 20,51 % da Área de Entorno (245,46 hectares), sendo que a Savana Arborizada sobre Afloramentos Rochosos está concentrada ao longo dos topos de morros e vertentes com presença marcante de candeias (*Eremanthus* sp.) ao longo do prolongamento da serra do Ouro Grosso (Figura 5).

⁴ Um ecótono é uma região resultante do contato entre dois ou mais biomas que fazem fronteiras entre si. São áreas de transição ambiental, onde entram em contato diferentes comunidades ecológicas - isto é, a totalidade da flora e fauna que faz parte de um mesmo ecossistema e suas interações. Por isso, os ecótonos são ricos em espécies, sejam elas provenientes dos biomas que o formam ou espécies únicas (endêmicas) surgidas nele mesmo (BRANDT MEIO AMBIENTE, 2017).

De acordo com o Manual Técnico da Vegetação Brasileira (IBGE, 2012a), a savana arborizada é um subgrupo de formação natural ou antropizado que se caracteriza por apresentar árvores de altura máxima de 2 metros espaçadas e gramíneas cobrindo todo o solo, podendo formar fisionomias ora mais abertas, como um Campo Cerrado, ora mais denso, como um cerrado propriamente dito.

Já para Sano *et al.*, (2008), esse tipo de vegetação é chamado de cerrado rupestre, subtipo de vegetação arbóreo-arbustivo que ocorre em ambientes rupestres (rochosos), podendo estar presentes em trechos contínuos ou em mosaicos incluindo outros tipos de vegetação. Possui estrutura semelhante ao cerrado ralo e cerrado típico, diferenciando deste por comportar uma vegetação sobre pouco solo entre afloramentos de rochas.

Apesar de apresentar potencial de diversidade florística, visto as características supramencionadas, a área de entorno do reservatório da UHE Itutinga encontra-se antropizado. Neste sentido, as Áreas de Preservação Permanente (APP) fazem um importante papel na manutenção da biodiversidade, visto que suas estreitas faixas de vegetação nativa existentes funcionam como corredores ecológicos, conectando alguns dos fragmentos de vegetação presentes na circunvizinhança da área de entorno, possibilitando o fluxo gênico da fauna e flora local.

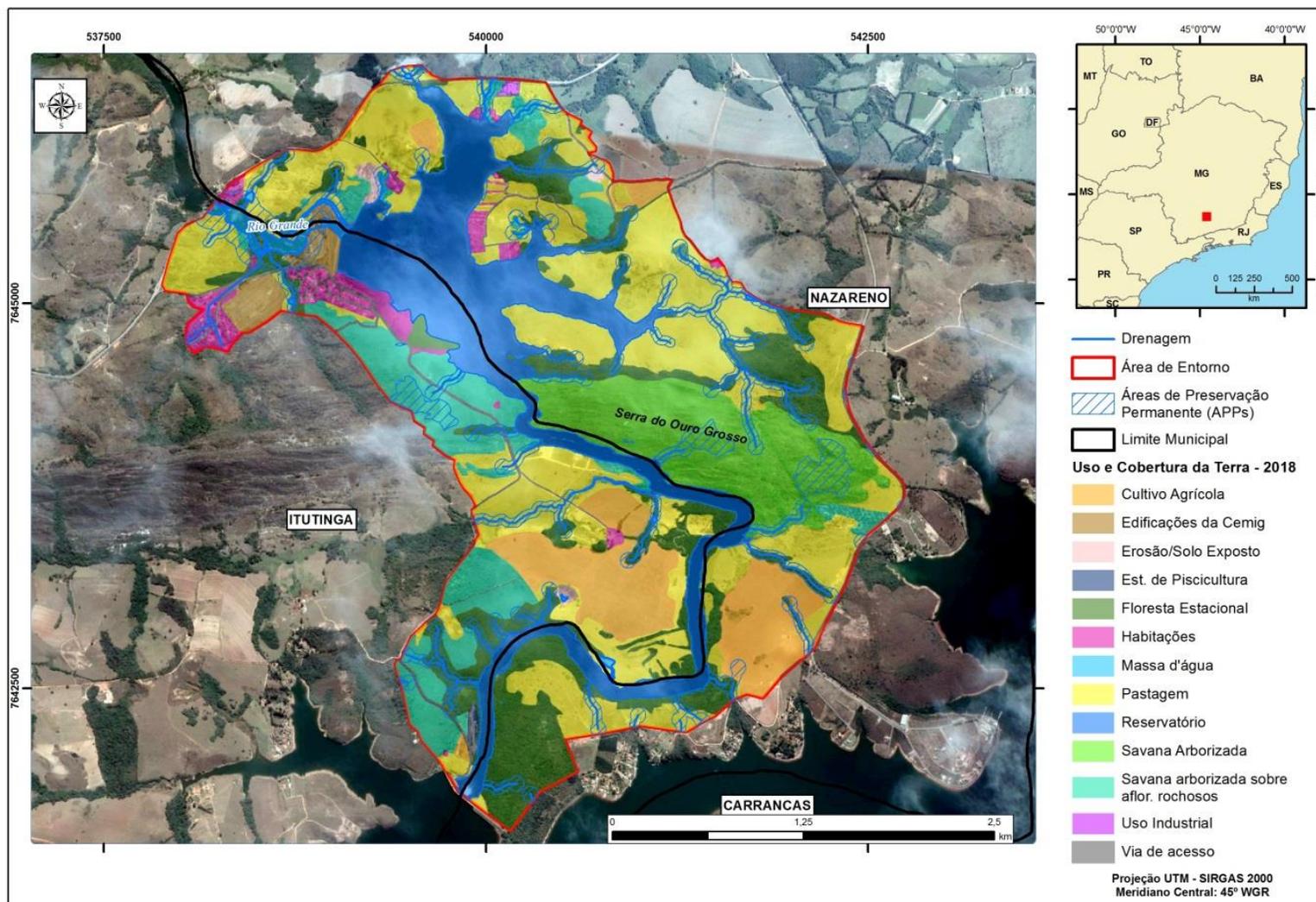


Figura 5 - Uso e cobertura da terra – 2018

As APP ocupam 167,44 hectares dentro da área de entorno; o que representa 16% do total da área estudada. A maior classe de APP está relacionada àquelas dos cursos d'água e nascentes, somando 83% do total das APP (Figura 5).

A APP do reservatório corresponde às faixas de terra compreendidas entre a cota do nível máximo normal e a cota do nível máximo maximorum. No caso da UHE Itutinga as cotas equivalem, respectivamente, a 886 metros e 887 metros, o que corresponde a uma diferença entre as cotas de 1 metro abrangendo, portanto, uma área de 7,32 hectares.

Verifica-se que 58,95% das APP encontram-se conservadas sendo representadas pelas classes de cobertura do solo do tipo Floresta Estacional Semidecidual (58,18 ha), Savana Arborizada (17,83 ha), Savana Arborizada sobre afloramentos rochosos (22,70 ha).

Além disso, 41,05% das APP apresentam algum tipo de interferência antrópica tais como cultivo agrícola, habitações rurais, estruturas da CEMIG, área industrial e pastagem. Esta última interferindo em 32,01% da APP ou 53,61 hectares. Por fim, observa-se que 0,69 hectares da APP (0,41%) é ocupada por feições erosivas.

Oficialmente, conforme a classificação do IBGE (2012b), a área de estudo apresenta tipo climático Tropical do Brasil Central, ou seja, quente e semiúmido com 3 a 5 meses mais secos. Dessa forma, espera-se um período no meio do ano de chuvas mais reduzidas, geralmente entre os meses de maio a agosto, ocorrendo uma recuperação entre os meses de outubro a março, devido à intensificação de sistemas como as frentes frias e áreas de instabilidade que proporcionam índices de precipitação mais elevados.

Para Ferreira *et al.* (2011) citado por Brandt Meio Ambiente (2017), a região onde está inserida a UHE Itutinga é caracterizada pelo clima tropical de altitude com invernos frios e secos e verões quentes e úmidos. A precipitação média anual varia de 1.200 a 1.500 mm por ano. A temperatura média anual, por sua vez, varia de 18°C a 19°C sendo fevereiro o mês mais quente do ano, com temperatura média variando entre 20 e 22°C e julho, o mês mais frio, com temperaturas variando entre 14 e 15°C.

O reservatório da UHE Itutinga está localizado no rio Grande, no estado de Minas Gerais, na bacia federal do Rio Paraná e bacia estadual do Rio Grande. Sua nascente está situada na Serra da Mantiqueira no município de Bocaina de Minas, a

uma altitude de 1.980 metros e percorre 1.360 km até encontrar o rio Paranaíba no município de Carneirinho em Minas Gerais, formando o rio Paraná. A bacia do rio Grande abrange uma superfície de 143.000 km². Sua área de drenagem no estado de Minas Gerais é de aproximadamente 86.800 km², correspondente a 60,8% da área total da bacia. Nesta bacia é gerada 67% de toda energia hidrelétrica produzida em Minas Gerais (UFV, 2018).

A drenagem no rio Grande, na área à montante da UHE, ocorre em vale ondulado com padrão mais próximo ao meandrante, ou seja, com maior grau de sinuosidade dos cursos d'água. Após o barramento o rio passa a ter padrão encaixado e leito encachoeirado. O principal afluente da barragem é o córrego Pedra Preta (BRANDT MEIO AMBIENTE, 2017).

A área de entorno está assentada sobre rochas proterozóicas da Megassequência Carandaí, formada por Quartzito, Granito e Granudiorito. Existem na área também rochas do Supergrupo Minas, das faixas Greenstone formado por anfibolito e metabasalto e rochas da Megassequência Andrelândia, com biotita e xisto, da sequência Serra do Turvo (QUÉMÉNEUR *et al.*, 2002).

Sobre estas rochas predominam Cambissolos e Neossolos Litólicos. Os Cambissolos apresentam aptidão restrita para silvicultura e pastagem natural e sem aptidão agrícola quando rasos (SANTOS *et al.*, 2013). Cabe destacar que quando ocorrem em relevo suave e atingem espessura a partir de 50 cm de profundidade, este tipo de solo apresenta bom potencial agrícola e não têm restrição de drenagem. Em áreas de relevo pouco movimentado, possuem baixa propensão ao desenvolvimento de processos erosivos, enquanto nas áreas de relevo mais declivosos, a suscetibilidade passa a ser alta (BRANDT MEIO AMBIENTE, 2017). Atualmente, na área de entorno, os principais usos neste tipo de solo são pecuária e agricultura.

Os Neossolos Litólicos são solos pouco evoluídos, constituídos por material mineral, com menos de 20 cm de espessura. Sua reduzida profundidade efetiva limita seu uso, sobretudo o agrícola, devido ao reduzido volume de terra disponível para o ancoramento das plantas e para a retenção de umidade. De modo geral, são solos favoráveis para pastagens devido a limitação para o crescimento radicular em profundidade (PRADO, 2007). Na área de estudo, em função da topografia da área, observam-se os Neossolos Litólicos na área da serra do Ouro Grosso com vegetação nativa remanescente de savana.

Na área de entorno predominam as formas dos tipos morros e colinas, com altimetria variando entre 850 a 1000 metros, caracterizando pelo relevo suave ondulado (declividade entre 3 - 8%) e ondulado (declividade entre 8 - 20%). Nas cristas com vertentes convexas e vales encaixados, com altitude variando de 850 a 1050 metros, pode ocorrer de relevo ondulado (declividade entre 8 - 20%) a forte ondulado (declividade entre 20 - 45%), principalmente longo do prolongamento da Serra Ouro Grosso (BRANDT MEIO AMBIENTE, 2017).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos metodológicos foram divididos em 4 grandes etapas, expostas na figura 6. Na primeira etapa foram realizadas análises multicriteriais para a identificação do potencial para expansão das atividades antrópicas e em paralelo para a identificação do potencial para preservação ambiental.

Na segunda etapa foi feita a comparação, por análise combinatória via álgebra matricial, do mapa de potencial para expansão das atividades antrópicas com o mapa de potencial para preservação ambiental, visando à avaliação dos conflitos de interesse e, conseqüentemente, obter a matriz de interesses conflitantes. Nestas etapas empregou-se o programa computacional ArcGIS 10.5.

Na terceira etapa foram gerados três mapas de uso e cobertura da terra em três tempos distintos; a saber: 2007, 2018 e 2020, para a área de entorno do reservatório da UHE Itutinga. A partir destes mapas formulou-se um modelo espacial de detecção de mudança entre o uso e cobertura da terra dos anos 2007 e 2018. Na sequência foi realizada uma simulação para o ano de 2020, que por sua vez foi comparada com o mapeamento real do uso e cobertura do ano de 2020, com o objetivo de validar o modelo simulado, criando bases sólidas para executar a simulação para o ano de 2030, dentro de dois cenários hipotéticos: 1) sem considerar as diretrizes de uso presentes no zoneamento socioambiental do PACUERA e 2) assumindo a implementação das diretrizes.

Para a modelagem foi empregado aplicativo *Land Change Modeler – LCM* que compõe o software IDRISI versão Selva (EASTMAN, 2012a).

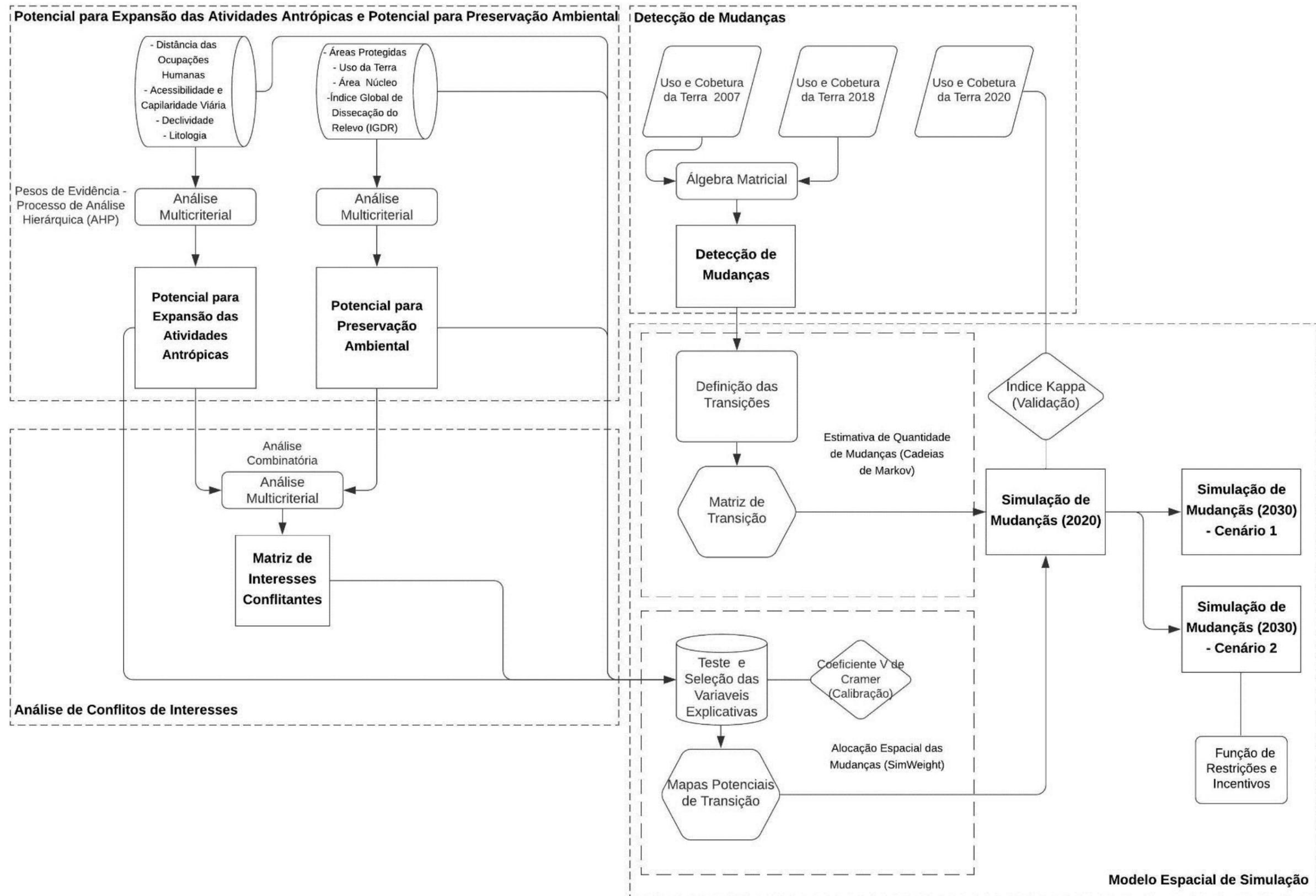


Figura 6 - Fluxograma das etapas metodológicas

4.1 Potencial para Expansão das Atividades Antrópicas e Potencial para Preservação Ambiental

O método de Análise de Multicritérios (AMC) foi empregado para determinar o potencial para expansão das atividades antrópicas e o potencial para preservação ambiental. Optou-se pela abordagem do Pesos de Evidências, pois objetivo era compor um ranking classificatório para cada potencial. A escolha das variáveis foi orientada pela adequação ao objetivo de aplicação do método e obtenção da maior escala disponível. As variáveis apresentam fontes de dados e escalas diferentes. A seguir são descritas as variáveis escolhidas, sua fonte e procedimentos para obtenção e as notas atribuídas para seus componentes de legenda.

Para identificação do potencial para expansão das atividades antrópicas foram elencadas as seguintes variáveis: Distância das Ocupações Humanas, Acessibilidade e Capilaridade Viária, Declividade e Litologia. As bases cartográficas empregadas para obtenção das variáveis estão listadas no quadro 3.

Quadro 3 - Bases cartográficas: Potencial para Expansão das Atividades Antrópicas

Variáveis	Dimensão e origem do dado
Distância das Ocupações Humanas	1:5.000, (GOOGLE EARTH PRO 7.3.3, 2007)
Acessibilidade e Capilaridade Viária	1:5.000, (GOOGLE EARTH PRO 7.3.3, 2007)
Declividade	MDE Resolução 5 m, (BRANDT MEIO AMBIENTE, 2017)
Litologia	1:150.000, (QUÉMÉNEUR <i>et al.</i> , 2002)

Para a construção da variável de Distância das Ocupações Humanas aplicou-se o algoritmo de distância euclidiana em relação às áreas de ocupação humana presente na área de estudo, a saber: assentamentos humanos e uso industrial, identificados em imagens de satélite do acervo disponível no *Google Earth*. Para que os valores mais elevados representassem um maior potencial, fez-se necessário a inversão dos valores resultantes da aplicação do algoritmo.

Para a definição da variável Acessibilidade e Capilaridade Viária aplicou-se o estimador de densidade de Kernel nos segmentos de vias identificados em imagens do *Google Earth*.

Para a constituição da variável Declividade utilizou-se o modelo digital de elevação (MDE) cedido pela Cemig (BRANDT MEIO AMBIENTE, 2017), com resolução espacial de 5 metros, no qual foi aplicado o algoritmo de cálculo de declividade presente na extensão 3D Analyst do programa ArcGIS 10.5. Posteriormente, foi feita a reclassificação das classes de declividade tendo como base a Lei Federal nº 6.766 de 19 de dezembro de 1979 (BRASIL, 1979), que estabelece diretrizes para o parcelamento do solo, conforme observado no quadro 4.

Quadro 4 - Notas atribuídas às classes de declividade

Classe de Declividade (%)	Nota	Observação
0 a 5	5	Apresenta risco de inundação
5 a 30	10	Propício à ocupação
30 a 47	8	Ocupação mediante aprovação de Laudo Técnico
Acima de 47	0	Ocupação vetada

Para elaboração da variável Litologia classificou-se as unidades litológicas/geotécnicas presentes na área de entorno em termos de potencial de ocupação do solo. Esta classificação segue a proposta metodológica exposta por Parizi *et al.* (2010). O quadro 5 expõe as unidades e notas empregadas.

Quadro 5 - Notas atribuídas as classes de litologia

Unidades Litológicas/Geotécnicas	Litologia Principal	Nota
Super Grupo Minas (Serra de Bom Sucesso)	Faixas greenstone: Anfibolito (metabasalto)	8
Super Grupo Minas (Serra de Bom Sucesso)	Ortognaisse TTG	8
Megassequência Andrelândia	Biotita xisto (Sequência Serra do Turvo)	6
Megassequência Carandaí	Granito e granodiorito	8
Megassequência Carandaí	Quarzito Itutinga	7
Corpo d'água		0

Para identificação do potencial para preservação ambiental foram selecionadas as seguintes variáveis: Áreas Protegidas, Uso do Solo, Área Núcleo e IGDR (Índice Global de Dissecação do Relevo). As bases cartográficas utilizadas para elaboração das variáveis estão listadas no quadro 6.

Quadro 6- Bases cartográficas: Potencial para Preservação Ambiental

Variáveis	Dimensão e origem do dado
Áreas Protegidas	Áreas de Preservação Permanente, (BRANDT MEIO AMBIENTE, 2017)
	Reserva Legal, (BRANDT MEIO AMBIENTE, 2017)
Uso do Solo	1:5.000, (GOOGLE EARTH PRO 7.3.3, 2007)
Área Núcleo	1:5.000, (GOOGLE EARTH PRO 7.3.3, 2007)
IGDR	MDE Resolução 5 m, (BRANDT MEIO AMBIENTE, 2017)
	Drenagem, (BRANDT MEIO AMBIENTE, 2017)

Para elaboração da variável Áreas Protegidas empregou-se as bases cartográficas Áreas de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal. Estas bases foram elaboradas para o PACUERA da UHE Itutinga, executado pela Brandt Meio Ambiente (2017). As APP foram classificadas com nota 5 e as reservas Legais com 10.

A variável Uso do Solo foi elaborado através da vetorização das classes de uso e cobertura da terra identificadas em imagens do *Google Earth*, dentro da área de entorno do reservatório. Esta variável foi classificada conforme o quadro a seguir.

Quadro 7- Notas atribuídas as classes de uso e cobertura da terra

Classes	Nota
Cultivo Agrícola	1
Edificações da Cemig	0
Erosão/Solo Exposto	6
Estação de Piscicultura	1
Floresta Estacional	10
Habitações	3
Massa d'água	4
Pastagem	2
Reservatório	10
Savana Arborizada	10
Savana Arborizada sobre Afloramentos Rochosos	10
Uso Industrial	0
Via de acesso	0

Para a definição da variável Área Núcleo aplicou-se o operador Buffer do programa computacional ou programa de sistemas de informação geográfica ArcGIS 10.5, nas poligonais de tipologia de vegetação nativa. O parâmetro de distância adotado foi -100 m. Após a execução da operação de buffer, empreendeu-se o cálculo de área, em hectares, das poligonais resultantes.

Para elaboração da variável IGDR foi adotado o roteiro metodológico proposto por Souza *et. al* (2017). O IGDR é um índice de compartimentação do relevo baseada em índices morfométricos, ele é composto pelo Índice de Concentração da Rugosidade (ICR), o Índice de Hack - *Stream Length-Gradient Index* (IH) e a Densidade de Drenagem.

O ICR foi calculado a partir do MDE cedido pela Cemig (BRANDT MEIO AMBIENTE, 2017). O primeiro passo foi calcular os valores de declividade por pixel, em porcentagem, resultando em uma matriz que posteriormente foi convertida em uma nuvem de pontos. Sobre a nuvem de pontos aplicou-se o estimador de densidade de Kernel. O ICR é uma ferramenta metodológica complementar ao mapeamento geomorfológico tradicional e possibilita a identificação de unidades com distintos padrões de dissecação, podendo ser relacionado aos processos de vertentes (FONSECA, 2015).

O IH (*Stream Length-Gradient Index*) foi calculado a partir do MDE cedido pela Cemig (BRANDT MEIO AMBIENTE, 2017) através do software *Knickpoint Finder*, que opera em conjunto com o ArcGIS, como uma *toolbox*. O IH pode ser entendido como uma medida ou indicativo da energia da drenagem, relacionando-se aos processos hidrodinâmicos e suas consequências em termos de processos erosivos.

O *Knickpoint Finder* busca pontos que caracterizariam rupturas no terreno, que recebem o nome técnico de *knickpoint* (QUEIROZ; SALAMUNI; NASCIMENTO, 2015). Estes pontos são extraídos dos nós de drenagem, conforme a equação RDE:

$$RDE = \left(\frac{\Delta H}{\Delta L}\right) \times L$$

onde ΔH é a diferença altimétrica entre as duas extremidades de um segmento ao longo de uma drenagem; ΔL corresponde à extensão do trecho em planta; L é a distância entre a extremidade inferior desse trecho e a nascente da drenagem, por fim; RDE é a Relação Declividade-Extensão da drenagem (SALAMUNI *et al.*, 2013).

A densidade da malha de *knickpoint* depende da escala de trabalho e do valor escolhido para as curvas de nível virtuais (equidistância altimétrica) fornecida pelo usuário. Neste estudo empregou escala de 5.000 e equidistância de 5 metros.

A malha de pontos gerada passou pela aplicação do interpolador IDW (*Inverse Distance Weighting*) e assim permitir a espacialização de forma contínua dos pontos, demonstrando as regiões com maior vigor energético. De acordo com Fonseca (2015), o IDW pondera as informações pontuais durante o processo de interpolação, onde um ponto possuirá menos influência sobre outro em decorrência do aumento da distância entre eles.

O processo para a aquisição da Densidade de Drenagem se deu com a aplicação do Estimador de Densidade por Kernel sobre a rede de drenagem encontrada na área de estudo.

A partir do processo de álgebra de mapas com os rasters de ICR, Índice de Hack e Densidade de Drenagem, que teoricamente correspondem à atuação dos processos hidrogeomorfológicos e morfoesculturais nas formas existentes do relevo, produziu-se o IGDR. Logo, o IGDR funciona como uma indicação do potencial dos processos erosivos na paisagem (SOUZA *et al.*, 2017). Os produtos gerados nas

etapas anteriores foram normalizados para permitir a interação de variáveis com unidades de medida distintas. A expressão utilizada é descrita a seguir:

$$IGDR = (ICR\ Global \times 0,33) + (IH \times 0,33) + (Densidade\ de\ Drenagem \times 0,33)$$

Todos os valores dos componentes de legenda de cada variável, para cada potencial avaliado, foram normalizados entre 0 (Muito Baixo Potencial) e 1 (Muito Alto Potencial). Posteriormente utilizou-se a ferramenta de álgebra de mapas *Raster Calculator*, presente no programa ArcGIS 10.5. Para cada avaliação considerou-se a fórmula a seguir:

$$AMC = \sum_{k=1}^n (Pk \times Nk)$$

onde AMC corresponde ao resultado da análise de multicritérios em cada célula ou ponto da matriz, n é o número de critérios, Pk é o peso atribuído a cada variável e Nk é o valor normalizado de cada componente de legenda.

O peso atribuído a cada variável foi determinado pela técnica AHP. A operacionalização da mesma foi empreendida no software ArcGIS, por intermédio da rotina automatizada criada por Oswald Marinoni, denominada Analytic Hierarchy Process for ArcGIS - extAhp 2.0 (ESRI, 2018).

4.2 Matriz de Interesses Conflitantes

Para identificar as áreas de conflito de interesse ocorridos entre os potenciais identificados realizou-se a confrontação, via álgebra matricial por análise combinatória, do mapa de potencial para expansão das atividades antrópicas com o mapa de potencial para preservação ambiental.

As matrizes de potencial de preservação ambiental (A_{ij}) e potencial de expansão de atividades antrópicas (U_{ij}), foram relacionadas seguindo a seguinte equação:

$$CI = (A_{ij} + U_{ij})/2$$

As matrizes de entrada A_{ij} e U_{ij} foram reclassificadas com valores específicos (Quadro 8), conforme procedimento explanado por Rocha, Casagrande e Moura (2018). Os valores de reclassificação para as duas matrizes foram associados às respectivas classes temáticas qualitativas (de muito alto a muito baixo). Estas classes temáticas advêm do agrupamento dos valores dos potenciais em 5 classes de intervalos utilizando o método de quantil. A matriz resultante obteve 25 valores que foram agrupados para compor a análise de conflitos de interesse.

O agrupamento dos valores resultantes 0, 1, 5, 6 e 10 representam as áreas com alto e muito alto potencial de expansão antrópica e com médio, alto e muito alto potencial de preservação ambiental. Estes valores foram agrupados para representar as áreas com explícito conflito de interesses. Os valores 18, 19, 23 e 24 foram agrupados para representar as áreas sem conflito imediato. Os valores 15, 16, 20, 21 e 22 representam as áreas com médio, alto e muito alto potencial de expansão antrópica e baixo e muito baixo potencial de preservação ambiental. Estes valores foram aglutinados para retratar áreas propícias para expansão das atividades antrópicas. O grupo de valores 2, 3, 4, 8 e 9 representam áreas com médio, alto e muito alto potencial de preservação ambiental e médio, baixo e muito baixo potencial de expansão antrópica. Estes valores foram associados para compor as áreas adequadas para preservação ambiental.

Os valores localizados no centro da matriz correspondem às áreas com potencial intermediário para expansão antrópica e para preservação ambiental. De um modo geral, esses valores (7, 11, 12, 13 e 17) representam áreas com potencial de transformação, podendo ser alvo de projetos de restauração ambiental ou alvo de ocupação controlada visando o uso sustentável.

Quadro 8 - Matriz de Interesses Conflitantes

			Potencial para Expansão das Atividades Antrópicas				
			Muito Alto	Alto	Médio	Baixo	Muito Baixo
		Valores	0	2	4	6	8
Potencial para Preservação Ambiental	Muito Alto	0	0	1	2	3	4
	Alto	10	5	6	7	8	9
	Médio	20	10	11	12	13	14
	Baixo	30	15	16	17	18	19
	Muito Baixo	40	20	21	22	23	24

Legenda

	Conflito de Interesses
	Sem Conflito Imediato
	Potencial para Preservação Ambiental
	Potencial para Expansão das Atividades Antrópicas
	Projetos Sustentáveis

4.3 Detecção e Quantificação de Mudanças no Uso e Cobertura da Terra

Para a geração dos dados históricos de uso e cobertura da terra da área de estudo foi realizada a vetorização de imagens disponibilizadas pelo aplicativo Google Earth, para os anos de 2007 (GOOGLE EARTH PRO 7.3.3, 2007), 2018 (GOOGLE EARTH PRO 7.3.3, 2018) e 2020 (GOOGLE EARTH PRO 7.3.3, 2020).

As tipologias de uso e cobertura da terra, pré-definidas por chave de interpretação, correspondem a: Cultivo Agrícola, Edificações da Cemig, Erosão/Solo Exposto, Estação de Piscicultura, Floresta Estacional, Habitações, Massa d'água, Pastagem, Reservatório, Savana Arborizada, Savana Arborizada sobre Afloramentos Rochosos, Uso Industrial e Vias de acesso. Na classe Reservatório, o corpo hídrico formado pela barragem da UHE Itutinga foi discriminado a partir da base cartográfica disponibilizada pela Cemig (BRANDT MEIO AMBIENTE, 2017).

A detecção das mudanças ocorridas entre os anos de 2007 e 2018 foi realizada no aplicativo LCM, por meio de álgebra matricial. As mudanças verificadas são quantificadas por tipologia, sendo possível fazer análises quantitativas e qualitativas. Também foi possível observar as principais tendências de mudanças no período observado, o que permitiu a seleção das transições que serão empregadas no modelo espacial de simulação.

4.4 Modelo Espacial de Simulação

O modelo espacial de simulação das mudanças de uso e cobertura da terra compreende as seguintes etapas (Figura 7): estimativa da quantidade de mudanças, alocação espacial das mudanças e simulação de mudanças futuras.



Figura 7 - Etapas de modelo espacial de simulação de mudanças de uso e cobertura da terra.

Fonte: adaptado de Oliveira (2012).

O modelo espacial foi implementado através do módulo *Land Change Modeler* (LCM), que integra o software IDRISI versão Selva. Desenvolvido pela Clark Labs da Clark University, o LCM dispõe de ferramentas para avaliação e projeção de mudanças de cobertura da terra. O módulo apresenta-se em uma estrutura fixa que divide a modelagem em etapas como: Análise das Mudanças de cobertura da terra (*Change Analysis*), Cálculo dos Potenciais de Transição (*Transition Potentials*), Simulação de Mudanças futuras (*Change Prediction*) além de ferramentas para Avaliação de Intervenções Planejadas no uso da terra (*Planning*) (EASTMAN, 2012a).

Na estimativa da quantidade de mudanças foram empregados como dados de entrada os mapas de uso e cobertura da terra dos anos de 2007 (inicial) e 2018 (final), sendo empreendido o cálculo das taxas de transição com base em Cadeias de Markov (com base em Paegelow e Olmedo, 2008 e citados por Oliveira, 2012), que informa sobre a quantidade das mudanças a serem simuladas. O produto deste cálculo é a matriz de transição, a qual contém as probabilidades de uma

determinada classe permanecer inalterada ou mudar para as outras classes durante certo intervalo de tempo.

O cálculo desta matriz contemplou as transições mais relevantes em relação à área de abrangência e em relação ao objetivo deste trabalho, a saber: 1 – transição de Pastagem para Cultivo Agrícola, 2 – transição de Pastagem para Habitações e 3 – transição de Floresta Estacional para Pastagem. Estas transições foram eleitas por apresentarem valores de mudança acima de 1 hectare no período observado de 2007 a 2018.

A alocação espacial das mudanças foi feita com base nos potenciais de transição. Assim, as probabilidades de mudança de classe foram calculadas a partir do mapa de mudanças e considerando a influência do conjunto de variáveis explicativas espaciais. Como produtos foram gerados os mapas de potenciais de mudanças para cada transição que contêm as probabilidades de mudança calculadas para cada pixel.

Este cálculo da alocação espacial das mudanças pode ser aplicado através de diversos métodos. Destacam-se na literatura citada no item 2.1, a regressão logística, pesos de evidência, lógica Fuzzy e algoritmos baseados em redes neurais. No LCM, é possível utilizar os métodos de regressão logística, aprendizado computacional (*SimWeight*) ou redes neurais (*Multilayer Perceptron*). No presente estudo empregou-se o método *SimWeight*.

A aprendizagem baseada em observação ponderada por similaridade (*SimWeight*) é uma técnica não paramétrica simples para o cálculo de potenciais de transição de mudanças de terreno. Seguindo a base lógica do algoritmo K-vizinho mais próximo (FIX; HODGES, 1989), o *SimWeight* baseia seu cálculo na obtenção de distâncias ponderadas em espaço variável para observações conhecidas para as classes.

No contexto da geração de potenciais de transição para modelagem de mudanças da terra, para cada transição a ser avaliada o modelo deve ter duas classes: a mudança e a persistência. Para cada pixel a ser avaliado, o *SimWeight* extrai os k vizinhos mais próximos (mudança ou persistência) e, em seguida, calcula a distância no espaço variável de cada local desconhecido para as observações de mudança que caem no intervalo de k. A figura 8 exemplifica este processo. Nessa figura os triângulos representam a mudança e os losangos representam a persistência. Já o quadrado sólido representa o pixel a ser avaliado (com potencial

de transição desconhecido). Finalmente, o círculo representa $k = 9$. Dentro do círculo existem seis amostras para mudança e três para persistência. Cada seta representa a distância do vetor no espaço variável.

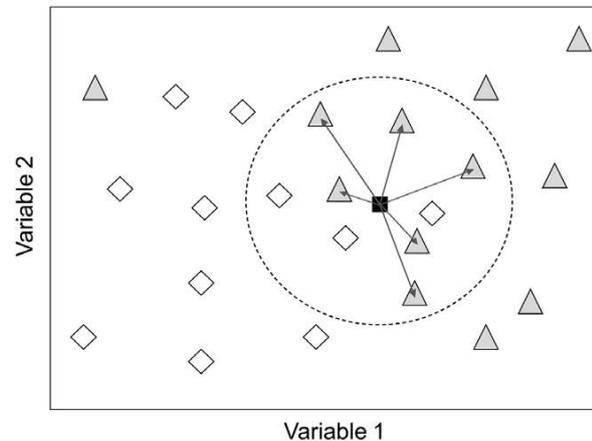


Figura 8 - Representação do espaço variável produzido por duas variáveis.

Fonte: Sangermano; Eastman; Zhu (2010)

Para obter o valor da distância, uma função de ponderação exponencial é usada com a qual um mapa contínuo de pertencimento a cada classe pode ser calculado:

$$M_{change} = \frac{\sum_{i=1}^c \left(1 - \frac{1}{1 + e^{di}} \right)}{k} \quad (c \leq k)$$

onde k é o número de pixels mais próximos de uma célula, c representa o número de pixels que mudaram no intervalo de k , di é a distância para uma observação de mudança. Uma elevada associação de classe para a classe de mudança significaria que um pixel tem condições ambientais semelhantes àquelas que já mudaram e, portanto, pode ser considerado como tendo um alto potencial de transição (PALACIOS OREJUELA, 2020).

A característica mais desejável desse algoritmo é que ele requer apenas um parâmetro – k . O k ideal pode ser testado sobre o conjunto ou subconjunto de dados para validação em uma faixa de valores para k (SANGERMANO; EASTMAN; ZHU, 2010). Neste trabalho, após sucessivos testes, o valor de k empregado foi de 50.

As variáveis que explicaram espacialmente, no contexto desse trabalho, as mudanças foram recolhidas da análise de identificação de potenciais de uso e seus conflitos realizada nas etapas anteriores (Quadro 9). Para seleção das variáveis do

modelo, foi realizado o teste estatístico presente no LCM denominado Teste de Poder Explicativo. A medida quantitativa utilizada foi o Coeficiente V de Cramer, que indica o grau de associação de uma variável com a distribuição das classes de uso e cobertura da terra (EASTMAN, 2012b). Tomando valores entre 0 e 1, o valor 0 corresponde a ausência de associação entre as variáveis, valores próximos de zero correspondem a fraca associação e valores mais próximos de 1 correspondem a associação mais forte. Conforme o Eastman (2011) citado por Fonseca (2015), variáveis com valor de coeficiente V de Cramer próximos de 0.15 são úteis enquanto valores iguais ou acima de 0.4 são boas. Para o presente estudo, optou-se pelo emprego das variáveis com coeficiente V de Cramer acima de 0.15. O quadro abaixo exhibe as variáveis testadas.

Quadro 9 - Variáveis testadas para modelo espacial de simulação

Variáveis Explicativas testadas
Distância das Ocupações Humanas
Acessibilidade e Capilaridade Viária
Declividade
Litologia
Potencial para Expansão das Atividades Antrópicas
Áreas protegidas
Uso do Solo
Área Núcleo
IGDR
Potencial para Preservação Ambiental
Matriz de Interesses Conflitantes

Após esta calibração, foi realizada a simulação do uso e cobertura da terra para o ano de 2020. Na etapa de validação foi medido o desempenho do modelo comparando a simulação de 2020 com o mapeamento realizado para mesma data.

A estatística Kappa (Kappa Index of Agreement- KIA), aplicada por vários autores, tais como por Fleiss; Cohen e Everitt, (1969), Landis e Koch (1977), Monserud e Leemans (1992), Yang (2007) e Foody (2020), foi utilizada para medir a similaridade entre os dois mapas (simulado e "real"), baseada na razão da porcentagem de acertos observados pela porcentagem de acertos esperados por aleatoriedade. A estatística Kappa permite avaliar acertos relacionados à quantidade de mudanças e à localização das mudanças (PONTIUS JR; MILLONES, 2011).

Como recomendado por Carvalho (2015), valores aptos a validação de mapas de mudança devem atingir percentuais superiores a 90%. Atualmente, o módulo *VALIDATE* do Idrisi calcula índice Kappa padrão de validação desmembrado em diferentes componentes baseados no trabalhos de Pontius Jr (2000 e 2011).

A simulação de mudanças no módulo LCM é feita a partir da integração das taxas ou probabilidades de transição e dos mapas de potenciais de mudança que informam respectivamente sobre a quantidade e a alocação espacial das mudanças a serem simuladas.

No presente estudo, a simulação de mudança para o ano de 2030 ocorreu em dois cenários: 1) sem considerar as diretrizes de uso presentes no zoneamento socioambiental do PACUERA da UHE Itutinga (Figura 9) e 2) assumindo a implementação das diretrizes.

Para o cenário 1, utilizando como dados de entrada os mapas de uso e cobertura da terra para os anos 2007 e 2018, simulou-se o mapa de uso e cobertura da terra para ao ano de 2030. Para o cenário 2, empregando os mapas de uso e cobertura da terra para os anos 2007 e 2018 e aplicando a função Restrições e Incentivos (*Constraints and Incentives*) da Avaliação de Intervenções Planejadas (*Planning*) do LCM, simulou-se o mapa de uso e cobertura da terra para ao ano de 2030.

As diretrizes de uso de cada zona presente no PACUERA (BRANDT MEIO AMBIENTE, 2017) foram relacionadas com as transições selecionadas. Desta maneira, foram construídas matrizes de incentivo e restrição. As restrições e incentivos agem como multiplicadores. Um multiplicador de 1,0 não tem qualquer efeito. Multiplicadores maiores que 1,0 agem como incentivos (eles aumentam o potencial de transição), enquanto multiplicadores inferiores a 1,0 atuam como desincentivos. Um multiplicador de 0,0 atua como uma restrição absoluta (EASTMAN, 2012a). Os valores para incentivo e desincentivo adotados foram, respectivamente, 10 e 0,01.

A descrição do zoneamento e sua relação com as matrizes de incentivo e restrição aplicadas estão expostas no quadro 10.

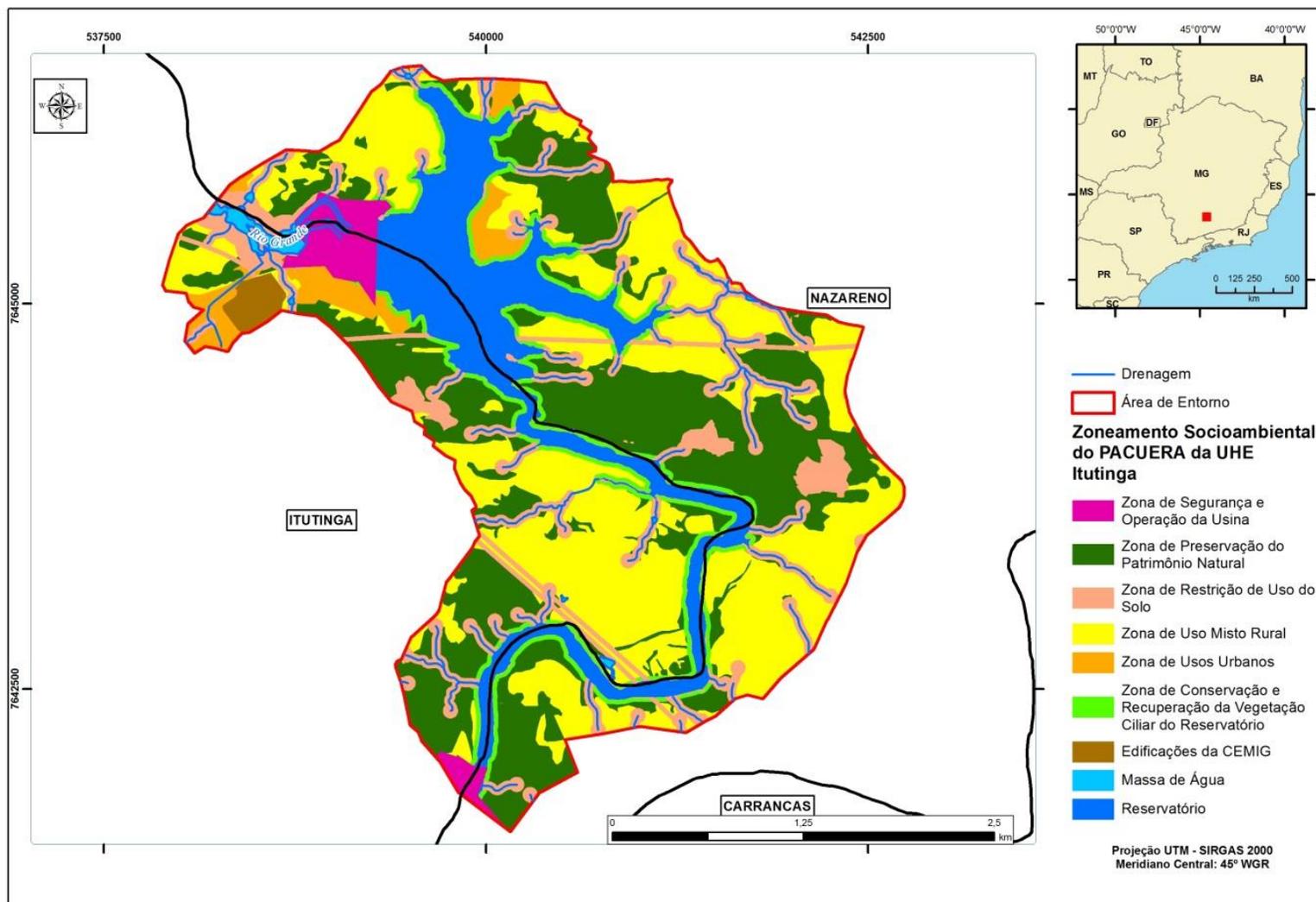


Figura 9 - Zoneamento Socioambiental da UHE Itutinga. Fonte: (BRANDT MEIO AMBIENTE, 2017)

Quadro 10 – Descrição do Zoneamento Socioambiental da UHE Itutinga e Matriz de Incentivo e Restrição

Usos permitidos, vedados e recomendações/diretrizes de uso do Zoneamento Socioambiental da UHE Itutinga					Matriz de Incentivo e Restrição		
Zona	Descrição	Usos permitidos	Usos vedados*	Recomendações/Diretrizes de uso	Transição Floresta Estacional para Pastagem	Transição Pastagem para Cultivo Agrícola	Transição Pastagem para Habitações
Zona de Segurança e Operação da Usina	Área destinada às atividades ligadas à geração de energia elétrica e à operação da usina, barragem e reservatório, restritas a pessoas autorizadas pela CEMIG.	Usos restritos às atividades da usina.	<p>Intervenção ou supressão de vegetação nativa primária, ou secundária em estágio médio e avançado de regeneração ou daquela que se encontre nas margens das nascentes de cursos d'água;</p> <p>Todos os usos que causem alteração da composição florística e da fauna nativa;</p> <p>Instalação de quaisquer tipos de atracadouros particulares; e</p> <p>Acesso de terceiros sem autorização prévia.</p>	Gestão patrimonial das áreas de propriedade da UHE Itutinga, a sinalização de tal zona para divulgar suas restrições junto à população marginal e, principalmente, aos usuários do lago, não só para efeitos de simples repasse de conhecimentos, mas para salvaguarda da vida humana	Sem efeito	Sem efeito	Sem efeito
Zona de Preservação do Patrimônio Natural	Remanescentes de vegetação natural quase inalterada, ou seja, apresentam características que conferem a esses locais o maior grau de integridade.	<p>Enriquecimento florestal e recuperação florística com espécies nativas dos ecossistemas da região;</p> <p>Atividades de educação ambiental; ecoturismo; e pesquisa científica.</p>	<p>Intervenção ou supressão de vegetação nativa primária, ou secundária em estágio médio e avançado de regeneração ou daquela que se encontre em áreas de preservação permanente;</p> <p>Cultivo de espécies agrícolas;</p> <p>Construção de edificações; e</p> <p>Os usos que possam comprometer a estabilidade das encostas e margens dos corpos de água, a integridade das drenagens e os cursos de água intermitentes, a manutenção da biota, a regeneração e a manutenção da vegetação nativa e a qualidade das águas.</p>	Fomentar os programas de educação ambiental nas comunidades do entorno do reservatório.	Desincentivo	Desincentivo	Desincentivo

Continuação Quadro 10

Zona	Descrição	Usos permitidos	Usos vedados*	Recomendações/Diretrizes de uso	Transição Floresta Estacional para Pastagem	Transição Pastagem para Cultivo Agrícola	Transição Pastagem para Habitações
Zona de Restrição de Uso do Solo	Correspondem às áreas protegidas, por razões jurídicas e científicas, dentro da área de entorno do reservatório; representadas pelas Áreas de Preservação Permanente (APPs) de cursos d'água, nascente, declividade e do reservatório e faixas de domínio de linhas de transmissão.	<p>Enriquecimento florestal e recuperação florística; com espécies nativas dos ecossistemas da região;</p> <p>Atividades de educação ambiental; ecoturismo; e pesquisa científica;</p> <p>Atividades de utilidade pública e interesse social, conforme Art. 3º, incisos VIII e IX, da Lei Federal nº 12.651 de 2012.</p>	<p>Cultivo de espécies agrícolas;</p> <p>Construção de edificações</p> <p>Atividades que descaracterizem e/ou comprometam a função e qualidade ambiental das APPs</p> <p>Intervenção ou supressão de vegetação nativa primária, ou secundária em estágio médio e avançado de regeneração ou daquela que se encontre nas margens das nascentes de cursos d'água.</p>	<p>Fomentar os programas de educação ambiental nas comunidades do entorno do reservatório;</p> <p>Realizar ações de fiscalização e apoio técnico à população e aos proprietários, por parte dos gestores municipais, com enfoque nas em áreas de preservação permanente.</p>	Restrição absoluta	Restrição absoluta	Restrição absoluta
Zona de Uso Misto Rural	Porções do terreno destinadas a usos socioeconômicos, sendo composta basicamente por áreas com aptidão para cultivos diversos, pastagem e áreas de lazer do tipo chacreamentos e condomínios.	<p>Pequenas e médias propriedades;</p> <p>Sítios e chácaras de lazer;</p> <p>Plantio de culturas permanentes, temporárias, silvicultura e pastagens, com manejo adequado;</p> <p>Atividades pecuárias, com manejo adequado;</p> <p>Enriquecimento florestal e recuperação florística com espécies nativas dos ecossistemas da região;</p> <p>Saneamento básico;</p> <p>Criação de polos turísticos e de lazer, tais como parques, clubes, marinas e balneários, sendo respeitados os limites impostos na Resolução CONAMA 302/02 de 10% da área total do entorno do reservatório;</p> <p>Atividades de utilidade pública e interesse social, conforme Art. 3º, incisos VIII e IX, da Lei Federal nº 12.651 de 2012.</p>	<p>Lançamento de qualquer efluente sem tratamento prévio;</p> <p>Instalação de lixões a céu aberto e deposição de entulhos em áreas não licenciadas para este fim; e</p> <p>"Todos os usos que comprometam a qualidade hídrica da bacia e a conservação ambiental."</p>	<p>Os usos já instalados no local deverão ser mantidos de forma sustentável, visando racionalizar a utilização dos recursos naturais;</p> <p>Deverá ser dada continuidade às práticas de manejo das atividades agropastoris;</p> <p>Devem-se promover programas e medidas governamentais de saneamento em especial das propriedades que se conectam com o reservatório e dos cursos d'água contribuintes do reservatório em análise;</p> <p>Sugere-se o incentivo à recuperação e conservação de maciços e corredores florestais;</p> <p>Devem ser regularizados os corredores de dessedentação animal, privilegiando locais onde o impacto ambiental seja menor, em comum acordo com o proprietário da APP. A área deverá ser sinalizada ou cercada.</p>	Incentivo	Incentivo	Incentivo

Continuação Quadro 10

Zona	Descrição	Usos permitidos	Usos vedados*	Recomendações/Diretrizes de uso	Transição Floresta Estacional para Pastagem	Transição Pastagem para Cultivo Agrícola	Transição Pastagem para Habitações
Zona de Usos Urbanos	Formada por todos os aglomerados urbanos consolidados dentro da área de entorno.	Usos urbanos, como habitações, comércio, indústria e serviços.	Lançamento de qualquer efluente sem tratamento prévio; e Instalação de lixões a céu aberto e deposição de entulhos em áreas não licenciadas para este fim.	Estabelecer e fortalecer parcerias entre os dois municípios, Itutinga e Nazareno, no sentido de propor normas comuns e de gestão compartilhada no que diz respeito a: parcelamento, uso e ocupação do solo no entorno do Lago; planos de saneamento ambiental (destinação adequada do lixo, esgoto, captação de água e drenagem pluvial); planos de aproveitamento da potencialidade turística e econômica; acessos e transporte, dentre outros; Os municípios de Itutinga e Nazareno devem obrigatoriamente elaborar seus Planos Diretores Participativos em atendimento ao artigo 41, inciso V, do Estatuto da Cidade (Lei Federal 10.257/2001); Classificar como Zonas de Usos Urbanos os parcelamentos e loteamentos no entorno do lago. Essas zonas deverão ter normas e parâmetros urbanísticos específicos e claros como forma de manter a ambiência e paisagem locais. Tais normas devem ser amplamente divulgadas e de fácil acesso à população dos municípios de forma a se evitar usos e ocupações inadequados no entorno do lago.	Incentivo	Desincentivo	Incentivo
Zona de Conservação e Recuperação da Vegetação Ciliar do Reservatório	Corresponde a área da faixa de 30 metros de largura a partir do nível máximo operativo do reservatório.	Usos diversos, sendo indicada a execução de enriquecimento florestal e recuperação florística.	Os usos que possam comprometer a estabilidade das encostas e margens dos corpos de água, a integridade das drenagens e os cursos de água intermitentes, a manutenção da biota, a regeneração e a manutenção da vegetação nativa e a qualidade das águas.	É recomendado a recuperação e manutenção, por parte dos proprietários das terras, da mata ciliar na referida zona; Deve-se evitar a remoção da vegetação ciliar remanescente; e A execução de atividades que comprometam a qualidade e estrutura das matas ciliares deve ser inibida, tais como: agropecuária, pisoteio de gado, queimadas, cultivo de espécies agrícolas, deposição de lixo e uso indiscriminado de agrotóxicos.	Desincentivo	Desincentivo	Desincentivo

* Os usos classificados como vedados podem ser permitidos mediante autorização prévia do órgão ambiental competente

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram obtidos três conjuntos de resultados, sendo o primeiro deles correspondentes às análises multicriteriais; o segundo relacionado à detecção de mudanças, e o terceiro refere-se ao modelo espacial de simulação.

5.1 Análises Multicriteriais

Na primeira etapa e segunda etapas do roteiro metodológico foram realizadas análises multicriteriais para a identificação do potencial para expansão das atividades antrópicas e potencial para preservação ambiental, bem como; visando à avaliação dos conflitos de interesse, a matriz de interesses conflitantes. Os resultados obtidos por estas etapas são apresentados a seguir.

As variáveis e pesos utilizados para cada uma das análises multicriteriais para identificação dos potenciais estão exibidos nos quadros 11 e 12 abaixo. Conforme, o índice de razão de consistência (CR), as análises empreendidas estão consistentes, pois os valores auferidos foram menores que 0,1. As figuras 10 e 11 exibem as variáveis e o potencial obtido.

Quadro 11 - Pesos oriundos de AHP para identificação do Potencial de Expansão das Atividades Antrópicas

Variáveis	Peso
<u>Distância das Ocupações Humanas</u>	<u>0,4722</u>
<u>Acessibilidade e Capilaridade Viária</u>	<u>0,3678</u>
Declividade	0,1017
Litologia	0,0583
Índice de Consistência (CR): 0,093	Total: 1,000

Quadro 12 - Pesos oriundos de AHP para identificação do Potencial de Preservação Ambiental

Variáveis	Peso
<u>Áreas Protegidas</u>	<u>0,3399</u>
Uso do Solo	0,0959
<u>Área Núcleo</u>	<u>0,4997</u>
IGDR	0,0644
Índice de Consistência (CR): 0,035	Total: 1,000

Observou-se uma nítida relação entre os valores de AHP e a configuração espacial dos potenciais obtidos. As variáveis com maior peso, as quais foram sublinhadas nos quadros 11 e 12, determinaram a distribuição espacial dos valores de potencial. Influenciado majoritariamente, pelas variáveis Distância das Ocupações e Acessibilidade e Capilaridade Viária, o Potencial de Expansão das Atividades Antrópicas apresenta valores mais elevados concentrados nas áreas urbanizadas (habitações e áreas industriais) da porção noroeste da área de entorno (Figura 10). Para o Potencial de Preservação Ambiental tem-se a influência determinante das variáveis Área Núcleo e Áreas Protegidas, que propiciaram valores maiores concentrados em fragmentos de vegetação nativa e nas áreas de preservação permanente. Destaque para uma área localizada na porção central da área de entorno, fragmento remanescente de savana arborizada sobre afloramentos rochosos no alinhamento da Serra do Ouro Grosso (Figura 11).

A matriz de interesses conflitantes foi elaborada pela combinação de valores atribuídos aos resultados das matrizes de potencial expansão das atividades antrópicas e potencial para preservação ambiental (Figura 12), conforme apresentado no item 4.2 deste trabalho.

As áreas com alto e muito alto potencial de expansão antrópica e com médio, alto e muito alto potencial de preservação ambiental (Tabela 2), materializaram conflitos de interesse. Essas áreas correspondem à 15,91% da área de estudo, sendo representadas por áreas de preservação permanente e fragmentos florestais, sobretudo nas adjacências das áreas urbanizadas e vias de acesso da porção noroeste do território.

As áreas sem conflito imediato ocupam 12,45% da área de estudo, e estão concentradas na região sudeste, associadas às áreas de pastagem.

As áreas classificadas como de potencial de expansão das atividades antrópicas abrangem a maior parte da área de estudo, num total de 25,02%. Ocorrendo em maior quantidade na região norte e porção do centro-oeste. Além disso, deve-se salientar que estas se concentram ao longo das vias de acesso circundadas por pastagem, na região norte e nos cultivos agrícolas adjacentes à pastagem na porção centro-oeste da área de estudo.

As áreas de potencial para preservação ambiental ocupam 24,35% da área de estudo, com concentração espacial na região centro-sul. Constatou-se a

coincidência com os grandes fragmentos de vegetação nativa e áreas de preservação permanente presentes nesta região do território

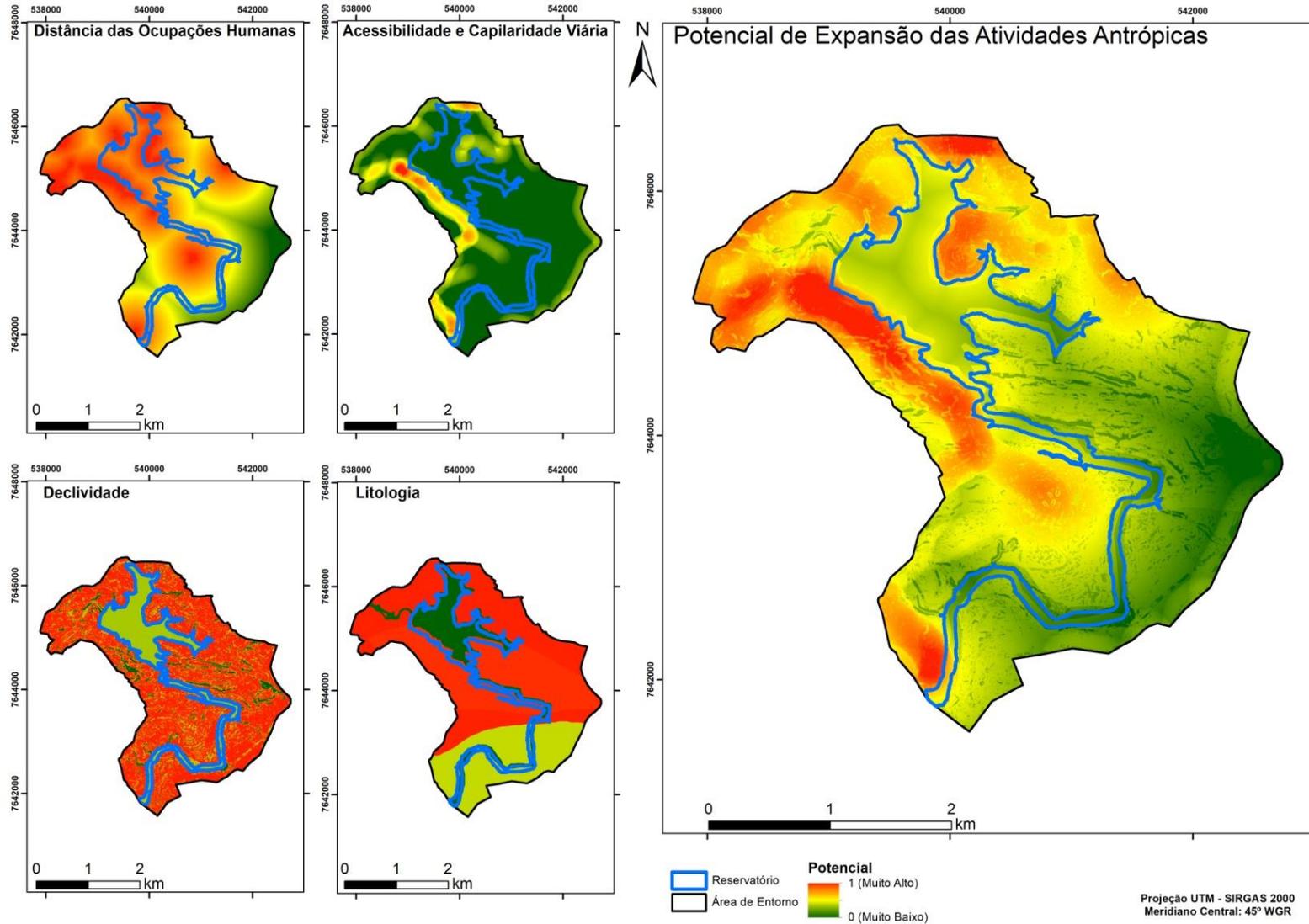


Figura 10 - Variáveis e Potencial para Expansão das Atividades Antrópicas

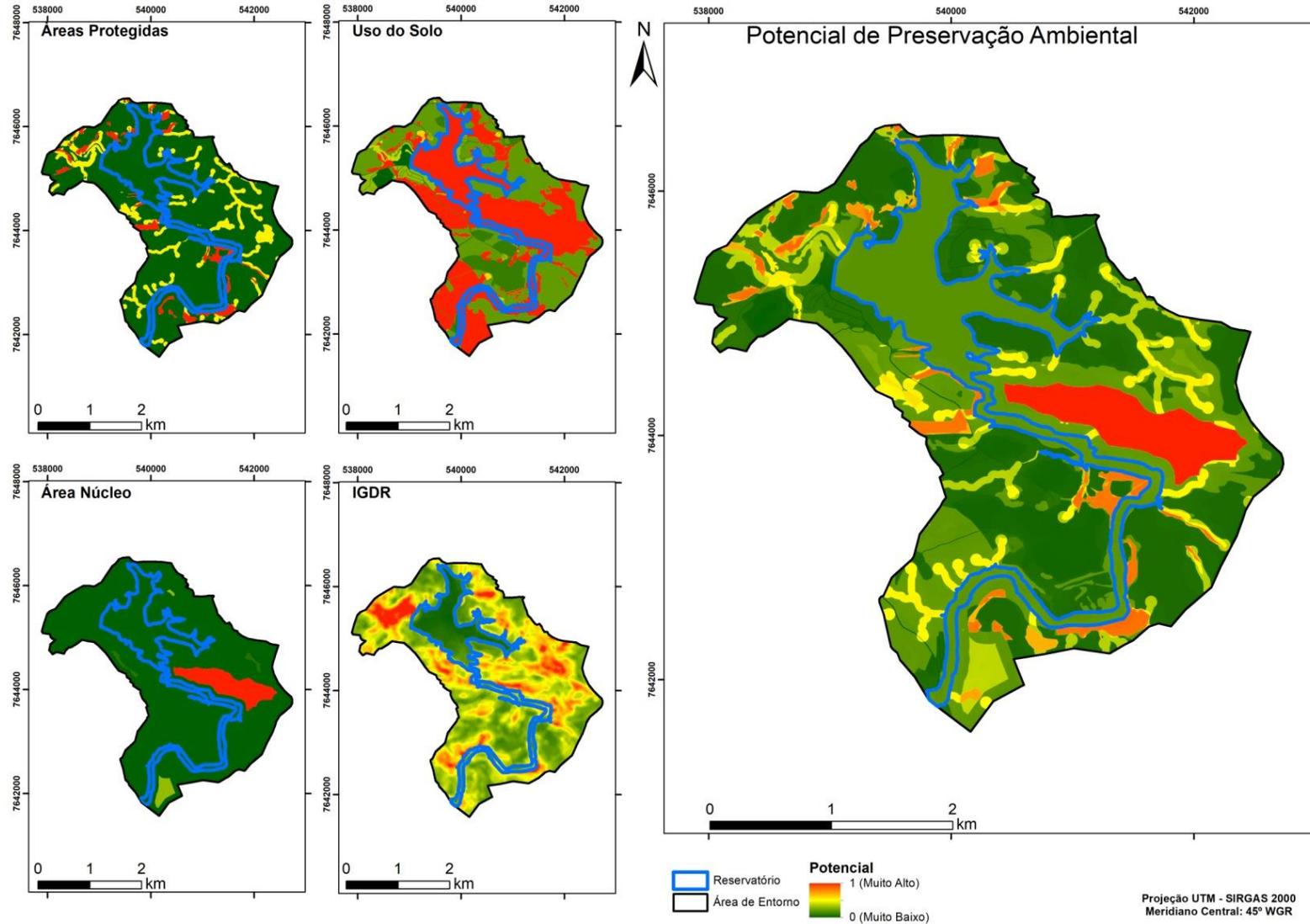


Figura 11 - Variáveis e Potencial para Preservação Ambiental

As áreas classificadas como "Projetos Sustentáveis" foram identificadas em cerca de 22,27% da área de estudo. Estas são áreas aptas a serem estudadas para receberem projetos baseados em restauração ambiental ou alvo de ocupação controlada, visando o uso sustentável. Essas áreas apresentam médio potencial de expansão antrópica e preservação ambiental, sendo caracterizadas; na região norte por áreas de pastagem e a porção larga do reservatório, e, na região sul por remanescentes de vegetação nativa.

Tabela 2 – Análise quantitativa da Matriz de Interesses Conflitantes

Classes	Área (ha)	Percentual (%)
Conflito de Interesses	190,18	15,91
Potencial para Preservação Ambiental	291,16	24,35
Projetos Sustentáveis	266,30	22,27
Potencial para Expansão das Atividades Antrópicas	299,15	25,02
Sem Conflito Imediato	148,85	12,45

Fonte: Dados da pesquisa

De um modo geral, os resultados alcançados com a matriz de interesses conflitantes sugerem que a área de estudo pode estar em condição de relativo equilíbrio entre as classes de interesse. Isto pode ser inferido de distribuição relativamente equitária dos valores com aptidão para preservação ambiental (291,16 ha ou 24,35%), com aptidão para expansão antrópica (299,15 ha ou 25,02%) e com aptidão para projetos sustentáveis (266,30 ha e 22,27%). As áreas com conflito explícito (190,18 ha ou 15,91) e sem conflito imediato (148,85 ou 12,45%) apresentam uma diferença entre seus valores (40 ha e 3%), sendo esta variação tendente ao conflito de interesses.

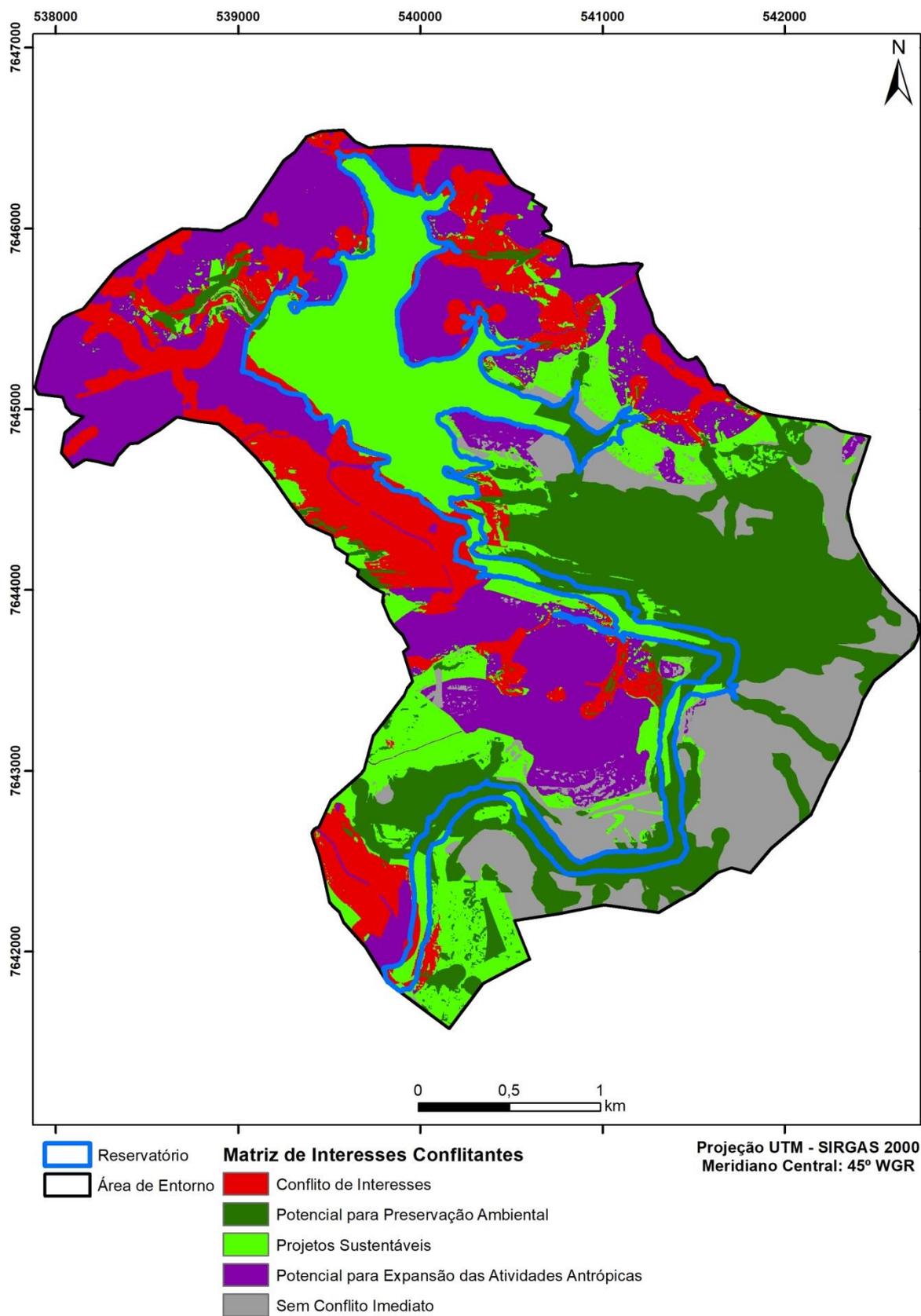


Figura 12- Mapa da Matriz de Interesses Conflitantes

5.2 Detecção de Mudanças

A análise das mudanças ocorridas no uso e cobertura da terra da área de estudo foi embasada pela vetorização das imagens disponibilizadas pelo aplicativo Google Earth, para os anos de 2007 (GOOGLE EARTH PRO 7.3.3, 2007), 2018 (GOOGLE EARTH PRO 7.3.3, 2018), aplicáveis ao padrões de qualidade posicionais do presente trabalho, que são de âmbito regional (1:50.000 e maiores).

De um modo geral, entre os anos de 2007 e 2018 observa-se que a atividade agrícola e a expansão urbana foram os processos mais dinâmicos na área de entorno (Figura 13). A área destinada ao cultivo agrícola aumentou mais de 7% em onze anos. As Habitações aumentaram a área de 33,10 ha, no ano 2007, para 37,54 ha em 2018, o que representa uma variação percentual de 13,41% (Tabela 3).

Tabela 3 - Quantitativo de tipologias de uso e cobertura da terra nos anos 2007 e 2018

Classes	2007		2018	
	Área (ha)	Percentual (%)	Área (ha)	Percentual (%)
Cultivo Agrícola	20,02	1,67	105,45	8,81
Edificações da Cemig	19,31	1,61	19,31	1,61
Erosão/Solo Exposto	3,72	0,31	4,61	0,39
Est. de Piscicultura	1,75	0,15	1,75	0,15
Floresta Estacional	197,08	16,47	194,55	16,26
Habitações	33,10	2,77	37,54	3,14
Massa d'água	9,54	0,80	9,54	0,80
Pastagem	469,90	39,27	382,84	31,99
Reservatório	182,00	15,21	182,00	15,21
Savana Arborizada	123,36	10,31	121,71	10,17
Savana arborizada sobre aflor. rochosos	123,75	10,34	123,75	10,34
Uso Industrial	1,12	0,09	1,12	0,09
Via de acesso	12,06	1,01	12,54	1,05
Total Geral	1196,71	100,00	1196,71	100,00

Fonte: Dados da pesquisa

A expansão do cultivo agrícola se deu pela conversão de áreas de pasto. Durante o período analisado, 85,96 ha de pastagem foram convertidas em áreas agrícolas. Esta conversão se concentrou no entorno imediato de áreas agrícolas pretéritas na região central e pelo surgimento de uma grande área agrícola na margem esquerda do reservatório.

O processo de expansão urbana também ocorre majoritariamente sobre as áreas de pastoreio, onde 3,78 ha foram transformadas para a classe Habitações.

Esta conversão agrupou-se principalmente nas adjacências do assentamento no município de Nazareno.

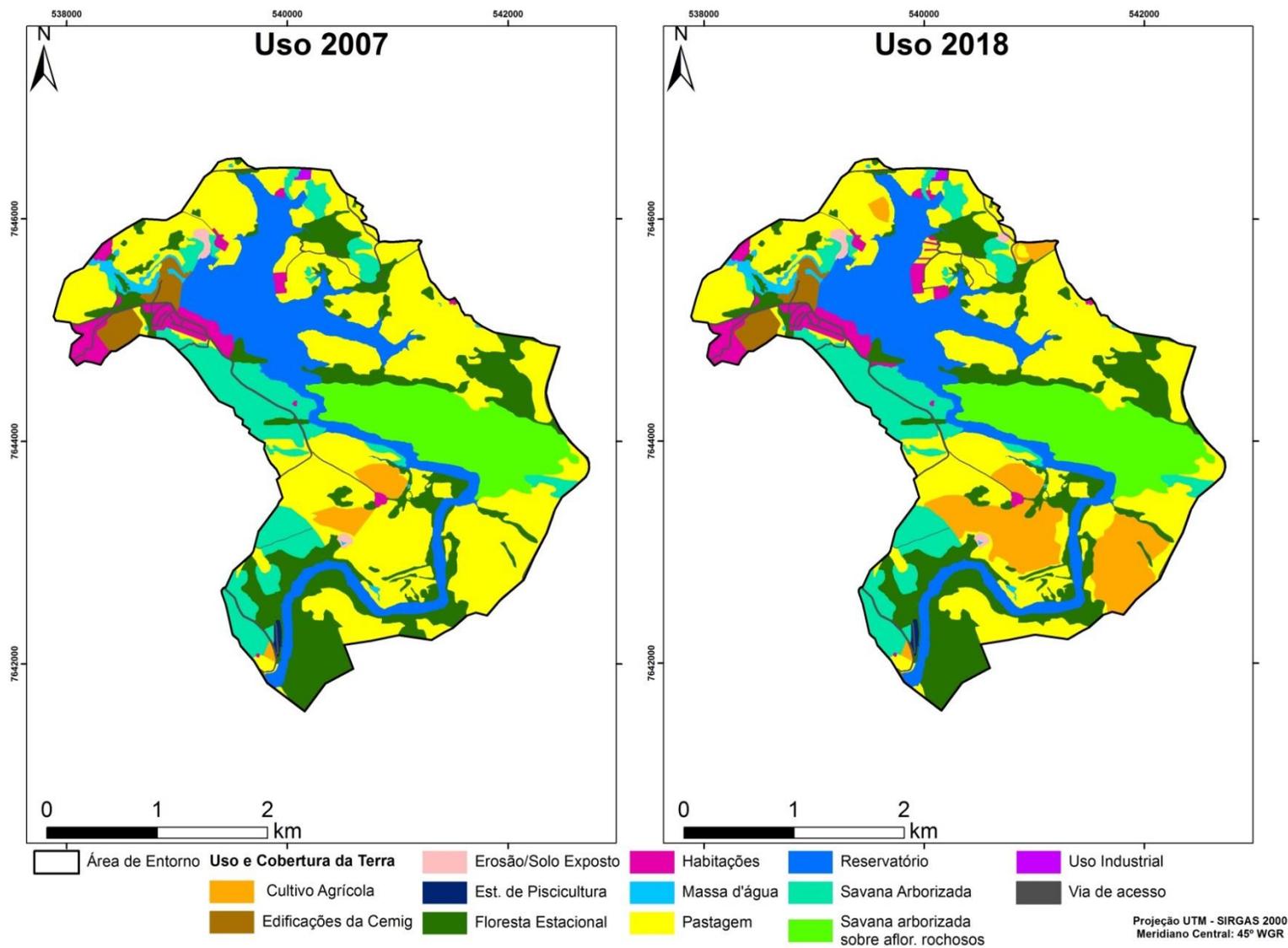


Figura 13 - Mapeamento do uso e cobertura da terra para os anos de 2007 e 2018

Em consequência dos processos acima citados, a classe Pastagem teve a maior perda em área, correspondendo ao decréscimo de 87,06 ha. Em termos percentuais, a queda foi de -7,27%. Em relação as áreas de pasto, destaca-se também de desmatamento de áreas nativas. No período analisado, 2,62 ha de Floresta Estacional e 0,96 ha de Savana arborizada foram convertidas para Pastagem. O processo de expansão urbana também contribui para o desmatamento de 0,66 ha de Savana Arborizada.

Outras mudanças observadas foram: o crescimento de 1,24 vezes da Erosão/Solo Exposto, totalizando um acréscimo de 0,89 ha de área; e a expansão de 0,48 ha da Via de Acesso, o que representa uma variação percentual de 4,01%.

Para as demais classes restantes, nota-se que não houve uma variação relevante nos seus valores de área e percentual. Ao longo do período de análise, estas classes não tiveram transições significantes (acima de 1 ha) em suas áreas.

5.3 Simulação de Mudanças para 2030

A simulação para 2030 teve como foco as mudanças ocorridas nas tipologias de uso e cobertura da terra: Pastagem, Cultivo Agrícola, Habitações e Floresta Estacional. As variáveis utilizadas para explicar o modelo de potencial de transição podem ser observadas na tabela 4.

Tabela 4 - Variáveis testadas e selecionadas para o modelo de simulação

Variáveis Explicativas testadas	Coefficiente V de Cramer	Situação
Uso do Solo	0,6370	Selecionada
Potencial para Preservação Ambiental	0,4436	Selecionada
Matriz de Interesses Conflitantes	0,3177	Selecionada
IGDR	0,2592	Selecionada
Distância das Ocupações Humanas	0,2382	Selecionada
Potencial para Expansão das Atividades Antrópicas	0,2378	Selecionada
Declividade	0,2371	Selecionada
Litologia	0,2363	Selecionada
Área Núcleo	0,2124	Selecionada
Acessibilidade e Capilaridade Viária	0,2061	Selecionada
Áreas Protegidas	0,1099	Não Selecionada

Fonte: dados da pesquisa

Pela tabela 4, de todas as variáveis testadas somente a variável Áreas Protegidas apresentou valor de Cramer inferior a 0,15 , o que a tornou inapta a integrar o sub-modelo de potencial de transição (FONSECA, 2015; MAS, JEAN

FRANÇOIS *et al.*, 2014). Todas as demais variáveis foram selecionadas para compor o modelo.

O resultado do sub-modelo de transição potencial são os mapas de potencial de transição para cada transição eleita (Figura 14). Observa-se que o maior potencial de transição Pastagem para Cultivo Agrícola ocorreu nas circunvizinhas de plantios já existentes. Nota-se também que as áreas propícias para expansão antrópica e áreas sem conflito imediato da porção sudeste da área de entorno apresentaram valores relevantes para este potencial de transição.

Como observado no potencial anterior, as áreas nas adjacências das atuais habitações exibiram maior potencial para a transição Pastagem para Habitações. Neste destaca-se o entorno do assentamento no município de Nazareno. O potencial de transição da tipologia Floresta Estacional para a tipologia Pastagem obteve baixa representatividade espacial. Este ocorre em pequenos fragmentos envoltos por matriz antrópica

Com base na matriz de probabilidades de transição calculada por Cadeias de Markov e nos mapas de potencial de alocação espacial das mudanças calculado por aprendizagem baseada em observação ponderada por similaridade (SimWeight), foi realizada simulação do uso e cobertura da terra para o ano de 2020 (Figura 15).

A validação da simulação foi feita pela comparação estatística entre o mapeamento realizado para 2020 e o modelo projetado para 2020. A estatística Kappa avaliou a similaridade entre os dois mapas, baseada na razão da porcentagem de acertos observados pela porcentagem de acertos esperados por aleatoriedade. De um modo geral, o valor obtido pelo índice Kappa global (Kno) foi de 0,9852 e indica um bom desempenho geral do modelo, o valor obtido para o índice Kappa de alocação de mudança (K-location), de 0,9988, evidencia um bom desempenho relativo à alocação espacial das mudanças simuladas. O valor encontrado para o índice Kappa padrão (K-standard) foi de 0,9804 e confirma o bom desempenho do modelo de simulação. Demais estatísticas de calibração e validação do modelo podem ser observadas no Anexo 1.

Após a validação do modelo foi executada as simulações para os dois cenários 1) sem considerar as diretrizes de uso presentes no zoneamento socioambiental do PACUERA da UHE Itutinga e 2) assumindo a implementação das diretrizes (Tabela 5 e Figura 16)

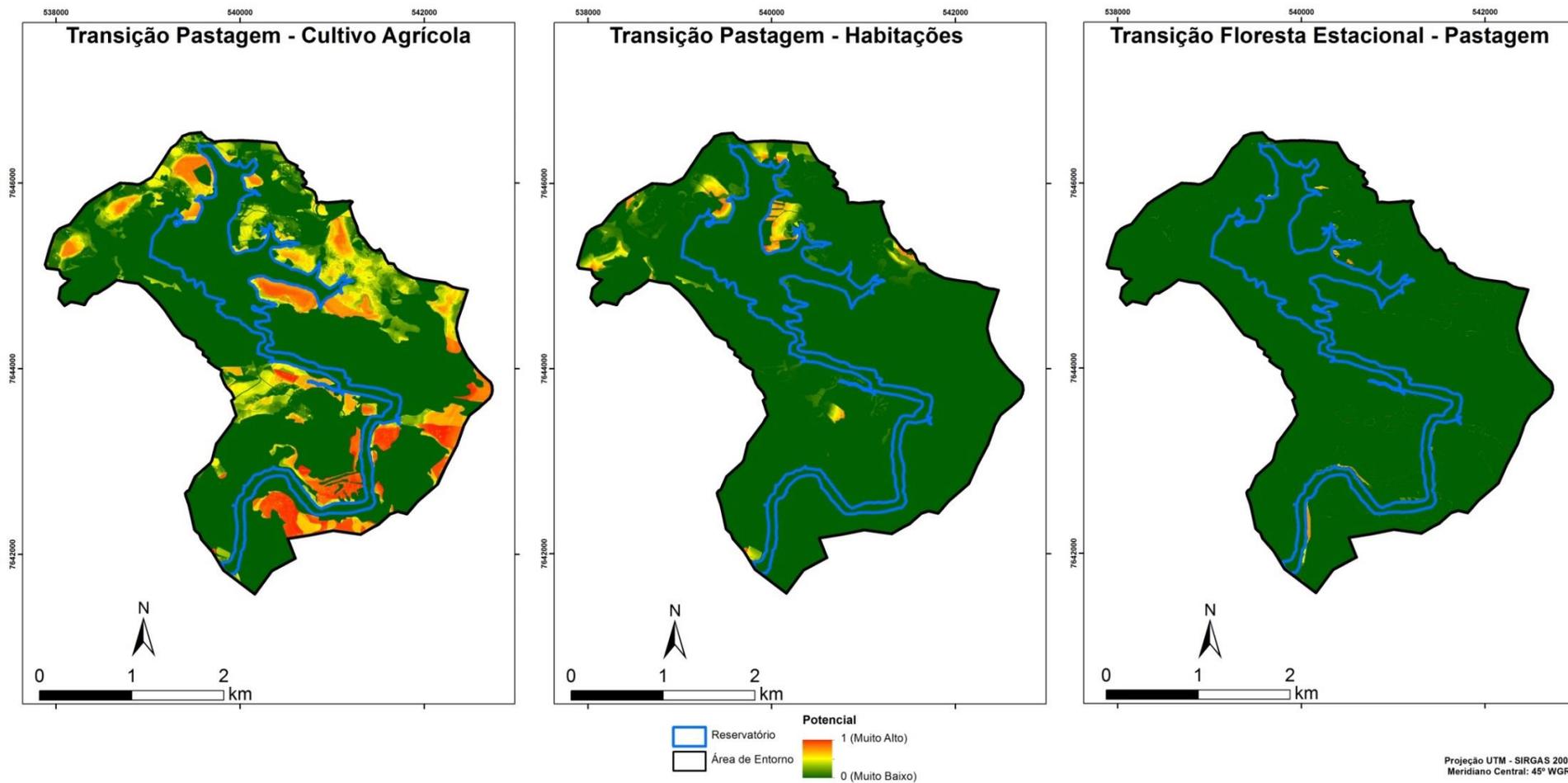


Figura 14 – Potenciais de Transição

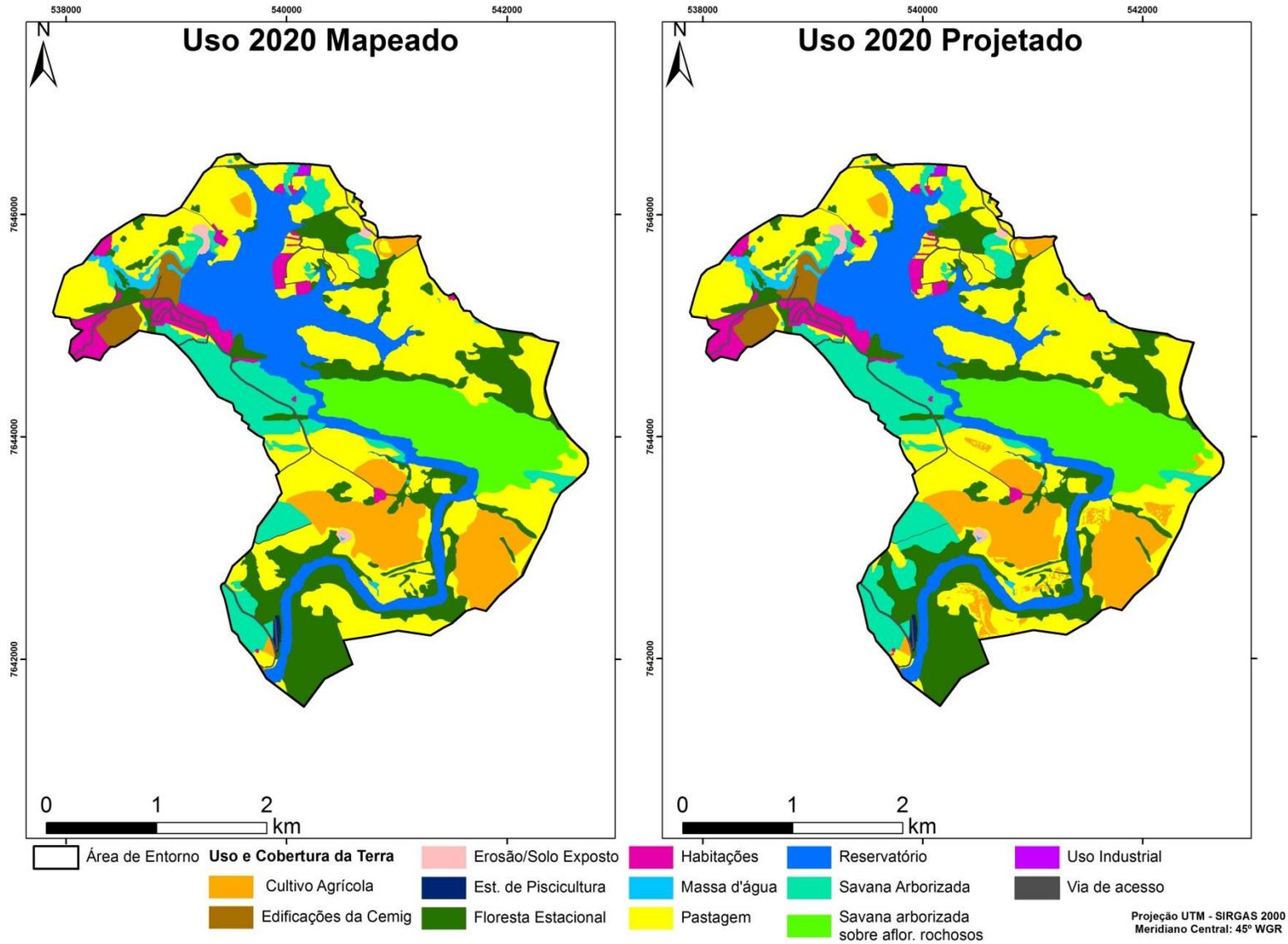


Figura 15 – Uso e cobertura da terra de 2020 mapeado sobre imagem Google Earth e projetado pelo Land Change Modeller (LCM)

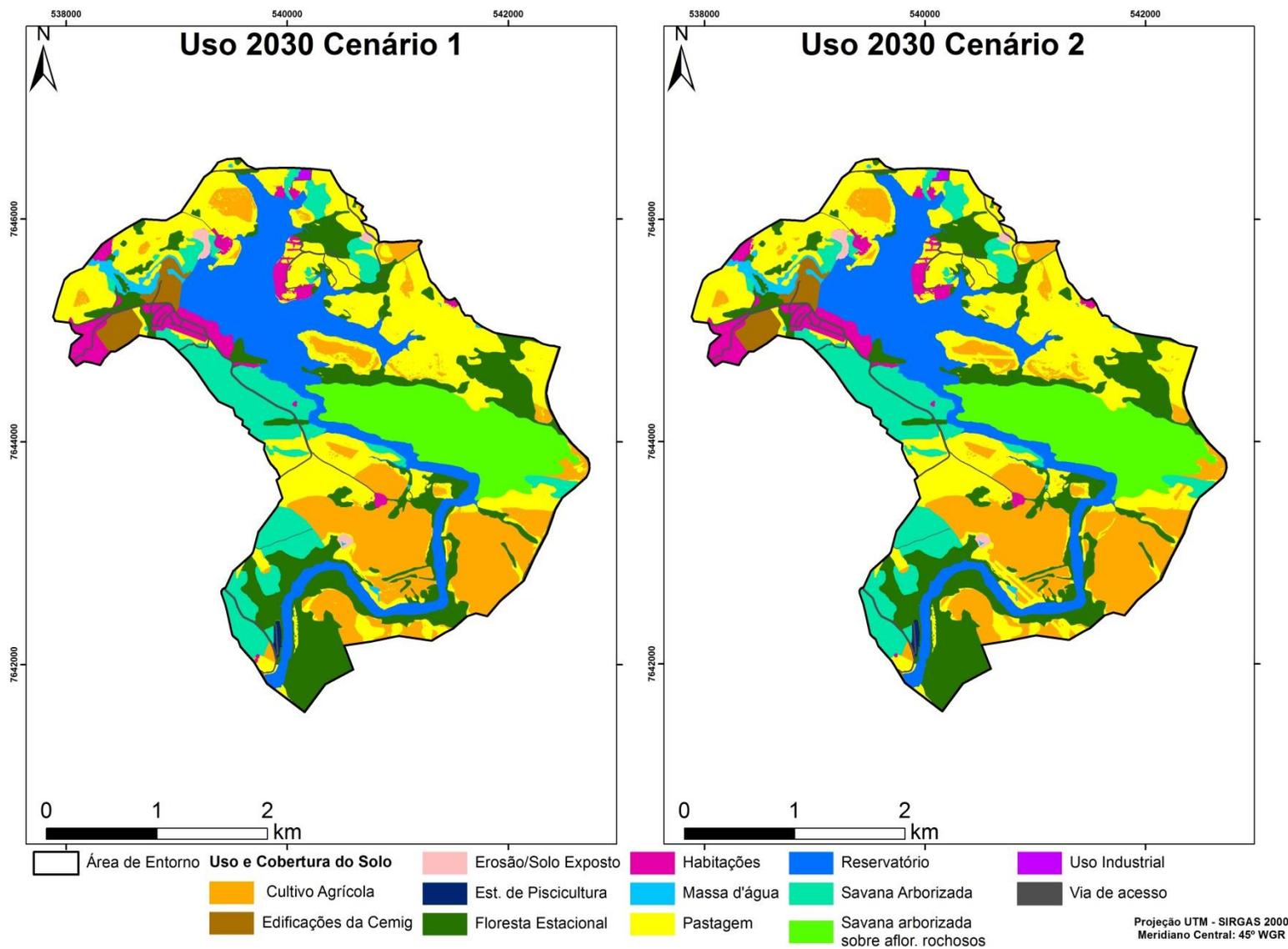


Figura 16 – Cenários de uso e cobertura da terra projetado para 2030

Tabela 5 – Matriz de transição com percentuais de persistência e mudanças

	Cultivo Agrícola	Erosão/Solo Exposto	Floresta Estacional	Habitacões	Pastagem	Savana Arborizada	Via de acesso
Cultivo Agrícola	0,9703	0,0000	0,0000	0,0000	0,0297	0,0000	0,0000
Erosão/Solo Exposto	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Floresta Estacional	0,0000	0,0000	0,9855	0,0000	0,0145	0,0000	0,0000
Habitacões	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Pastagem	0,2032	0,0021	0,0002	0,0089	0,7845	0,0000	0,0011
Savana Arborizada	0,0000	0,0000	0,0000	0,0058	0,0085	0,9854	0,0003
Via de acesso	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000

*Foram retiradas da matriz as classes que não apresentaram mudanças.

Fonte: Dados da pesquisa

Ao analisar a tabela 5 e figura 16, na simulação para 2030, observa-se que a classe com menor probabilidade de persistência será a Pastagem (78,45%), com mudanças projetadas de 20% e 0,9% para Cultivo Agrícola e Habitacões, respectivamente. Este resultado é compatível com a dinâmica de mudança do uso e cobertura da terra detectada entre 2007 e 2018. Nesta nota-se a tendência de crescimento da atividade agrícolas e expansão urbano sobre as áreas de pastoreio.

Outra consonância observada entre a matriz de transição simulada e o padrão de mudanças detectadas foi em relação ao desmatamento de áreas nativas. Simulase que a Floresta Estacional transicione 1,45% para a Pastagem. Já a Savana arborizada deve mudar 0,85% para Pastagem e 0,58% para Habitacões.

Tabela 6 - Quantitativo de tipologias de uso e cobertura da terra nos anos 2007, 2018 e 2030

Classes	2007	2018	Cenário 1 - 2030	Cenário 2 - 2030
	Área (ha)	Área (ha)	Área (ha)	Área (ha)
Cultivo Agrícola	20,02	105,45	183,25	183,24
Edificações da Cemig	19,31	19,31	19,31	19,31
Erosão/Solo Exposto	3,72	4,61	4,61	4,61
Est. de Piscicultura	1,75	1,75	1,75	1,75
Floresta Estacional	197,08	194,55	191,73	191,72
Habitacões	33,10	37,54	40,95	40,95
Massa d'água	9,54	9,54	9,54	9,54
Pastagem	469,90	382,84	304,45	304,46
Reservatório	182,00	182,00	182,00	182,00
Savana Arborizada	123,36	121,71	121,71	121,71
Savana arbor. aflor. rochosos	123,75	123,75	123,75	123,75
Uso Industrial	1,12	1,12	1,12	1,12
Via de acesso	12,06	12,54	12,54	12,54
Total Geral	1196,71	1196,71	1196,71	1196,71

Fonte: Dados da pesquisa

Nas projeções para 2030, a área destinada ao cultivo agrícola aumenta 6,50% em relação a 2018, o que corresponde em um acréscimo de 77,80 ha. As habitações aumentam em 3,41 ha, equivalendo a um crescimento de 1,09%. Estima-se perdas de 78,39 ha para a tipologia Pastagem e 2,82 ha para Floresta Estacional. Em variação percentual, estes decréscimos representam -20,48% e -1,45%, respectivamente (Tabela 6).

Não houve diferença significativa entre os dois cenários quanto ao quantitativos de área por tipologias de uso e cobertura da terra (Tabela 6). Comparando os cenários e 2018, em relação ao zoneamento socioambiental, podem ser observadas diferenças nestes quantitativos (Quadro 13).

Nas Zona de Conservação e Recuperação da Vegetação Ciliar do Reservatório e Zona de Preservação do Patrimônio Natural, cuja matriz de restrição e incentivos atribui valores de desincentivo às transições escolhidas, observa-se que os valores de área de Cultivo Agrícola, Florestal Estacional e Habitações são maiores no cenário 1 em comparação com o cenário 2. Destaca-se as áreas agrícolas na Zona de Conservação e Recuperação da Vegetação Ciliar do Reservatório. No cenário 1 ocuparão 1,77 ha, no cenário 2, 0,02 ha; área 76 vezes menor.

Na Zona de Restrição de Uso do Solo, onde se atribui restrição absoluta pela matriz de restrição e incentivos, nota-se que não houve diferenças significativas nos quantitativos de 2018 e cenário 2. Isto prova que a restrição absoluta impediu que as transições escolhidas ocorressem nesta zona neste cenário. Para o cenário 1, observa-se que os valores de área refletem as tendências de persistências e mudanças projetadas: aumento das áreas agrícolas e assentamentos humanos sobre áreas de pastagem e desmatamento de cobertura natural.

Para a Zona de Segurança e Operação da Usina, na qual não houve efeito multiplicador da matriz de restrição e incentivos, os valores das classes analisadas permaneceram semelhantes nos dois cenários e no ano de 2018. Evidenciando que esta zona não apresenta potencial relevante para mudanças.

Quadro 13 - Quantitativos de classes por Zoneamento e Transições

Zoneamento	Uso e cobertura da terra			Matriz de Incentivo e Restrição			
	Classes*	2018	Cenário 1	Cenário 2	Transição Floresta Estacional para Pastagem	Transição Pastagem para Cultivo Agrícola	Transição Pastagem para Habitações
		Área (ha)	Área (ha)	Área (ha)			
Zona de Conservação e Recuperação da Vegetação Ciliar do Reservatório	Cultivo Agrícola	0,02	1,77	0,02	Desincentivo	Desincentivo	Desincentivo
	Flor. Estacional	20,94	20,17	20,16			
	Habitações	3,08	3,77	3,09			
	Pastagem	20,91	19,25	21,68			
Zona de Preservação do Patrimônio Natural	Cultivo Agrícola	0,57	4,08	0,57	Desincentivo	Desincentivo	Desincentivo
	Flor. Estacional	100,19	98,92	98,91			
	Habitações	0,54	0,63	0,54			
	Pastagem	41,98	39,67	43,27			
Zona de Restrição de Uso do Solo	Cultivo Agrícola	5,07	8,58	5,07	Restrição absoluta	Restrição absoluta	Restrição absoluta
	Flor. Estacional	60,05	59,73	60,05			
	Habitações	4,05	4,05	4,05			
	Pastagem	62,77	59,60	62,79			
Zona de Segurança e Operação da Usina	Cultivo Agrícola	0,06	0,16	0,06	Sem efeito	Sem efeito	Sem efeito
	Flor. Estacional	0,58	0,51	0,45			
	Habitações	1,22	1,34	1,22			
	Pastagem	4,73	4,57	4,86			
Zona de Uso Misto Rural	Cultivo Agrícola	99,74	168,65	177,53	Incentivo	Incentivo	Incentivo
	Flor. Estacional	12,23	11,86	11,61			
	Habitações	3,81	5,37	5,83			
	Pastagem	246,34	176,29	167,20			
Zona de Usos Urbanos	Flor. Estacional	0,52	0,52	0,52	Incentivo	Desincentivo	Incentivo
	Habitações	24,82	25,78	26,21			
	Pastagem	6,04	5,08	4,66			

* Foram expostas somente as classes relacionadas as transições selecionadas

Fonte: Dados da pesquisa.

Nas Zona de Uso Misto Rural e Zona de Usos Urbanos, para quais valores de incentivo foram atribuídos pela matriz de restrição e incentivos para as transições analisadas; exceto para a transição Pastagem para Cultivo Agrícola na Zona de Usos Urbanos, observa-se o aumento de áreas do Cultivo Agrícola e Habitações no cenário 2 em relação ao cenário 1. Isto demonstra que o padrão de mudança identificado pela detecção de mudanças foi potencializado no cenário 2, fato consonante com os usos permitidos destas zonas.

De maneira geral, quando nas transições eleitas valores de incentivo estavam presentes nas zonas socioambientais do PACUERA, foram observados aumento nas áreas das classes. Quando valores de desincentivo, diminuição. Como exemplo podemos citar, o acréscimo de 8,88 ha de Cultura Agrícola na Zona de Uso Misto Rural e o decréscimo de -3,51 ha da mesma tipologia na Zona de Preservação do Patrimônio Natural.

A tipologia Pastagem é uma exceção para o padrão apresentado acima. Os valores desta tipologia tiveram aumento de área quando relacionadas a valores de desincentivo e diminuição em relação a valores de incentivo, na comparação entre cenários. Isto que pode estar relacionado com a tendência identificada de perdas de áreas de pastoreio para atividades agrícolas e por esta tipologia estar relacionada a todas as transições elencadas.

Diante do exposto, conclui-se que a adoção das diretrizes do zoneamento socioambiental do PACUERA proporciona um ambiente mais sustentável na circunjunção da UHE Itutinga, haja vista que as mudanças de classe de uso do solo ficaram disciplinadas ao zoneamento.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa propôs a aplicação de um arcabouço metodológico para simular o uso e cobertura da terra no entorno de um reservatório hidrelétrico. O conjunto de modelos e procedimentos metodológicos utilizados podem ser aplicados em casos correlatos ao caso aqui estudado.

A estrutura metodológica e conceitual implementada proporcionou uma avaliação crítica das temáticas abordadas, com avaliações que foram testadas estatisticamente e validadas. Contudo, deve ser ressaltado, as limitações advinda da disponibilidade e qualidade das variáveis utilizadas. É sugerido, para o mapeamento do uso e cobertura da terra, a utilização de drones para a geração de imagens de ortofotos mais precisas, sendo possível uma avaliação mais confiável. No entanto, vale ressaltar os custos que estariam envolvidos nessa aquisição.

A detecção e quantificação de mudanças no uso e cobertura da terra permitiu a identificação das principais alterações da paisagem. Foi observado que crescimento da área agrícola e a expansão urbana foram os processos mais dinâmicos na área de entorno durante o período analisado.

Os resultados alcançados com a matriz de interesses conflitantes sugerem que a área de estudo pode estar em condição de relativo equilíbrio entre as classes de interesse. Esta também identificou áreas classificadas como "Projetos Sustentáveis" em 22,27% da área de estudo. São áreas aptas a receberem projetos baseados em restauração ambiental ou alvo de ocupação controlada visando o uso sustentável. Tal condição possibilita o avanço do processo de expansão agrícola e urbana com a manutenção das áreas aptas à preservação ambiental.

O modelo de mudança construído para explicar e modelar a dinâmica do uso e cobertura da terra apresentou resultado satisfatório, haja vista os valores dos índices de calibração e validação alcançados. As variáveis explicativas utilizadas demonstraram uma forte associação com o modelo e com a área de estudo.

Os resultados do modelo reverberam a tendência de crescimento da atividade agrícolas e expansão urbana em detrimento de áreas de pastoreio e vegetação natural nativa identificada na detecção de mudanças.

Os cenários hipotéticos simulados demonstraram que a adoção do zoneamento socioambiental do PACUERA disciplina as mudanças de classe de uso

e cobertura da terra, corroborando para um ambiente mais sustentável na circunjunção da UHE Itutinga.

Esta possibilidade depende de fatores internos e externos à área de estudo. Em relação aos fatores internos destaca-se o papel dos tomadores de decisão em relação à proposição e execução de políticas de gestão da paisagem propostos no PACUERA. Quanto aos fatores externos, as alterações macroeconômicas e mudanças climáticas globais podem interferir nas dinâmicas de mudança locais. Neste caso, por exemplo, um aumento na demanda por tomates - cultura de destaque na área de entorno - ou a diminuição de sua produção devido a problemas advindos de alterações climáticas podem acelerar ou arrefecer a expansão agrícola.

Conclui-se que, em certa medida, dentro das limitações dos modelos de representação disponíveis, suas respectivas escalas e resoluções espaciais, os resultados alcançados permitiram a manutenção das hipóteses formuladas. A simulação do uso e cobertura da terra no entorno do reservatório da UHE Itutinga permitiu a avaliação da promoção de sustentabilidade ambiental por meio da adoção de diretrizes do zoneamento socioambiental do PACUERA.

REFERÊNCIAS

AMERIKANOS, Paris-Panagiotis. *IMAGE ANALYSIS IN DIGITAL PATHOLOGY BASED ON MACHINE LEARNING TECHNIQUES & DEEP NEURAL NETWORKS*. 2020. 1–85 f. University of Piraeus, Greece, 2020. Disponível em: <https://dione.lib.unipi.gr/xmlui/bitstream/handle/unipi/12939/MSc_Thesis_ME1703.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 3 jun. 2021.

BARÃO, Mateus de Azevedo. *Avaliação Crítica Do Licenciamento Ambiental Como Ferramenta Para O Desenvolvimento Sustentável – Estudo De Caso Do Setor Hidrelétrico*. 2007. 1–186 f. Universidade Federal do Paraná, 2007.

BARBOSA, CLÁUDIO CLEMENTE *et al.* Operadores Zonais em Álgebra de Mapas e Sua Aplicação a Zoneamento Ecológico- Econômico. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, Bahia*, n. 1995, p. 487–500, 1998. Disponível em:

<https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=cl6hGe4AAAAJ&citation_for_view=cl6hGe4AAAAJ:Y0pCki6q_DkC>.

BISONG, Ekaba. *Building Machine Learning and Deep Learning Models on Google Cloud Platform*. [S.l.]: Apress, 2019.

BRANDT MEIO AMBIENTE. *Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno do Reservatório Artificial (PACUERA) da UHE Itutinga*. . Nova Lima: [s.n.].

Disponível em: <http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/2018/PACUERA/Maio/PACUERA_UHE_Itutinga_2018.pdf>. , 2017

BRASIL. Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. *Diário Oficial da União*, p. 31p, 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6938.htm>. Acesso em: 15 jun. 2020.

BRASIL. LEI Nº 12.651, DE 25 DE MAIO DE 2012. *Diário Oficial da União*, p. 1, 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em: 15 jun. 2020.

BRASIL. Lei nº 6.766, de 19 de Dezembro de 1979. *Diário Oficial da União*, p. 1–15, 1979. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6766.htm>. Acesso em: 15 jun. 2020.

CARVALHO DE LIMA, Thiago *et al.* DINAMICA EGO e Land Change Modeler para simulação de desmatamento na Amazonia brasileira: análise comparativa. *XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, p. 6379–6386, 2013. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0471.pdf>>.

CARVALHO, Grazielle Anjos. *Contribuições metodológicas ao planejamento urbano: comparação de métodos de análise multivariada e modelos de simulação da paisagem urbana – aplicações na Regional Pampulha - Belo Horizonte, Minas Gerais - Brasil*. 2015. 1–175 f. Universidade Federal de Minas Gerais, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/IGCC-A89LX5>>. Acesso em: 22 nov. 2020.

CASTRO, Dayan Magalhães; MOURA, Ana Clara Mourão. Procedimentos de data mining na definição de valores para as análises de multicritérios como apoio à tomada de decisões e análise espaciais urbanas. 2010, Aracaju: [s.n.], 2010. p. 186–192. Disponível em: <<https://geoproea.arq.ufmg.br/publicacoes/2010/procedimentos-de-data-mining-na-definicao-de-valores-para-as-analises-de-multicriterios-como-apoio-a-tomada-de-decisoes-e-analise-espaciais-urbanas>>. Acesso em: 14 dez. 2020.

CEMIG. *Cemig Hydropower Plants: The history of electricity in Minas and Brazil, 1952-2005. [Usinas da Cemig: a história da eletricidade em Minas e no Brasil, 1952-2005]*. [S.l: s.n.], 2006.

COHENCA, Daniel. *MODELAGEM DE CENÁRIOS DE OCUPAÇÃO NO LITORAL SUL DE SANTA CATARINA UTILIZANDO TÉCNICAS DE ANÁLISE GEOESPACIAL*. 2016. 149 f. Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

CONAMA. Resolução CONAMA nº 1, de 23 de janeiro de 1986. *Diário Oficial da União*, p. 2548–2549, 1986. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/>>.

CONAMA. Resolução Conama N° 302 De 2002 - Áreas Protegidas – Áreas de

Preservação Permanente. *Diário Oficial da União*, v. 90, p. 67–68, 2002.

CONAMA. Resolução CONAMA nº 9, de 3 de dezembro de 1987. *Diário Oficial da União*, p. 643, 1987. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=60>>.

DANA TOMLIN, C. Map Algebra. *International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment and Technology*. [S.l.]: John Wiley & Sons, Ltd, 2017. p. 1–17. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/9781118786352.wbieg0501>>. Acesso em: 3 jun. 2021.

DAPUETO, Giulia *et al.* A spatial multi-criteria evaluation for site selection of offshore marine fish farm in the Ligurian Sea, Italy. *Ocean and Coastal Management*, v. 116, p. 64–77, 1 nov. 2015.

DEVARAKONDA, Phani *et al.* Application of spatial multicriteria decision analysis in healthcare: Identifying drivers and triggers of infectious disease outbreaks using ensemble learning. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, p. 1, 2021. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/mcda.1732>>. Acesso em: 3 jun. 2021.

EASTMAN, J. Ronald. *IDRISI Selva Manual - Guide to GIS and Image Processing*. [S.l.: s.n.], 2012a.

EASTMAN, J. Ronald. *IDRISI Selva Tutorial*. Worcester: ClarkLabs, 2012b.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. *Matriz Energética e Elétrica*. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 15 jun. 2020.

ESRI. *extAhp20 - Analytic Hierarchy Process for ArcGIS*. Disponível em: <<https://www.arcgis.com/home/item.html?id=bb3521d775c94b28b69a10cd184b7c1f>>. Acesso em: 15 jun. 2020.

FERNANDES, L. C *et al.* MODELAGEM DE RISCO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS: UMA VISÃO GERAL. *SODEBRÁS*, v. 13, p. 79–84, 2018.

FERNANDES, Luiza Cintra *et al.* Fire Risk Modeling Using Artificial Neural Networks. *EngOpt 2018 Proceedings of the 6th International Conference on Engineering Optimization*. [S.l.]: Springer International Publishing, 2019. p. 938–948.

FERNANDES, Luiza Cintra *et al.* The use of remote sensing techniques by Modis (MCD45A1) images using to identify and evaluate burned areas in the metropolitan region of Belo Horizonte - MG, Brazil. *Sustentabilidade em Debate*, v. 11, n. 2, p. 143–157, 31 ago. 2020. Disponível em: <<https://periodicos.unb.br/index.php/sust/article/view/28145>>. Acesso em: 3 jun. 2021.

FIX, Evelyn; HODGES, J. L. Discriminatory Analysis. Nonparametric Discrimination: Consistency Properties. *International Statistical Review / Revue Internationale de Statistique*, v. 57, n. 3, p. 238, dez. 1989.

FLEISS, Joseph L.; COHEN, Jacob; EVERITT, B. S. Large sample standard errors of kappa and weighted kappa. *Psychological Bulletin*, v. 72, n. 5, p. 323–327, nov. 1969.

FONSECA, Bráulio Magalhães. Conceitos e Práticas de Geodesign aplicados ao ordenamento territorial do município de São Gonçalo do Rio Abaixo. 2015. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1843/BUBD-A2VFSM>>.

FONSECA MOTTA, Silvio *et al.* AMPLIANDO DO DATA-DRIVEN E KNOWLEDGE-DRIVEN PARA PROPOR O VISUAL-DRIVEN NA ANÁLISE DE MULTICRITÉRIOS: ESTUDO DE CASO DE MODELAGEM EM GRASSHOPPER+RHINO3D Going Beyond Data-Driven and Knowledge-Driven to Propose Visual-Driven Evaluation in Multicriteria Ana. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 69, n. 8, 2016. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/43978>>. Acesso em: 15 fev. 2021.

FOODY, Giles M. Explaining the unsuitability of the kappa coefficient in the assessment and comparison of the accuracy of thematic maps obtained by image classification. *Remote Sensing of Environment*, v. 239, 15 mar. 2020.

GOOGLE EARTH PRO 7.3.3. UHE Itutinga, MG. Coordenadas 21°17'31,44"S

e 44°37'30,00"W. Data de Visualização: 01/02/2020. Data da Imagem: 22/10/2018. .
[S.l: s.n.]. , 2018

GOOGLE EARTH PRO 7.3.3. UHE Itutinga, MG. Coordenadas 21°17'31,44"S e 44°37'30,00"W. Data de Visualização: 01/02/2020. Data da Imagem: 31/03/2007. .
[S.l: s.n.]. , 2007

GOOGLE EARTH PRO 7.3.3. UHE Itutinga, MG. Coordenadas 21°17'31,44"S e 44°37'30,00"W. Data de Visualização: 01/12/2020. Data da Imagem: 23/06/2020. .
[S.l: s.n.]. , 2020

GUERRA, Sinclair Mallet-Guy; CARVALHO, Antomar Viegas De. Um paralelo entre os impactos das usinas hidrelétricas e termoelétricas. *Revista de Administração de Empresas*, v. 35, n. 4, p. 83–90, 1995.

IBGE, Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. *Manual Técnico da Vegetação Brasileira*. Rio de Janeiro: [s.n.], 1992.

IBGE, Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. *Manual Técnico da Vegetação Brasileira*. Rio de Janeiro: [s.n.], 2012a.

IBGE, Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. *Mapa de Clima Do Brasil. Mapas Temáticos*. [S.l: s.n.]. , 2012b

JR, PONTIUS, Robert Gilmore. Quantification Error Versus Location Error in Comparison of Categorical Maps. *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 66, n. 8, p. 1011–1016, 2000. Disponível em: <http://web.pdx.edu/~nauna/articles/Pontius_2000_aug_1011-1016.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2021.

LANDIS, J Richard; KOCH, Gary G. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, v. 33, n. 1, p. 159–174, 1977.

MAS, Jean-François *et al.* Inductive pattern-based land use/cover change models: A comparison of four software packages. *Environmental Modelling & Software*, v. 51, p. 94–111, jan. 2014. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364815213002016>>.

MAS, Jean François *et al.* Inductive pattern-based land use/cover change models: A comparison of four software packages. *Environmental Modelling and Software*, v. 51, p. 94–111, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.09.010>>. Acesso em: 30 nov. 2020.

MINAS GERAIS. Lei nº 20.922, de 16 de outubro de 2013. , 2013, p. 1–9. Disponível em: <<https://www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa/completa-nova-min.html?tipo=LEI&num=20922&comp=&ano=2013&texto=consolidado>>. Acesso em: 15 jun. 2020.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. *Biodiversidade Brasileira: avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira*. Brasília: [s.n.], 2002.

MONSERUD, Robert A.; LEEMANS, Rik. Comparing global vegetation maps with the Kappa statistic. *Ecological Modelling*, v. 62, n. 4, p. 275–293, 1992.

MOURA, Ana Clara Mourão. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios. 2007, Florianópolis: INPE, 2007. p. 2899- 2906. Disponível em: <<http://martes.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.13.14.41/doc/2899-2906.pdf>>. Acesso em: 15 fev. 2021.

MOURA, Ana Clara Mourão; JANKOWSKI, Piotr. CONTRIBUIÇÕES AOS ESTUDOS DE ANÁLISES DE INCERTEZAS COMO COMPLEMENTAÇÃO ÀS ANÁLISES MULTICRITÉRIOS-"SENSITIVITY ANALYSIS TO SUITABILITY EVALUATION" Contributions to Uncertainties Analyses as a Supplement to Multi-Criteria Analyses-"Sensitivity Analysis to. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 68, n. 4, 18 abr. 2016. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44274>>. Acesso em: 15 fev. 2021.

OLIVEIRA, A. L. S. *et al.* COMPARAÇÃO E VALIDAÇÃO DA MODELAGEM ESPACIAL DE RISCOS DE INCÊNDIOS CONSIDERANDO DIFERENTES MÉTODOS DE PREDIÇÃO. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v. 23, n. 4, 2017. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/bcg/article/view/56796>>. Acesso em: 3 jun.

2021.

OLIVEIRA, A. L. S. *MODELAGEM ESPACIAL DE PREDIÇÃO DE RISCOS DE INCÊNDIOS COM LÓGICA FUZZY, COMPARAÇÃO E VALIDAÇÃO*. 2013. 1–162 f. UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO, 2013.

OLIVEIRA, A. L. S.; NERO, M. A. Application of Fuzzy Logic in Prediction of Fire in João Pessoa City. *Brazil. Communications in Computer and Information Science*, v. 399, p. 323–334, 2013. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/292183940>>. Acesso em: 3 jun. 2021.

OLIVEIRA, Cassandra. *O MÉTODO DE AVALIAÇÃO POR MÚLTIPLOS CRITÉRIOS COMO APOIO AO PLANEJAMENTO AMBIENTAL: APLICAÇÃO EXPERIMENTAL NO CERRADO CENTRAL DO AMAPÁ, BRASIL*. 2009. 1–111 f. Fundação Universidade Federal do Amapá, 2009.

OLIVEIRA, Marianne Silva. *Detecção de mudanças de uso e cobertura da terra no Sinclinal Moeda (MG) no período de 1991 a 2011 e previsões de mudanças futuras através de modelo espacial de simulação*. 2012. 1–67 f. Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.

PALACIOS OREJUELA, Iván Fernando. *Generación de un modelo de crecimiento tendencial urbano de la ciudad de Macas (Ecuador) al año 2030, mediante técnicas de modelación espacial multivariable*. 2020. 1–146 f. Universitat de Barcelona, 2020. Disponível em: <http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/171813/1/TFM_Palacios_Orejuela_Ivan_Fernando.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2021.

PARIZI, Maria Giovana et. al. *Mapa de Unidades Geotécnicas da Região Metropolitana de Belo Horizonte*. . Belo Horizonte: [s.n.], 2010. Disponível em: <http://www.rmbh.org.br/central.php?tema=Plano_Metropolitano-PDDI>.

PONTIUS JR, Robert Gilmore; MILLONES, Marco. Death to Kappa: Birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. *International Journal of Remote Sensing*, v. 32, n. 15, p. 4407–4429, 2011. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/233196329_Death_to_Kappa_Birth_of_qu

antity_disagreement_and_allocation_disagreement_for_accuracy_assessment/link/0deec531e1ea538616000000/download>.

PRADO, Hélio Do. *Pedologia Fácil: Aplicações na Agricultura*. Piracicaba: ESALQ/USP, 2007.

QUEIROZ, G. L.; SALAMUNI, E.; NASCIMENTO, E. R. Knickpoint finder: A software tool that improves neotectonic analysis. *Computers and Geosciences*, v. 76, n. April 2018, p. 80–87, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2014.11.004>>.

QUÉMÉNEUR, J. J. G. *et al.* Carta geológica - Folha Lavras SF 23-X-C-I, 1:100.000. p. 1, 2002. Disponível em: <<http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/>>.

RAPOSO, Amanda Almeida. *DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS DE ABRANGÊNCIA NOS PLANOS DE CONSERVAÇÃO E USO DO ENTORNO DE RESERVATÓRIOS ARTIFICIAIS DE HIDRELÉTRICAS NO ESTADO DE MINAS GERAIS: CRITÉRIOS ATUAIS E CONTRIBUIÇÕES PARA SUA EFETIVIDADE*. 2020. 1–232 f. UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, Belo Horizonte, 2020. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1843/34040>>. Acesso em: 13 fev. 2021.

ROCHA, Nicole Andrade Da; CASAGRANDE, Pedro; MOURA, Ana Clara Mourão. Análise Combinatória e Pesos de Evidência na Produção de Análise de Multicritérios em Modelos de Avaliação. *Revista GeoSIG*, v. 10, p. 49–74, 2018. Disponível em: <<http://www.revistageosig.wixsite.com/geosig>>.

SAATY, Thomas L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, v. 15, n. 3, p. 234–281, 1 jun. 1977. Disponível em: <<https://www.scienceopen.com/document?vid=ce62fc56-3def-4e78-a242-a82fc09575a5>>. Acesso em: 3 jun. 2021.

SAATY, Thomas L.; VARGAS, Luis G. *Prediction, Projection, and Forecasting*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1991.

SACRAMENTO, Bruna Henrique. *ANÁLISE MULTICRITÉRIO APLICADA AO ZONEAMENTO AMBIENTAL EM PARTE DA REGIÃO METROPOLITANA DE*

LONDRINA. 2016. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.

SALAMUNI, Eduardo *et al.* Knickpoint Finder: ferramenta para a busca de geossítios de relevante interesse para o geoturismo. *Boletim Paranaense de Geociências*, v. 70, n. 70, p. 200–208, 2013.

SANGERMANO, Florencia; EASTMAN, J. Ronald; ZHU, Honglei. Similarity Weighted Instance-based Learning for the Generation of Transition Potentials in Land Use Change Modeling. *Transactions in GIS*, v. 14, n. 5, p. 569–580, 1 out. 2010. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/j.1467-9671.2010.01226.x>>. Acesso em: 30 nov. 2020.

SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de.; RIBEIRO, J. F. *Cerrado: ecologia e flora*. 2 v ed. Brasília: Embrapa Cerrados, 2008. Disponível em: <<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:CERRADO+Ecologia+e+Flora#1>>. Acesso em: 15 jun. 2020.

SANTOS, H. G. dos; *et al.* *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3ª ed. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), 2013. 353 p. [S.l: s.n.], 2013.

SATHISH KUMAR, D.; ARYA, D. S.; VOJINOVIC, Z. Modeling of urban growth dynamics and its impact on surface runoff characteristics. *Computers, Environment and Urban Systems*, p. 124–135, 2013.

SELBY, M. J. Hillslope materials and processes. *Hillslope materials and processes.*, p. 254, 1982.

SOARES-FILHO, B.; *et al.* Modelagem de dinâmica de paisagem: concepção e potencial de aplicação de modelos de simulação baseados em automato celular. *Megadiversidade*, v. 3, p. 74–86, 2007. Disponível em: <http://www.conservacao.org/publicacoes/files_mega3/9modelagemdedinamica.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2020.

SOARES, Flávia Gama. *PLANO AMBIENTAL DE CONSERVAÇÃO E USO DO ENTORNO DOS RESERVATÓRIOS DO SETOR ELÉTRICO: UMA PESQUISA USANDO O MÉTODO DELPHI*. 2005. 180 f. Universidade Federal de Pernambuco,

2005.

SOUSA, Wanderley Lemgruber De. *IMPACTO AMBIENTAL DE HIDRELÉTRICAS: UMA ANÁLISE COMPARATIVA DE DUAS ABORDAGENS*. 2000. 1–160 f. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2000.

SOUZA, Fabiano Érico Vieira De *et al.* Compartimentação do relevo baseada em parâmetros morfométricos: uma proposta de índice global de dissecação do relevo. *Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento*, p. 5513–5524, 2017.

STEINITZ, Carl *et al.* A sustainable path? Deciding the future of La Paz. *Environment*, v. 47, n. 6, p. 24–38, 1 jul. 2005. Disponível em: <<https://arizona.pure.elsevier.com/en/publications/a-sustainable-path-deciding-the-future-of-la-paz>>. Acesso em: 3 jun. 2021.

STICH, Bethany *et al.* Using multi-criteria decision making to highlight stakeholders' values in the corridor planning process. *Journal of Transport and Land Use*, v. 4, n. 3, 29 dez. 2011.

TOLMASQUIM, M. *O Modelo Institucional do Setor elétrico Brasileiro e seus Resultados*. . Rio de Janeiro: Seminário Internacional ABCE – FEPAC – SINAENCO. , 2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. *Atlas Digital das Águas de Minas*. Disponível em: <<http://www.atlasdasaguas.ufv.br/>>. Acesso em: 15 jun. 2020.

VALADARES, Alana de Almeida. *Análise Da Dinâmica Do Uso E Cobertura Do Solo Sobre a Vulnerabilidade Ambiental Em Área Do Distrito Federal*. 2017. 1–197 f. Universidade de Brasília, 2017.

VAN SOESBERGEN, Arnout. *A Review of Land-Use Change Models*. . [S.l: s.n.], 2016. Disponível em: <www.unep-wcmc.org>. Acesso em: 15 jun. 2020.

WIND, Yoram; SAATY, Thomas L. MARKETING APPLICATIONS OF THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS. *Management Science*, v. 26, n. 7, p. 641–658, 1980.

WOLF, Cristina Santos. *O Método AHP-revisão Conceitual e Proposta de Simplificação Dissertação de Mestrado*. 2008. 9 f. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/12401/12401_1.PDF>.

XAVIER, Ana Paula Campos; SILVA, Richarde Marques Da. Modelagem Temporal Dinâmica Do Uso E Ocupação Do Solo Baseado Em Sig Para a Bacia Do Rio Tapacurá (Pe). *Geociências*, v. 37, n. 1, p. 193–210, 2018.

XIONG, Xiong *et al.* Interaction effects of climate and land use/land cover change on soil organic carbon sequestration. *Science of the Total Environment*, v. 493, p. 974–982, 5 set. 2014.

YANG, Jingyun. *MEASUREMENT OF AGREEMENT FOR CATEGORICAL DATA*. 2007. 1–165 f. The Pennsylvania State University, 2007.

ANEXO A

Validação 2020 real versus simulado

```

Number of total runs      :      1
Multi-resolution VALIDATE :      Categorical Image Comparison
=====
Comparison image file    :      SIM08_landcov_predict_2020
Reference image file     :      uso_2020
Strata/Mask image file   :      N/A

Number of valid strata:   1; Number of valid categories:   14

//Beginning of run:      1
Resolution scale:       1 x 1

                        Classification agreement/disagreement
                        According to ability to specify accurately quantity and
                        allocation
-----
-----
                        Information of Quantity
-----
-----
Information of Allocation      No[n]      Medium[m]
Perfect[p]
-----
Perfect[P(x)]                P(n) = 0.4610      P(m) = 0.9871      P(p)
= 1.0000
PerfectStratum[K(x)]         K(n) = 0.4610      K(m) = 0.9871      K(p)
= 1.0000
MediumGrid[M(x)]             M(n) = 0.4605      M(m) = 0.9862      M(p)
= 0.9760
MediumStratum[H(x)]          H(n) = 0.0714      H(m) = 0.2991      H(p)
= 0.3006
No[N(x)]                      N(n) = 0.0714      N(m) = 0.2991      N(p)
= 0.3006
-----
-----
AgreementChance = 0.0714
AgreementQuantity = 0.2276
AgreementStrata = 0.0000
AgreementGridcell = 0.6872
DisagreeGridcell = 0.0008
DisagreeStrata = 0.0000
DisagreeQuantity = 0.0129

      Kno = 0.9852
      Klocation = 0.9988
      KlocationStrata = 0.9988
      Kstandard = 0.9804
//Ending of run:      1

```

