



RAFAEL TORRES CARTOLANO

**DEFINIÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA A
RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA NO MUNICÍPIO DE
LAVRAS, MINAS GERAIS**

LAVRAS-MG

2020

RAFAEL TORRES CARTOLANO

**DEFINIÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA A RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA
NO MUNICÍPIO DE LAVRAS, MINAS GERAIS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Florestal, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Fausto Weimar Acerbi Júnior
Orientador
Me. Luciano Cavalcante de Jesus França
Coorientador

**LAVRAS-MG
2020**

RAFAEL TORRES CARTOLANO

**DEFINIÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA A RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA
NO MUNICÍPIO DE LAVRAS, MINAS GERAIS**

**DEFINITION OF PRIORITY AREAS FOR ECOLOGICAL RESTORATION IN THE
MUNICIPALITY OF LAVRAS, MINAS GERAIS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Florestal, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 21 de agosto de 2020.
Dr. Fausto Weimar Acerbi Júnior – UFLA
Dra. Soraya Alvarenga Botelho – UFLA
Me. Luciano Cavalcante de Jesus França – UFLA
Me. Lucas de Castro Moreira da Silva – UFV

Prof. Dr. Fausto Weimar Acerbi Júnior
Orientador
Me. Luciano Cavalcante de Jesus França
Coorientador

**LAVRAS-MG
2020**

À minha mãe Cristina e ao meu pai Cássio por estarem sempre ao meu lado em todas as etapas da minha vida, me apoiando, incentivando, dando muito carinho, amor e por serem os meus melhores amigos e o meu maior exemplo.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras – UFLA e ao Departamento de Ciências Florestais - DCF, por todas as experiências e conhecimentos obtidos durante a graduação.

Ao Prof. Fausto Weimar Acerbi Júnior, pelas conversas, pela paciência, pela atenção, pelos conhecimentos transmitidos e pela disponibilidade de me orientar neste trabalho.

Ao Luciano Cavalcante de Jesus França, por me coorientar, estar sempre disponível, ser tão atencioso e por ter me ensinado tanto, sem a sua ajuda e seus ensinamentos este trabalho não teria sido concluído.

À Prof^ª. Soraya Alvarenga Botelho, por sua constante colaboração durante a minha graduação, sempre disposta a ajudar e conversar.

À minha parceira Isabel, pelo companheirismo, pela paciência e por tanto ter me ajudado e tornado possível a conclusão deste trabalho.

À minha avó Marlene, por todo suporte oferecido durante toda a minha vida, mas em especial nesses últimos meses, que desempenhou papel essencial na elaboração deste trabalho.

À minha filha Maria Clara, por me ensinar o verdadeiro significado da palavra amor, e por tornar os meus dias mais felizes e alegres.

À minha família como um todo, mas em especial aqueles que me ajudaram diretamente na confecção deste trabalho.

A todos os amigos e irmãos que conquistei durante a graduação, e a aqueles de longa data, que mesmo distantes se mostram muito presentes na minha vida.

Meus mais sinceros agradecimentos.

RESUMO GERAL

A degradação e a exploração dos recursos naturais tornaram-se uma grande questão política e social do século XXI. Mundialmente tem ocorrido mudanças significativas nas paisagens, o que é em partes, consequência da pressão de ações antropogênicas sobre os ecossistemas. O Brasil é reconhecido por ser rico em biodiversidade, mas encontra-se com os seus biomas fortemente ameaçados. Os recentes problemas com incêndios florestais, o aumento do desmatamento ilegal e outras atividades de exploração de alto impacto, tem aumentado o risco de extinção de algumas espécies, sobretudo vegetais. A Mata Atlântica por exemplo, em seu estado de degradação, é o bioma mais desmatado do Brasil e grande parte de seus remanescentes encontra-se fragmentados. O Brasil assumiu o compromisso de recuperar 12 milhões de hectares de florestas nativas até 2030, uma meta onerosa e que necessita de planejamento para melhor alocação dos recursos. Portanto, a análise multicritério (AMC) aliada a um SIG (Sistema da Informações Geográficas), vem se mostrando uma importante alternativa para tomadas de decisão complexas, sobretudo quando envolve muitas variáveis. Com auxílio desta metodologia e abordagem científica, é possível seu uso na definição de áreas prioritárias para a restauração ecológica, por meio da investigação de vários critérios que representam as características de uma paisagem, gerando resultados eficientes em um curto espaço de tempo e com baixo custo. Logo, este estudo teve como objetivo mapear e identificar as áreas prioritárias para a restauração ecológica no município de Lavras, Minas Gerais, com os fins de auxiliar e melhor direcionar a escolha de áreas de maior prioridade para ações de recuperação.

Palavras-chave: Recuperação Florestal. AHP. Planejamento Ambiental. Análise Espacial. SIG. Código Florestal.

ABSTRACT

The degradation and exploration of natural resources have become a major political and social issue of the 21st century. Worldwide there have been significant changes in landscapes, which is in part, a consequence of the pressure of anthropogenic actions on ecosystems. Brazil is recognized for being rich in biodiversity, nevertheless with biomes suffering great ecological threat. Recent problems with forest fires, increased illegal deforestation and other high-impact exploration activities have increased the risk of extinction of some species, especially vegetables. The Atlantic Forest, for example, is the most deforested biome in Brazil and most of its remnants are fragmented. Brazil has committed to recover 12 million hectares of native forests by 2030, a costly goal that needs planning for better allocation of resources. Therefore, multicriteria analysis (MCA) combined with GIS (Geographic Information System) has proved to be an important alternative for complex decision-making, especially when it involves many variables. With the help of this methodology and scientific approach, it is possible to use it in the definition of priority areas for ecological restoration, through the investigation of various criteria that represent the characteristics of a landscape, generating efficient results in a short time and with a low cost. Therefore, this study aimed to map and identify the priority areas for ecological restoration in the municipality of Lavras, Minas Gerais state, with the purpose of assisting and better directing the choice of areas of higher priority for restoration actions.

Keywords: Forest Recovery. AHP. Environmental Planning. Spatial Analysis. GIS. Forest Code.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE

| | |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO GERAL | 8 |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO..... | 9 |
| 2.1 Recuperação das áreas degradadas no Brasil | 9 |
| 2.2 Análise de multicritérios em ambiente SIG..... | 10 |
| 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 12 |
| REFERÊNCIAS | 12 |

SEGUNDA PARTE - ARTIGO

| | |
|---|----|
| 1 Introdução..... | 18 |
| 2 Metodologia..... | 20 |
| 2.1 Caracterização da Área de Estudo | 20 |
| 2.2 Definição e Classificação dos Critérios..... | 21 |
| 2.2.1 Uso e Cobertura do Solo..... | 22 |
| 2.2.2 Distância de Fragmentos Florestais (DFF)..... | 22 |
| 2.2.3 Áreas de Preservação Permanente (APPs) | 23 |
| 2.2.4 Risco de Potencial Erosão | 23 |
| 2.2.5 Classes de Solo | 24 |
| 2.3 Restrições Espaciais | 24 |
| 2.4 Tomada de Decisão AHP | 24 |
| 2.5 Definição dos Pesos para os Subcritérios | 25 |
| 2.6 Combinação Linear Ponderada (CLP)..... | 26 |
| 3 Resultados e Discussão..... | 27 |
| 4 Conclusões..... | 33 |
| Referências | 33 |

1 INTRODUÇÃO GERAL

A Mata Atlântica é considerada um *hotspot* ecológico, com importância global (ARAÚJO et al., 2015), marcada pela intensa fragmentação florestal (NAEGELI DE TORRES; RICHTER; VOHLAND, 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).

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. 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.

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).

A metodologia mais utilizada na aplicação da AMC é a combinação linear ponderada (CLP), que se diferencia dos outros métodos apenas pela maneira 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.

A partir da necessidade de elencar as regiões prioritárias para restauração, a fim de melhor alocar as verbas e elaborar mais precisamente as políticas públicas para um maior aproveitamento dos recursos e benefícios ambientais, o presente estudo propõe a definição das áreas prioritárias para a restauração ecológica no município de Lavras-MG.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 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”. 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).

2.2 Análise de multicritérios em ambiente SIG

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; BLONG; JACOBSON, 2001; VALENTE; PETEAN; VETTORAZZI, 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, já os fatores são aqueles que possuem alguma característica que contribua para determinada alternativa dentro do objetivo da análise. 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 Malczewski (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, Petean e Vettorazzi (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.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando que as práticas de restauração ecológica são de elevada importância na manutenção e qualidade dos recursos naturais, a definição de áreas prioritárias se apresenta como a melhor alternativa para alocar essas ações de recuperação e a análise multicritério (AMC), aliada a um ambiente SIG, vem se mostrando como uma ferramenta notável neste processo de tomada de decisão.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F. C. et al. Análise multicritério na definição de áreas prioritárias para recuperação florestal na bacia do Rio Doce, em Minas Gerais. **Revista Nativa**, v.8, n.1, p.81-90, 2020.
- ARAUJO, L.S.; KOMONEN, A.; LOPES-ANDRADE, C. Influences of landscape structure on diversity of beetles associated with bracket fungi in Brazilian Atlantic Forest. **Biological Conservation**, v.191, p.659–666, 2015.
- ASSAD, E. et al. Papel do plano ABC e do PLANAVEG na adaptação da agricultura e da pecuária às mudanças climáticas. Working Paper. São Paulo, Brasil: **WRI Brasil**, 2019.
- BRASIL. Decreto n. 97.632 de 10 de abril de 1989. Dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2º, inciso VIII, da Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 12 de abril de 1989.
- BRASIL. 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. 2017.
- CHEN, K. P.; BLONG, R.; JACOBSON, C. MCE-RISK: integrating multicriteria evaluation and GIS for risk decision-making in natural hazards. **Environmental Modeling e Software**, v.6, n.4 p. 387-397, 2001.
- EASTMAN, J.R. Decision support: decision strategy analysis. Idrisi 32 release 2: **guide to GIS and image processing**, Worcester: Clark Labs, Clark University, 2001. v.2, 22p.
- FRANÇA, L. C. J. et al. AHP approach applied to multi-criteria decisions in environmental fragility mapping. **Revista Floresta**, v.50 n. 3 p. 1623-1632, 2020.

FREDES, A. **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, 2016.

GLOBAL FOREST WATCH. **Tree cover loss in Brasil**. 2020. Disponível em: <www.globalforestwatch.org>. Acesso em: 8 de mai. 2020.

HELMER, M. et al. Mapping heritage ecosystem services in ecological restoration areas: A case study from the East Cascades, Washington. **Journal of Outdoor Recreation and Tourism**, v.31, 2020.

HISSA, L. de B. V. et al. Regrowing forests contribution to law compliance and carbon storage in private properties of the Brazilian Amazon. **Land Use Policy**, v.88, 2019.

INSTITUTO DE PESQUISA APLICADA – IPEA. **Sustentabilidade ambiental no Brasil: biodiversidade, economia e bem-estar humano**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – Brasília: Ipea, 2010. 640 p.

LAURANCE, W. F. Conserving the hottest of the hotspots. **Biological Conservation**, v.142, n.6, 2009.

LIMA, P. V. P. S. et al. 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, 2009, v. 1, p. 27-43.

LIU, Q. et al. Ecological restoration is the dominant driver of the recent reversal of desertification in the Mu Us Desert (China). **Journal of Cleaner Production**, v.268, 2020.

LUTHER, D. A. et al. Tropical forest fragmentation and isolation: is community decay a random process? **Global Ecology and Conservation**, v.23, 2020.

MALCZEWSKI, J. **GIS and multicriteria decision analysis**. New York, John Wiley, 362p, 1999.

MALCZEWSKI, J. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. **Progress in Planning**, New York, n. 62, p. 3-65, 2004.

MALCZEWSKI, J. On the use of weighted linear combination method in GIS: common and best practice approaches. **Transactions in GIS**, v.4, n.1, p. 5-22, 2000.

MENDOZA, G.A.; PRABHU, R. Multiple criteria decision-making approaches to assessing forest sustainability using criteria and indicators: a case study. **Forest Ecology and Management**, v.131, p.107-126, 2000.

NAEGELI DE TORRES, F.; RICHTER, R.; VOHLAND, M. 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**, v.78, p. 189–201, 2019.

- OLIVEIRA, I. M. **Expansão silvicultural no estado de São Paulo: uma abordagem multicritério na seleção de áreas para compra e arrendamento**. 2019. Monografia (Bacharel em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras – UFLA, 2019.
- RAO, M.S.V.C. et al. **A weighted index model for urban suitability assessment – a GIS approach**. Bombay: Metropolitan Regional Development Authority, 1991. 134p.
- REZENDE, V.L. A mineração em Minas Gerais: uma análise de sua expansão e os impactos ambientais e sociais causados por décadas de exploração. **Soc. nat.**, Uberlândia, v. 28, n. 3, p. 375-384, 2016.
- 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, 2004.
- SAATY, T. L. **Analytical Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation**. McGraw-Hill, New York, NY, USA, 1980.
- SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.
- SARTORI, A. A. C. **Análise multicritérios na definição de áreas prioritárias à conectividade entre fragmentos florestais**. 2010. 98f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – Campus de Botucatu, Botucatu, 2010.
- SARTORI, A. A. C. et al. Combinação linear ponderada na definição de áreas prioritárias à conectividade entre fragmentos florestais em ambiente SIG. **Árvore**, v. 36, p. 1079 - 1090, 2012.
- 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.
- TEIXEIRA, L. et al. Fragmentação da paisagem no município de Bragança Paulista-SP. **Ciênc. Florest.**, Santa Maria, v.28, n.3, p. 937-948, 2018.
- TOBIN, P. et al. Mapping states' Paris climate pledges: Analysing targets and groups at COP 21. **Global Environmental Change**, v.48, p. 11–21, 2017.
- VALENTE, R. A.; PETEAN, F. C. S.; VETTORAZZI, C. A. Multicriteria decision analysis for prioritizing areas for forest restoration. **Cerne**, v.23, n.1 p. 53-60, 2017.
- VALENTE, R. O. A.; VETTORAZZI, C. A. Definition of priority areas for forest conservation through the ordered weighted averaging method. **Forest Ecology and Management**, v.256, n.6, p. 1408-1417, 2008.
- VETTORAZZI, C. A. **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. 2006.

VIANA, V. M. 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, 1995. p. 135-154.

SEGUNDA PARTE – ARTIGO

**DEFINIÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA A RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA
NO MUNICÍPIO DE LAVRAS, MINAS GERAIS**

**DEFINITION OF PRIORITY AREAS FOR ECOLOGICAL RESTORATION IN THE
MUNICIPALITY OF LAVRAS, MINAS GERAIS**

**Artigo redigido conforme as normas da Revista Anuário do Instituto de Geociências da
Universidade Federal do Rio de Janeiro, e adequado de acordo com o Manual da UFLA
de apresentação de Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC).**

Definição de Áreas Prioritárias para a Restauração Ecológica no Município de Lavras, Minas Gerais

Definition of Priority Areas for Ecological Restoration in the Municipality of Lavras, Minas
Gerais

Resumo

Entre os principais compromissos assumidos pelo Brasil na Conferência das Partes (COP-21) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Mudanças do Clima (UNFCCC), 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 estudo teve como objetivo de mapear e definir as áreas prioritárias para a restauração ecológica no 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 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 pesos referentes a prioridade de restauração: (I) *muito baixa*, (II) *baixa*, (III) *média*, (IV) *alta* e (V) *muito alta*. Foi obtido como resultado, 86,87% da área classificada com *baixa* e *muito baixa* prioridade e 10,53% com *alta* e *muito alta*. A metodologia utilizada possui elevada aplicabilidade em outros municípios ou regiões, o que auxilia a melhor alocação dos recursos investidos em programas e práticas de recuperação. 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.

Palavras-chave: restauração florestal; análise multicritério; planejamento ambiental.

Abstract

Among the main commitments made by Brazil at the Conference of the Parties (COP-21) of the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), the challenge of reforesting 12 million hectares of native forests by 2030 is very significant. In this sense, many research approaches can help structure the actions to achieve this goal, including Multicriteria Analysis (MCA) in environmental planning and decision-making for the prioritization of areas for restoration, as it allows the analysis of different indicators and the biophysical structure of the landscape. The present work aims to map and define the priority areas for ecological restoration in the municipality of Lavras, Minas Gerais, using the MCA combined with the hierarchical analytical process (AHP) in GIS environment (geographic information system). Five criteria were considered: land use and cover, risk of potential erosion, distance from forest fragments, soil classes and permanent preservation areas (APPs), which were classified according to their importance. The classes of urban area, native vegetation and water were considered as restriction areas. Subsequently, each layer received weights related to the recovery priority: (I) very low, (II) low, (III) medium, (IV) high and (V) very high. Through the weighted linear combination (PLC), the mapping of priority areas was generated, which proved to be consistent and reliable. As a result, 86.87% of the area was classified as low and very low priority and 10.53% was classified as high and very high priority. The methodology used has high applicability in other municipalities or regions, which helps to better allocate the resources invested in recovery programs and practices. The AMC proved to be an agile and effective method, if is used biophysical indicators consistent with the local physiographic, reliable database and the criteria carefully considered with technical and scientific basis.

Keywords: forest restoration; multicriteria analysis; environmental planning.

1 Introdução

Mundialmente as paisagens naturais têm sofrido transformações significativas em virtude da urbanização e outras atividades antrópicas. Grande parte dos solos, por exemplo, estão em constante processo de degradação, que tem se tornado insustentável devido a crescente pressão exercida pela exploração de recursos e obtenção de serviços (Kopittke *et al.*, 2019).

Dessa forma, em 2011 na Alemanha, foi lançado o Desafio de Bonn, uma aliança global com o objetivo de restaurar e conservar florestas, evitar o desmatamento e promover práticas de uso sustentável do solo (Lewis *et al.*, 2019). A meta era restaurar 150 milhões de hectares (ha) no mundo até 2020, que teve sua ampliação em 2015, para um total de 350 milhões de ha até 2030 (IUCN, 2017). Para contribuir com essa meta, 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).

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, inclusive algumas de importância econômica (Metzger *et al.*, 2019). A perda de grande parte da cobertura vegetal do Brasil é, em parte, fruto de seu desenvolvimento aliado às práticas adotadas para obter recursos econômicos, utilizando-se dos seus bens naturais de maneira não sustentável. A exploração desordenada, o crescimento demográfico, o uso inadequado dos solos e o desmatamento ilegal estão causando diversos problemas ambientais, por exemplo, impactando diretamente no escoamento superficial e na infiltração da água no solo, causando perdas de solo por erosão e assoreamento dos canais de drenagem (Nóbrega, 2014; Bertini *et al.*, 2015).

Outra consequência da ação antrópica é a fragmentação florestal, 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* de biodiversidade (Esser *et al.*, 2019), que possui grande parte de seus remanescentes florestais fragmentados, principalmente em áreas intensamente cultivadas (Silva *et al.*, 2018).

No estado de Minas Gerais, região do Brasil de importante contribuição econômica, sobretudo baseada no uso dos recursos do solo e 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 seu uso e manejo inadequado, que aceleram a perda da viabilidade de uso e qualidade ambiental destes ecossistemas (Moura *et al.*, 2017).

Dessa forma, em consonância com o compromisso assumido no Desafio de Bonn, 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 Código Florestal 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), sendo que, a manutenção da vegetação nativa contida nessas áreas é de inteira responsabilidade dos proprietários da terra.

Cabe destacar que a água de boa qualidade, um recurso essencial, é diretamente afetada pela degradação dos ecossistemas. O reflorestamento por meio de ações de recuperação florestal, tem se mostrado a opção mais viável e economicamente acessível quando se deseja provisão de água de boa qualidade e reduzir os custos do seu tratamento (Marmontel & Rodrigues, 2015). Apesar disso, a recuperação incide elevados custos, o que exige um detalhado planejamento para ser assertivo e guiar a correta destinação de recursos e obtenção de maiores benefícios ambientais. A minimização de custos na restauração ecológica é uma máxima esperada (Strassburg *et al.*, 2019).

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 (Valente & Vettorazzi, 2008; 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, que se diferenciam apenas na maneira de agrupar os critérios. A mais utilizada é a Combinação Linear Ponderada (CLP), que apresentou ser eficaz na priorização de áreas em vários estudos (Sartori *et al.*, 2012; França *et al.*, 2019; Almeida *et al.*, 2020), demonstrando coerência com a realidade observada.

Sendo assim, este estudo 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 sítios de ecossistemas frágeis, ou prioritários para ações de

conservação e recuperação nesta região, reforçam a importância deste estudo, sobretudo, com o intuito de auxiliar em políticas públicas, projetos de reflorestamentos, ou indicar áreas com passivo ambiental. Logo, dentre as principais contribuições deste estudo estão a proposição de indicadores da paisagem para integração do modelo de priorização de áreas para restauração ecológica, que considera as restrições técnicas mais comuns relacionadas a esta abordagem. Desta maneira este estudo teve como objetivo identificar as áreas prioritárias para a restauração ecológica no município de Lavras, Minas Gerais, Brasil.

2 Metodologia

2.1 Caracterização da Área de Estudo

A área analisada neste estudo corresponde ao município de Lavras, mesorregião geográfica do Campo das Vertentes, sul do estado de Minas Gerais (Figura 1), 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).

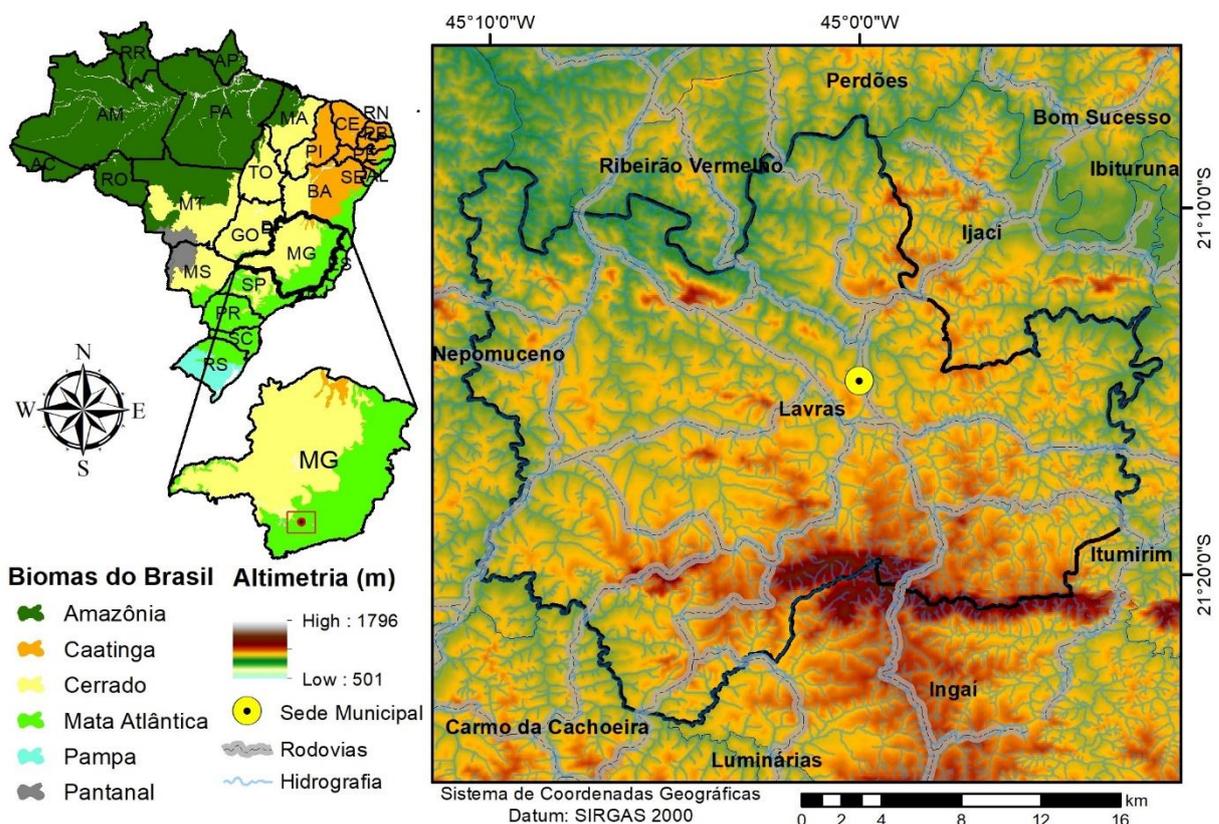


Figura 1. Localização do município de Lavras no contexto do estado de Minas Gerais, Brasil.

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.

2.2 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) (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. Os procedimentos metodológicos executados no estudo são descritos no esquema ilustrativo da Figura 2.

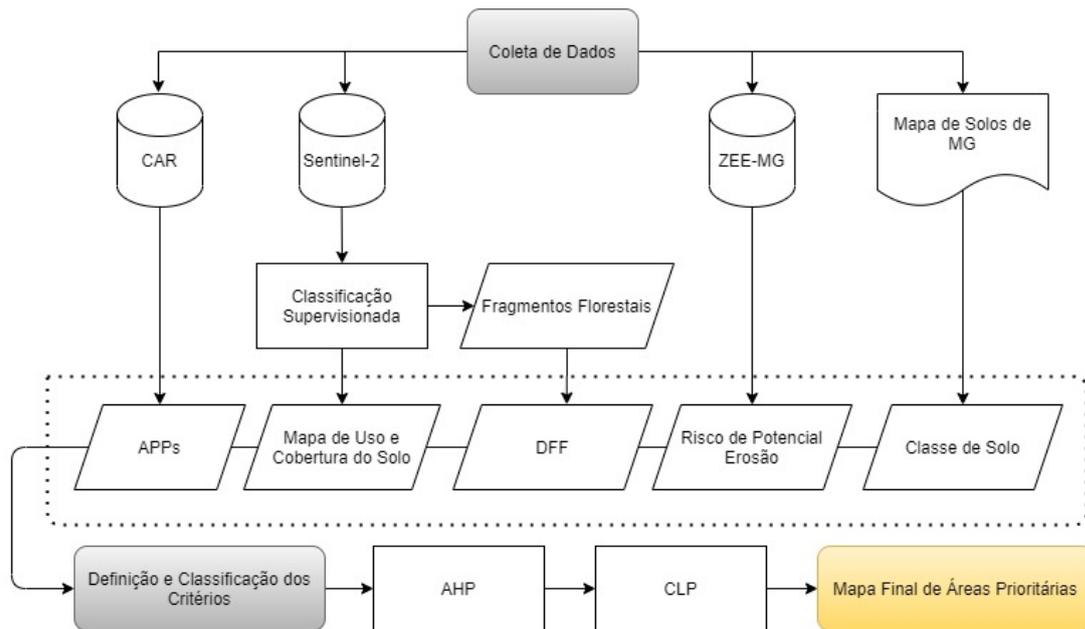


Figura 2. Fluxograma detalhando os procedimentos metodológicos utilizados para a identificação das áreas prioritárias para a restauração ecológica no município de Lavras-MG. * CAR: Cadastro Ambiental Rural; ZEE-MG: Zoneamento Ecológico Econômico de Minas Gerais; APPs: Áreas de Preservação Permanente; DFF: Distância de Fragmentos Florestais; AHP: *Analytic Hierarchy Process*; CLP: Combinação Linear Ponderada.

2.2.1 Uso e Cobertura do Solo

O mapa de uso e cobertura do solo (Figura 3-A), 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, demonstrados em Nery *et al.* (2013). Tais classes, demonstradas na Figura 3-A, 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.

2.2.2 Distância de Fragmentos Florestais (DFF)

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 3-D), 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).

2.2.3 Áreas de Preservação Permanente (APPs)

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 3-C), foi obtida por meio do processamento do Modelo Digital de Elevação (MDE) (INPE, 2008), seguindo metodologia proposta por Oliveira *et al.* (2020). 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 assoreamentos dos cursos d'água, bem como atuam como filtro de substâncias tóxicas e poluentes.

2.2.4 Risco de Potencial Erosão

O critério risco de potencial erosão (Figura 3-B), foi obtido do trabalho de Zoneamento Ecológico-econômico de Minas Gerais (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 levando em consideração quatro indicadores: erodibilidade do solo, erosividade das chuvas, cobertura vegetal e relevo, o qual manteve sua classificação original do risco (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 (Silva *et al.*, 2007; Blanco-Canqui & Lal, 2008).

2.2.5 Classes de Solo

A camada referente às classes de solo encontrados no município de Lavras (Figura 3-E), 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 da sua natureza pedológica, a qual influencia diretamente as suas características e propriedades físicas, químicas e biológicas (Silveira *et al.*, 2014).

2.3 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.

2.4 Tomada de Decisão AHP

Visando a redução da subjetividade no processo de atribuição dos pesos de importâncias para cada um 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* (daqui em diante 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. 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), que realiza uma aplicação ao campo das análises multicritério em priorização de áreas naturais serem destinadas para estratégias de conservação e restauração.

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 1) (Saaty & Vargas, 1991).

| Valor | Recíproco | Definição |
|-----------|-----------|---|
| 1 | 1 | <i>Igual importância:</i> os dois critérios contribuem da mesma maneira. |
| 3 | 1/3 | <i>Pouco mais importante</i> do que o outro. |
| 5 | 1/5 | <i>Muito mais importante:</i> um dos critérios é claramente mais importante do que o outro. |
| 7 | 1/7 | <i>Fortemente mais importante:</i> um dos critérios é mais importante do que o outro. |
| 9 | 1/9 | <i>Extremamente mais importante:</i> um dos critérios, sem dúvidas, é absolutamente predominante para o objetivo. |
| 2,4,6 e 8 | * | Valores intermediários de julgamento (Utilizados quando há conflitos sobre determinada ponderação e se procura uma condição de compromisso entre duas definições) |

Tabela 1. Intensidade da escala fundamental de classificação de Saaty.

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 1 e 2. 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).

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

$$TC = \frac{IC}{IR} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde, IC: Índice de Consistência; λ_{\max} : Vetor principal de Eigen; n : número de critérios avaliados; TC: Taxa de Consistência; *IR: Índice Randômico (*Valor de IC verifica-se em Saaty, 1990).

2.5 Definição dos Pesos para os Subcritérios

Para a definição dos pesos 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. Os subcritérios pontuados com valor zero, foram considerados como zonas restritivas, conforme demonstrado na Tabela 2.

| Critério | Subcritério | Valor |
|----------------------------------|----------------------------|--------------|
| Uso e cobertura do solo | Solo exposto | 5 |
| | Área urbana | 0 |
| | Vegetação nativa | 0 |
| | Agricultura | 2 |
| | Pastagem | 3 |
| | Silvicultura | 1 |
| | Água | 0 |
| *DFF (m) | 100 | 5 |
| | 200 | 4 |
| | 300 | 3 |
| | 400 | 2 |
| | 500 | 1 |
| *APP | Área de APP | 5 |
| Risco de Potencial Erosão | Muito baixo | 1 |
| | 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 |
| | Latossolo Vermelho | 1 |
| | Latossolo Vermelho-amarelo | 1 |

Tabela 2. Critérios, subcritérios e seus respectivos valores. *DFF = Distância dos Fragmentos Florestais; APP = Áreas de Preservação Permanentes.

2.6 Combinação Linear Ponderada (CLP)

A CLP é um dos métodos mais utilizados na AMC (Análise Multicritério), 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 3, em que W_i = peso do fator i ; X_i = fator padronizado; k = número de restrições e C_j = restrição.

$$S = \sum_{i=1}^n W_i \times X_i \times \prod_{j=1}^k C_j \quad (\text{Eq. 3})$$

3 Resultados e Discussão

Para a obtenção do mapa final 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 (Figura 3).

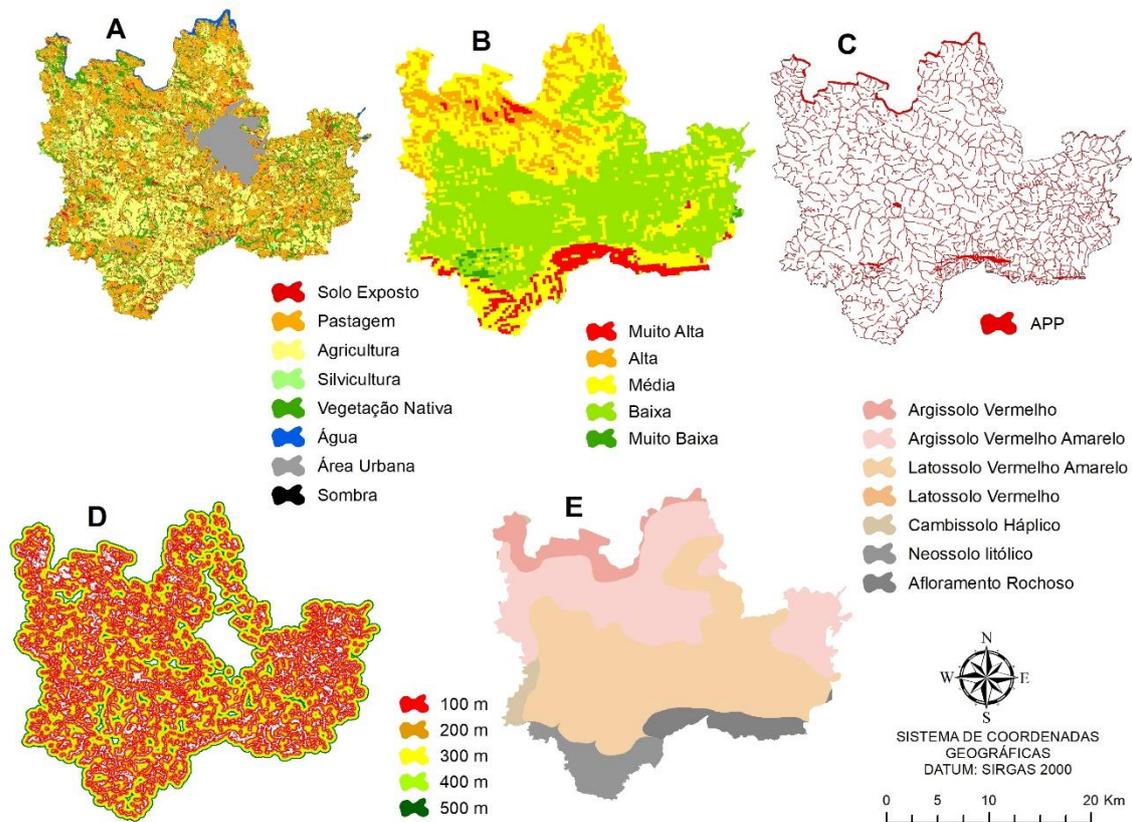


Figura 3. Prancha com mapas multicritérios considerados na avaliação. (A) Uso e Cobertura do Solo; (B) Risco de Potencial Erosão; (C) Áreas de Preservação Permanente (APP); (D) Distância de Fragmentos Florestais (DFF); e (E) Classes de Solo.

Os critérios foram hierarquizados de acordo com a importância de cada fator. O resultado da matriz pareada está apresentado na Tabela 3. 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 gerado 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.

| | 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 |

Tabela 3. Matriz pareada para o município de Lavras-MG. IC= 0,09; TC= 0,08. **Fator 1** = Uso e Cobertura do Solo; **Fator 2** = APPs; **Fator 3** = Risco de Potencial Erosão; **Fator 4** = DFF; **Fator 5** = Classes de solo.

A partir da Combinação Linear Ponderada (CLP), foi produzido o mapa de áreas prioritárias para a restauração ecológica no município de Lavras-MG (Figura 4). 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 4 apresenta as classificações e suas respectivas áreas quantificadas.

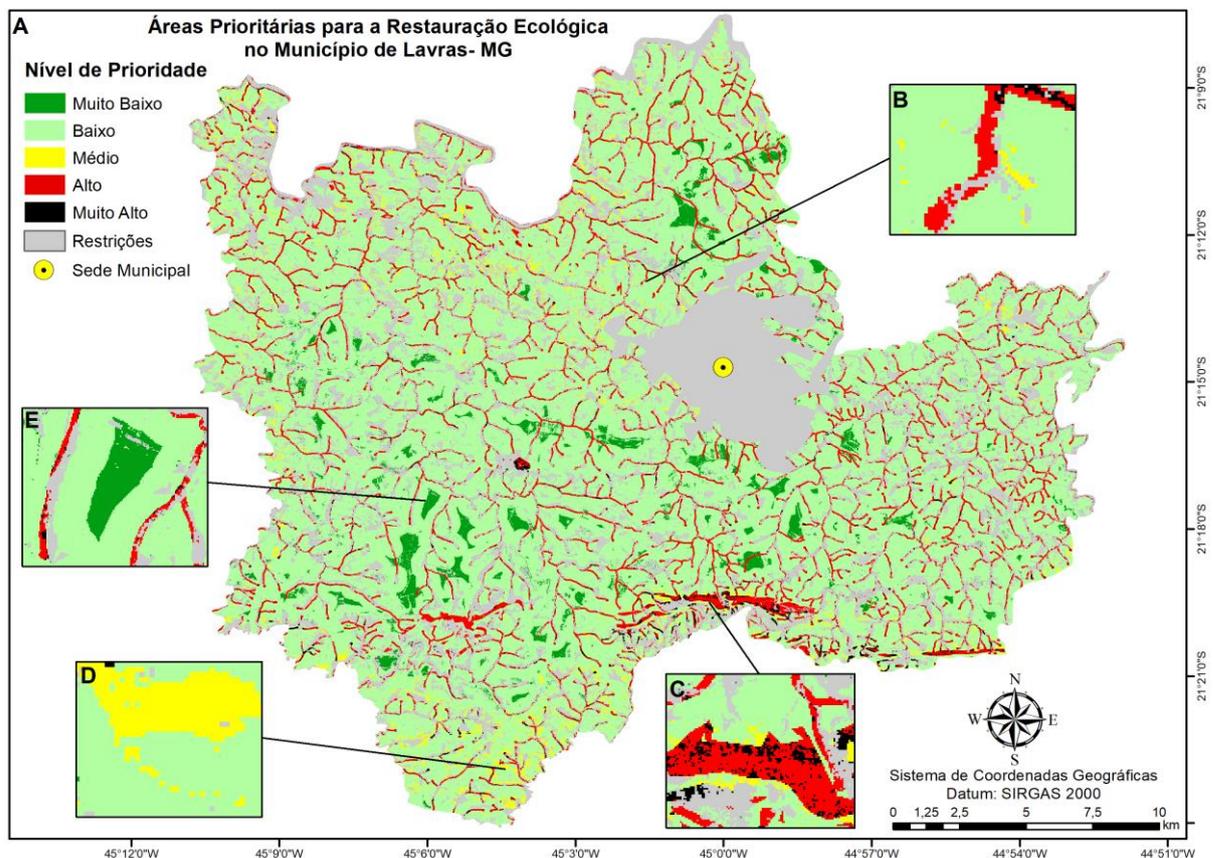


Figura 4. Áreas prioritárias para a restauração ecológica no município de Lavras-MG. (A) Mapa principal na escala do município; (B) Aproximação sobre APPs classificadas com *alta* prioridade; (C) Aproximação sobre a Serra da

Bocaina, em sítios de *alta* e *muito alta* prioridade; **(D)** Áreas com solo exposto classificadas com *média* prioridade e; **(E)** Porção classificada como *muito baixa* prioridade.

| 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 |

Tabela 4. Valores de área para os cinco níveis de prioridade para restauração florestal.

Verificando-se o mapa final das áreas prioritárias para a restauração ecológica em Lavras (MG) (Figura 4), 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 4C).

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°. Apesar da classificação recebida pelo estudo, a área não é apta a ser reflorestada, porém por ser um sítio de elevada fragilidade ambiental, por necessitar de práticas conservacionistas para conter e evitar erosões bem como, a supressão de sua vegetação rupestre, os resultados obtidos são pertinentes.

Nota-se também, visualmente, muitas manchas de *alta* e *muito alta* prioridades associadas as hidrografias, estas estão diretamente correlacionadas com a distribuição espacial das APPs (Figura 4-B). Esses resultados são corroborados pelos desfechos dos estudos de Mello *et al.* (2016) e Almeida *et al.* (2020) e, trabalhos de Lima (2005), Lima e Zakia (2006) e Mingoti e Vettorazzi (2011), que destacaram que a presença de florestas nas zonas ripárias melhoram a qualidade da água e reduzem os sedimentos ali depositados.

Alguns sítios na porção central do município apresentam prioridades do tipo *muito baixa* (Figura 4-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 utilizadas boas práticas de manejo e gestão 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 4-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 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. 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 representarem prioridades para mais ou para menos de acordo com a realidade prática nas instâncias reais.

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*) (Tabela 2).

Dessa forma, é preciso ponderar que o presente estudo 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, podendo ser utilizada como uma ferramenta de ordenamento espacial 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.

O risco de potencial erosão foi o terceiro critério com maior peso, visto que, a erosão 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 estão demonstrados na Tabela 2 e, a Figura 3-E evidencia 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; Sen & 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 na escala da paisagem, podendo ser inclusive base para ações do Brasil no contexto da meta de reflorestar 12 milhões de hectares até 2030.

4 Conclusões

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.

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 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.

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.

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.
- Agência Espacial Europeia (ESA). 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.
- 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.
- Aronson, J. & Alexander, S. 2013. Ecosystem Restoration is Now a Global Priority: Time to Roll up our Sleeves. *Restoration Ecology*, 21(3): 293-296.

- 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.
- 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.
- 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, 2017. 73 p.
- 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*, 16(4): 387-397.
- 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.
- Dantas, A. A. A.; Carvalho, L. G. & Ferreira, E. 2007. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. *Ciência e Agrotecnologia*, 31(6): 1862-1866.
- 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.
- 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.; 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Landis, J. & Koch, G. 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics, 33(1): 159-174.
- Lavras. 2007. Lei complementar 097, de 17 de abril de 2007. Instituiu o Plano Diretor do Município de Lavras.
- Lewis, S. L.; Wheeler, C. E.; Mitchard, E. T. A. & Koch, A. 2019. Regenerate natural forests to store carbon. Springer Nature Limited, 568: 25-28.
- Lima W. P. & Zakia, M. J. B. 2006. O papel do ecossistema ripário. *In: As florestas plantadas e a água: implementando o conceito da microbacia hidrográfica como unidade de planejamento*, São Paulo, RiMa, p. 77-88.
- Lima W.P. 2005. Floresta natural protege e estabiliza recursos hídricos. Visão Agrícola, (4): 30-33.
- 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.
- Malczewski, J. 1999. GIS and multicriteria decision analysis. New York, John Wiley, 362p.
- 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.
- 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.
- Metzger, J. P.; Bustamante, M. M. C.; Ferreira, J.; Fernandes, G. W.; Librán-Embí, 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.
- 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.

- 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.
- 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.
- 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.
- Nery, C. V. M.; Fernandes, F. H. S.; Moreira, A. A. & Braga, F. L. 2013. Avaliação das técnicas de classificação MAXVER, MAXVERER-ICM e distância mínima euclidiana de acordo com índice Kappa. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 06(2): 320-328.
- Nóbrega, R. S. 2014. Impactos do desmatamento e de mudanças climáticas nos recursos hídricos na Amazônia ocidental utilizando o modelo SLURP. *Revista Brasileira de Meteorologia*. 29: 111-120.
- 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.
- 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.
- 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.
- Plano Diretor Florestal. 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.
- 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.
- Saaty, T. L. 1991. Some mathematical concepts of the Analytic Hierarchy Process. *Behaviormetrika*, 18(29): 1–9.
- 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.; 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.
- 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.
- 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).
- 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 UFLA, 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.
- SFB - Serviço Florestal Brasileiro. 2019. Sistema Nacional de Informações Florestais (SNIF). Disponível em: <http://snif.florestal.gov.br/pt-br/conservacao-das-florestass/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 Guaraíra 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.
- Silva, T. C. M. & Vieira, I. C. G. 2020. Identification of priority areas for ecological restoration eastern Pará, Brazil. *Floresta e Ambiente*, 27(2).
- 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.
- 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.

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.

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.

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: 1408-1417.

Vettorazzi, C. A., & Valente, R. A. 2016. Priority areas for forest restoration aiming at the conservation of water resources. *Ecological Engineering*, 94: 255–267.

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.