

Rafael Torres Cartolano
Luciano Cavalcante de Jesus França
Lucas de Castro Moreira da Silva
Soraya Alvarenga Botelho
Fausto Weimar Acerbi Júnior



Definição de áreas prioritárias para restauração ecológica

análise de decisão multicritério
como instrumento para o
planejamento ambiental



2022

Rafael Torres Cartolano
Luciano Cavalcante de Jesus França
Lucas de Castro Moreira da Silva
Soraya Alvarenga Botelho
Fausto Weimar Acerbi Júnior

**Definição de áreas prioritárias para
restauração ecológica: análise de
decisão multicritério como
instrumento para o planejamento
ambiental**



Pantanal Editora

2022

Copyright© Pantanal Editora

Editor Chefe: Prof. Dr. Alan Mario Zuffo

Editores Executivos: Prof. Dr. Jorge González Aguilera e Prof. Dr. Bruno Rodrigues de Oliveira

Diagramação: A editora. **Diagramação e Arte:** A editora. **Imagens de capa e contracapa:** Canva.com e imagem de satélite do Google Maps. **Revisão:** O(s) autor(es), organizador(es) e a editora.

Conselho Editorial

Grau acadêmico e Nome

Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos
Profª. MSc. Adriana Flávia Neu
Profª. Dra. Allys Ferrer Dubois
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior
Profª. MSc. Aris Verdecia Peña
Profª. Arisleidis Chapman Verdecia
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva
Prof. Dr. Bruno Gomes de Araújo
Prof. Dr. Caio Cesar Enside de Abreu
Prof. Dr. Carlos Nick
Prof. Dr. Claudio Silveira Maia
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos
Prof. Dr. Cristiano Pereira da Silva
Profª. Ma. Dayse Rodrigues dos Santos
Prof. MSc. David Chacon Alvarez
Prof. Dr. Denis Silva Nogueira
Profª. Dra. Denise Silva Nogueira
Profª. Dra. Dennyura Oliveira Galvão
Prof. Dr. Elias Rocha Gonçalves
Prof. Me. Ernane Rosa Martins
Prof. Dr. Fábio Steiner
Prof. Dr. Fabiano dos Santos Souza
Prof. Dr. Gabriel Andres Tafur Gomez
Prof. Dr. Hebert Hernán Soto Gonzáles
Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira
Prof. MSc. Javier Revilla Armesto
Prof. MSc. João Camilo Sevilla
Prof. Dr. José Luis Soto Gonzales
Prof. Dr. Julio Cezar Uzinski
Prof. MSc. Lucas R. Oliveira
Profª. Dra. Keyla Christina Almeida Portela
Prof. Dr. Leandro Argentel-Martínez
Profª. MSc. Lidiene Jaqueline de Souza Costa Marchesan
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann
Prof. MSc. Marcos Pisarski Júnior
Prof. Dr. Marcos Pereira dos Santos
Prof. Dr. Mario Rodrigo Esparza Mantilla
Profª. MSc. Mary Jose Almeida Pereira
Profª. MSc. Núbia Flávia Oliveira Mendes
Profª. MSc. Nila Luciana Vilhena Madureira
Profª. Dra. Patrícia Maurer
Profª. Dra. Queila Pahim da Silva
Prof. Dr. Rafael Chapman Auty
Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke
Prof. Dr. Raphael Reis da Silva
Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes
Prof. Dr. Ricardo Alves de Araújo (*In Memoriam*)
Profª. Dra. Sylvana Karla da Silva de Lemos Santos
MSc. Tayronne de Almeida Rodrigues
Prof. Dr. Wéverson Lima Fonseca
Prof. MSc. Wesclen Vilar Nogueira
Profª. Dra. Yilan Fung Boix
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme

Instituição

OAB/PB
Mun. Faxinal Soturno e Tupanciretã
UO (Cuba)
IF SUDESTE MG
Facultad de Medicina (Cuba)
ISCM (Cuba)
UFESSPA
UEA
UNEMAT
UFV
AJES
UFGD
UEMS
IFPA
UNICENTRO
IFMT
UFMG
URCA
ISEPAM-FAETEC
IFG
UEMS
UFF
(Colômbia)
UNAM (Peru)
IFRR
UCG (México)
Mun. Rio de Janeiro
UNMSM (Peru)
UFMT
Mun. de Chap. do Sul
IFPR
Tec-NM (México)
Consultório em Santa Maria
UFJF
UEG
FAQ
UNAM (Peru)
SEDUC/PA
IFB
IFPA
UNIPAMPA
IFB
UO (Cuba)
UFMS
UFPI
UFG
UEMA
IFB
UFPI
FURG
UO (Cuba)
UFT

Conselho Técnico Científico
- Esp. Joacir Mário Zuffo Júnior
- Esp. Maurício Amormino Júnior
- Lda. Rosalina Eufrausino Lustosa Zuffo

Ficha Catalográfica

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

D313 Definição de áreas prioritárias para restauração ecológica [livro eletrônico] : análise de decisão multicritério como instrumento para o planejamento ambiental / Rafael Torres Cartolano... [et al.]. – Nova Xavantina, MT: Pantanal, 2023.
57p.; il.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN 978-65-81460-60-0

DOI <https://doi.org/10.46420/9786581460600>

1. Degradação ambiental. 2. Reflorestamento. 3. Proteção ambiental. I. Cartolano, Rafael Torres. II. França, Luciano Cavalcante de Jesus. III. Silva, Lucas de Castro Moreira da. IV. Botelho, Soraya Alvarenga. V. Acerbi Júnior, Fausto Weimar.

CDD 363.7

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422



Nossos e-books são de acesso público e gratuito e seu download e compartilhamento são permitidos, mas solicitamos que sejam dados os devidos créditos à Pantanal Editora e também aos organizadores e autores. Entretanto, não é permitida a utilização dos e-books para fins comerciais, exceto com autorização expressa dos autores com a concordância da Pantanal Editora.

Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000.
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil.
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp).
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br

Apresentação

Estratégias voltadas à conservação de ecossistemas naturais e a restauração ecológica de ambientes degradados tornou-se uma questão prioritária nos acordos climáticos e fóruns para o desenvolvimento sustentável em todo o mundo. No caso do Brasil, o país recentemente assumiu um conjunto de compromissos junto à Conferência das Partes (COP-21) na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Mudanças do Clima (UNFCCC) e reforçados na COP-26, quanto ao objetivo de reflorestar 12 milhões de hectares de florestas nativas até 2030. Em novembro de 2022, no Egito, acontecerá a 27ª sessão da Conferência das Partes, a COP-27, onde o país será confrontado a apresentar resultados e mecanismos de planejamentos já pré-estabelecidos.

Diante do cenário com possíveis ações de restauração florestal em curso ou com necessidades iminentes de execução, é que desenvolvemos esta obra. Como forma de contribuir com a literatura nacional, aos governos e partes interessadas, propomos uma aplicação prática metodológica para o planejamento ambiental e tomada de decisões na fase de priorização de áreas para ações de restauração. Utilizamos como estudo de caso o município de Lavras, em Minas Gerais para demonstrar o uso da análise de decisão multicritério como instrumento para o zoneamento de áreas prioritárias para a restauração ecológica no referido município. Acreditamos no potencial das ferramentas de SIG (sistema de informações geográficas), como instrumento de gestão e inteligência geográfica. O arcabouço metodológico proposto neste livro apresenta muitas vantagens quanto à flexibilidade de uso e aplicação prática, podendo ser replicado para outros municípios ou regiões do Brasil e, podendo assim auxiliar diretamente na alocação dos recursos investidos em programas e práticas de recuperação ecológica.

O estudo foi desenvolvido em meados de 2020 junto ao curso de Engenharia Florestal do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Muitas perguntas são respondidas ao longo deste estudo, mas novas perguntas são estabelecidas para outras lacunas no conhecimento sobre áreas degradadas e estratégias de conservação de ecossistemas, podendo ser um estímulo e contribuição à futuras outras pesquisas, dentre elas àquelas também relacionadas ao mercado de carbono regulado e voluntário, assim como as oportunidades viáveis de promoção de estratégias para

geração de créditos e pagamentos por serviços ambientais, que potencializem a conservação dos biomas brasileiros e manutenção da biodiversidade.

Vale destacar aqui o mais recente decreto federal nº 11.075, de 19 de maio de 2022, que estabelece procedimentos para elaboração de Planos Setoriais de Mitigação das Mudanças Climáticas e institui o Sistema Nacional de Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa. Vale também destacar a Lei de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) (Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021) que institui a Política Nacional de PSA e ajudará produtores rurais, povos indígenas, quilombolas e comunidades tradicionais a conservar áreas de preservação e as diretrizes para um programa federal de pagamentos por esses serviços ambientais prestados. Dito isto, é que reforçamos a importância de estudos como o aqui apresentado, pois podem ser passos iniciais para a identificação de zonas rurais aptas ou não para também compor programas de pagamentos por serviços ambientais.

Neste estudo, partimos do pressuposto de que a análise de decisão multicritério (AMC) implementada em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) e pautado na abordagem matemática AHP, ao integrarem os elementos físicos-naturais da paisagem poderiam definir áreas prioritárias para restauração. Dentre as principais contribuições deste estudo estão a proposição de indicadores/parâmetros da paisagem para integração de modelo de identificação de áreas mais sensíveis e que demandem de priorização para serem restauradas.

Esta obra representa o primeiro trabalho de identificação de áreas prioritárias para a conservação e/ou restauração a partir da elaboração de um mapeamento geoespacial para o município de Lavras (MG). Apesar da escala local, municipal, neste trabalho pretendemos trazer luz ao debate da gestão municipal sobre os ecossistemas frágeis e das ações de regularidade junto às legislações ambientais referentes ao uso e cobertura do solo. Desta forma, o trabalho pode ser amplamente considerado para outras regiões do país e propiciar uma maior facilitação na escolha adequada dos melhores locais para restauração ambiental.

Esperamos com este livro oferecer fundamentos e informações verdadeiramente eficazes para ajudar no fortalecimento da literatura de base sobre esta região do estado de Minas Gerais, mas também esperamos com este material prestar-se como referência bibliográfica para gestores públicos, privados,

estudantes, profissionais das diversas áreas das ciências ambientais, florestais, agrárias e correlatas interessados em manejo de ecossistemas e tomada de decisão espacial para estratégias de recuperação de áreas degradadas.

Os autores.

Sumário

Apresentação	4
Resumo	8
Visão geral	9
Recuperação das áreas degradadas no Brasil	14
Análise de multicritérios no planejamento da restauração ecológica	16
Um estudo de caso para o município de Lavras, MG	19
Definição e classificação dos critérios	20
Uso e cobertura do solo	22
Distância de fragmentos florestais (DFF)	24
Áreas de Preservação Permanente (APPS)	25
Risco de potencial erosão	25
Classes de solo	27
Restrições espaciais	28
Análise de decisão AHP	28
Definição dos pesos para os subcritérios	30
Combinação linear ponderada (CLP)	32
Resultados do modelo e implicações práticas	33
Recomendações para o planejamento ambiental	40
Conclusões e Perspectivas	43
Agradecimentos	45
Referências	46
Índice Remissivo	55
Sobre os autores e as autoras	56

Resumo

Entre os principais compromissos assumidos pelo Brasil na Conferência das Partes (COP-21) na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Mudanças do Clima (UNFCCC) e reforçado na COP-26, destaca-se o desafio de reflorestar 12 milhões de hectares de florestas nativas até 2030. Nesse sentido, muitas abordagens de pesquisa podem auxiliar nestas ações, dentre elas a Análise Multicritério (AMC) no planejamento ambiental e tomada de decisões na priorização de áreas para restauração, pois permite a análise de diferentes indicadores e da estrutura biofísica da paisagem. O presente trabalho teve como objetivo demonstrar o uso da análise de decisão multicritério como instrumento para o planejamento ambiental, aplicado ao zoneamento de áreas prioritárias para a restauração ecológica. Utilizou-se como estudo de caso o município de Lavras, Minas Gerais. Utilizando da abordagem AMC e Combinação Linear Ponderada (CLP) aliada ao Processo Analítico Hierárquico (AHP) em ambiente SIG (sistema de informações geográficas), considerou-se 5 (cinco) critérios: uso e cobertura do solo, risco de potencial erosão, distância de fragmentos florestais, classes de solo e áreas de preservação permanente (APPs), que foram classificados de acordo com a sua importância. As classes de área urbana, vegetação nativa e água foram consideradas como áreas de restrição. Posteriormente, cada camada recebeu coeficientes referentes a prioridade de restauração: (I) muito baixa, (II) baixa, (III) média, (IV) alta e (V) muito alta. Os resultados obtidos revelaram 86,87% da área classificada com baixa e muito baixa prioridade e 10,53% com alta e muito alta. A combinação metodológica AMC e AHP mostrou-se ágil e eficaz, desde que sejam utilizados indicadores biofísicos condizentes com a fisiografia local, base de dados fidedigna e que os critérios sejam ponderados com prudência e embasamento técnico e científico. O arcabouço metodológico aplicado neste livro apresenta muitas vantagens quanto à flexibilidade de uso e aplicação prática, podendo ser replicado para outros municípios ou regiões do Brasil e, podendo auxiliar diretamente na alocação dos recursos investidos em programas e práticas de recuperação ecológica.

Visão geral

Em todo o mundo as paisagens naturais têm sofrido transformações significativas em virtude das atividades e pressões antrópicas. Grande parte dos solos estão em constante processo de degradação, o que tem se tornado insustentável devido a crescente exploração de recursos e obtenção de serviços (Kopittke et al., 2019).

Uma aliança global com o objetivo de restaurar e conservar os ecossistemas naturais, evitar o desmatamento e promover práticas de uso sustentável do solo foi estabelecida em 2011 na Alemanha, com o lançamento do Desafio de Bonn (Lewis et al., 2019). A meta era restaurar 150 milhões de hectares (ha) no mundo até 2020, que teve sua ampliação em 2015 com o Acordo de Paris, para um total de 350 milhões de ha até 2030 (IUCN, 2017). Na Conferência das Partes (COP-21) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Mudanças do Clima (UNFCCC), o Brasil assumiu o compromisso de reflorestar 12 milhões de ha até 2030 (Brasil, 2017) (Figura 1), que foi reforçado na COP-26, em Glasgow, Escócia. O estado de Minas Gerais se comprometeu a reflorestar 3,7 milhões de hectares em áreas rurais até 2030 (Minas Gerais, 2021).



Figura 1. Ilustração referente a década (2021 – 2030) da restauração de Ecossistemas, considerada uma oportunidade para recuperar áreas degradadas no Brasil e no mundo (Fonte: WRI BRASIL).

O desmatamento observado no bioma Mata Atlântica entre os anos de 2018 e 2019, foi de 14.502 ha (SOS Mata Atlântica, 2020), e os impactos relacionados a supressão da vegetação nativa no Brasil estão ameaçando a existência de várias espécies, considerando algumas de importância econômica (Metzger et al., 2019). A exploração desordenada, o crescimento demográfico, o uso inadequado dos solos e o desmatamento ilegal estão causando diversos problemas ambientais (Bertini et al., 2015). Uma importante consequência disso é a fragmentação dos ecossistemas, que tem se mostrado como a causa principal de alterações na estrutura e nos processos das paisagens, ocasionando a redução da biodiversidade, da estabilidade dos ecossistemas e da sua resiliência (Luther et al., 2020). Um exemplo disso é a Mata Atlântica, considerada um importante *hotspot* ecológico da biodiversidade (Esser et al., 2019), com importância global (Araujo et al., 2015) e possui grande parte de seus remanescentes florestais fragmentados, principalmente em áreas intensamente cultivadas (Silva et al., 2018). Efetivamente, o bioma é marcado pela intensa fragmentação florestal (Naegeli De Torres et al., 2019), a qual é uma das

causas principais na modificação da estrutura e dos processos de paisagens pela ação antrópica, gerando diminuição da biodiversidade, da estabilidade e da resiliência dos ecossistemas (Luther et al., 2020).

No estado de Minas Gerais, região do Brasil de importante contribuição econômica, sobretudo baseada no uso dos recursos do solo e outros recursos naturais, muitos dos seus municípios são importantes zonas de uso antrópico. Dentre eles, o município de Lavras, integrante do bioma Mata Atlântica (IBGE, 2019), apresenta grandes áreas sob uso e exploração antrópica e, algumas já comprometidas pela degradação dos solos, fato diretamente associado ao histórico de uso e manejo inadequado, que aceleram a perda da viabilidade de uso e qualidade ambiental destes ecossistemas (Moura et al., 2017). Lavras, cidade localizada no sul do estado, está inserida no bioma Mata Atlântica, possui grande parte do seu território comprometido pela degradação dos solos e exploração antrópica. Historicamente, o estado de Minas Gerais é uma região marcada pela exploração dos recursos naturais de maneira não sustentável (Rezende, 2016). Possui relevante função na economia brasileira e muitos de seus municípios são importantes áreas de exploração agrícola e mineral.

A recuperação, uso e manejo adequado dos recursos naturais, são partes de iniciativas globais que tem ganhado destaque e importância na atualidade (Sartori, 2010). Acordos mundiais têm sido firmados e, o Brasil tem tomado parte nessas metas assumindo compromissos de recuperação ambiental (BRASIL, 2017). Na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Mudanças do Clima, o país responsabilizou-se pelo reflorestamento de 12 milhões de hectares de florestas nativas até 2030 (Fredes, 2016).

No entanto, essas práticas são financeiramente onerosas demandando destinação precisa dos recursos e, assim planejamento minucioso para alcançar melhores benefícios ambientais. Neste sentido, é capital a integração dessas práticas em um ambiente SIG, associada à análise multicritério (AMC), para determinar as áreas prioritárias a serem recuperadas, obtendo resultados mais efetivos e economicamente viáveis (Valente; Vettorazzi, 2008; Vettorazzi, 2006).

Dessa forma, a restauração de ecossistemas é hoje reconhecida como uma prioridade na sustentabilidade a longo prazo (Aronson; Alexander, 2013; Valente et al., 2017). No Brasil, o primeiro Código Florestal a tratar do tema é de 1934, atualizado e sancionado em 1965 como Lei 4.771/65 e revisado em 2012 para Lei nº 12.651/12, assume um importante papel como instrumento para esses fins

definindo os limites da exploração dos recursos naturais, por exemplo, a partir da determinação das Áreas de Preservação Permanente (APPs) (França et al., 2018), sendo que, a manutenção da vegetação nativa contida nessas áreas é de inteira responsabilidade dos proprietários da terra. O reflorestamento por meio de ações de recuperação ecológica, tem se mostrado a opção mais viável e economicamente acessível quando se deseja provisão de água de boa qualidade e redução dos custos do seu tratamento (Marmontel; Rodrigues, 2015). A Lei também prevê a obrigatoriedade nos casos de a vegetação ter disso eliminada. Entretanto, a recuperação incide elevados custos econômicos, sendo de grande importância a implementação de políticas públicas para auxiliar e otimizar os processos. Logo, a minimização de custos na restauração ecológica é uma máxima esperada (Strassburg et al., 2019), o que reforça a importância da definição de áreas prioritárias.

Com relação a espacialização dessas ações, uma das estratégias mais efetivas e econômicas no manejo dos recursos naturais é a priorização de áreas para a restauração, por meio de uma Análise Multicritério (AMC). Essa técnica permite a investigação de diferentes características da paisagem em camadas de informação dentro de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), que gera resultados eficientes em um curto espaço de tempo, na forma de mapas, com uma elevada confiabilidade (Sartori et al., 2012; Silveira et al., 2014; Mello et al., 2016; Vettorazzi; Valente, 2016; Valente et al., 2017; França et al., 2019; França et al., 2020; Almeida et al., 2020; Silva; Vieira, 2020). Para a aplicação da AMC, existem diversas possibilidades metodológicas, que se diferenciam apenas na maneira de agrupar os critérios. A mais utilizada é a Combinação Linear Ponderada (CLP), bastante eficaz na priorização de áreas (Sartori et al., 2012; França et al., 2019; Almeida et al., 2020), demonstrando coerência com a realidade observada. A CLP se diferencia dos outros métodos pela forma de agregação dos critérios (Malczewski, 2004). Nesta técnica os critérios determinados pelo estudo são padronizados a uma escala comum, pesos são atribuídos e, então através de uma média ponderada esses critérios são combinados entre si.

Sendo assim, a proposta metodológica aqui apresentada baseia-se no pressuposto de que as atividades de restauração ecológica estão, atualmente, entre as estratégias de conservação mais dispendiosas, e que o mapeamento por meio da AMC e SIG, podem auxiliar na definição dos sítios prioritários para restauração em escala municipal. Além disso, a falta de informações técnicas ou

científicas relacionadas a mapeamentos de áreas com ecossistemas frágeis ou prioritários para ações de conservação e recuperação nesta região, reforçam a importância desta estratégia, sobretudo, com o intuito de auxiliar em políticas públicas, projetos de reflorestamentos, ou indicar áreas com passivo ambiental. Logo, dentre as principais contribuições desta proposta metodológica está a recomendação de indicadores da paisagem para integração do modelo de priorização de áreas para restauração ecológica, que considera as restrições técnicas de elementos da paisagem mais comuns relacionadas a esta abordagem. Desta maneira, para validar a proposta foi realizada uma modelagem para identificar as áreas prioritárias para a restauração ecológica no município de Lavras, região dos Campos das Vertentes, Minas Gerais, Brasil. Pretendeu-se também com esta obra, ao elencar as regiões prioritárias para restauração, fornecer uma contribuição em termos de ordenamento territorial e planejamento ambiental, auxiliando em estratégias de alocação de verbas pelo poder público e, conseqüentemente auxiliar na elaboração mais precisa de políticas públicas para maior aproveitamento dos recursos e benefícios ambientais.

Recuperação das áreas degradadas no Brasil

De acordo com a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) (Lei Federal nº 6.938/81), a degradação da qualidade ambiental é definida como: “a alteração adversa das características do meio ambiente”. Sánchez (2008), define a degradação ambiental como “qualquer alteração adversa dos processos, funções ou componentes ambientais, ou como uma alteração adversa da qualidade ambiental”. Já o decreto nº 97.632, de 10 de abril de 1989, que delibera sobre a regulamentação do art. 2º, inciso VIII, da PNMA, considera degradação como “os processos resultantes dos danos ao meio ambiente, pelos quais se perdem ou se reduzem algumas de suas propriedades, tais como a qualidade ou capacidade produtiva dos recursos ambientais” (BRASIL, 1989).

As causas da degradação ambiental são classificadas em três grupos: sociais, ambientais e econômicas (Lima et al., 2009), sendo o primeiro relacionado à ação antrópica, resultante do uso desordenado dos recursos naturais e o segundo a fatores abióticos como o clima, o tipo de solo, o relevo, a posição geográfica, entre outros. E, as causas econômicas estão diretamente ligadas às consequências das atividades produtivas e do consumo de bens e serviços (Lima et al., 2009).

No Brasil entre os anos de 2001 a 2019, cerca de 56 milhões de hectares de cobertura arbórea foram perdidos, equivalente a uma diminuição de 11% desde o ano 2000 (Global Forest Watch, 2020). O bioma Mata Atlântica está entre o conjunto de ecossistemas mais ameaçados de extinção do mundo, considerada um *hotspot* de biodiversidade (Laurance, 2009), onde o desmatamento observado nos anos de 2018 e 2019 foi de 14.502 hectares (SOS Mata Atlântica, 2020) e grande parte de seus remanescentes florestais se encontra fragmentado, com alta perturbação e pouco protegido (Viana, 1995). A fragmentação de habitat é responsável por reduzir de 13 a 75% da biodiversidade e proporciona prejuízos aos processos ecossistêmicos fundamentais (Teixeira et al., 2018).

Neste sentido as práticas de recuperação têm ganhado grande atenção, representando um dos maiores desafios deste século, devido ao grande nível de perturbação antrópica dos ecossistemas naturais (Sartori, 2010). Segundo a Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, o termo recuperação é definido como: “restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original”, este mesmo conceito, muito frequentemente é utilizado

na legislação atual com o nome de recomposição, de acordo com o Decreto 7830 de 17/10/2012, que dispõe sobre o Sistema de Cadastro Ambiental Rural. A recuperação de ecossistemas degradados é uma prática muito antiga, há registros de sua existência na história de nações, épocas e regiões. Porém se caracterizava como uma atividade sem muitas relações com concepções teóricas, normalmente era executada apenas como uma prática de plantio de mudas, com objetivos muito específicos (Rodrigues; Gandolfi, 2004). Atualmente a recuperação de áreas degradadas é considerada como uma área de conhecimento, também chamada de Restauração Ecológica por alguns autores (Liu et al., 2020; Helmer et al., 2020). A recuperação da vegetação nativa possui grande importância ambiental, social e econômica para o país, impacta positivamente na biodiversidade, na qualidade dos solos e dos recursos hídricos além de contribuir com a redução e absorção de emissões de carbono (IPEA, 2010).

No ano de 2015, aconteceu a 21ª Conferência das Partes (COP21) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Mudanças do Clima (UNFCCC), composta por 195 países, que teve como finalidade reforçar a posição dos envolvidos em relação às mudanças climáticas (Tobin et al., 2017). Na ocasião, o Brasil apresentou as metas de reduzir as emissões de gases estufa em 37% abaixo dos níveis de 2005, até 2025 e, 43% até 2030. Elevar em 18% a participação em sua matriz energética de bioenergia sustentável e 45% de energias renováveis e o compromisso de restaurar 12 milhões de hectares de florestas nativas até 2030 (Hissa et al., 2019). Neste contexto, surge o Pano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (Planaveg), com o intuito de expandir e fortalecer as políticas públicas e amparar as ações necessárias para a recuperação das florestas brasileiras (Assad et al., 2019).

Brançalion et al. (2022) mostra que a restauração florestal ativa no Brasil tem potencial para gerar 2,5 milhões de empregos diretamente através da cadeia de suprimentos de restauração de ecossistemas, caso o Brasil cumpra sua meta de restaurar 12 milhões de hectares de terras até 2030, isto equivale a 0,42 empregos por hectare, ou seja, para cada 2 hectares de terras degradadas restaurados, um novo emprego seria gerado.

Análise de multicritérios no planejamento da restauração ecológica

O planejamento ambiental é fundamental para conhecer e organizar o espaço e propor informações com agilidade de respostas. A análise de multicritérios (AMC), é uma técnica muito utilizada em processos de tomada de decisão que envolve muitas variáveis. Sua integração com o ambiente SIG foi considerada um avanço, se tornando amplamente difundida na área de análise ambiental. Existem inúmeros exemplos de aplicações da técnica na literatura (Malczewski, 1999; Chen et al., 2001; Valente et al., 2017; Oliveira, 2019; França et al., 2020; Almeida et al., 2020).

De acordo com Malczewski (2004), o uso da técnica de decisão multicritério aliadas ao SIG, pode ser entendida como um processo de combinação e transformação de dados em uma decisão final. Este processo depende da utilização de dados georreferenciados, das concepções dos tomadores de decisão, pautadas em regras específicas e da manipulação desses dados. Desta maneira, vale ressaltar dois pontos: a capacidade que o SIG tem na coleta, armazenamento, recuperação, manipulação e análise dos dados e, a integração entre os dados e os critérios dos tomadores de decisões. Os critérios são a base dessas decisões e são classificados em fatores e restrições. Os fatores são aqueles que possuem alguma característica que contribua para determinada alternativa dentro do objetivo da análise, enquanto as restrições podem ser compreendidas como categorias restritivas dos fatores, eliminando essas áreas da análise (Eastman, 2001).

Para compilar os diferentes fatores, os métodos mais utilizados são o da combinação linear ponderada (CLP) e o Booleano (Malczewski, 2004). No método Booleano os critérios são reduzidos a afirmações lógicas, muito utilizado em decisões extremas, onde as opções são binárias e a CLP permite que os fatores recebam pesos em relação a sua importância relativa ao objetivo do estudo. Os fatores devem ser padronizados e, posteriormente, pesos devem ser concedidos a cada um deles, para que assim sejam combinados entre si através de uma média ponderada.

Muitos são os métodos para definir os pesos dos fatores, o mais promissor e mais utilizado é o processo analítico hierárquico (AHP). Desenvolvido por Saaty (1980) e utilizado pela primeira vez, para o uso em um SIG, por Rao et al. (1991). A grande aprovação do método pelos tomadores de decisão, se

fundamenta na consistência entre os pesos atribuídos aos fatores e a importância no contexto do objetivo do trabalho (Mendoza; Prabhu, 2000).

O AHP tem como fundamento a lógica da comparação pareada, na qual todos os critérios recebem um valor de importância, relativo ao processo de tomada de decisão e posteriormente são comparados entre si. Para a criação de uma matriz de comparação, os valores devem variar em uma escala contínua de nove pontos (Saaty, 1980). A validação dos resultados da matriz é feita por meio da taxa de consistência (TC), que apresenta a probabilidade de que os valores de comparação tenham sido gerados de maneira aleatória. Os valores de TC recomendados para que não haja a necessidade de refazer o processo são, os inferiores a 0,10 (10%).

De acordo com Malczweski (2000), a CLP se tornou popular devido a sua fácil implementação em SIGs, utilizando modelagem cartográfica e operações de álgebra de mapas. São vários os exemplos da aplicação da AMC aliada a CLP de forma satisfatória. Almeida et al. (2020), utilizaram da metodologia para definir áreas prioritárias para a recuperação florestal na bacia do Rio Doce, em Minas gerais, utilizando dos critérios: distância da rede de drenagem, distância do fragmento de vegetação nativa, declividade, classe de solo e precipitação. O estudo obteve mapas com as soluções adequadas para conduzir ações de recuperação.

Sartori et al. (2012) na definição de áreas prioritárias à conectividade entre fragmentos florestais, considerou proximidade entre fragmentos de maior área nuclear, proximidade da cobertura florestal, proximidade da rede hidrográfica, distância aos centros urbanos, declividade e erodibilidade do solo. A metodologia demonstrou ser adequada ao mapeamento das áreas prioritárias a restauração, visando a conexão entre os fragmentos florestais. Outro exemplo é o trabalho de Valente et al. (2017), que definiu áreas prioritárias para a restauração florestal no rio Quilombo. A metodologia foi considerada eficiente, apresentando um mapa com uma solução adequada para conduzir as ações de recuperação.

Na Figura 2 é apresentada uma ilustração didática da lógica de funcionamento da metodologia AMC e sua integração com AHP em ambiente computacional de SIG.

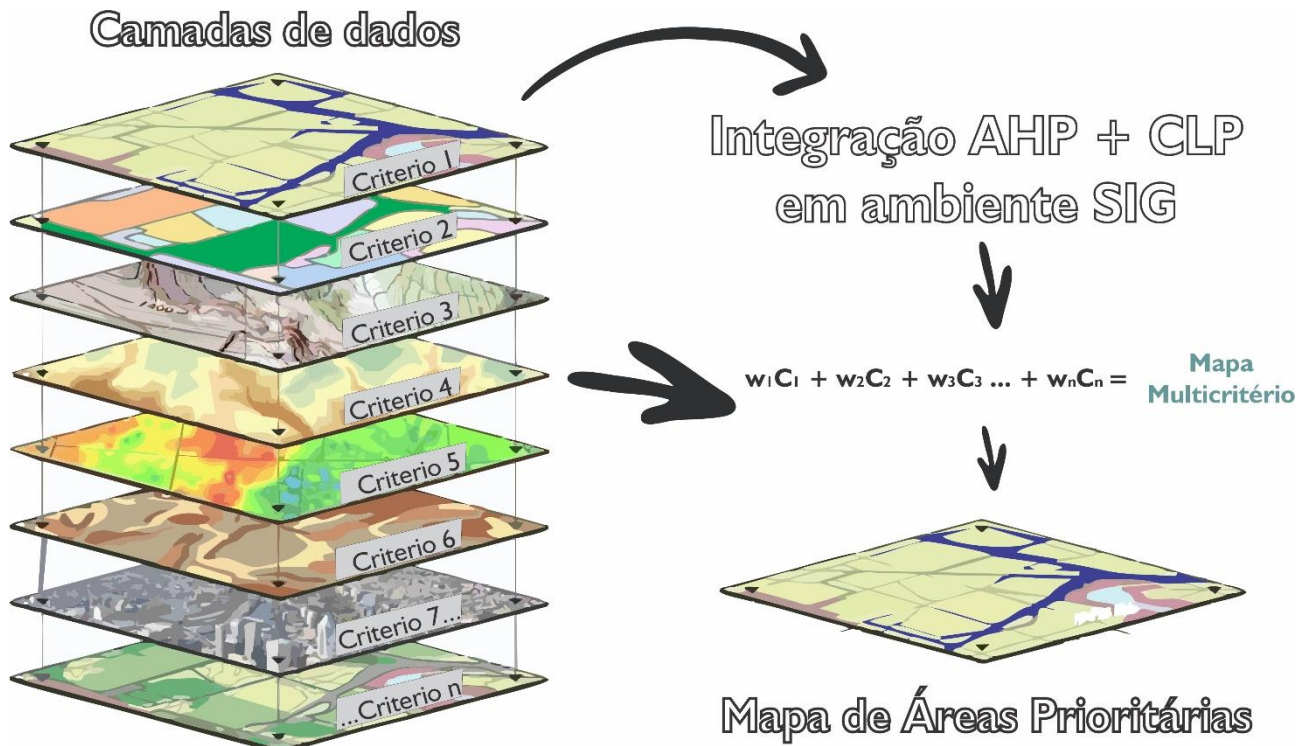


Figura 2. Funcionamento da metodologia AMC em ambiente SIG. Fonte: elaboração dos autores.

Um estudo de caso para o município de Lavras, MG

A área analisada neste estudo corresponde ao município de Lavras, mesorregião geográfica do Campo das Vertentes, sul do estado de Minas Gerais (Figura 3), localizado entre as coordenadas 21° 14' 45" de latitude sul, 44° 59' 59" de longitude oeste e 918 metros de altitude média. A área territorial do município é de 564,74 km² e a população estimada é de 103.773 pessoas (IBGE, 2019).

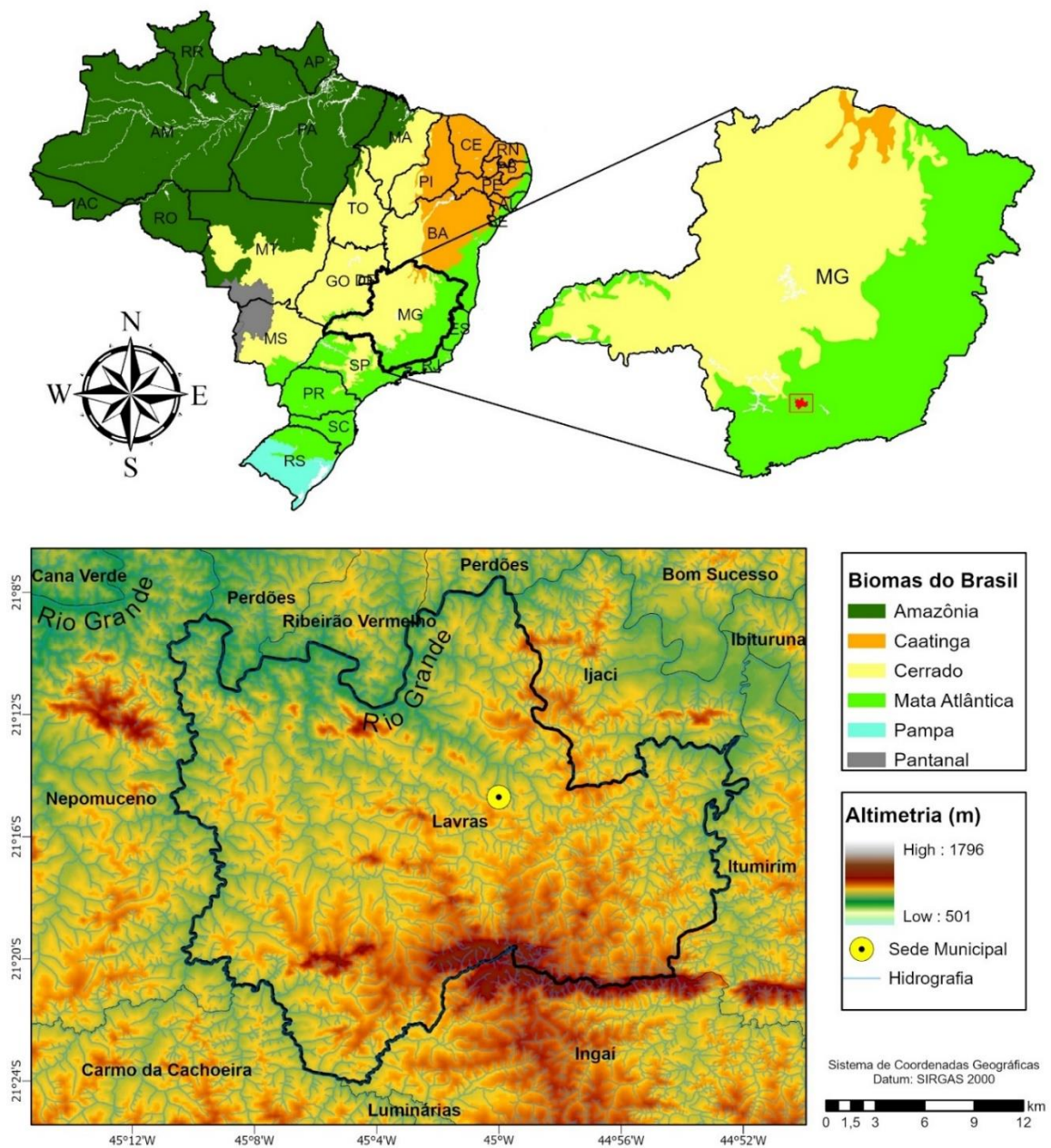


Figura 3. Localização do município de Lavras no contexto do estado de Minas Gerais, Brasil.

O clima do município segundo a classificação de Köppen (Alvares et al., 2013), é do tipo Cwa (Dantas et al., 2007), temperado chuvoso (mesotérmico), com inverno seco e verão chuvoso, a precipitação média anual é de 1.530 mm e a temperatura média anual é de 19,4 °C, tendo, no mês mais frio e no mês mais quente, temperaturas médias de 15,8°C e 22,1°C, respectivamente. A formação florestal característica da região é a Floresta Tropical Semidecídua Estacional Montana (Carvalho; Scolforo, 2008), inserida na unidade geomorfológica do Planalto Atlântico, especificamente na Superfície do Alto Rio Grande (Silva, 2018). O relevo predominante do município é o ondulado, com áreas entre 8 e 20% de declividade (Santos et al., 2005). O município apresenta como classes de solo predominantes Latossolo Vermelho Amarelo (48,7%) e Argissolo Vermelho Amarelo (31,6%), além de fragmentos de Latossolo Vermelho, Argissolo Vermelho, Cambissolo Háplico e Neossolo Litólico (FEAM, 2010). O município possui 9.574 hectares de áreas cultivadas ou destinada à colheita, sendo 72,01% cultura do café e 20,08% do milho (IBGE, 2018), que se destacam como uma das principais atividades econômicas do território lavrense.

DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS CRITÉRIOS

Para a identificação das áreas prioritárias para a recuperação foi utilizada a análise multicritério (AMC), integrada ao sistema de informações geográficas (SIG), associada ao método analítico hierárquico (Em inglês AHP – *Analytic Hierarchy Process*) e a combinação linear ponderada (CLP). Para a definição e classificação dos critérios, além de fundamentação baseada em outros estudos sobre o tema (Valente; Vettorazzi, 2008; Vettorazzi; Valente, 2016; Sartori et al., 2012; Mello et al., 2016; Valente et al., 2017; França et al., 2019; Almeida, et al., 2020), considerou-se as camadas de informação disponíveis para a região, e outras foram confeccionadas por meio de imagens orbitais do satélite Sentinel-2 (ESA, 2020) e do Modelo Digital de Elevação (MDE), disponibilizado pela plataforma Topodata (www.dsr.inpe.br/topodata), gerado a partir da imagem SRTM, com nível de resolução de 30 metros e em quadrículas compatíveis com a articulação 1:250.000 (INPE, 2008).

Os critérios (fatores ou variáveis) são as características de interesse na análise da paisagem, que auxiliam como indicadores na definição dos locais prioritários, para destinação de ações de restauração

ecológica. Considerou-se nesta proposta 5 (cinco) critérios: (i) uso e cobertura do solo, (ii) risco de potencial erosão, (iii) distância de fragmentos florestais, (iv) classes de solo e (v) áreas de preservação permanente (APPs), que foram classificados de acordo com a sua importância. As classes de área urbana, vegetação nativa e água foram consideradas como áreas de restrição.

Todos os dados vetoriais deste estudo foram convertidos para o formato *raster*, com resolução espacial de 30 metros e escala de saída de 1:60.000, conforme a relação matemática cartográfica detalhada em Tobler (1987), visando a normalização e adequação das camadas de diferentes escalas. Os procedimentos metodológicos executados no estudo são descritos no esquema ilustrativo da Figura 4.

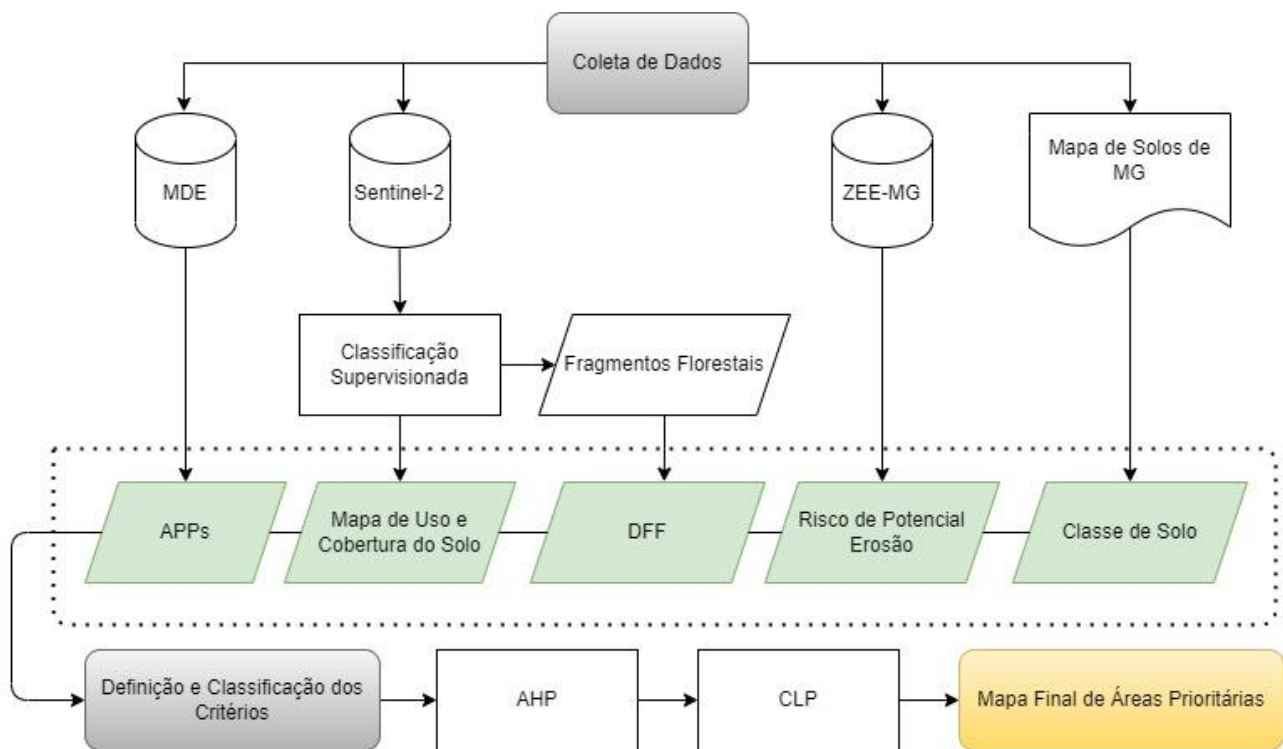


Figura 4. Fluxograma detalhando os procedimentos metodológicos utilizados para a identificação das áreas prioritárias para a restauração ecológica no município de Lavras-MG. *MDE: Modelo Digital de Elevação; ZEE-MG: Zoneamento Ecológico Econômico de Minas Gerais.

USO E COBERTURA DO SOLO

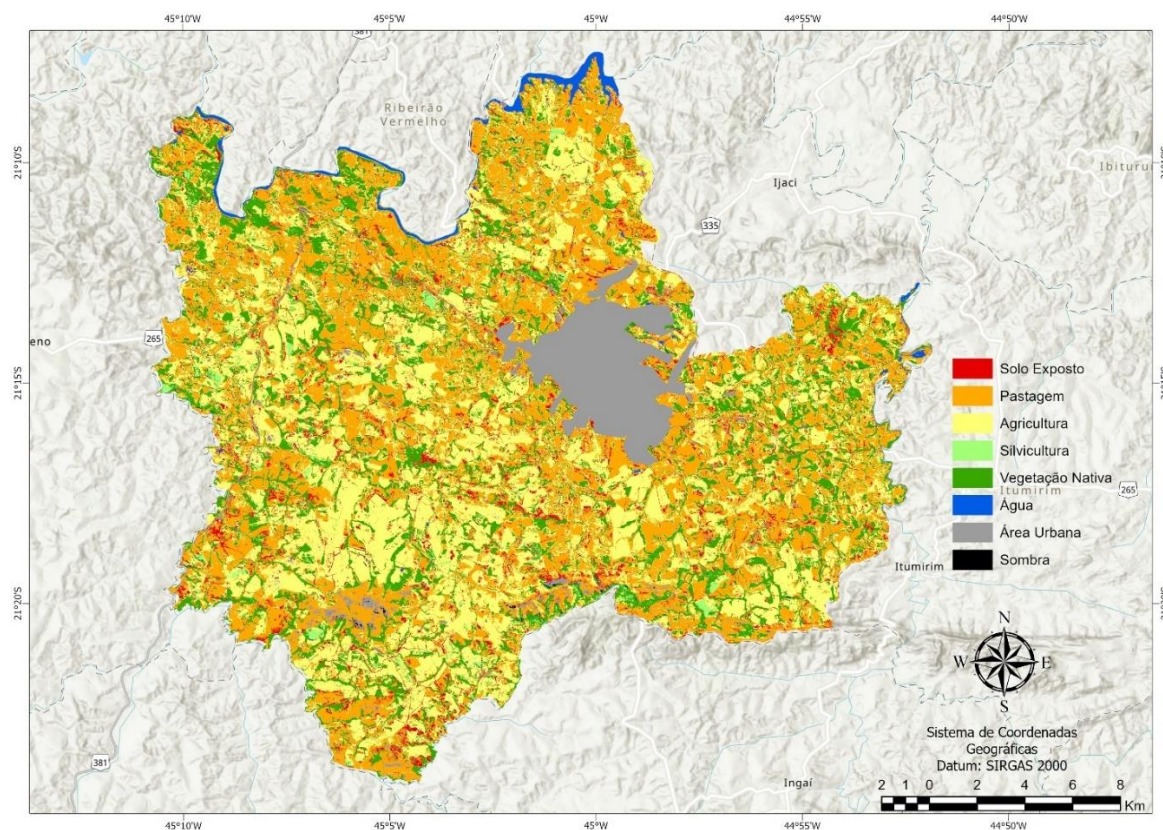


Figura 5. Mapa de uso e cobertura da terra do município de Lavras, Minas Gerais.

O mapa de uso e cobertura do solo (Figura 5), foi produzido mediante processamento digital das imagens orbitais do satélite Sentinel-2A (resolução espacial de 10 metros e capacidade de revisita de 5 dias). Foram utilizadas as cenas referentes à passagem do dia 11 de maio de 2020 e com o auxílio do software ArcGIS 10.5 (ESRI, 2016) foi criado um mosaico das duas cenas que englobavam toda a área de estudo. Este mosaico serviu de base para a realização de uma classificação supervisionada pelo algoritmo da Máxima Verossimilhança, que segundo estudos de Costa et al. (2016), possibilita quantificar de forma consistente as áreas e a porcentagem de cada classe de uso e cobertura do solo. O mapa foi validado por meio do Índice Kappa (K) e do Índice de Exatidão Global. Tais classes, demonstradas na Figura 5, foram definidas baseadas em estudos anteriores (Sartori et al., 2012; Sousa et al., 2015; França et al., 2019), adaptadas de acordo com o objetivo do trabalho e com o observado nas instâncias reais, conforme verificado nas imagens.

Com a finalidade de verificar a confiabilidade do mapa de uso e cobertura da terra gerado, realizou-se uma avaliação da exatidão por meio do Índice Kappa, de acordo com a Equação 1. O índice

Kappa é um dos principais métodos utilizados para avaliar a concordância entre a verdade terrestre e o mapa temático (Gasparini et al., 2013).

$$K = \frac{N \sum X_{ii} - \sum X_{i+} X_{+i}}{N^2 - \sum X_{i+} X_{+i}} \quad (\text{Eq. 1})$$

em que: K é o Índice Kappa de concordância; N é o número de observações (verdades de campo); X_{ii} são as observações na linha i e coluna i (diagonal principal); X_{i+} total marginal da linha i ; X_{+i} é total marginal da coluna i .

A estatística Kappa varia de 0 a 1, em que 0 sugere que a classificação não é melhor do que uma classificação aleatória dos pixels, e que quanto mais se aproxima de 1, maior é a concordância, logo, a referida estatística é mais adequada que a classificação aleatória de pixels (Tabela 1) (Gasparini et al., 2013). Além disso, o coeficiente Kappa analisa o acordo esperado para o valor nominal das classes e é calculado com base em todos os elementos da matriz de confusão (Carvalho; Scolforo, 2008).

Tabela 1. Valores para avaliar o grau de concordância a partir do índice Kappa (Cohen 1960).

Valor do Kappa	Concordância
< 0,20	i - Pobre
0,21 - 0,40	ii - Fraca
0,41 - 0,60	iii - Moderada
0,61 - 0,80	iv - Boa
0,81 - 1,00	v - Muito Boa

DISTÂNCIA DE FRAGMENTOS FLORESTAIS (DFF)

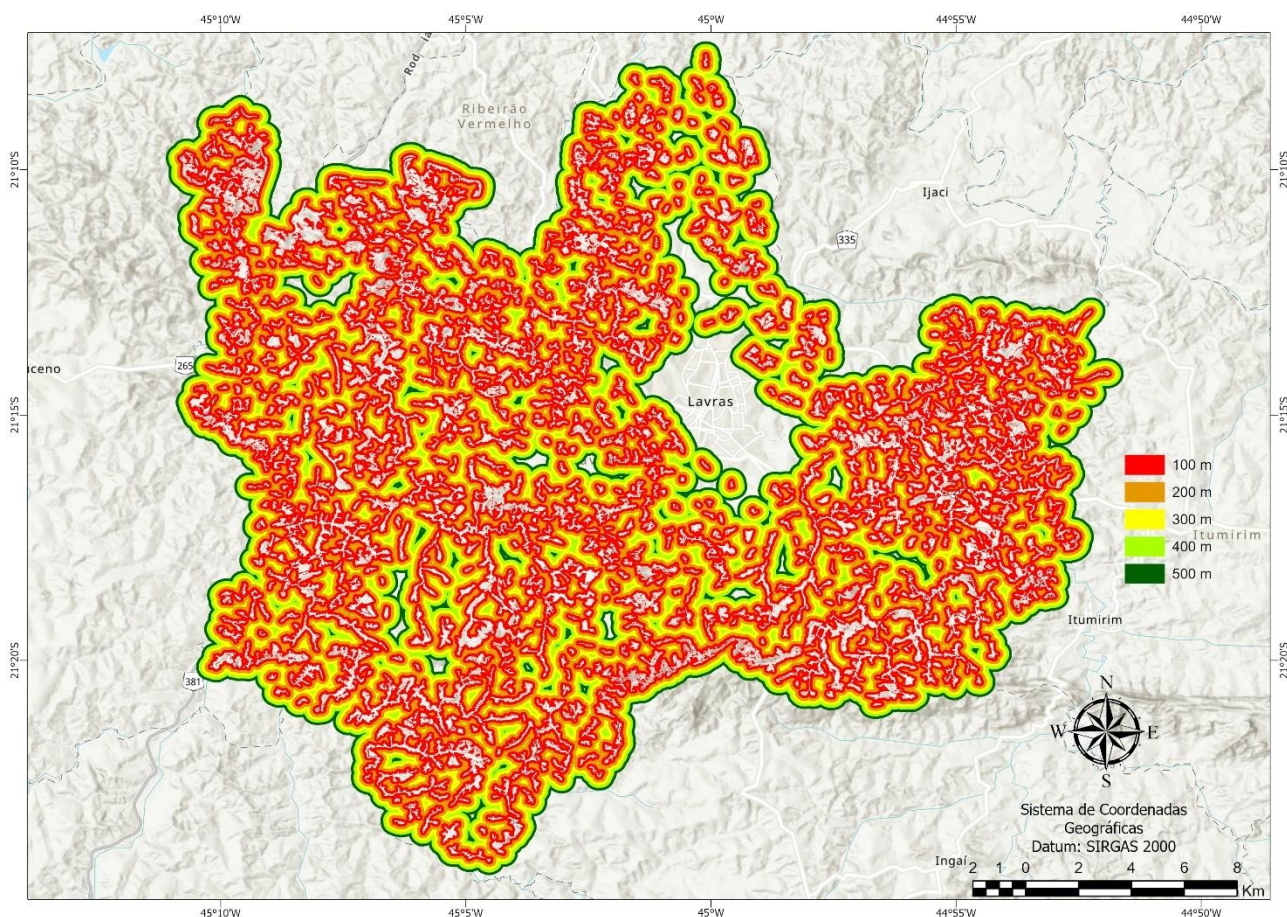


Figura 6. Mapa referente à camada de Distância dos Fragmentos Florestais.

A partir do mapa de uso e cobertura do solo, foi extraída a classe de vegetação nativa. Foram selecionados os fragmentos maiores que 1 hectare (ha), pautando-se em fundamentos técnicos de outros estudos (Valente; Vettorazzi, 2008; Sartori et al., 2012). Posteriormente, foi calculada a distância euclidiana dos fragmentos, classificados em: (1) até 100; (2) de 100 a 200; (3) 200 a 300; (4) 300 a 400; e (5) 400 a 500 metros de distância dos fragmentos (Figura 6), sendo que, quanto mais próximo do fragmento de vegetação nativa, maior é a prioridade atribuída. A DFF foi considerada como um critério de importância na análise, por representar grande relevância na recuperação dos fragmentos, na manutenção e no estabelecimento da biodiversidade, permitindo conectividade às áreas e fonte de matrizes para as práticas de recuperação (Schaadt; Vibrans, 2015).

ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE (APPS)

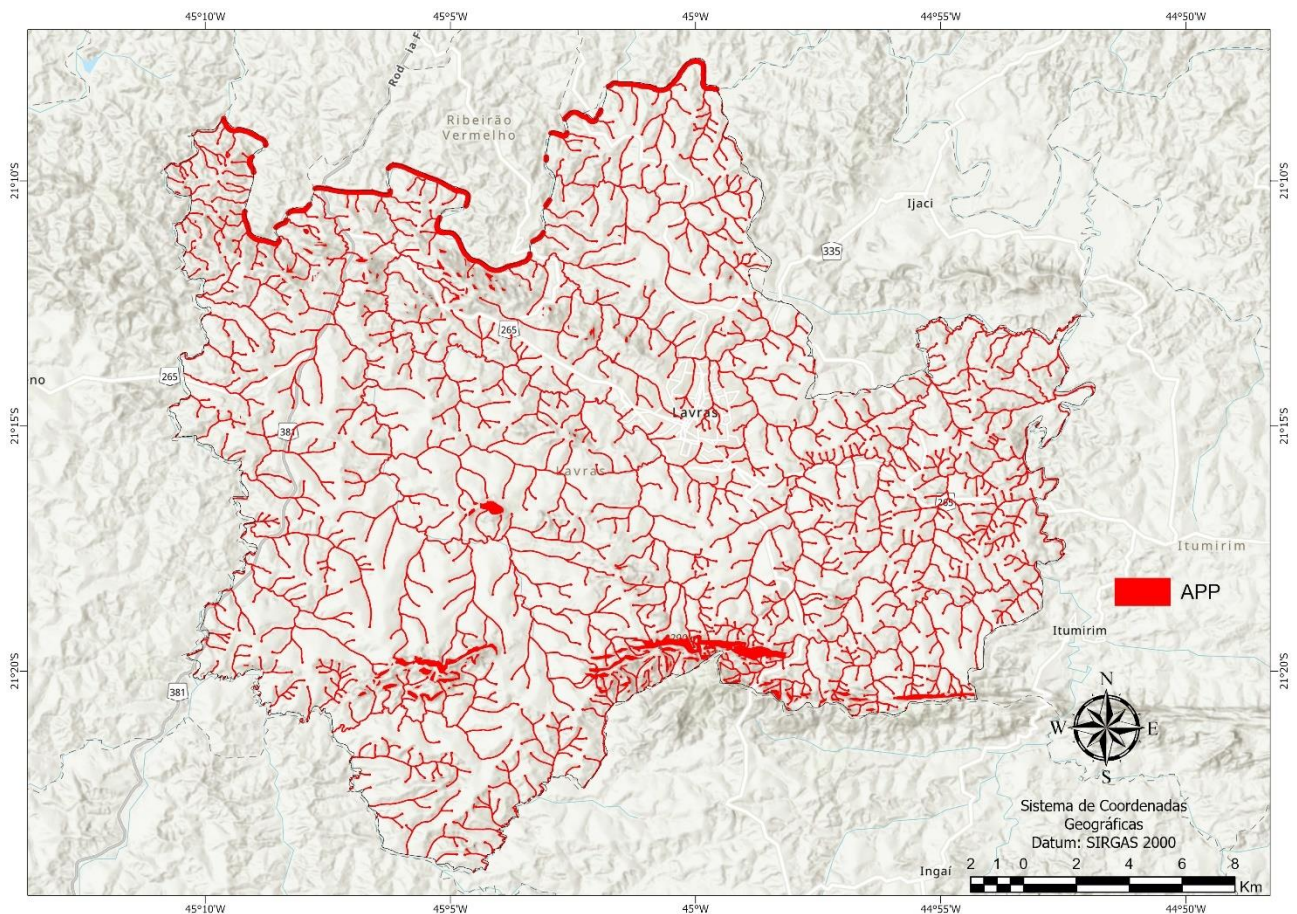


Figura 7. Mapa referente à camada de dados das Áreas de Preservação Permanente do município de Lavras, Minas Gerais.

As APPs são áreas protegidas pela Lei 12.651/2012, do novo Código Florestal Brasileiro, que possuem a função ambiental de preservar os recursos naturais, a paisagem, a biodiversidade e assegurar o bem-estar das populações humanas (SFB, 2019). A camada contendo as APPs do município de Lavras (Figura 7), foi obtida por meio do processamento do Modelo Digital de Elevação (MDE) (INPE, 2008), seguindo metodologia proposta por Oliveira et al. (2020). Posteriormente foi transformada em formato *raster*, com resolução espacial de 30m. As APPs são um fator relevante no estudo, pois já são áreas de potencial priorização para recuperação, isto é, além de requisitos legais que devem ser cumpridos, elas exercem ainda uma função essencial na conservação do solo e da água, contribuem com a redução da erosão do solo e do assoreamento dos cursos d'água, bem como atuam como filtro de substâncias tóxicas e poluentes (Vilela et al., 2021).

RISCO DE POTENCIAL EROSIÃO

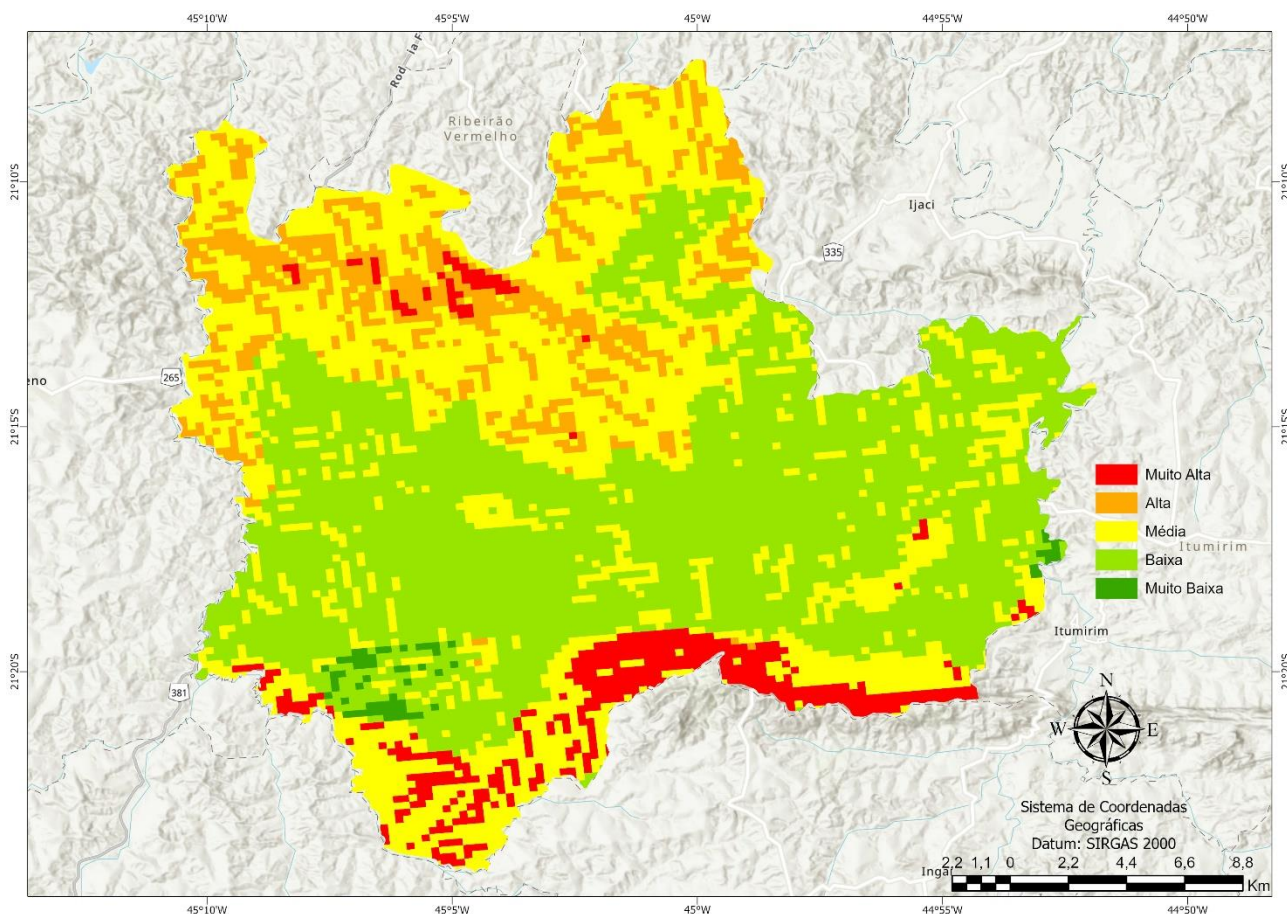


Figura 8. Mapa referente à camada de dados do Potencial de Erosão do solo do município de Lavras, Minas Gerais.

O critério risco de potencial erosão (Figura 8), foi obtido do trabalho de Zoneamento Ecológico-econômico de Minas Gerais (1:100.000) (Scolforo et al., 2016), que no contexto do diagnóstico da vulnerabilidade natural do estado, reuniu diversos fatores condicionantes, como a susceptibilidade de solos à erosão. O mapa do risco de potencial erosão originalmente foi confeccionado considerando quatro indicadores: erodibilidade do solo, erosividade das chuvas, cobertura vegetal e relevo (Scolforo et al., 2016). A erosão pode ser definida como o processo de desagregação, transporte e deposição de partículas do solo, tendo como principais agentes causadores a água e o vento (Bertoni; Lombardi Neto, 1999), sendo a erosão por água, a mais expressiva no que se refere à degradação do solo em termos globais (Blanco-Canqui; Lal, 2008).

CLASSES DE SOLO

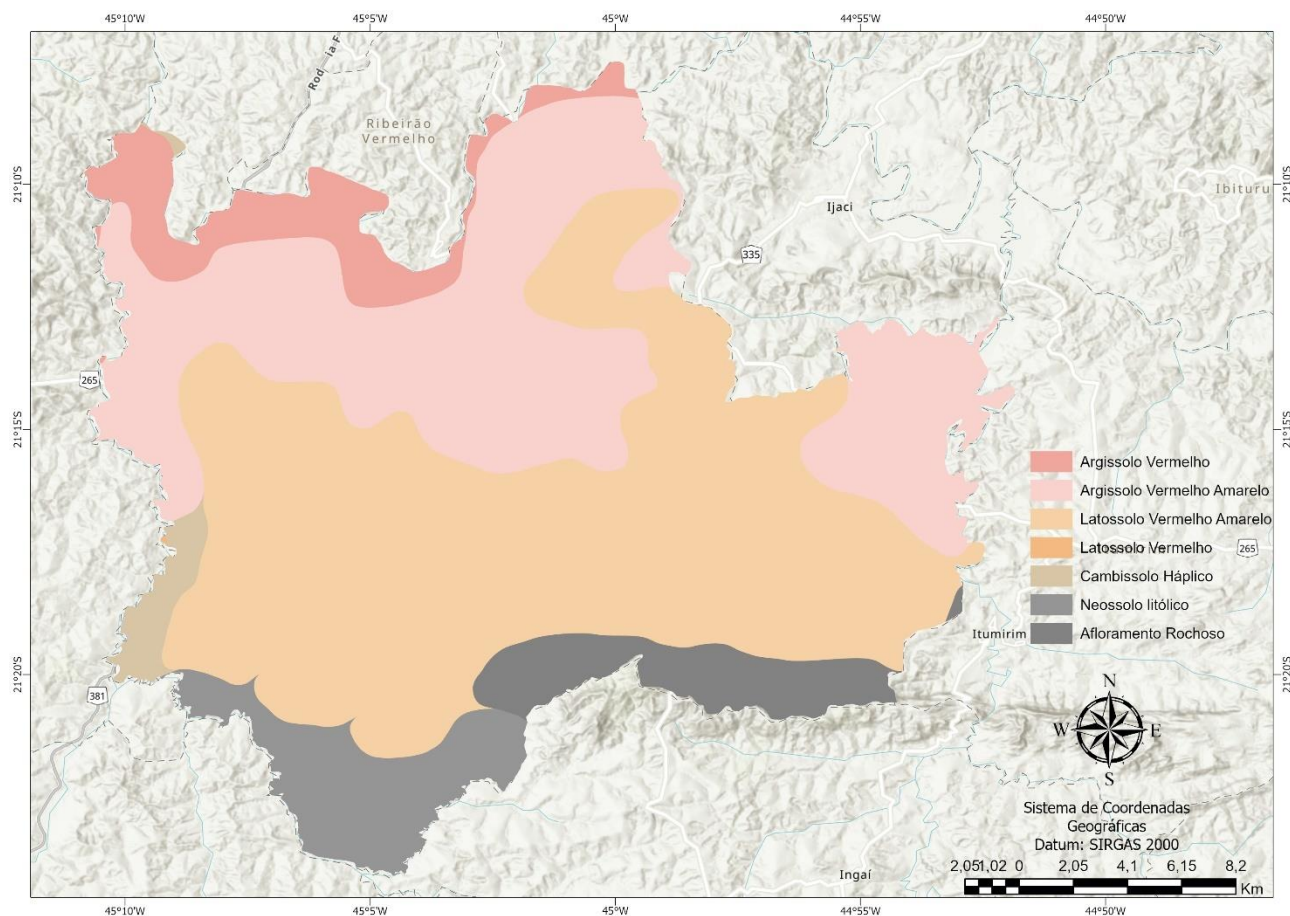


Figura 9. Mapa referente à camada de dados dos tipos de solos encontrados no município de Lavras, Minas Gerais.

A camada referente às classes de solo encontrados no município de Lavras (Figura 9), foi obtida por meio do mapeamento dos solos de Minas Gerais, na escala 1:650.000 (FEAM, 2010). Para a utilização do critério, foi levado em consideração apenas o primeiro e segundo níveis categóricos do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2013). Os tipos de solos possuem uma relevante relação com o potencial de degradação, isto é, a susceptibilidade do solo pode variar dependendo das suas características pedológicas, as quais influenciam diretamente características e propriedades físicas, químicas e biológicas (Silveira et al., 2014).

RESTRIÇÕES ESPACIAIS

As restrições são os locais que apresentam alguma limitação no ponto de vista espacial para a recuperação, não sendo propícios ou factíveis para tal. Desta forma para a confecção dessa camada foram extraídas as classes área urbana, vegetação nativa, água e sombra do mapa de uso e cobertura do solo.

ANÁLISE DE DECISÃO AHP

Visando a redução da subjetividade no processo de atribuição dos pesos de importâncias para a sobreposição dos critérios (camadas, *layers* ou planos de informações) utilizados neste estudo, foi utilizada a técnica de teoria da decisão do Processo Analítico Hierárquico ou *Analytic Hierarchy Process* (AHP), proposto por Saaty (1980). Os pesos dos critérios expressam a sua importância em relação ao objetivo do trabalho, o qual é identificar as áreas prioritárias para a restauração ecológica no município de Lavras (MG). Este método permite a comparação pareada entre cada critério, com o objetivo de obter, quantitativamente, a importância relativa de cada um deles (Sartori et al., 2012). O fundamento matemático e o processo metodológico podem ser verificados com mais detalhes em Saaty (1980) e em França et al. (2020).

Assim, como proposto em trabalhos de Eastman et al. (1993), Malczewski (1999), Chen et al. (2001), Valente e Vettorazzi (2008) e Sartori et al. (2012), foi utilizada a Técnica Participatória para auxiliar na definição dos pesos e, fundamentação técnica baseada em outros estudos já realizados com modelos semelhantes ao desenvolvido aqui. Os critérios foram comparados entre si e classificados de acordo com a sua importância relativa, mediante valores atribuídos, respeitando uma escala que varia de 1 a 9 (Tabela 2) (Saaty, 1980, 2008; Saaty; Vargas, 1991).

Tabela 2. Escala fundamental de preferências no processo de comparação de pares de acordo com Saaty (1980; 2008). Julgamentos verbais das preferências entre a alternativa i e a alternativa j .

Valor a_{ij}	Definição	Explicação
1	A_i é igualmente importante quanto A_j	Os objetos i e j são de igual importância
3	A_i é um pouco mais importante do que A_j	O objeto i é pouco mais importante do que o objeto j
5	A_i é fortemente mais importante do que A_j	A experiência e os julgamentos indicam que o objeto i é fortemente mais importante do que o objeto j

Valor a_{ij}	Definição	Explicação
7	A_i é muito mais importante do que A_j	O objeto i é muito forte ou demonstravelmente mais importante do que o objeto j
9	A_i é extremamente mais importante do que A_j	O objeto i é absolutamente mais importante do que o objeto j
2,4,6,8	Valores intermédios	Valores intermédios, por exemplo, um valor de 8 significa que o objeto i está a meio caminho entre forte e absolutamente mais importante do que o objeto j
*Reciprocidades dos números acima	Se uma atividade tem um dos números acima (por exemplo, 3) comparado com uma segunda atividade, então a segunda atividade tem valor recíproco (isto é, 1/3) quando comparada com a primeira.	

Assim sendo, com a matriz preenchida, foi calculado o Índice de Consistência (IC) e a razão ou Taxa de Consistência (TC), de acordo com as Equações 2 e 3. Para que os dados da matriz sejam considerados consistentes e não haja necessidade de refazer a análise, o IC e a TC devem ser inferiores a 10% (ou 0,10) (Saaty, 1990; França et al., 2020). Além disso, a matriz principal de comparação pareada será consistente somente se $\lambda_{max} \geq n$ (Saaty, 1991).

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (\text{Eq. 2})$$

$$TC = \frac{IC}{IR} \quad (\text{Eq. 3})$$

onde, IC é o Índice de Consistência; λ_{max} é o autovetor principal; n é o número de critérios avaliados; TC é a Taxa de Consistência; *IR é o Índice Randômico (*Valor de IR verifica-se de acordo com a dimensão n da matriz, e pode ser encontrado em Saaty, 1990).

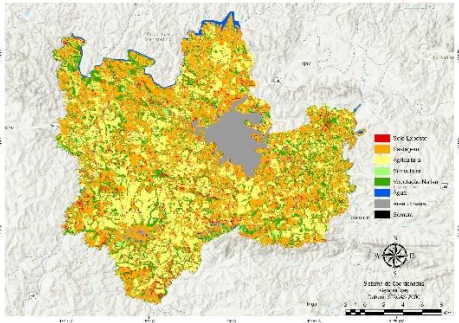
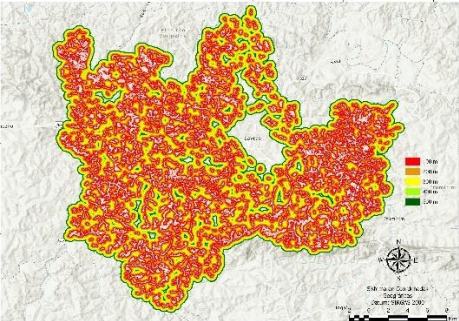
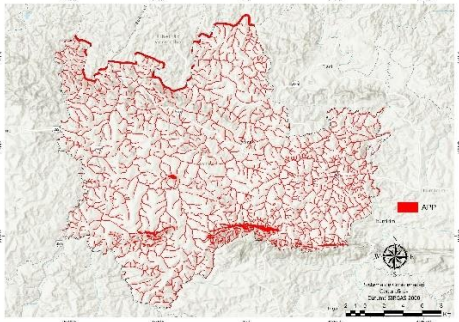
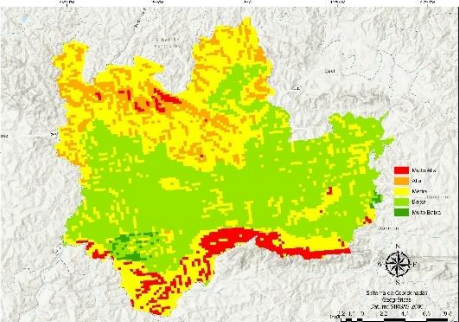
DEFINIÇÃO DOS PESOS PARA OS SUBCRITÉRIOS

Para a definição dos pesos para os subcritérios, utilizou-se uma escala de 1 a 5, fundamentada em estudos com abordagens semelhantes (Plano Diretor Florestal, 2012; Mello et al., 2016; França et al., 2019; Almeida et al., 2020). Os subcritérios que apresentam *baixa* prioridade para a recuperação receberam uma menor pontuação, já os que representam *alta* prioridade, maior pontuação. Na Tabela 3 é apresentado uma descrição das classes de prioridade de acordo com a fundamentação técnica e literatura especializada. Os subcritérios considerados como áreas restritas, foram pontuados com valor zero, notadamente representando zonas limitantes para intervenção de restauração, conforme demonstrado na Tabela 4.

Tabela 3. Classes de prioridade e seus respectivos pesos e descrições.

Classes	Pesos	Descrições
Muito Baixa	1	Áreas com a menor prioridade para restauração por apresentar baixo risco ou vulnerabilidade a degradação. Apresentam mais elevada resistência ao estresse e maiores condições de estabilidade ambiental.
Baixa	2	Áreas de baixa prioridade para restauração ecológica, sendo sítios ligeiramente resistentes ao estresse, mantendo determinado grau de estabilidade ambiental.
Média	3	Áreas com algum fator de alerta ao risco de degradação. São sítios que merecem atenção quanto aos níveis de estresse ambiental e devem ser consideradas nas estratégias de priorização para restauração.
Alta	4	Áreas de elevada prioridade para restauração ecológica devido à alta fragilidade ecossistêmica e risco de degradação. São sítios altamente suscetíveis ao estresse e com instabilidade ambiental.
Muito Alta	5	Áreas extremamente sensíveis à degradação ambiental e relevante interesse para restauração ecológica. Devem sempre compor a maior prioridade de intervenção nas estratégias de restauração.

Tabela 4. Critérios, subcritérios e seus respectivos valores. *DFF = Distância dos Fragmentos Florestais; APP = Áreas de Preservação Permanentes.

Critério	Subcritério	Pesos	Mapa
Uso e cobertura do solo	Solo exposto	5	 <p>Mapa de uso e cobertura do solo. Legenda: Solo exposto (laranja), Pastagem (verde claro), Área urbana (verde escuro), Vegetação nativa (verde), Agricultura (verde amarelo), Pastagem (verde), Silvicultura (verde escuro), Água (azul), Estrada (preto).</p>
	Área urbana	0	
	Vegetação nativa	0	
	Agricultura	2	
	Pastagem	3	
	Silvicultura	1	
	Água	0	
*DFF (m)	100	5	 <p>Mapa de distância dos fragmentos florestais (DFF). Legenda: 100m (vermelho), 200m (laranja), 300m (amarelo), 400m (verde claro), 500m (verde).</p>
	200	4	
	300	3	
	400	2	
	500	1	
*APP	Área de APP	5	 <p>Mapa de áreas de preservação permanente (APP). Legenda: APP (vermelho).</p>
Risco de Potencial Erosão	Muito baixo	1	 <p>Mapa de risco de potencial erosão. Legenda: Muito Baixo (verde), Baixo (verde amarelo), Médio (amarelo), Alto (laranja), Muito Alto (vermelho).</p>
	Baixo	2	
	Médio	3	
	Alto	4	
	Muito Alto	5	
Classes de Solo	Neossolo Litólico	5	
	Afloramento Rochoso	5	
	Cambissolo Háplico	4	
	Argissolo Vermelho-amarelo	3	
	Argissolo Vermelho	3	

Critério	Subcritério	Pesos	Mapa
	Latossolo Vermelho	1	
	Latossolo Vermelho-amarelo	1	

COMBINAÇÃO LINEAR PONDERADA (CLP)

A CLP é um dos métodos mais utilizados na AMC, devido a sua praticidade e eficiência (Voogd, 1983). Para a obtenção do mapa final, as camadas foram multiplicadas pelos respectivos pesos e então somadas (operações realizadas *pixel a pixel*), obtendo um único plano de informações, classificado em cinco classes de prioridade: (1) *muito baixa*; (2) *baixa*; (3) *média*; (4) *alta*; (5) *muito alta*, com resolução espacial de 10 metros, que posteriormente foi subtraído pela camada de restrições, de acordo com a Equação 4.

$$S = \sum_{i=1}^n w_i \times x_i \times \prod_{j=1}^k c_j \quad (\text{Eq. 4})$$

em que W_i é o peso do fator i ; X_i é o fator padronizado; k é o número de restrições e C_j restrição.

Resultados do modelo e implicações práticas

Para a obtenção do mapa final (1:60.000), com as áreas prioritárias para a restauração ecológica no município de Lavras-MG, foram gerados os mapas das camadas (*layers*) referentes a cada critério considerado no estudo. Os critérios foram hierarquizados de acordo com a importância de cada fator. O resultado da matriz pareada está apresentado na Tabela 5. O Índice de Consistência (IC) e a Taxa de Consistência (TC) foi de 0,09 e 0,08 respectivamente, valores dentro dos limites de coerência e confiabilidade aceitáveis ($<0,10$), (Saaty, 1980). O valor de λ_{max} calculado, também corroborou a adequabilidade das ponderações realizadas, que segundo Saaty (1991) a matriz de resultados será consistente quando $\lambda_{max} \geq n$. O valor aqui obtido foi de $\lambda_{max} = 5,37$. O critério que consistiu no maior peso foi o das APPs (54%), seguido do uso e cobertura do solo (24%) e risco de erosão (12%), demonstrando que as APPs são sítios de elevada prioridade no contexto da decisão da escolha de áreas para a restauração ecológica.

Tabela 5. Matriz pareada para o município de Lavras-MG. (IC= 0,09; TC= 0,08).

**	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5	Peso (%)
Fator 1	1	1/4	4	4	6	24
Fator 2	4	1	5	8	9	54
Fator 3	1/4	1/5	1	3	5	12
Fator 4	1/4	1/8	1/3	1	3	7
Fator 5	1/6	1/9	1/5	1/3	1	3

** Fator 1 = Uso e Cobertura do Solo; Fator 2 = *Áreas de Preservação Permanente*; Fator 3 = Risco de Potencial Erosão; Fator 4 = *Distância dos Fragmentos Florestais*; Fator 5 = Classes de solo.

A partir da Combinação Linear Ponderada (CLP), foi produzido o mapa final de áreas prioritárias para a restauração ecológica no município de Lavras-MG (Figura 10). O mapeamento resultou de 86,87% (ou 36.340,59 ha) da área total do município classificada com *baixa* e *muito baixa* prioridade e aproximadamente 4.406,27 ha (10,53%) com *alta* e *muito alta* prioridade. A Tabela 6 apresenta as classificações e suas respectivas áreas quantificadas.

Resultados do modelo e implicações práticas

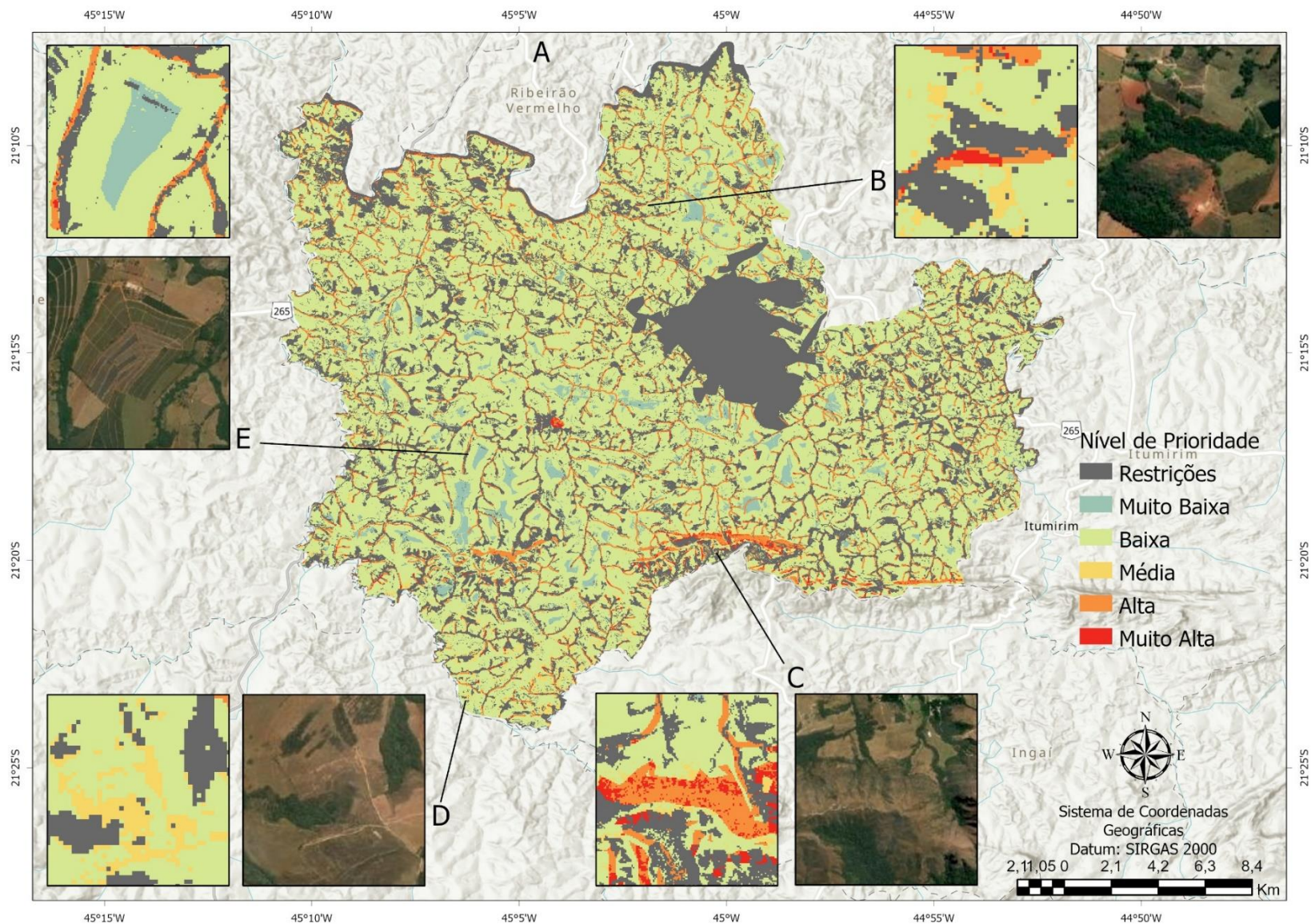


Figura 10. Áreas prioritárias para a restauração ecológica no município de Lavras-MG. (A) Mapa principal na escala do município; (B) Aproximação sobre APPs classificadas com alta prioridade; (C) Aproximação sobre a Serra da Bocaina, em sítios de alta e muito alta.

Tabela 6. Áreas classificadas nos cinco níveis de prioridade para restauração ecológica.

Nível de Prioridade	Área	
	(ha)	(%)
(I) Muito Baixa	1.491,51	3,57
(II) Baixa	34.849,08	83,30
(III) Média	1.090,01	2,61
(IV) Alta	3.888,36	9,29
(V) Muito Alta	517,91	1,24
Total (Σ)	41.836,88	100

Verificando-se o mapa final das áreas prioritárias para a restauração ecológica em Lavras (MG) (Figura 10), é possível observar que a distribuição espacial das classes de prioridade segue algumas características relacionadas aos indicadores utilizados. Na porção sudeste do município verificam-se manchas com zonas de *alta* e *muito alta* prioridade, nomeadamente associadas a geomorfologia do relevo, isto é, as zonas de maior elevação do relevo, onde encontra-se a Serra da Bocaina (Figura 10-C).

Essa região possui solos ocupados predominantemente por afloramentos rochosos e campos rupestres, que foram classificados no mapa de uso e cobertura do solo como áreas de pastagem e solo exposto. Além disso, boa parte da Serra se encontra em APPs do tipo topo de morros ou com declividade superior a 45°. Esta área não é apta a ser reflorestada com espécies arbóreas lenhosas convencionais, mas sim com outras práticas de restauração ecológica, em virtude do mosaico de solos rasos e afloramentos de rochas, porém por ser um sítio de elevada fragilidade ambiental, necessitando de atenção com práticas conservacionistas para conter e evitar erosões bem como, a supressão e degradação de sua vegetação rupestre.

Nota-se também, visualmente, muitas classes de *alta* e *muito alta* prioridades associadas a hidrografia local, estando diretamente correlacionadas com a distribuição espacial das APPs (Figura 10-B). Esses resultados são corroborados pelos desfechos dos estudos de Mello et al. (2016); Almeida et al. (2020); Lima (2005) e Mingoti e Vettorazzi (2011), que destacaram que a presença de florestas nas zonas ripárias melhora a qualidade da água e reduzem a deposição de sedimentos na calha dos cursos d'água.

Alguns sítios na porção central do município que apresentam prioridades do tipo *muito baixa* (Figura 10-E), são áreas ocupadas por agricultura, com risco de potencial erosão baixo ou muito baixo, distanciam-se dos fragmentos florestais em sua maioria em 400 a 500 metros e a classe de solo que os constituem são o Latossolo Vermelho Amarelo. Devido a essas características, o resultado é consistente, já que são áreas produtivas, ou seja, uma fonte de renda para os detentores das terras, e não impactam significativamente de forma negativa no ambiente, desde que sejam empregadas boas práticas de manejo do solo e recursos naturais.

Outra classe que merece destaque é a de *média* prioridade, predominantemente localizada nas extremidades norte e sul do município (Figura 10-D). Apesar de menor expressão em dimensão territorial (1.090,01 ha), possui grande importância, por priorizar áreas com solo exposto, nomeadamente sítios mais frágeis, que já se apresentam em avançado estágio de exposição às intempéries naturais e antrópicas, logo, maior propensão à erosão.

Almeida et al. (2020) em estudo também realizado em Minas Gerais, utilizaram da análise multicritério combinada com o AHP e a CLP para definir áreas prioritárias para recuperação florestal na bacia hidrográfica do Rio Doce-MG. Os resultados indicaram que 0,73% da bacia apresenta prioridade *muito alta*, 2,19% *alta*, 4,39% *média*, 74,86% *baixa* e 17,83% *muito baixa*. Dessa forma, há alguma similaridade com o comportamento verificado neste estudo, isto é, a baixa percentagem das classes mais altas. Isso se dá pela combinação dos múltiplos indicadores biofísicos da paisagem apresentarem características próprias de fragilidades ou prioridades, que quando combinadas no modelo CLP, podem refletir uma maior ou menor prioridade, de acordo com suas peculiaridades e restrições.

O critério que apresentou maior peso a partir da aplicação do AHP, foi o das APPs, também considerado fator de grande importância em outros estudos que visaram identificar áreas prioritárias para a recuperação de ecossistemas (Jorge et al., 2017; Almeida et al., 2020). Observou-se que as classes *alta* e *muito alta* prioridade estão localizadas em sua totalidade nas APPs, resultados que condizem com os aspectos legais previstos na Lei 12.651, de 25 de maio de 2012, do novo Código Florestal, que discorre sobre a função ambiental e da necessidade de restauração dessas áreas para fins de regularização ambiental do imóvel rural, de acordo com o CAR (Cadastro Ambiental Rural) e, caso haja passivo ambiental

referente a essa categoria de área na propriedade. Além disso, com a restauração ecológica prioritária nestas faixas de APPs, especialmente as de mata ciliar, destaca-se a possibilidade de formação de corredores ecológicos de fluxos de biodiversidade entre estas áreas, sobretudo em virtude do potencial cruzamento e distribuição espacial do percurso destas APPs (Schwaida et al., 2017).

Em seguida, o uso e a cobertura do solo foi o critério de maior importância, a exatidão global de classificação calculada para o mapa de uso e cobertura do solo foi de 85% e um índice Kappa (K) de 79%, representando concordância dessa classificação com as verdades de campo (Landis; Koch, 1977), o que confirma a consistência da classificação supervisionada. Notou-se o predomínio de áreas ocupadas com pastagem (32,78%) e agricultura (32,76%), seguidos por vegetação nativa (17,88%), solo exposto (7,41%), área urbana (6,86%), silvicultura (1,07%), água (0,9%) e sombras (0,2%), no município de Lavras-MG, sendo que, os usos que demonstram maior prioridade foram solo exposto (*muito alta*) e pastagem (*média*).

Dessa forma, é preciso ponderar que o presente modelo não levou em consideração apenas áreas já degradadas ou disponíveis para restauração, ou seja, incluiu áreas ocupadas pela silvicultura, agricultura e pastagem, que dependem da finalização de um ciclo produtivo e do detentor da terra para executar algum plano de recuperação. No entanto, não se descarta a priorização, pois a metodologia avaliou aspectos biofísicos da paisagem, podendo ser utilizada como uma ferramenta de ordenamento territorial da propriedade, favorecendo assim, as áreas que estão causando um impacto negativo ao meio ambiente, ou que quando recuperadas podem exercer uma função positiva para a manutenção dos recursos naturais e da biodiversidade. Na proposição aqui realizada, utilizou-se a visão de paisagem de uma perspectiva geográfica, com ênfase à preocupação com o planejamento da ocupação territorial e uso da terra nas unidades da paisagem, partindo do conceito de paisagem como uma porção visual e espacial do espaço vivido pelo homem, e da sua inter-relação com o espaço e com aplicações práticas de soluções à problemas ambientais (Metzger, 2001).

O risco de potencial erosão foi o terceiro critério com maior peso, o qual não consiste somente em uma ameaça à atividade agrícola e à conservação ambiental, mas também apresenta repercussões socioeconômicas (Borrelli et al., 2017). O uso e manejo inadequado do solo fazem com que o homem se

torne um agente acelerador do processo erosivo, cuja consequência são danos ambientais graves (Moura et al., 2017). Os impactos da erosão hídrica ocasionam prejuízo direto aos produtores rurais devido à degradação do solo e perda de produtividade agrícola (Pimentel et al., 1995; Panagos et al., 2018), bem como, indiretamente, prejuízos para toda a sociedade, em virtude do assoreamento e eutrofização de corpos d'água (Panagos et al., 2018). Foi constatado que as áreas com maior risco de potencial erosão são grande parte da porção sul e sudeste do município, aos arredores da Serra da Bocaina, e a parte norte, nas proximidades das margens do Rio Grande.

O quarto fator com maior valor de importância para a CLP foi a distância de fragmentos florestais, um critério importante para a formação de corredores ecológicos e a conexão dos remanescentes de vegetação nativa, essenciais para a manutenção e estabelecimento da biodiversidade. Estudos apontam que a conectividade florestal é um fator essencial para se obter restauração ao nível da paisagem (Valente et al., 2017). Constatou-se que dos 10.092,46 ha de vegetação nativa, oriundos do mapa de uso e ocupação do solo, apenas 8.237,80 ha foram considerados nesta camada, os com área superior a 1 ha.

Por fim, o critério classe de solo foi o que resultou em menor peso, o que não significa baixa importância prática quando na definição de áreas para ações de restauração. Foi classificado de acordo com sua fragilidade e capacidade de armazenamento de água, com embasamento em estudos anteriores (Silveira et al., 2014; França et al., 2019). Os resultados dessa classificação evidenciam os solos que receberam maior prioridade, neossolo litólico e afloramento rochoso, os mais rasos e frágeis, localizados na parte sul e sudoeste do município.

A abordagem AHP tem mostrado bons resultados e grande eficácia em estudos ambientais com tomadas de decisões complexas, como França et al. (2020) na modelagem da fragilidade ambiental potencial de Almenara-MG; Valente et al. (2017) na priorização de áreas para restauração florestal no norte do estado de São Paulo; Almeida et al. (2020) na definição de áreas prioritárias para recuperação florestal na bacia do Rio Doce e, Miranda et al. (2019) na modelagem espacial da vulnerabilidade à inundação em ambientes mistos, dentre outros estudos que fizeram uso da metodologia para tomadas de decisões ambientais (Worqlul et al., 2017; Sem; Güngör, 2018; Achu et al., 2020; Morandi et al., 2020).

No plano diretor da cidade de Lavras (Lavras, 2007), tem como um de seus objetivos a elevação da qualidade ambiental municipal por meio da recuperação e preservação do meio ambiente. Em seu mapeamento de macrozoneamento municipal, o município é dividido em Zona Rural, Zona Urbana e Zona rural de proteção ambiental, essa última correspondente à porção sul do município, corroborando com os resultados encontrados no presente estudo, em que apresentou a maior concentração de sítios com *alta*, *muito alta* e *média* prioridade para restauração ecológica. No mesmo documento, também são definidas no Art. 28 as ações e estratégias para a valorização do patrimônio ambiental do município, dentre elas estão a elaboração e implementação de projetos e programas para a recuperação e conservação de matas ciliares, nascentes, matas de topo e áreas rurais.

Logo, este estudo pode ser importante base técnica para amparar a elaboração ou oferecer suporte a projetos e programas de intervenção ambiental no contexto do entendimento do território e das suas prioridades ecossistêmicas, já que, operacionalmente e economicamente seria inviável a recuperação ecológica de todas as áreas simultaneamente. Além disso, o presente trabalho possui competência para auxiliar na geração de outros estudos geoespaciais para o município de Lavras e região. Por fim, os critérios utilizados e a metodologia apresentada neste estudo podem ser replicados em outros municípios ou regiões do país, de acordo com suas peculiaridades fisiográficas, sendo abordagem importante no direcionamento e melhor alocação de programas e práticas de recuperação da paisagem, podendo ser inclusive base para ações do Brasil no contexto da meta de reflorestar 12 milhões de hectares até 2030.

Recomendações para o planejamento ambiental

Algumas práticas conservacionistas e de uso da terra mais adequadas para garantir a condições de conservação ambiental e o desenvolvimento socioeconômico na região de Lavras (MG), são propostos na Tabela 7, conforme recomendações observadas em Lal (1997) e França e Mucida (2022). O uso e manejo da terra são aspectos primordiais quanto a maior ou menor degradação ambiental de um determinado ecossistema.

O desenvolvimento de atividades antrópicas em áreas com fragilidade ambiental pode intensificar processos de degradação do solo e afetar a qualidade dos recursos hídricos e do macroecossistema local (Anjinho et al., 2021). Desta forma, essas áreas devem ser priorizadas para a implantação de práticas conservacionistas do uso do solo, como forma de garantir a adequação do uso antrópico atual e projetar ações de restauração de áreas já em estágio de degradação. Neste estudo, para as classes mais baixas de prioridade para restauração ecológica, o uso antrópico da terra é mais adequado. Apesar disso, boas práticas agrícolas de manejo do solo e conservação da vegetação natural são recomendadas, principalmente para as áreas aqui classificadas entre as classes *média*, *alta* e *muito alta* de prioridade à restauração.

É importante destacar que as recomendações de uso da terra, conservação ambiental e restauração ecológica aqui indicadas, são focadas sob uma visão regional e, cada conjuntura ou região com suas instâncias reais demandam de atenção específica.

Tabela 7. Recomendações para uso e conservação do solo de acordo com os cenários potenciais de prioridade (Adaptado de Lal, 1997; França e Mucida, 2022; França et al., 2022).

Prioridade restauração ecológica	Risco de Degradação	Grau de Resiliência	Recomendações
Muito Baixa	Baixo risco de degradação resistente ao estresse e com estabilidade	Altamente resiliente	(1) Apto para uso antrópico da terra. (2) Áreas de rápida recuperação/regeneração. (3) Conservação dos remanescentes vegetais/florestais existentes.
Baixa		Resiliente	(1) Apto para uso antrópico da terra.

Prioridade restauração ecológica	Risco de Degradação	Grau de Resiliência	Recomendações
	Ligeiramente Resistente ao estresse e estabilidade		(2) Técnicas convencionais de recuperação com manejo apropriado. (3) Conservação dos remanescentes vegetais/florestais existentes.
Média	Suscetível ao estresse, com transição de estável para instável	Moderadamente resiliente	(1) Requer atenção quanto ao uso antrópico da terra; preferencialmente cultivo mínimo agrícola e silvicultural. (2) Maior atenção ao manejo adequado de eventuais pastagens existentes. (4) Recuperação por meio de técnicas e indução da regeneração natural.
Alta	Altamente suscetível ao estresse e instabilidade	Ligeiramente ou baixa resiliência	(1) Prioridade para conservação e/ou restauração. (2) Reflorestamento com espécies nativas e cercamento de margens em córregos e entornos de nascentes antropizadas. (3) Lentamente recuperável, mesmo com mudança no uso do solo. (4) Uso de práticas conservacionistas em atividades antrópicas de uso da terra.
Muito Alta	Extremamente suscetível e frágil	Baixa ou nenhuma resiliência	(1) Áreas destinadas à conservação e proteção da vegetação natural. (2) Maior dificuldade na obtenção de efetiva recuperação, mesmo com mudança no uso do solo. (3) Rigoroso cumprimento Código Florestal para APPs ¹ de declividades, topo de morros, margens de rios e nascentes. (4) Prioritárias para implementação de Unidades de Conservação.

Algumas indicações finais deste estudo são elementares para o melhor entendimento do manejo adequado do uso do solo em relação às condições de prioridade para restauração ecológica. Algumas práticas de manejo do uso do solo são elementares, desde que alguns objetivos sejam atendidos, tais como os itens abaixo:

- (I) Considerar a utilização das classes de prioridade como unidade de planejamento da paisagem para conservação e produção;
- (II) Maior atenção quanto ao cumprimento das legislações vigentes para proteção efetiva dos ecossistemas mais frágeis;

- (III) Promover práticas de manejo que considerem as compensações e sinergias entre os múltiplos serviços ecossistêmicos;
- (IV) Incentivar práticas agrícolas, como diversidade e rotação de culturas e sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta;
- (V) Estabelecer os programas de restauração ecológica que integrem o conceito de bacias e microbacias hidrográficas;
- (i) Apoiar o planejamento da paisagem local a regional considerando as práticas sustentáveis e a participação de tomadores de decisão e *stakeholders*.

Conclusões e Perspectivas

Constatou-se que a maior parte do município analisado possui *baixa e muito baixa* prioridade para restauração ecológica dos seus ecossistemas naturais, o que não descarta a devida atenção que deve ser dada às demais áreas quanto às boas práticas de manejo e gestão do uso do solo e recursos naturais, uma vez que o mapeamento aqui desenvolvido é uma estimativa geográfica das prioridades. Vale lembrar também, que uma área pode ser mais ou menos prioritária dependendo, sobretudo do seu uso atual, logo, sítios de menores prioridades estimadas neste estudo, podem na prática representar prioridades para mais ou para menos de acordo com a realidade das instâncias reais.

A abordagem da análise multicritério aliada ao método AHP, apresentou resultados satisfatórios e potencialmente condizentes com as instâncias reais na identificação de áreas prioritárias para a restauração ecológica no município de Lavras-MG. Eficácia também está relacionada a escolha adequada dos indicadores biofísicos de acordo com a fisiografia local, base de dados fidedigna e que demanda que a ponderação dos critérios seja realizada com prudência e embasamento técnico e científico. Os principais desafios e dificuldades do modelo aqui apresentado, estão relacionados a limitação de dados geoespaciais oficiais e públicos em escalas mais compatíveis para análise com maior precisão cartográfica. Constatou-se que a escala dos dados utilizados influencia o resultado da equação final de sobreposição, influenciando também espacialmente os resultados. Mas, apesar disso, este modelo apresenta o suporte da fundamentação matemática da metodologia AHP aliada a análise multicritério para reduzir incertezas da modelagem, sendo isto um destaque deste estudo e fator de ponderação da lacuna relacionada às escalas.

Apesar da deficiência de base cartográfica em escala adequada, associada à falta de atualização destes dados públicos, este modelo apresenta-se como importante aproximação estimada das instâncias de condição real para os fins de planejamento ambiental. Considera-se que para sua correta implantação e implementação pelos governos públicos, existe a necessidade de averiguação detalhada de todos os dados em campo. Neste sentido, sugere-se a aplicação do modelo em escala cartográfica maior, que possam identificar detalhes e/ou aspectos que não puderam ser visualizados nesta aplicação em função da escala adotada, visando otimizar o ordenamento territorial. Recomenda-se também novos estudos que testem novas camadas de dados biogeofísicos da paisagem, como dados multicritérios. Finalmente, foi

demonstrado que as áreas de preservação permanentes são zonas prioritárias para a restauração ecológica no município de Lavras, assim como as áreas com elevada declividade, próximas de fragmentos florestais, solos frágeis e expostos e com elevado risco de potencial erosão.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal de Lavras (UFLA) e Departamento de Ciências Florestais (DCF) pela oportunidade de realização do estudo, bem como à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Referências

- Achu, A. L., Thomas, J., & Reghunath, R. (2020). Multi-criteria decision analysis for delineation of groundwater potential zones in a tropical river basin using remote sensing, GIS and analytical hierarchy process (AHP). *Groundwater for sustainable development*, 10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100365>
- Agência Espacial Europeia (2020). Introduzindo o Sentinel-2. Disponível em: <<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>>. Acesso em: 4 mai. 2020.
- Almeida, F. C., Silveira, E. M. O., Acerbi Júnior, F. W., França, L. C. J., Bueno, I. T., & Terra, B. J. O. (2020). Análise multicritério na definição de áreas prioritárias para recuperação florestal na bacia do Rio Doce, em Minas Gerais. *Revista Nativa*, 8(1): 81-90. DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v8i1.8130>
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C, Gonçalves, J. L. M., & Sparovek, G. (2013). Köppen's Climate Classification Map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6): 711-728. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Anjinho, O. S., Barbosa, M. A. G. A., Costa, C. W., & Maud, F. F. (2021). Environmental fragility analysis in reservoir drainage basin land use planning: A Brazilian basin case study. *Land Use Policy*, 100. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104946>
- Araujo, L.S.; Komonen, A.; & Lopes-Andrade, C. (2015). Influences of landscape structure on diversity of beetles associated with bracket fungi in Brazilian Atlantic Forest. *Biological Conservation*, 191: 659–666. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.08.026>
- Aronson, J., & Alexander, S. (2013). Ecosystem Restoration is Now a Global Priority: Time to Roll up our Sleeves. *Restoration Ecology*, 21(3): 293-296. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/rec.12011>
- Assad, E. et al. (2019). Papel do plano ABC e do PLANAVEG na adaptação da agricultura e da pecuária às mudanças climáticas. Working Paper. São Paulo, Brasil: WRI Brasil.
- Bertini, M. A., Fushita, A. T., & Lima, M. I. S. (2015). Vegetation coverage in hydrographic basins in the central region of the State of São Paulo, Brazil. *Braz. J. Biol.*, 75(3): 709-717. DOI: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.21713>
- Bertoni, J., & Lombardi Neto, F. (1999). *Conservação do solo*. 4. ed. Campinas: Ícone, 355p.
- Blanco-Canqui, H., & Lal, R. (2008). *Principles of soil conservation and management*, 601p.
- Borrelli, P., Robinson, D. A., Fleischer, L. R., Lugato, E., Ballabio, C., Alewell, C., Meusburger, K., Modugno, S., Schütt, B., Ferro, V., Bagarello, V., Van Oost, K., Montanarella, L., & Panagos, P. (2017). An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nature Communications*, 8(2013): 1–13. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02142-7>

- BRASIL (2017). Ministério do Meio Ambiente, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério da Educação. Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa, Brasília, DF: MMA. 73 p.
- BRASIL (1989). Decreto n. 97.632 de 10 de abril de 1989. Dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2º, inciso VIII, da Li n. 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 12 de abril de 1989.
- BRASIL (2017). Ministério do Meio Ambiente, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério da Educação. Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa – Brasília, DF: MMA, 73 p.
- Brancalion, P. H. S., Siqueira, L. P., Amazonas, N. T., Rizek, M. B., Mendes, A. F., Santiami, E. L., Rodrigues, R. R., Calmon, M., Benini, R., Tymus, J. R. C., Holl, K. D., & Chaves, R. B. (2022). Ecosystem restoration job creation potential in Brazil. *People and Nature*, 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1002/pan3.10370>
- Carvalho, L. M. T., & Scolforo, J. R. (2008). Inventário florestal de Minas Gerais: Monitoramento da Flora Nativa. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 357p.
- Chen, K. P., Blong, R., & Jacobson, C. (2001). MCE-RISK: integrating multicriteria evaluation and GIS for risk decision-making in natural hazards. *Environmental Modeling e Software*, 6(4): 387-397. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(01\)00006-8](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(01)00006-8)
- Cohen, J. A. (1960). Coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20: 37-46. DOI: <https://doi.org/10.1177%2F001316446002000104>
- Costa, E. M., Antunes, M. A. H., Debiase, P., & Anjos, L. H. C. (2016). Processamento de imagens RapidEye no mapeamento de uso do solo em ambiente de Mar de Morros. *Pesq. Agropec. Bras.*, 51(9): 1417-1427. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900040>
- Dantas, A. A. A., Carvalho, L. G., & Ferreira, E. (2007). Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. *Ciência e Agrotecnologia*, 31(6): 1862-1866. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000600039>
- Eastman, J. R. (2001). Decision support: decision strategy analysis. *Idrisi 32 release 2: guide to GIS and image processing*, Worcester: Clark Labs, Clark University. 2: 22p.
- Eastman, J. R., Kyem, P. A. K., & Toledano, J. (1993). GIS and decision making. Genebra: UNITAR, 112p.
- ESRI - Environmental Systems Research Institute (2016). ArcGIS 10.5: GIS by ESRI.
- Esser, L. F., Neves, D. M., & Jarenkow, J. A. (2019). Habitat-specific impacts of climate change in the Mata Atlântica biodiversity hotspot. *Diversity and Distributions*, 25: 1846-1856. DOI: <https://doi.org/10.1111/ddi.12984>

- FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente. 2010. Mapa de solos do estado de Minas Gerais. Disponível em: <<http://www.feam.br/banco-de-noticias/949-mapas-de-solo-do-estado-de-minas-gerais>>. Acesso em: 28 mai. 2020.
- França, L. C. J., & Mucida, D. P. (2022). A fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Jequitinhonha em Minas Gerais. Editora Pantanal: Nova Xavantina, MT, 52p. Disponível em: https://editorapantanal.com.br/ebooks.php?ebook_id=a-fragilidade-ambiental-da-bacia-hidrografica-do-rio-jequitinhonha-em-minas-gerais&ebook_ano=2022&ebook_caps=0&ebook_org=0
- França, L. C. J., Mucida, D. P., Morais, M. S., Catuzzo, H., Abegão, J. L. R., & Pereira, I. M. (2019). Zoneamento da fragilidade ambiental de ecossistemas naturais e antropizados por meio de avaliação multicritério. *Nativa*, 7(5): 589-599. DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v7i5.7300>
- França, L. C. J., Mucida, D. P., Santana, R. C., Morais, M. S., Gomide, L. R., & Bateira, C. V. M. (2020). AHP approach applied to multi-criteria decisions in environmental fragility mapping. *Revista Floresta*, 50(3): 1623-1632. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v50i3.65146>
- França, L. C. J., Piuzana, D., Morais, M. S., Menezes, E., & Morandi, D. T. (2018). Delimitação automática e quantificação das Áreas de Preservação Permanente de encosta para o município de Diamantina, Minas Gerais, Brasil. *Revista Espinhaço*, 7(2): 60-71. <https://doi.org/10.3390/conservation2020024>
- França, L. C. J., Lopes, L. F., Morais, M. S., Lisboa, G. S., Rocha, S. J. S. S., Morais Junior, V. T. M., Santana, R. C. S., & Mucida, D. P. (2022). Environmental Fragility Zoning Using GIS and AHP Modeling: Perspectives for the Conservation of Natural Ecosystems in Brazil. *Conservation*, 2: 349-366. DOI: <https://doi.org/10.3390/conservation2020024>
- Fredes, A. (2016). Direito ao meio ambiente e aquecimento global: Sobrevivendo ao acordo de Paris. 2016. Dissertação (Mestrado em Direito) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.
- Gasparini, K. A. C., Lyra, G. B., Francelino, M. R., Delgado, R. C., Oliveira Junior, J. F., & Facco, A. G. (2013). Técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto Aplicadas na Identificação de Conflitos do Uso da Terra em Seropédica – RJ. *Floresta e Ambiente*, 20(3): 296-306. <https://doi.org/10.4322/loram.2013.030>
- GLOBAL FOREST WATCH. Tree cover loss in Brasil. (2020). Disponível em: <www.globalforestwatch.org>. Acesso em: 8 de mai. 2020.
- Helmer, M., Lipton, J., Snitker, G., Hackenberger, S., Triplett, M., & Cervený, L. (2020). Mapping heritage ecosystem services in ecological restoration areas: A case study from the East Cascades, Washington. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, 31. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jort.2020.100314>

- Hissa, L. de B. V., Aguiar, A. P. D., Camargo, R. R., Lima, L. S., Gollnow, F., & Lakes, T. (2019). Regrowing forests contribution to law compliance and carbon storage in private properties of the Brazilian Amazon. *Land Use Policy*, 88. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104163>
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2018). Produção Agrícola Municipal. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 15 jun. 2020.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019). Cidades e Estados. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/lavras.html>>. Acesso em 19 jul. 2020.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2008). Topodata: banco de dados geomorfométricos do Brasil. Variáveis geomorfométricas locais. São José dos Campos. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/documentos.php>>. Acesso em 09 ago. 2020.
- IPEA - Instituto de Pesquisa Aplicada (2010). Sustentabilidade ambiental no Brasil: biodiversidade, economia e bem-estar humano. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – Brasília: Ipea. 640 p.
- IUCN - International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (2017). The Bonn challenge: catalysing leadership in latin américa. *Forest Brief*, (14): 1-8.
- Jorge, N. L., Amaral, D. F., Lima Neto, A. A., Trevisan, D. P., Moschini, L. E., & Cassiano, A. M. (2017). Identificação de áreas prioritárias para a conservação e recuperação no município de Santa Lúcia - SP. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 10(1): 332-346. DOI: <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20170020>
- Kopittke, P. M., Menzies, N. W., Whang, P., Mckenna, B. A., & Lombi, E. (2019). Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International*, 132. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105078>
- Landis, J., & Koch, G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1): 159-174. DOI: <https://doi.org/10.2307/2529310>
- Laurance, W. F. (2009). Conserving the hottest of the hotspots. *Biological Conservation*, 142(6). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.10.011>
- Lavras (2007). Lei complementar 097, de 17 de abril de 2007. Instituiu o Plano Diretor do Município de Lavras. Acesso em: <https://sapl.lavras.mg.leg.br/norma/2440>
- Lewis, S. L., Wheeler, C. E., Mitchard, E. T. A., & Koch, A. (2019). Regenerate natural forests to store carbono. *Springer Nature Limited*, 568: 25-28. Acesso: <https://www.nature.com/articles/d41586-019-01026-8>
- Lima, W. P. (2005). Floresta natural protege e estabiliza recursos hídricos. *Visão Agrícola*, (4): 30-33. DOI: <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/va04-beneficios01.pdf>
- Lima, P. V. P. S. et al. (2009). A propensão à degradação ambiental na mesorregião de Jaguaribe no Estado do Ceará. In: Carvalho, E. B., Holanda, M. C., Barbosa, M. P. (Org). *Economia do Ceará*

- em Debate 2008. Fortaleza: IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégica Econômica do Ceará, 1: 27-43.
- Liu, Q., Zhang, Q., Yan, Y., Zhang, X., Niu, J., & Svenning, J.-C. (2020). Ecological restoration is the dominant driver of the recent reversal of desertification in the Mu Us Desert (China). *Journal of Cleaner Production*, 268. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122241>
- Luther, D. A., Cooper, W. J., Wolfe, J. D., Bierregaard, R. O., Gonzalez, A., & Lovejoy, T. E. (2020). Tropical forest fragmentation and isolation: is community decay a random process? *Global Ecology and Conservation*, 23. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01168>
- Malczewski, J. (1999). *GIS and multicriteria decision analysis*. New York, John Wiley, 362p.
- Malczewski, J. (2004). GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. *Progress in Planning*, New York, 62: 3-65. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.progress.2003.09.002>
- Malczewski, J. (2000). On the use of weighted linear combination method in GIS: common and best practice approaches. *Transactions in GIS*, 4(1): 5-22. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/1467-9671.00035>
- Marmontel, C. V. F., & Rodrigues, V. A. (2015). Parâmetros indicativos para qualidade da água em nascentes com diferentes coberturas de terra e conservação da vegetação ciliar. *Floresta Ambiente*, 22(2): 171-181. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.082014>
- Mello, K., Toppa, R. H., & Cardoso-Leite, E. (2016). Priority areas for forest conservation in an urban landscape at the transition between Atlantic Forest and Cerrado. *Cerne*, 22(3): 277-288. DOI: <https://doi.org/10.1590/01047760201622032172>
- Mendoza, G.A., & Prabhu, R. (2000). Multiple criteria decision-making approaches to assessing forest sustainability using criteria and indicators: a case study. *Forest Ecology and Management*, 131: 107-126. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00204-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00204-2)
- Metzger, J. P. (2001). O que é ecologia de paisagens? *Biota Neotropica*, 1(1): 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1676-06032001000100006>
- Metzger, J. P., Bustamante, M. M. C., Ferreira, J., Fernandes, G. W., Librán-Embíd, F., Pillar, V. D., Prist, P. R., Rodrigues, R. R., Vieira, I. C. G., Overbeck, G. E. et al. (2019). Why Brazil needs its legal reserves. *Perspect Ecol Conserv*, 17: 91-103. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2019.07.002>
- Minas Gerais – Governo do Estado (2021). Conferência das Partes – COP 26 – Cases de Sucesso do Estado de Minas Gerais – Brasil. Portifólio Digital, 29p. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiYzgxZWZzYWEtMjlmOC00MGRiLTljZTMtZTg1ZjlkYTBJMjliLiwidCI6IjkyNGY5ODQ3LTI0MmUtNGE5YS04OTEzLTIiNDM2NDliOWVhYSJ9&pageName=ReportSection>. Acesso em: 12 novembro 2021.
- Mingoti, R., & Vettorazzi, C. A. (2011). Relative reduction in annual soil loss in micro watersheds due to the relief and forest cover. *Engenharia Agrícola*, 31(6): 1202-1211. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162011000600017>

- Miranda, N. M. G., Caprario, J., Martini, L. C. P., & Finotti, A. R. (2019). Processo Hierárquico Analítico (AHP) em Modelagem Espacial da Vulnerabilidade à Inundação em Ambientes Mistos. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, 42(4): 172-181. DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2019_4_172_181
- Morandi, D. T., França, L. C. J., Menezes, E. S., Machado, E. L. M., Silva, M. D., & Mucida, D. P. (2020). Delimitation of ecological corridors between conservation units in the Brazilian Cerrado using a GIS and AHP approach. *Ecological Indicators*, 115: 106-144. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106440>
- Moura, M., Fontes, C. S., Santos, M. H., Araújo Filho, R. N., & Holanda, F. (2017). Estimativa de perda de solo no baixo São Francisco sergipano. *Revista Scientia Agraria*, 18(2): 126-135. Acesso em: <https://revistas.ufpr.br/agraria/article/view/50143/32869>
- Naegeli De Torres, F., Richter, R., & Vohland, M. (2019). A multisensoral approach for high-resolution land cover and pasture degradation mapping in the humid tropics: A case study of the fragmented landscape of Rio de Janeiro. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 78: 189–201. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.01.011>
- Oliveira, C. M. M., Cessa, R. M. A., & Oliveira, J. A. M. (2020). Delimitação de Áreas de Preservação Permanente em diferentes resoluções espaciais. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, 43(1): 171-180. DOI: https://doi.org/10.11137/2020_1_171_180
- Oliveira, I. M. (2019). Expansão silvicultural no estado de São Paulo: uma abordagem multicritério na seleção de áreas para compra e arrendamento. Monografia (Bacharel em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras – UFLA.
- Panagos, P., Standardi, G., Borrelli, P., Emanuele, L., Luca, M., & Francesco, B. (2018). Cost of agricultural productivity loss due to soil erosion in the European Union: From direct cost evaluation approaches to the use of macroeconomic models. *Land Degradation and Development*, 29(3): 471-484. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/ldr.2879>
- Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Crist, S., Shpritz, L., Fitton, L., Saffouri, R., & Blair, R. (1995). Environmental and Economic Costs of Soil Erosion and Conservation Benefits. *Science*. 267(5201): 1117-1123. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.267.5201.1117>
- Plano Diretor Florestal (2020). Manual Técnico para Identificação de Áreas Prioritárias para Recomposição Florestal em Escala Local. Agência das Bacias PCJ - Comitês PCJ. Disponível em: <http://www.agencia.baciaspcj.org.br/docs/plano-diretor-florestal/manual-recomposicao-florestal.pdf>. Acesso em: 20 de julho de 2020.
- Rao, M. S. V. C. et al. (1991). A weighted index model for urban suitability assessment – a GIS approach. Bombay: Metropolitan Regional Development Authority. 134p.

- Rezende, V. L. (2016). A mineração em Minas Gerais: uma análise de sua expansão e os impactos ambientais e sociais causados por décadas de exploração. *Soc. nat., Uberlândia*, 28(3): 375-384. DOI: <https://doi.org/10.1590/1982-451320160304>
- Rodrigues, R. R., & Gandolfi, S. (2004). Conceitos, tendências e ações para a recuperação de Florestas Ciliares. In: Rodrigues, R. R., & Leitão Filho, H. F. *Matas Ciliares: Conservação e Recuperação*. EDUSP/FAPESP 3 ed., p.235-247.
- Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (1991). *Prediction, Projection and forecasting*. Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, USA, 251p.
- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy processes*. New York: McGraw-Hill, 287p.
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48(1): 9–26. DOI: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I)
- Saaty, T. L. (1991). Some mathematical concepts of the Analytic Hierarchy Process. *Behaviormetrika*, 18(29): 1–9. DOI: https://doi.org/10.2333/bhmk.18.29_1
- Saaty, T. L. (1980). *Analytical Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. McGraw-Hill, New York, NY, USA.
- Sánchez, L. E. (2008). *Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos*. São Paulo: Oficina de Textos.
- Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C., Oliveira, V. A., Oliveira, J. B., Coelho, M. R., Lumberras, J. F., & Cunha, T. J. F. (2013). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 3ª ed. revisada e ampliada. Brasília, DF, Embrapa, 353p.
- Santos, R. D., Lemos, R. C., Santos, H. G., Ker, J. C., & Anjos, L. H. C. (2005). *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. 5ª ed. revisada e ampliada. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 92p.
- Sartori, A. A. C. (2010). *Análise multicritérios na definição de áreas prioritárias à conectividade entre fragmentos florestais*. 98f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – Campus de Botucatu, Botucatu.
- Sartori, A. A. C., Silva, R. F. B., & Zimback, C. R. L. (2012). Combinação linear ponderada na definição de áreas prioritárias à conectividade entre fragmentos florestais em ambiente SIG. *Revista Árvore*, 36(6): 1079-1090. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622012000600009>
- Schaadt, S. S., & Vibrans, A. C. (2015). O uso da terra no entorno de fragmentos florestais influencia a sua composição e estrutura. *Floresta e Ambiente*, 22(4): 437-445. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.062813>
- Schwaida, S. F., Cicerelli, R. E., Almeida, T., & Roig, H. L. (2017). Challenges and strategies on implementing an ecological corridor between protected areas in Cerrado biome. *Revista Árvore*, 41(6). DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-90882017000600011>

- Scolforo, J. R., Oliveira, A. D., Carvalho, L. M. T., Marques, J. J. G., Louzada, J. N., Mello, C. R., Pereira, J. R., Rezende, J. B., & Vale, L. C. C. (2016). Zoneamento ecológico-econômico de Minas Gerais. *In: Zoneamento ecológico-econômico do estado de Minas Gerais: zoneamento e cenários exploratórios*. Editora UFPA, p.7-20.
- Sen, G., & Güngör, E. (2018). Selecting suitable forest areas for honey production using the AHP: a case study in Turkey. *Cerne*, 24(1): 67-79. DOI: <https://doi.org/10.1590/01047760201824012511>
- SFB - Serviço Florestal Brasileiro (2019). Sistema Nacional de Informações Florestais (SNIF). Disponível em: <http://snif.florestal.gov.br/pt-br/conservacao-das-florestas/183-areas-de-preservacao-permanente>. Acesso em: 16 jun. 2020.
- Silva, E. (2018). Mapeamento de solos e uso de algoritmos de aprendizagem em Lavras (MG). Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, Tese de Doutorado, 194 p.
- Silva, R. M., Santos, C. A. G., Silva, L. P., & Silva, J. F. C. B. C. (2007). Soil loss prediction in Guaraira river experimental basin, Paraíba, Brazil based on two erosion simulation models. *Ambiente e Água*, 2(3): 19-33.
- Silva, R. R., Alba, E., Marchesan, J., Ziembowicz, M. M., & Pereira, R. S. (2018). Análise da fragmentação florestal em áreas do bioma Mata Atlântica a partir de diferentes sistemas sensores. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, 41(2): 390-396. DOI: https://doi.org/10.11137/2018_2_390_396
- Silva, T. C. M., & Vieira, I. C. G. (2020). Identification of priority areas for ecological restoration eastern Pará, Brazil. *Floresta e Ambiente*, 27(2). DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.014418>
- Silveira, H. L. F.; Vettorazzi, C. A., & Valente, R. A. (2014). Avaliação multicriterial no mapeamento da suscetibilidade de deslizamentos de terra. *Rev. Árvore*, 38(6): 973-982. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000600002>
- SOS Mata Atlântica (2020). Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica período 2018-2019. Relatório técnico. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/sobre/relatorios-e-balancos/>. Acesso em 07 ago. 2020.
- Sousa, D. G., Mincato, R. L., & Kawakubo, F. S. (2015). Análise multitemporal do uso da terra utilizando imagens Landsat-5 TM da região de Alfenas, Sul de Minas Gerais, visando a conservação de fragmentos florestais. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 08(5): 1482-1492. DOI: <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20150082>
- Strassburg, B. B. N., Beyer, H. L., Crouzeilles, R. et al. (2019). Strategic approaches to restoring ecosystems can triple conservation gains and halve costs. *Nat. Ecol. Evol.*, 3: 62-70. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0743-8>

- Teixeira, L., Azevedo, F. D., Dalmas, F. B., Saad, A. R., Paranhos Filho, A. C., & Andrade, M. R. M. (2018). Fragmentação da paisagem no município de Bragança Paulista-SP. *Ciênc. Florest.*, Santa Maria, 28(3): 937-948. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509833360>
- Tobin, P., Schmidt, N. M., Tosun, J., & Burns, C. (2017). Mapping states' Paris climate pledges: Analysing targets and groups at COP 21. *Global Environmental Change*, 48: 11–21. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.11.002>
- Tobler, W. (1987). Measuring Spatial Resolution, Proceedings, Land Resources Information Systems Conference, Beijing, pp. 12-16.
- Valente, R. A., Petean, F. C. S., & Vettorazzi, C. A. (2017). Multicriteria decision analysis for prioritizing areas for forest restoration. *Cerne*, 23(1): 53-60. DOI: <https://doi.org/10.1590/01047760201723012258>
- Valente, R. O. A., & Vettorazzi, C. A. (2008). Definition of priority areas for forest conservation through the ordered weighted averaging method. *Forest Ecology and Management*, 256(6): 1408-1417. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.07.006>
- Vettorazzi, C. A. (2006). Avaliação multicritérios, em ambiente SIG, na definição de áreas prioritárias à restauração florestal visando à conserva de recursos hídricos. 2006. 151 p. Tese (Livre Docência): ESALQ/USP Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” USP, Piracicaba.
- Vettorazzi, C. A., & Valente, R. A. (2016). Priority areas for forest restoration aiming at the conservation of water resources. *Ecological Engineering*, 94: 255–267. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.05.069>
- Viana, V. M. (1995). Conservação da biodiversidade de fragmentos de florestas tropicais em paisagens intensivamente cultivadas. In: *Abordagens interdisciplinares para a conservação da biodiversidade e dinâmica do uso da terra no novo mundo*. Belo Horizonte/Gainesville: Conservation International do Brasil/Universidade Federal de Minas Gerais/ University of Florida. p. 135-154.
- Vilela, H. T. F., Gonçalves, A. F. A., França, L. C. J., & Acerbi Júnior, F. W. (2021). Conflitos de uso do solo em Áreas de Preservação Permanente em uma região do Alto Rio Grande, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, 9(1): 65-81. Acesso em: <https://revistabrasileirademeioambiente.com/index.php/RVBMA/article/view/649>
- Voogd, H. (1983). *Multicriteria evaluation for urban and regional planning*. London, Pion, 370p.
- Worqlul, A. W., Jeong, J., Dile, Y. T., Osorio, J., Schmitter, P., Gerik, T., Srinivasan, R., & Clark, N. (2017). Assessing potential land suitable for surface irrigation using groundwater in Ethiopia. *Applied Geography*, 85: 1–13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.05.010>

Índice Remissivo

A

AHP, 8, 16, 17, 20, 28, 36, 38, 43

C

Cadastro Ambiental Rural, 15, 36

Código Florestal Brasileiro, 25

Combinação Linear Ponderada, 8, 12, 33

M

Modelo matemático, 56

P

Processo Analítico Hierárquico, 8, 28

R

Restauração Ecológica, 15

S

Sistema de Informações Geográficas, 12

Sobre os autores e as autoras



  **Rafael Torres Cartolano**

Engenheiro Florestal, graduado pela Universidade Federal de Lavras (UFLA) (2020). Mestrando em Tecnologias e Inovações Ambientais – PPGTIA pela Universidade Federal de Lavras (UFLA). Durante a graduação desempenhou atividades como membro da Terra Júnior, empresa júnior de consultoria agropecuária; integrou NEUC - Núcleo de Estudos em Manejo de Unidade de Conservação e desenvolveu estudos utilizando práticas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento para o Planejamento e Gestão de Ativos Ambientais. Aluno especial na disciplina de Manejo Florestal do Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais do INPA - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (2021). Atualmente é Analista de Geoprocessamento Pleno na Vega Monitoramento, e atua principalmente na área de Soluções para Projetos de Carbono, Monitoramento Agrícola e ESG. **Contato:** (34) 99310 – 7770. **E-mail:** rafaelcartolano@hotmail.com



  **Luciano Cavalcante de Jesus França**

Engenheiro Florestal, graduado pela Universidade Federal do Piauí - UFPI (2016). Mestre em Ciências Florestais pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM (2018), com período internacional na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, em Portugal (2017). Doutor em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Lavras - UFLA. Foi professor substituto do Instituto Federal de Minas Gerais - IFMG (2021). Atualmente é Professor Adjunto-A vinculado ao curso de Engenharia Florestal do Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG) da Universidade Federal de Uberlândia - UFU, em Monte Carmelo, Minas Gerais. Atua principalmente nos seguintes temas: Sistemas de Informações Geográficas (SIG), Manejo Florestal, Ecologia de Paisagens Florestais, Análises de Decisão Multicritério, Manejo de Unidades de Conservação, Fitogeografia e Fitossociologia. **Contato:** (38) 99187 – 8853. **E-mail:** luciano.franca@ufu.br



  **Lucas de Castro Moreira da Silva**

Engenheiro Agrônomo, graduado pela Universidade Federal de Viçosa - UFV (2018) e Mestre em Ciência do Solo pela Universidade Federal de Lavras - UFLA (2020). Atualmente é Doutorando em Engenharia Agrícola (Recursos Hídricos e Ambientais) pela Universidade Federal de Viçosa - UFV. Área de concentração: Hidrologia do Solo, Física do Solo, Conservação de Solo e Água. **E-mail:** lucascmoreira91@gmail.com



  **Soraya Alvarenga Botelho**

Engenheira Florestal, graduada pela Universidade Federal de Lavras – UFLA (1984), mestrado em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná – UFPR (1987) e doutorado em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná – UFPR (1993). Atualmente é Professora Titular - Departamento de Ciências Florestais da UFLA - Universidade Federal de Lavras. Tem experiência na área de Recursos Florestais e Engenharia Florestal, com ênfase em Restauração de ecossistemas florestais e Silvicultura, atuando principalmente nos seguintes temas: Estratégias de restauração de ecossistemas florestais, indicadores de restauração florestal, matas ciliares, silvicultura de espécies florestais nativas, modelos de crescimento de espécies florestais nativas, recuperação de áreas degradadas. **E-mail:** sbotelho@ufla.br



  **Fausto Weimar Acerbi Júnior**

Engenheiro Florestal, graduado pela Universidade Federal de Lavras - UFLA (1995), mestrado em Engenharia Florestal na área de Manejo Florestal - Departamento de Ciências Florestais - UFLA (1998) e doutorado em Engenharia Florestal na área de concentração em Ciências Florestais - Departamento de Ciências Florestais - UFLA (2015). Atualmente é Professor Associado III no Departamento de Ciências Florestais - UFLA. Tem experiência nas áreas de Geociências e Manejo Florestal, com ênfase no desenvolvimento de técnicas de sensoriamento remoto e SIG aplicadas a análise, monitoramento e manejo da vegetação, atuando principalmente nos seguintes temas: processamento digital de imagens, geoestatística, modelagem espacial e manejo florestal. **E-mail:** fausto@ufla.br



Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000

Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil

Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp)

<https://www.editorapantanal.com.br>

contato@editorapantanal.com.br