



INSTITUTO FEDERAL
Fluminense
Campus Macaé

MINISTÉRIO DA
EDUCAÇÃO



PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MODALIDADE PROFISSIONAL

SELEÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA RESTAURAÇÃO FLORESTAL, VISANDO A
CONSERVAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NA BACIA DO RIO URUBU, ATRAVÉS DA
ANÁLISE MULTICRITÉRIOS

JULLIANA OLIVEIRA DE ARAUJO PEREIRA

MACAÉ-RJ

2021

JULLIANA OLIVEIRA DE ARAUJO PEREIRA

SELEÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA RESTAURAÇÃO FLORESTAL, VISANDO A
CONSERVAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NA BACIA DO RIO URUBU, ATRAVÉS DA
ANÁLISE MULTICRITÉRIOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, área de concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.

Orientador: D.Sc Luis Felipe Umbelino

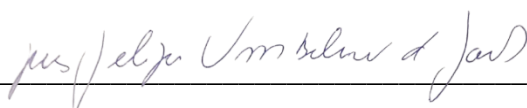
MACAÉ-RJ

2021

Dissertação intitulada **SELEÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA RESTAURAÇÃO FLORESTAL, VISANDO A CONSERVAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NA BACIA DO RIO URUBU, ATRAVÉS DA ANÁLISE MULTICRITÉRIOS**, elaborada por **Julliana Oliveira de Araújo Pereira** e apresentada, publicamente perante a Banca Examinadora, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Fluminense - IFFluminense, na área concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.

Aprovado em: 26 de abril de 2021

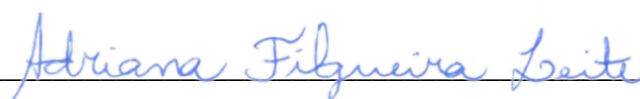
Banca Examinadora:



Luis Felipe Umbelino, Doutor em Ecologia / Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ),
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPEA/IFF)
Orientador



Vívian Castilho da Costa, Doutora em Geografia / Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ),
Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO/UERJ)



Adriana Filgueira Leite, Doutora em Geografia/ Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPG/UFF)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

- P436s Pereira, Julliana Oliveira de Araujo, 1992-.
Seleção de áreas prioritárias para restauração florestal, visando a conservação dos recursos hídricos na Bacia do Rio Urubu, através da análise multicritérios/ Julliana Oliveira de Araujo Pereira. — Macaé, RJ, 2021.
xiii, 53 f.: il. color.
- Orientador: Luis Felipe Umbelino, 1979-.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Macaé, RJ, 2021.
Inclui referências.
Área de concentração: Sustentabilidade Regional.
Linha de Pesquisa: Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.
1. Reflorestamento - Urubu, Rio, Bacia. 2. Água - Conservação - Brasil. 3. Mapeamento florestal. 4. Sistemas de informação geográfica. 5. Análise Multicritérios (Método). I. Umbelino, Luis Felipe, 1979-, orient. II. Título.
- CDD 634.956 (23. ed.)

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por ser essencial em minha vida, me dar forças e iluminar meu caminho durante essa jornada.

Ao meu orientador, professor Luis Felipe, pelo suporte a este trabalho e valiosa amizade; agradeço ainda pelo incentivo e dedicação contínua.

Ao professor Rapahel Fernandes, pelos conhecimentos compartilhados e excelentes contribuições ao trabalho.

Aos membros da banca examinadora pelo interesse, disponibilidade e colaboração a este trabalho.

Ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Fluminense, pela oportunidade de realizar este curso.

À minha mãe, Nelma, pelo apoio incessante e pelo esforço que investiu na minha educação. Espero, um dia, retribuí-la à altura.

Aos meus avós, Almy e Nely, pelo exemplo de vida e por me passarem valores preciosos; agradeço, ainda, pelos conselhos, pelo incentivo, pelo ombro mais que maternal buscado nas horas difíceis, e pelo privilégio da convivência.

Ao meu esposo Estevão, que representa minha segurança em todos os aspectos, companheiro incondicional, o abraço espontâneo e tão necessário; agradeço ainda pelo carinho, compreensão, amor e solidariedade inefável.

Aos meus sogros, Márcia e Rogério, por toda ajuda fornecida nos momentos em que precisei, pelo acolhimento e proteção. Sem palavras para agradecê-los.

À todas as pessoas que diretamente ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

“Bendito seja o Senhor, a minha Rocha, que treina as minhas mãos para a guerra e os meus dedos para a batalha. Ele é o meu aliado fiel, a minha fortaleza, a minha torre de proteção e o meu libertador, é o meu escudo, aquele em quem me refugio”

Salmos 144:1-2

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO CIENTÍFICO 1

Figura 1 – Grupo de temáticas versus número de artigos científicos publicados.....	19
--	----

ARTIGO CIENTÍFICO 2

Figura 1 – Etapas metodológicas utilizadas na pesquisa.	37
Figura 2 – Localização da bacia hidrográfica do rio Urubu, Campos dos Goytacazes-RJ.....	42
Figura 3 – Prancha com os planos de informações utilizados na pesquisa, sendo: (A) Concentração das nascentes por Kernel; (B) feições erosivas por IDW; (C) Buffer de distância da rede de drenagem; (D) Concentração da malha viária por Kernel.	55
Figura 4 – Prancha com os planos de informações utilizados na pesquisa, sendo: (A) declividade ; (B) Uso e ocupação do solo; (C) Pedologia..	56

LISTA DE TABELAS

ARTIGO CIENTÍFICO 2

Tabela 1 – Intensidade da escala de classificação de Saaty.....	50
Tabela 2 – Índice randômico de acordo com o número de fatores estudados.....	51
Tabela 3 – Matriz de pesos dos critérios definidos pelo método AHP.....	53
Tabela 4 – Classes das áreas prioritárias para restauração florestal com os respectivos cálculos do percentual por área.....	51
Tabela 5 – Classes de uso e cobertura do solo e suas respectivas áreas em ha e percentual por área.....	58

LISTA DE QUADROS

ARTIGO CIENTÍFICO 2

Quadro 1 – Classes de declividade e percentual de área da bacia do rio Urubu.....	42
Quadro 2 – Quadro 2: Relação entre os critérios e suas respectivas classes para obtenção dos pesos para cada classe.	54

LISTA DE SÍMBOLOS

ha – Hectare

Km – Quilômetro

Km² – Quilômetro quadrado

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACP – Análises de Componentes Principais

AHA – Análise Hierárquica Analítica

AHP – Analytic Hierarchy Process

AP – Áreas prioritárias

APA – Área de Proteção Ambiental

APC – Áreas prioritárias para conservação

APPs – Áreas de Preservação Permanente

CEIVAP – Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul

COPPETEC – Fundação Coordenação de Projetos, Pesquisas e Estudos Tecnológicos

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Naturais

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IC – Índice de Consistência

IDW – Inverse Distance Weighted

IFF – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense

INEA – Instituto Estadual do Ambiente

MDE – Modelo Digital de Elevação

MMA – Ministério do Meio Ambiente

ONU – Organização das Nações Unidas

PAF – Programa Produtor de Água e Floresta

PI – Plano de Informação

PPEA – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

PROHIDRO – Programa Estadual de Conservação e Revitalização de Recursos Hídricos

PRO-PSA – Programa Estadual de Pagamento por Serviços ambientais

PSA – Pagamento por Serviços Ambientais

PSC – Planejamento Sistemático da Conservação

RH IX – Região Hidrográfica do Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana

RJ – Rio de Janeiro

SbN – Soluções baseadas na Natureza

SciELO – *Scientific Electronic Library Online*

SIG – Sistema de Informação Geográfica

UFF – Universidade Federal Fluminense

WLC – Combinação Linear Ponderada

SELEÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA RESTAURAÇÃO FLORESTAL, VISANDO A CONSERVAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NA BACIA DO RIO URUBU, ATRAVÉS DA ANÁLISE MULTICRITÉRIOS

RESUMO

O uso intensivo dos recursos naturais sem o devido planejamento, representa um dos principais desafios à conservação e manutenção da qualidade ambiental. A cobertura florestal é um fator fundamental para o equilíbrio ecossistêmico e da diversidade biológica, intervindo no controle da erosão, melhoria na qualidade da água, regulação das secas e inundações, proteção às nascentes e cursos d'água, além da função social de lazer e turismo. Contudo, a alocação de florestas em uma bacia hidrográfica pode ser um processo complexo e por vezes conflituoso, tendo em vista os diferentes objetivos e as particularidades de interesses. Nesse contexto, destaca-se a importância da seleção de áreas prioritárias para conservação em bacias hidrográficas, visando sobretudo, manter a quantidade, qualidade e a permanência do suprimento de água doce, atuando juntamente com os propósitos de conservação da biodiversidade. Objetiva-se com o presente trabalho, identificar áreas prioritárias para restauração florestal na bacia hidrográfica do rio Urubu, tendo em vista a conservação dos recursos hídricos. Para tanto, neste trabalho, utilizamos duas estratégias de pesquisa: a pesquisa bibliográfica e a pesquisa experimental. Inicialmente, verificamos os principais critérios utilizados para seleção de áreas prioritárias em bacias hidrográficas, obtendo como resultado, as recomendações para a elegibilidade dos critérios que compõem o processo de seleção dessas áreas. Em seguida, identificamos as áreas com potencial para restauração florestal na bacia hidrográfica do rio Urubu, visando possibilitar a conservação dos recursos hídricos. Definimos os critérios utilizados para análise sob a ótica da restauração paisagística, considerando as funções ecológicas e econômicas, com objetivo de obter um mapeamento detalhado de onde aplicar investimentos em reflorestamento. A metodologia utilizada foi a Análise Multicritérios, em ambiente SIG, por meio da Álgebra de mapas. O mapa final resultante da análise permite que o tomador de decisão realize a restauração florestal seguindo os cenários propostos, segundo o grau de prioridade evidenciado, avaliando cada um deles isoladamente ou em conjunto e fazendo adaptações durante o processo, caso julgue necessárias.

Palavras-chave: Áreas prioritárias. Restauração Florestal. Sistemas de Informações Geográficas; Análise Multicritérios.

SELECTION OF PRIORITY AREAS FOR FOREST RESTORATION, AIMING AT THE CONSERVATION OF WATER RESOURCES IN THE URUBU RIVER BASIN, THROUGH MULTICRITERY ANALYSIS

ABSTRACT

The intensive use of natural resources without proper planning, represents one of the main challenges to the conservation and maintenance of environmental quality. Forest cover is a fundamental factor for ecosystem balance and biological diversity, intervening in the control of erosion, improvement in water quality, regulation of droughts and floods, protection of springs and water courses, in addition to harmonization and beautification of the landscape. However, the allocation of forests in a hydrographic basin can be a complex and sometimes conflicting process, in view of the objectives and the particularities of interests. In this context, the selection of priority areas for conservation in hydrographic basins stands out, aiming above all to maintain the quantity, quality and permanence of the fresh water supply, acting together with the purposes of biodiversity conservation. The objective of this work is to identify priority areas for forest restoration in the hydrographic basin of the Urubu River, with a view to the conservation of water resources. Therefore, in this work, we use two research strategies: bibliographic research and experimental research. Initially, we verified the main criteria used for the selection of priority areas in river basins, obtaining as a result, the recommendations for the eligibility of the criteria that make up the selection process of these areas. Then, we identified the areas with potential for forest restoration in the hydrographic basin of the Urubu River, aiming to enable the conservation of water resources. We defined the criteria used for analysis from the perspective of landscape restoration, considering the ecological and economic functions, in order to obtain a detailed mapping of where to invest in reforestation. The methodology used was Multicriteria Analysis, in a GIS environment, using map algebra. The final map resulting from the analysis, allows the decision maker to carry out the forest restoration according to the proposed scenarios, according to the degree of priority evidenced, evaluating each one of them and making adaptations, if deemed necessary, during the process.

Keywords: *Priority areas. Forest Restoration. Geographic Information Systems; Multicriteria Analysis.*

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABELAS.....	v
LISTA DE QUADROS.....	v
LISTA DE SÍMBOLOS.....	vi
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	vi
RESUMO.....	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
APRESENTAÇÃO.....	13
ARTIGO CIENTÍFICO 1: CRITÉRIOS PARA A SELEÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA A CONSERVAÇÃO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS	14
1. INTRODUÇÃO.....	15
2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	17
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
3.1. Grupos temáticos para áreas prioritárias.....	18
3.2. Priorização de áreas para manejo em bacias hidrográficas	19
3.3. Critérios para priorização de áreas.....	20
3.4. Ponderação dos critérios.....	27
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28
ARTIGO CIENTÍFICO 2: USO DA ANÁLISE MULTICRITÉRIOS NA DEFINIÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS À RESTAURAÇÃO FLORESTAL NA BACIA DO RIO URUBU	33
1. INTRODUÇÃO	34
2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	37
2.1. Área de estudo	37
2.2. Delimitação do recorte espacial: bacia do rio Urubu	39
2.3. Aquisição e elaboração da base de dados	39
2.4. Definição dos critérios	40
2.5. Análise multicritérios/ Processo Analítico Hierárquico (AHP).....	44

2.6 Reclassificação dos fatores.....	46
2.7. Álgebra de mapas – Integração dos planos de informação	47
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
3.1. Resultados	47
3.2. Discussão.....	53
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	58
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58

APRESENTAÇÃO

A presente dissertação constitui-se de uma pesquisa de caráter exploratório-descritivo, integrada por dois artigos científicos, conforme as normas para defesa de dissertação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, que utilizou duas estratégias de pesquisa: a pesquisa bibliográfica e a pesquisa experimental. O artigo 1, intitulado “Critérios para a seleção de áreas prioritárias para a conservação em bacias hidrográficas”, teve por objetivo compreender a lacuna de estudos existentes dentro da temática de áreas prioritárias para conservação, a partir dos artigos científicos publicados do período de 2009 a 2019. Para seleção dos artigos científicos, utilizamos a base de dados do Portal de Periódicos CAPES/MEC, bem como documentos temáticos acerca de projetos e programas governamentais brasileiros sobre áreas prioritárias.

Em seguida, realizamos uma segunda análise, onde buscamos na literatura técnica e científica publicações que retratassem métodos e experiências para seleção de áreas prioritárias, bem como os principais critérios (fatores) para seleção de locais prioritários para incremento de ações de conservação e/ou restauração florestal, tendo em vista o benefício direto aos recursos hídricos. Este artigo científico foi submetido e aceito na Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais (RICA V.12 N.03/2021). No presente documento, este artigo de revisão de literatura encontra-se formatado conforme as normas da RICA.

O artigo científico 2, intitulado “Uso da Análise multicritérios na definição de áreas prioritárias à restauração florestal na bacia do rio Urubu”, teve por objetivo identificar áreas com potencial para restauração florestal na bacia hidrográfica do rio Urubu, visando possibilitar a conservação dos recursos hídricos.

Para realização deste estudo, foi selecionada a bacia hidrográfica do rio Urubu, localizada no município de Campos dos Goytacazes, RJ, situado na Região Hidrográfica XI (RH XI), devido a relevância desse manancial para abastecimento de outros rios, lagos e lagoas, formando uma complexa malha hídrica, contribuindo ainda com o potencial turístico da região.

A metodologia empregada para alcançar a proposta deste trabalho, consiste em uma Análise Multicriterial (AMC), baseada no Processo Analítico Hierárquico (AHP) em ambiente SIG. Os SIGs possibilitam inserir em uma base de dados informações geradas por diferentes fontes, as quais podem se combinar por meio de operações de análise e manipulação dos dados, permitindo auxiliar na tomada de decisão, solucionar problemas, projetar, avaliar e priorizar a alocação de recursos (MALCZEWSKI, 2006).

Nos últimos anos, diversos métodos para a determinação de áreas prioritárias têm sido desenvolvidos para operar em ambiente SIG, destacando-se aqueles que têm como base a análise de múltiplos critérios (VETTORAZZI, 2006). Na abordagem multicriterial é possível combinar e transformar dados espaciais em mapas finais, auxiliando a priorização de áreas de acordo com o objetivo do tomador de decisão.

Para o desenvolvimento deste trabalho, sete critérios foram definidos, baseados na literatura acadêmica, tendo em vista a contribuição para identificação de locais prioritários à restauração florestal. São eles: declividade da bacia, densidade de nascentes, proximidade à malha viária, proximidade à rede de drenagem, pedologia, uso e cobertura do solo e proximidade às feições erosivas, todos representados em mapas temáticos com pesos distintos. Por fim, foi obtida a agregação dos critérios elencados acima, e posteriormente foi elaborado um mapa temático de áreas prioritárias para restauração florestal na bacia hidrográfica do rio Urubu, onde foi possível observar as classes de prioridades distribuídas espacialmente na bacia.

De forma ampla, os resultados obtidos por este trabalho visam contribuir com os conhecimentos acerca de áreas prioritárias para conservação e restauração em bacias hidrográficas, bem como selecionar áreas para restauração florestal em bacias hidrográficas, visando contribuir com a conservação dos recursos hídricos. Esta pesquisa visa servir para gestão de políticas públicas e como base para o prosseguimento de estudos desta natureza na região hidrográfica XI, bem como no município de campos dos Goytacazes-RJ.

ARTIGO CIENTÍFICO 1

CRITÉRIOS PARA A SELEÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA A CONSERVAÇÃO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS ¹

CRITERIA FOR THE SELECTION OF PRIORITY AREAS FOR CONSERVATION IN WATERSHEDS

JULLIANA OLIVEIRA DE ARAUJO PEREIRA - IFFluminense/PPEA

DAVID DE ANDRADE COSTA – IFFluminense/ NPGRH

LUIS FELIPE UMBELINO - IFFluminense/PPEA

Submetido: 04/03/2021 - Aceito: 24/03/2021

DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.003.0028

Resumo

As delimitações metodológicas para seleção de áreas prioritárias devem ser bem estabelecidas, pois constituem importantes ações estratégicas de gestão. A seleção e mapeamento dessas áreas, ocorrem sobretudo a partir de um conjunto de critérios previamente determinado, segundo o alvo da conservação, subsidiando assim a tomada de decisão. Com o presente trabalho, objetivou-se analisar os principais critérios adotados para seleção de áreas prioritárias para conservação em bacias hidrográficas. Em termos metodológicos, foi realizada uma revisão de literatura, utilizando o banco de dados do Portal de Periódicos CAPES/MEC, Google Scholar e JSTOR. Os resultados demonstram um baixo número de artigos científicos publicados nos últimos dez anos abrangendo áreas prioritárias em bacias hidrográficas, evidenciando uma lacuna no conhecimento acerca de critérios objetivos para seleção dessas áreas; foram identificados e discutidos sete critérios macros: áreas de captação para abastecimento público, proximidade à rede de drenagem, possibilidade de conexão de fragmentos florestais, áreas com suscetibilidade a erosão, distância da malha viária, índice de urbanização e proteção de áreas ecologicamente relevantes. Nas conclusões, são destacadas recomendações para a elegibilidade dos critérios que compõem o processo de seleção de áreas prioritárias para conservação e restauração em bacias hidrográficas. Embora o processo de seleção dessas áreas possa apresentar limitações nas análises, o emprego de critérios consolidados pode representar um avanço em pesquisas vindouras que buscam a identificação de áreas prioritárias em bacias hidrográficas, visando sobretudo manter a quantidade, qualidade e a permanência do suprimento de água doce, atuando de maneira conjunta com os propósitos de conservação da biodiversidade.

Palavras-chave: Áreas Prioritárias; Restauração Florestal; Recursos Hídricos.

¹ Este trabalho foi parcialmente publicado na Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais (RICA V.12 N.03/2021) ISSN: 2179-6858 — Acesso em: <http://www.sustenere.co/index.php/rica/article/view/5178>.

Abstract

The methodological boundaries for selecting priority areas must be well established, as they are important strategic management actions. The selection and mapping of these areas occurs mainly from a set of previously determined criteria, according to the conservation target, thus subsidizing decision making. With the present work, the objective was to analyze the main criteria adopted for the selection of priority areas for conservation in hydrographic basins. In methodological terms, a literature review was carried out, using the CAPES / MEC, Google Scholar and JTSOR database. The results demonstrate a low number of scientific articles published in the last ten years covering priority areas in hydrographic basins, showing a gap in knowledge about objective criteria for selecting these areas; seven macro criteria were identified and discussed: catchment areas for public supply, proximity to the drainage network, possibility of connecting forest fragments, areas susceptible to erosion, distance from the road network, urbanization index and protection of ecologically relevant areas. In the conclusions, recommendations are highlighted for the eligibility of the criteria that make up the process of selecting priority areas for conservation and restoration in river basins. Although the selection process for these areas may present limitations in the analysis, the use of consolidated criteria may represent an advance in future research that seeks to identify priority areas in hydrographic basins, aiming above all to maintain the quantity, quality and permanence of the water supply. sweet, acting in conjunction with the purposes of biodiversity conservation.

Keywords: Priority Areas; Forest Restoration; Water Resources.

1. INTRODUÇÃO

A proteção ao meio ambiente é um dos maiores desafios globais e uma ideia central nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU (Wood et al. 2018). Em resposta às transformações antrópicas impostas aos sistemas naturais, inúmeras estratégias de restauração e conservação de ecossistemas têm sido desenvolvidas (Santos et al. 2020; Costa et al. 2019). Em especial, as soluções baseadas na natureza têm sido recomendadas como uma forma de manutenção de serviços ecossistêmicos (Néto et al. 2020). Porém, o enfrentamento desse desafio global depende de variados recursos que, frequentemente escassos, precisam ser priorizados (Liquete et al. 2016; Frantzeskaki, 2019).

Para tanto, as metas e o objetivo de conservação precisam ser bem definidos através do estabelecimento de prioridades. A preservação de espécies, comunidades, processos ecológicos ou serviços ecossistêmicos, atuam como importantes indicadores ecológicos capazes de representar o estado dos alvos de conservação, o que torna esta temática ampla e profunda dentro de vários aspectos (Metzger e Casatti, 2006).

No final dos anos 80, Norman Myers foi o precursor de estudos que transformariam o cenário da conservação global, dedicando esforços para identificar as regiões mais importantes para proteção da biodiversidade, chamadas de *hotspots*. Dois critérios foram estabelecidos para definição dos *hotspots*: I)

regiões que apresentam concentrações excepcionais de espécies com altos níveis de endemismo; e II) regiões que enfrentam ameaças de destruição de habitat (Myers, 1990; Myers *et al.*, 1988). Contudo, Myers não estabeleceu critérios quantitativos para definição de um *hotspot*, tão pouco como eles seriam conservados em virtude de sua grande extensão (Myers *et al.*, 2000). O incremento das atividades humanas no interior de *hotspots*, assim como as perturbações hidrológicas representam uma das principais ameaças à biodiversidade (Roux *et al.* 2019). Nesse sentido, ações conservacionistas e/ou de restauração foram empregadas tendo em vista diminuir a extinção de espécies e promover a proteção de áreas menores em vários locais importantes para conservação (Myers, 1990; Myers, 1988; Reid, 1998).

No Brasil, as diretrizes para a identificação das Áreas Prioritárias para a Conservação (APC) foram instituídas pelo Decreto Nº 5.092 de 21/05/2004 e pela Portaria Nº 126 de 27 de maio de 2004 no âmbito das atribuições do Ministério do Meio Ambiente (MMA). Ambos seguem a abordagem do Planejamento Sistemático da Conservação (PSC), que propõe alcançar metas para conservação, seguindo princípios como insubstituibilidade, representatividade, complementariedade, flexibilidade, e vulnerabilidade de uma região, cujo intuito é aumentar a representatividade das áreas protegidas, atendendo os alvos de conservação a partir dos atributos ecológicos da área (MMA, 2017; Margules e Pressey, 2000).

A abordagem do PSC descrita por Margules e Pressey (2000), atua como um suporte à tomada de decisão e à negociação, combinando informações sobre os alvos de conservação, custos da conservação e aspectos da paisagem, retratando critérios fundamentais para preservação da diversidade biológica. As ferramentas utilizadas nesta priorização encontram-se em contínuo aperfeiçoamento, e podem variar de acordo com as avaliações para cada bioma. Destaca-se a importância da participação da sociedade e o uso de ferramentas tecnológicas, como os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), que fornecem subsídios à tomada de decisão e reduzem a subjetividades das ações. (MMA, 2005; MMA, 2017).

As delimitações metodológicas para seleção de áreas prioritárias (APs) devem ser muito bem estabelecidas, pois constituem importantes ações estratégicas de gestão (Mello *et al.*, 2018). A seleção e mapeamento dessas áreas, ocorrem sobretudo a partir de um conjunto de critérios que devem ser determinados de acordo com o objetivo do processo, subsidiando a tomada de decisão (Vettorazzi e Valente, 2016). Na prática, geralmente os critérios selecionados são muitas vezes vagos e simplificados, não retratando com fidelidade a área analisada (Simoncic *et al.* 2013).

As diferentes abordagens para seleção de APs visam sobretudo preservar os recursos naturais, porém com diferentes enfoques que vão desde a proteção de espécies em extinção, até propósitos turísticos como a preservação de paisagens de grande beleza cênica. Tais abordagens focam em temas específicos e, muitas vezes, carecem de uma perspectiva mais integradora, tais como os recortes espaciais das bacias hidrográficas. Estas unidades de paisagem são utilizadas para a gestão territorial e integram a água com os demais componentes ecossistêmicos de uma bacia. Nesse sentido, destaca-se a função das florestas, que

corroboram com a gestão de recursos hídricos, exercendo influência sobre a quantidade, qualidade e a permanência do suprimento de água doce, atuando de maneira conjunta com os propósitos de conservação da biodiversidade (Bidegain, 2019).

Considerando a necessidade de adoção de critérios objetivos para definição de áreas prioritárias para conservação, foi realizada uma revisão de literatura com o objetivo de verificar os principais critérios utilizados para seleção dessas áreas em bacias hidrográficas. Os recursos hídricos são evidenciados como elementos de integração para os mais variados objetivos de conservação e restauração. Como resultados foram identificados e discutidos sete critérios macros: áreas de captação para abastecimento público, proximidade à rede de drenagem, possibilidade de conexão de fragmentos florestais, áreas com suscetibilidade a erosão, distância da malha viária, índice de urbanização e proteção de áreas ecologicamente relevantes .

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa foi realizada utilizando a técnica bibliométrica, a qual ocorreu no mês de abril e maio/2019. Utilizamos a base de dados do Portal de Periódicos CAPES/MEC, onde empregamos o termo de busca: *'conservation priority areas'*, resultando em 64.827 artigos científicos no período de 2009 a 2019. Em seguida uma nova busca foi efetuada, com o termo *"conservation priority areas"*, no campo de busca "no título", onde resultou em 198 artigos científicos. Realizamos a leitura exploratória do conteúdo dos artigos, a fim de embasar a criação de algumas categorias de análise. As categorias criadas tiveram por finalidade separar os artigos por temáticas ou grupos de conservação, e assim compreender a lacuna de estudos existentes.

Uma nova busca foi realizada devido à lacuna identificada em pesquisas na área temática de 'bacias hidrográficas'. Para o levantamento dos artigos científicos, foram utilizados os seguintes termos de busca: *'conservation priority áreas'*, *'Water resource'*, *conservation priority areas and Watershed*, *'Watershed management'*, *'Land prioritization and Water resource'*, *'Ecological Restoration'*, *'Soil and water conservation'*, *'Multi criteria evaluation and Watershed'*, *'Geographic information systems'*, *'Forest restoration and Watershed'*. Utilizamos as plataformas Periódicos CAPES/MEC, Google Scholar e JTSOR e selecionamos os artigos científicos do período de 2009 a 2019. Buscamos, ainda, os documentos temáticos acerca de projetos e programas governamentais brasileiros.

A partir dos artigos e documentos selecionados, realizamos uma nova pesquisa, que teve o intuito de sustentar a revisão bibliográfica referente à temática em questão. Buscamos levantar os principais critérios (fatores) para seleção de APs, e agrupamos em sete categorias generalistas os critérios mais similares entre si, com maior representatividade frente ao objetivo delimitado, considerando a diversidade de variáveis as quais são possíveis analisar em cada critério. Ressaltamos ainda que, todos os critérios selecionados visam o

incremento de ações de conservação e/ou restauração florestal, tendo em vista o benefício direto aos recursos hídricos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Grupos temáticos para áreas prioritárias

Os trabalhos científicos foram agrupados em quatorze temáticas, de acordo com o objetivo das pesquisas desenvolvidas nas áreas denominadas prioritárias para a conservação (Figura 1). As temáticas que mais se destacaram foram Herpetofauna e Avifauna, que representam 27% do total de artigos analisados. Estudos apontam que os animais que compõem estes grupos, se destacam devido à tolerância e sensibilidade térmica, atuando como bons indicadores quanto a qualidade do ambiente em ecossistemas terrestres (Camacho, 2012; Buckley et al., 2012). O grupo dos animais ectotérmicos, realizam a termorregulação comportamental, tendo a temperatura corporal alterada de acordo com as condições climáticas, influenciando o desempenho fisiológico e determinando seu modo de vida. Alguns estudos retratam ainda que, a presença ou ausência desses animais é capazes de indicar cenários de degradação ambiental (Barbosa et al., 2017).

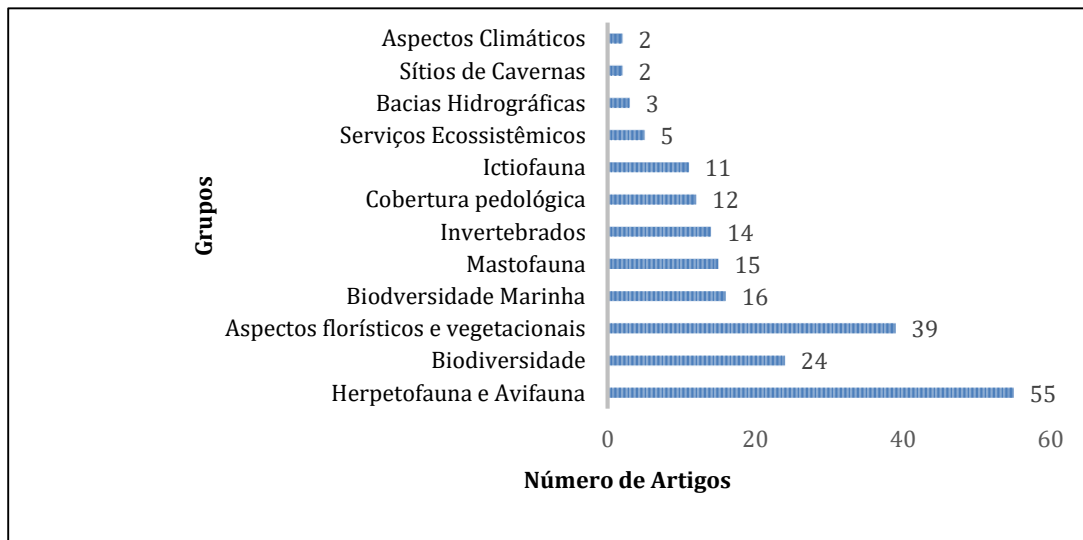


Figura 1. Grupo de temáticas versus número de artigos científicos publicados.

A segunda categoria que apresentou um grande volume de trabalhos, cerca de 20%, aponta para os aspectos florísticos e vegetacionais no âmbito da conservação, em diferentes perspectivas. Pode-se perceber trabalhos que versam sobre representações de plantas em uma biorregião (Williams et al., 2009); mudanças na cobertura florestal devido a exploração madeireira, associadas ao estabelecimento de políticas florestais para expansão da cobertura florestal em uma APC (Hoek et al., 2014); modelagem macroecológica para identificar prioridades para conservação e manejo (Rapacciuolo, 2018); identificação de áreas de floresta

tropical com probabilidade de conter a maior concentração de espécies raras, espécies endêmicas e famílias de angiospermas primitivas (Mokany et al., 2014), entre outros. Nesse sentido, pode-se inferir que grande parte dos estudos que envolvem os aspectos florísticos e vegetacionais visam obter dados em torno da perda de habitat em determinadas regiões, fornecendo informações importantes para a implementação de novas áreas protegidas, programas de restauração florestal e serviços ecossistêmicos.

Percebe-se também mediante os dados apresentados (Figura 1), que apenas 6% dos trabalhos publicados retrataram a temática de cavernas, clima, bacias hidrográficas e serviços ecossistêmicos. Estes temas possivelmente são tratados com relevante interesse ecológico sem necessariamente serem incluídos na temática de AP.

Os resultados demonstraram que, os trabalhos científicos, em sua maioria foram direcionados a desenvolver a temática de APC com grupos taxonômicos e ecológicos, sobretudo do ponto de vista da biodiversidade. E um número menor de trabalhos foi conduzido a trabalhar APC em bacias hidrográficas, sítios de caverna, aspectos climáticos e serviços ecossistêmicos. Contudo, esse baixo quantitativo de trabalhos na perspectiva de bacias hidrográficas, não confere uma menor importância ao tratamento de recursos hídricos, pois muitos estudos ecológicos possuem como habitat os ecossistemas aquáticos. Nesse sentido, realizamos uma segunda análise, onde buscamos levantar os principais critérios (fatores) e as recomendações da literatura científica para seleção de locais prioritários para o incremento de ações de conservação e/ou restauração florestal, tendo em vista o benefício direto aos recursos hídricos.

3.2 Priorização de áreas para manejo em bacias hidrográficas

Devido às suas características naturais, a bacia hidrográfica possibilita o desenvolvimento de ações que visam a conservação dos recursos hídricos e terrestres. O gerenciamento de bacias hidrográficas, requer a compreensão acerca das relações entre: diferentes usos do solo; declive; geomorfologia e processos erosivos, o que a torna uma importante unidade espacial. Contudo, para um gerenciamento efetivo, a área da bacia é submetida a divisões em sub-bacias a partir da sua rede de drenagem (Meshram e Sharma, 2017). É importante estabelecer estratégias para mitigar os crescentes impactos ambientais gerados ao longo do tempo nas bacias hidrográficas, assim como promover a sustentabilidade ambiental, social e econômica dos recursos hídricos. Contudo, a escassez de recursos financeiros torna-se um fator limitante que requer a determinação de prioridades para investimentos em ações conservacionistas (Beger et al., 2015).

A literatura apresenta inúmeros trabalhos conduzidos no âmbito da agricultura agroflorestal, manejo florestal e reflorestamento, visando beneficiar os recursos hídricos como, Randhir et al. (2001), Bochner (2010), Ruiz, (2015), Silva et al., (2017), Almeida et al., (2019), Mafra et al. (2020). No Brasil e na América Latina, alguns projetos de Pagamento por Serviço Ambiental hídrico (PSA) ganharam destaque, tendo em

vista a conservação e restauração da cobertura vegetal como um critério para melhoria da qualidade e disponibilidade hídrica. O projeto implantado na cidade de New York desde 1997, foi o precursor em utilizar os serviços ecossistêmicos visando a provisão de água de uma grande metrópole; no Brasil, o pioneiro foi o Projeto “Conservador das Águas”, que serviu de parâmetro para outras iniciativas dentro do país, sendo adequado às particularidades de cada localidade (Matsuoka, 2019).

No contexto da restauração da paisagem, as iniciativas requerem a inclusão de diferentes critérios que contribuem com as decisões, e métodos que se integrem a esses critérios, com a finalidade de definir áreas que sejam prioritárias para desempenhar as ações de conservação na paisagem (Vettorazzi e Valente, 2016). Convencionalmente, os critérios são divididos em fatores e restrições. Os fatores convergem para o objetivo da restauração e representam as características críticas da paisagem que se tem a finalidade de alcançar. Enquanto as restrições, auxiliam colocando limites espaciais em AP, sinalizando os locais em que elas não deveriam ocorrer (Silva et al., 2017).

A priorização de áreas representa uma alternativa eficaz para o manejo de bacias hidrográficas, sobretudo, a partir da espacialização das ações, que são associadas à medidas para conservação da água e solo, alternativas para abastecimento, infraestrutura hídrica, saneamento, dentre outras (IGAM, 2018; Meshram, 2019). A capacidade de integrar e analisar diferentes informações geográficas da paisagem em ambiente SIG, permite a construção de mapas de prioridade em um tempo curto e com grande grau de confiabilidade (Valente, 2017). Podemos citar os estudos de Silva et al., (2017) que buscaram identificar AP para conservação florestal em bacias hidrográficas visando manter a disponibilidade hídrica em quantidade e qualidade para o abastecimento público; Gashaw e Argaw (2018) que identificaram e priorizaram áreas passíveis de ações para conservação do solo em bacias hidrográficas na Etiópia através do estudo dos riscos de erosão e Meshram e Sharma (2017) que aplicaram a análise de parâmetros morfométricos, baseados na abordagem em Análises de Componentes Principais (ACP), visando a conservação do solo e da água para priorização de sub-bacias hidrográficas na Índia.

3.3 Critérios para priorização de áreas

Nesse sentido, um levantamento desenvolvido por Gjørup et. al (2014), evidenciou que as etapas metodológicas envolvidas em programas de seleção de AP são geralmente divididas em dois grupos, o de elegibilidade – cujos critérios visam selecionar o público-alvo de acordo com o que é proposto pelo programa; e a de priorização de áreas – onde propõe-se identificar regiões prioritárias, que podem ser municípios, bacias hidrográficas, Áreas de Preservação Permanente (APPs) ou áreas definidas previamente pelo programa. Uma infinidade de outros critérios também são empregados para auxiliar a tomada de decisão, visando à seleção de áreas que apresentam prioritárias condições para o desenvolvimento de ações.

Assim, foram agrupados em sete categorias ambientais os critérios que estavam de acordo com a análise das principais características observadas nos artigos científicos para identificação das AP. Os critérios selecionados foram considerados significativos por serem indicadores de relevância das áreas; oferecerem contribuição ao regime das águas e capacidade para recuperação de bacias; quais sejam:

I. Seleção de bacias ou sub-bacias para abastecimento de água

Um dos principais bens e serviços do ecossistema fornecido por bacias hidrográficas é o abastecimento de água potável, pois ele é responsável por regular os fluxos hídricos e melhorar a qualidade da água, configurando um dos serviços mais concretos e valiosos (Postel e Thompson, 2005; Paudyal, 2019). Bacias hidrográficas cujo uso prioritário é o abastecimento público de água, representa um importante critério a ser analisado no processo de seleção de AP. Ações implementadas em áreas rurais, refletem substancialmente no meio urbano para controle de enchentes e erosão do solo. Dispor de recursos para proteção dos mananciais, incluindo as águas interiores, subterrâneas ou superficiais, são estratégias positivas para garantir o abastecimento público para sociedade, uso industrial e hidroenergético (Postel e Thompson, 2005; INEA, 2018).

Quando objetivamos priorizar áreas em bacias hidrográficas que realizam serviços de abastecimento, estamos buscando, sobretudo, manter a qualidade e disponibilidade de água. Ao desenvolver um modelo de priorização de terras na micro bacia hidrográfica do Rio Ware, em Massachusetts, EUA, Randhir et al. (2001) buscou a proteção da qualidade da água para abastecimento. Esse modelo levou em consideração o tempo de circulação da água de *runoff*; a distribuição de um poluente pela bacia e quais locais se apresentam mais sensíveis à degradação. Para tanto, foram utilizados os níveis e pesos dos critérios para constituir o índice de priorização para cada localidade na bacia hidrográfica.

Os autores apresentam um método baseado em Sistema de Informação Geográfica (SIG), e na relação entre critérios e seus efeitos na qualidade da água. No que tange a tomada de decisão, foi utilizada a técnica da Análise Hierárquica Analítica (AHA), onde os especialistas atribuem pesos usando uma escala de comparação que varia de 1 a 9. Segundo os autores, de acordo com o ajuste de critérios e pesos nessa abordagem, é possível realizar adaptações no processo da tomada de decisões sobre a proteção do uso do solo, como, a preservação de áreas florestais, a proteção de habitats críticos para a vida silvestre, criação de áreas recreacionais e planejamento ecológico-econômico (Randhir et al. 2001).

No estado do Rio de Janeiro, a Política Estadual de Recursos Hídricos, definida pela Lei nº 3.239/1999 acrescenta, além dos instrumentos de gestão instituídos, o Programa Estadual de Conservação e Revitalização de Recursos Hídricos (PROHIDRO). O PROHIDRO tem por objetivo propiciar a revitalização e a conservação integral dos recursos hídricos, na perspectiva do ciclo hidrológico, tendo a bacia hidrográfica

como unidade de planejamento e trabalho (Rio de Janeiro, 1999). Regulamentado pelo Decreto nº 42.029/2011, no âmbito do PROHIDRO, um mecanismo de Pagamento por Serviços Ambientais foi instituído, denominado Programa Estadual de Pagamento por Serviços ambientais (PRO-PSA) (Rio de Janeiro, 2011).

Logo, alguns programas e projetos bem sucedidos foram implementados em bacias hidrográficas no estado do RJ, visando preservar os recursos hídricos, sobretudo as áreas relevantes para o abastecimento público a partir da priorização de áreas. A título de exemplo, o projeto proposto pelo Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul - CEIVAP para PSA Hídrico, visa contribuir para melhoria da qualidade e quantidade de recursos hídricos em toda bacia; outra iniciativa já implantada é o Programa Produtor de Água e Floresta (PAF), um instrumento de PSA na Bacia Hidrográfica do Rio Guandu, que busca incentivar práticas de conservação e restauração dos recursos naturais, sobretudo de mananciais estratégicos e florestas (Pagiola et al. 2013; Ruiz, 2015; INEA, 2018).

Em ambos os projetos, foi necessário o mapeamento e avaliação do uso do solo e cobertura vegetal da bacia, obtidos através de bases cartográficas, imagens de satélite, coleta de dados associados à caracterização da estrutura fundiária e agrícola, indicadores hidrológicos e bioindicadores. A integração destes dados ocorreu em ambiente SIG, contribuindo para a tomada de decisão no processo de avaliação e seleção das APs, resultando em ações de conservação e restauração florestal, além do pagamento ao Provedor do Serviço Ambiental (Ruiz, 2015). Quanto ao processo de hierarquização dos pesos e valores para cada critério, a relevância da bacia para o abastecimento é considerada o critério mais relevante.

Para tanto, a seleção da bacia ou micro bacia que o projeto foi desenvolvido se deu a partir de três eixos centrais, a saber: relevância das áreas para produção e abastecimento de água; importância para a conservação da biodiversidade e identificação de parceiros institucionais nos territórios. Para cada eixo foi definido um conjunto de indicadores e seus respectivos pesos, que após serem somados possibilitou a equipe técnica definir a AP com maior facilidade e respaldo (Pagiola et al. 2013).

II. Proximidade à rede hidrográfica

A proximidade à rede hidrográfica representa um critério significativo à conservação dos recursos hídricos através da restauração florestal (Vettorazzi e Valente, 2016). Uma vez que a cobertura vegetal contribui sobremaneira com a produção de água numa bacia hidrográfica, assim como para o exercício de funções ecológicas essenciais (Qiu e Turner, 2015). Nesse sentido, áreas mais próximas à corpos hídricos passam a ser relevantes para proposição de ações de recomposição e conservação florestal, considerando também os benefícios oferecidos à estrutura da paisagem, possibilidade de conexão de fragmentos e proteção hidrológica.

Ao analisar a qualidade da água sob a influência da paisagem nas bacias de captação e zona ripária, localizados em regiões agrícolas na bacia do Corumbataí no Brasil, Mori et al., (2015) observaram que, as florestas fragmentadas próximas à bacias de captação e zonas ribeirinhas não são capazes de manter a proteção dos ecossistemas aquáticos, resultando em alterações na qualidade da água. Investigando áreas próximas à rede hidrográfica tendo em vista a valorização de regiões para ações de planejamento ecológico e a conservação dos recursos hídricos, Comino et al., (2016) associou o SIG à avaliação multicritérios (AMC), obtendo resultados significativos no âmbito da ecologia da paisagem e na gestão do uso do solo, demonstrando a contribuição dos recursos hídricos para a conectividade da paisagem.

Para análise deste fator, são gerados mapas baseados em SIG a partir do plano de rede hidrográfica local, que contemplam sobretudo os cursos d'água e represas. A elaboração do plano de rede hidrográfica é realizada com o auxílio de cartas topográficas, acrescido da sua digitalização em tela e imagens de satélites. Em seguida são produzidos mapas de proximidade, que geralmente são relacionados com a proximidade à cobertura florestal (Valente et al. 2017).

III. Proximidade à regiões florestadas

As florestas nativas desempenham diferentes funções na dinâmica dos processos hidrológicos, como o controle da erosão e aporte de sedimentos, regulação da quantidade e qualidade da água (Pinheiro et al., 2019; Tambosi, 2015). A presença de matas ciliares contribui com a manutenção da biodiversidade terrestre e funcionam como corredores ou áreas de hábitat para diversas espécies de animais e plantas (Pardini et al., 2010; Cassiano et al., 2013). Todavia, as mudanças no uso do solo têm produzido impactos diretos à biodiversidade, resultando na fragmentação dos ecossistemas naturais.

O estado de conservação dos fragmentos florestais fornece informações importantes para subsidiar o planejamento de programas de reflorestamento, com vista a aumentar a conectividade da paisagem através de corredores ecológicos (Liu et al., 2019; Mitchell et al., 2015). Áreas próximas à fragmentos florestais são interessantes, uma vez que promovem a conexão destes e representam ganhos para biodiversidade regional, bem como o desenvolvimento a longo prazo dos processos ecológicos (Calegari et al., 2010). A proximidade à fragmentos de vegetação foi um dos fatores adotados em estudos que utilizaram a AMC em associação com a Combinação Linear Ponderada (WLC) por Valente (2017).

A inserção deste fator em estudos que visam a construção de mapas para priorização de áreas, são baseados em SIG. A identificação de áreas próximas à fragmentos florestais ou a distância entre fragmentos é viabilizada a partir de mapas de uso e cobertura do solo. Bochner (2010) utilizou o software ArcGIS 9.3 e a ferramenta *Distance/Euclidean Distance* para calcular a distância entre os fragmentos florestais. De modo geral, as áreas mais próximas à fragmentos e à rede de drenagem recebem o indicativo de maior prioridade

(Valente, 2017), e a distância entre os fragmentos apresenta relevância no cálculo de prioridade (Bochner, 2010).

IV. Suscetibilidade a erosão

A suscetibilidade à erosão está diretamente relacionada à erodibilidade, devido às propriedades do solo. Esse critério é fundamental no processo de identificação de APs à restauração florestal, visando à conservação de recursos hídricos. Áreas que sinalizam alta suscetibilidade à erosão, apresentam uma grande quantidade de sedimentos que podem convergir para os mananciais, cursos d'água e reservatórios. É comum que essas áreas sejam classificadas como áreas de alta prioridade (Vettorazzi e Valente, 2016).

Ao caracterizar a sub-bacia hidrográfica mais susceptível a erosão do solo no estado de Madhya Pradesh, na Índia, Gajbhiye et. al (2014) realizaram análises morfométricas seguidas de técnicas de priorização. Foram considerados os seguintes parâmetros morfométricos: frequência do rio, textura do solo, ordem do riacho, densidade de drenagem, dentre outros. Gajbhiye et.al (2014) constatou que o uso da técnica GIS aliada à verificação de campo confere maior rapidez e credibilidade quando comparado ao método convencional. No processo de priorização das bacias, são gerados mapas de priorização e os resultados indicam as sub-bacias que estão sujeitas a erosão e maiores perdas de solo, sendo indicadas ações de conservação do solo.

A estimativa da suscetibilidade à erosão é frequentemente obtida a partir do cruzamento dos diferentes tipos de solo, análise morfológica dos perfis, química e granulométrica de amostras do solo coletadas na bacia e classes de declividade (Ikematsu et al. 2018); em estudos morfométricos baseados em SIG, com diferentes software de análises como, Arcgis, ArcHydro Tool, Ilwis, Basin 4, HEC-GeoRAS, a partir de dados do Modelo Digital de Elevação (MDE) (Arefin et al., 2020); a ferramenta InVEST (*Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-offs*) também é frequentemente utilizada em estudos que visam avaliar os serviços ecossistêmicos em escala de bacias hidrográficas, requerendo no geral poucos dados de entrada, torna-se mais simplificada, como em Hamel et al. (2017), Yang et al. (2018) e Redhead et al. (2016).

V. Distância da malha viária

O aumento da produção de sedimentos resultantes de mudanças no uso da terra são problemas ambientais críticos. Há uma relação vastamente conhecida entre construção de estradas e o processo acelerado de erosão do solo, que exerce influência sobre a qualidade e quantidade de água superficial em reservatórios (Mahoney et al., 2018; Vettorazzi, 2016). A construção de estradas gera consideráveis impactos aos ecossistemas, devido à conversão da cobertura florestal em superfícies artificiais e impermeáveis, bem como a fragmentação espacial das paisagens urbanas com influências diretas no ambiente ecológico regional, acelerando a destruição de habitats e degradação do ecossistema (Valente, 2017).

Segundo Valente (2017) e Bochner (2010) em projetos de priorização de áreas visando a conservação e preservação florestal deve-se priorizar áreas mais distantes da malha viária. Contudo, o estudo desenvolvido por Vettorazzi e Valente (2016) sugere que as ações de restauração florestal sejam desenvolvidas próximo às estradas, quando localizadas junto às encostas, visando minimizar o impacto da erosão em eventos de maior pluviosidade, onde sedimentos tendem a atingir a rede de drenagem.

O reconhecimento das áreas próximas a malhas viárias é alcançado a partir do plano de informação da malha viária obtido através de imagens aéreas de satélite, análises geoespaciais de MDE, complementadas com o trabalho de campo (Vettorazzi e Valente, 2016). São gerados mapas de distância sobre a malha viária, onde em alguns casos serão associados ao limite da bacia para obter essas distâncias somente dentro da área da bacia, bem como a distância dos fragmentos florestais em relação às mesmas. Os mapas são normalizados em relação ao fator, por uma função linear crescente ou decrescente, obtendo uma relação de prioridade (Valente, 2017; Bochner, 2010).

VI. Índice de urbanização

O processo de urbanização causa significativas alterações aos fragmentos florestais e diferentes impactos no ciclo hidrológico, uma vez que ocorre perda da superfície permeável, resultando na diminuição da infiltração de água no solo e variações das vias naturais de drenagem (Bochner, 2010). Há ainda interferência na estrutura e função das paisagens originais, haja vista que são transformadas em mosaicos de remanescentes florestais, produzindo desequilíbrios ecossistêmicos ao meio (Valente et al. 2017)

Valente et al. (2017) e Francisco (2006) sugerem que as ações de conservação e preservação florestal, assim como de manutenção da biodiversidade, sejam priorizadas em áreas distantes dos centros urbanos. Acredita-se que quanto menor o acesso de pessoas às APPs ou à fragmentos de vegetação nativa, menores serão os eventos de incêndios, corte seletivo, desmatamento e depósito de lixo nessas áreas. Na priorização de terras para proteção de recursos hídricos visando o abastecimento de água na microbacia do Rio Ware, em Massachusetts, EUA, Randhir et al. (2001) também considera a proximidade à áreas residências e industriais, um fator a ser considerado no processo de priorização de áreas.

A identificação dos centros urbanos é frequentemente obtida a partir do mapeamento do uso e ocupação do solo com a sinalização dos núcleos urbanos. Os mapas com as distâncias são gerados em ambiente SIG, podendo utilizar um algoritmo de distância euclidiana de forma a priorizar as áreas mais afastadas dos núcleos urbanos (Bochner, 2010). No que tange a tomada de decisão, utiliza-se a técnica da Análise Hierárquica Analítica (AHA), onde os especialistas atribuem pesos usando escala de comparação (Randhir et al. 2001).

VII. Proteção de áreas ecologicamente relevantes

As APPs são espaços especialmente protegidos atribuídos pelo Código Florestal Brasileiro (Lei 12.651/2012). Essas áreas podem ser cobertas ou não por vegetação nativa e desempenham a “função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações” (BRASIL, 2012). Garantir a preservação desses espaços protegidos no entorno dos corpos hídricos é um desafio, uma vez que a ocupação irregular, os desmatamentos e uso urbano interferem diretamente na dinâmica hidrológica, promovendo enchentes, assoreamentos e alterações no regime de vazão dos corpos hídricos.

Este critério é um importante indicador para seleção de AP, sobretudo para aquelas que apresentam aspectos de fragilidade, representatividade e potencial para recuperação de bacias hidrográficas. A recomposição ambiental em APPs propicia inúmeros benefícios aos corpos hídricos, como, a reabilitação dos ecossistemas aquáticos, controle dos processos erosivos e redução dos impactos gerados pela poluição agrícola (Turunen et al. 2019).

Ao selecionar sub-bacias hidrográficas dentro da bacia do ribeirão das Anhumas para recuperação ambiental em APP, Francisco et al. (2008) empregaram a AMC aplicada a dois outros métodos, o da Programação por Compromisso e o da Teoria dos Jogos Cooperativos. Os dois métodos produzem uma ponderação para cada critério de acordo com o objetivo pretendido. No total, ele utilizou 13 critérios, tais quais, área da bacia, urbanização da bacia, áreas com risco de inundação, capacidade de uso, corredores de vegetação, densidade de Cursos d’Água, vazão média, matas ciliares, dentre outros. Embora haja objetividade nas observações, as distorções nas análises são inevitáveis, sendo imprescindível a percepção do tomador de decisão.

Para elaborar um mapa de priorização para recuperação de APPs na Bacia Hidrográfica do Córrego Jararaca, no município de São Carlos, Estado de São Paulo, Brasil, Neto et.al (2014) utilizaram o SIG com a AMC, visando comparar esses resultados com os obtidos no mapa de diretrizes ambientais proposto no Plano de Bacia do Córrego Jararaca. Para tanto, foram aplicados 8 critérios baseados em investigação bibliográfica prévia, onde consideraram os fatores físicos e bióticos da região, a saber: proximidade de remanescente de vegetação nativa; proximidade de núcleos urbanos; uso da terra; vulnerabilidade a erosão; proximidade de malha viária; capacidade de sustentabilidade do solo; ordem de canais de drenagem e categoria de APP. Como resultado, foi observado que a escolha dos critérios para seleção de AP deve ocorrer segundo os objetivos do estudo, nesse sentido, não recomenda-se selecionar critérios sem levar em consideração a ação pretendida e os interesses envolvidos no projeto.

A presença desse critério nas análises de seleção de AP garante que o percentual de restauração das APPs exigido pela legislação seja atendido, sobretudo em APPs desprovidas de cobertura florestal. Possibilita também a identificação de áreas consideradas críticas, onde medidas mitigadoras de reflorestamento devem

ser incorporadas a curto prazo. Ainda não há regulamentações específicas em nível federal acerca do mecanismo de Pagamentos por Serviços Ambientais no Brasil, contudo vários estados têm adotado o PSA em leis existentes ou vinculados às normativas estabelecidas pela Lei 12.651/2012. Em projetos de PSA, a localização e percentual de APP na área são considerados critérios válidos para o processo de hierarquização (INEA, 2018; Silva, 2018)

3.4 Ponderação dos critérios

Devido ao aprimoramento das abordagens baseadas no SIG, a sua capacidade e inúmeras tecnologias puderam ser incorporadas, o que levou à integração de sistemas GIS com modelos de análise espacial, planejamento e técnicas de tomada de decisão. As condutas mais relevantes para análise de adequação do uso da terra baseada em SIG são: mapeamento de sobreposição assistido por computador; métodos de AMC; e o métodos de inteligência artificial (Malczewski, 2004; Vettorazzi e Valente, 2016).

No processo de identificação de AP, a AMC baseada em SIG destaca-se devido ao processo de combinação de dados espaciais (planos de informações) que resultam em mapas finais que contribuem com a tomada de decisão (Malczewski, 2004; Mafra et al. 2020). Trata-se de uma abordagem que permite a utilização de diversos critérios que devem ser avaliados a fim de alcançar um ou vários objetivos. De maneira geral, eles retratam os aspectos críticos da paisagem, os quais viabilizam a utilização e manipulação de dados geográficos, planilhas, software estatístico, incorporados ao SIG, considerando as preferências do tomador de decisão de acordo com as diretrizes estabelecidas previamente (Vettorazzi e Valente, 2016).

Vários métodos de AMC foram empregados em ambiente SIG ao longo dos anos, especialmente a Combinação Linear Ponderada (CLP), a Booleana e a Média Ponderada Ordenada (MPO), as quais têm sido utilizadas em múltiplas aplicações na definição de AP e suscetíveis (Malczewski, 2004; Sartori et al., 2012; Almeida et al. 2019). A ponderação dos critérios ocorre através da atribuição de pesos (valores) que assumem a função de diferenciar os critérios de acordo com a sua importância ou relevância na análise.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos sobre a identificação de APC em bacias hidrográficas encontram-se dispersos na literatura. E a pequena quantidade de artigos científicos publicados dentro dessa temática, ao longo dos últimos dez anos, retratam estudos de caráter taxonômico e ecossistêmico. As pesquisas realizadas em bacias hidrográficas possuem enfoques diversos sob múltiplos usos e não estabelecem uma relação direta entre áreas prioritárias para a conservação e restauração, evidenciando uma lacuna no conhecimento acerca de critérios objetivos para seleção dessas áreas.

A revisão de literatura demonstra que, para seleção de AP há eleição de um conjunto de critérios ou em alguns casos, de um único critério, que são avaliados e ponderados segundo objetivo da conservação. A elegibilidade dos critérios poderá ser mais efetiva mediante pesquisa bibliográfica e escolha de especialistas técnicos familiarizados com o processo de indicação de locais prioritários. Critérios abrangentes e diversificados, aliados às características ambientais, sociais e políticas da região estudada são altamente recomendáveis.

Os projetos e estudos alcançados por essa pesquisa contemplam critérios associados a áreas de captação para abastecimento público, proximidade à rede de drenagem, possibilidade de conexão de fragmentos florestais, áreas com suscetibilidade a erosão, distância da malha viária, índice de urbanização e proteção de áreas ecologicamente relevantes. Acreditamos que o emprego da abordagem multicritério incorporada ao SIG, com a integração de mapas, seja a mais adequada. É comum o uso de múltiplos critérios para atender a um ou vários objetivos simultaneamente, nas mais variadas áreas de aplicação.

Por fim, reiteramos que, os critérios levantados nesta pesquisa, podem apoiar o conhecimento acerca da identificação de áreas prioritárias, garantindo não somente a conservação e as ações de restauração, mas também o uso adequado de bacias hidrográficas, visando benefícios aos recursos hídricos. Portanto, é desejável que os critérios selecionados sejam combinados com informações espaciais, instrumentos de apoio à decisão, com manipulação e análise adequada dos dados.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F.C.D.; SILVEIRA, E. M.D.O.; PAIVA, L. L. D.; ACERBI JÚNIOR, F.. Mapping priority areas for forest recovery using multicriteria analysis in the brazilian atlantic forest. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 46, n. 3, p. 113-124, 28 ago. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v46i3.67075>.

AREFIN, R.; MOHIR, M.D. MOHIRUL ISLAM; ALAM, J.. Watershed prioritization for soil and water conservation aspect using GIS and remote sensing: PCA-based approach at northern elevated tract Bangladesh. **Applied Water Science**, v. 10, n. 4, p.1-19, 14 mar. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13201-020-1176-5>.

BARBOSA, K. V.A D. C.; KNOGGE, C.; DEVELEY, P. F.; JENKINS, C. N.; UEZU, A.. Use of small Atlantic Forest fragments by birds in Southeast Brazil. **Perspectives In Ecology And Conservation**, v. 15, n. 1, p. 42-46, jan. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2016.11.001>

BEGER, M.; MCGOWAN, J.; TREML, E. A.; GREEN, A. L.; WHITE, A. T.; WOLFF, N. H.; KLEIN, C. J.; MUMBY, P. J.; POSSINGHAM, H. P.. Integrating regional conservation priorities for multiple objectives into national policy. **Nature Communications**, v. 6, n. 1, p. 1-8, 14 set. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/ncomms9208>.

BIDEGAIN, I.; CERDA, C.; CATALÁN, E.; TIRONI, A.; LÓPEZ-SANTIAGO, C.. Social preferences for ecosystem services in a biodiversity hotspot in South America. **Plos One**, v. 14, n. 4, p. 1-12, 22 abr. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0215715>.

BOCHNER, J. K.. **Proposta Metodológica para Identificação de Áreas Prioritárias para Recomposição Florestal - Estudo de Caso: Bacia Hidrográfica do rio Macacu / RJ**. 2010. 152 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Instituto de Florestas, Universidade Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

BRASIL. **Lei Federal no 12.651, de 25 de maio de 2012a**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; e dá outras providências.

BUCKLEY, L. B.; HURLBERT, A. H.; JETZ, W.. Broad-scale ecological implications of ectothermy and endothermy in changing environments. *Global Ecology And Biogeography*, v. 21, n. 9, p.873-885, 23 jan. 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1466-8238.2011.00737.x>.

CALEGARI, L.; MARTINS, S. V.; GLERIANI, J. M.; SILVA, E.; BUSATO, LC. Análise da dinâmica de fragmentos florestais no município de Carandaí, MG, para fins de restauração florestal. *Revista Árvore*, v. 34, n. 5, p. 871-880, out. 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-67622010000500012>.

CAMACHO, A.. Respostas dos animais ectotermos terrestres à variação microclimática. *Revista da Biologia*, v. 8, p. 5-14, jun. 2012. *Revista da Biologia*, Reitoria da Universidade de São Paulo. DOI: <http://dx.doi.org/10.7594/revbio.08.02>.

CASSIANO, CC.; FERRAZ, S. F. D.B.; MOLIN, P. G.; VOIGTLAENDER, M.; FERRAZ, KM. P. M. D.B.. Spatial Assessment of Water-Related Ecosystem Services to Prioritize Restoration of Forest Patches. *Natureza & Conservação*, v. 11, n. 2, p. 176-180, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/natcon.2013.027>

COMINO, E.; BOTTERO, M.; POMARICO, S.; ROSSO, M.. The combined use of Spatial Multicriteria Evaluation and stakeholders analysis for supporting the ecological planning of a river basin. *Land Use Policy*, v. 58, p. 183-195, dez. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.07.026>.

COSTA, D. D. A.; ASSUMPÇÃO, R. D. S. F. V.; AZEVEDO, J.P.S.D.; SANTOS, MARCO A. D.. Dos instrumentos de gestão de recursos hídricos - o Enquadramento - como ferramenta para reabilitação de rios. *Saúde em Debate*, v. 43, n. 3, p. 35-50, dez. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-11042019s303>. DOI: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0013666>.

FRANCISCO, C. E. D. S.. **Áreas de Preservação Permanente na bacia do ribeirão das Anhumas: estabelecimento de prioridades para recuperação por meio de análise multicriterial**, 2006. 108 f. Dissertação (Mestrado)– Pós-Graduação – IAC.

FRANCISCO, C. E. D. S.; COELHO, R. M.; TORRES, R. B.; ADAMI, S. F.. Análise multicriterial na seleção de bacia hidrográfica para recuperação ambiental. *Ciência Florestal*, v. 18, n. 1, p. 1-13, 30 mar. 2008. Universidade Federal de Santa Maria. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/19805098506>

FRANTZESKAKI, N.. Seven lessons for planning nature-based solutions in cities. *Environmental Science & Policy*, v. 93, p. 101-111, mar. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2018.12.033>.

GAJBHIYE, S.; MISHRA, S.K.; PANDEY, A.. Prioritizing erosion-prone area through morphometric analysis: an RS and GIS perspective. *Applied Water Science* 4, p. 51–61, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13201-013-0129-7>.

GASHAW, T.; TULU, T.; ARGAW, M.. Erosion risk assessment for prioritization of conservation measures in Geleda watershed, Blue Nile basin, Ethiopia. *Environmental Systems Research*, v. 6, n. 1, p. 1-11, 6 jan. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40068-016-0078-x>.

GJORUP, A. F.; FIDALGO, E. C. C.; PRADO, R. B.; SCHULER, A. E.. Análise de procedimentos para seleção de áreas prioritárias em programas de pagamento por serviços ambientais hídricos. *Revista Ambiente e Água*, v. 9, n. 3, p. 445–458, 2014. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1782>.

HAMEL, P.; FALINSKI, K.; SHARP, R.; AUERBACH, D. A.; SÁNCHEZ-CANALES, M.; DENNEDY-FRANK, P. J.. Sediment delivery modeling in practice: Comparing the effects of watershed characteristics and data resolution across hydroclimatic regions. *Science Of The Total Environment*, v. 580, p.1381-1388, fev. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.103>.

HOEK, J. V. D.; OZDOGAN, M.; BURNICKI, A.; ZHU, A.. Evaluating forest policy implementation effectiveness with a cross-scale remote sensing analysis in a priority conservation area of Southwest China. *Applied Geography*, v. 47, p.177-189, fev. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.12.010>.

IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Gestão de bacias hidrográficas: critérios para definição de áreas prioritárias para revitalização**. Organização: Nádia Antônia Pinheiro Santos, Adriana de Fátima Teixeira Guimarães, Marília Carvalho de Melo. Belo Horizonte, p. 1-152, 2018.

IKEMATSUA, P.; MONTEIRO, A.C.M.C. ; MACHADO, A.R.; SIQUEIRA, A. G.; TERRELLA, D.; FACCINIA, L. G.; LONGO, M.H.C.; CORREA, N. F.; ARGENTINA, P. M.; TAVARES, T. L. DOS S. Critérios para a priorização de microbacias hidrográficas: subsídios à implantação de esquemas de pagamentos por serviços ambientais hídricos. *Revista Ipt Tecnologia e Inovação*, v. 2, n. 7, p. 59–84, 2018.

- INEA. INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (RJ) -. **Atlas dos mananciais de abastecimento público do Estado do Rio de Janeiro : subsídios ao planejamento e ordenamento territorial** / Instituto Estadual do Ambiente; coordenação geral: Sílvia Marie Ikemoto ; coordenação executiva: Patrícia Rosa Martines Napoleão. – Rio de Janeiro, p. 1- 464, 2018.
- LIQUETE, C.; UDIAS, A.; CONTE, G.; GRIZZETTI, B.; MASI, F.. Integrated valuation of a nature-based solution for water pollution control. Highlighting hidden benefits. **Ecosystem Services**, v. 22, p. 392-401, dez. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.09.011>.
- LIU, J.; COOMES, D. A.; GIBSON, L.; HU, G.; LIU, J.; LUO, Y; WU, C.; YU, M.. Forest fragmentation in China and its effect on biodiversity. **Biological Reviews**, v. 94, n. 5, p. 1636-1657, 6 maio 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/brv.12519>.
- MAFRA, R.; OSCO, L. P.; ALVES, M. R.; RAMOS, A. P.. Definição de áreas prioritárias para a recuperação florestal em Bacias Hidrográficas a partir de análise multicritério. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia-MG, v. 21, n. 77, p. 220-233, out. 2020. DOI: <https://doi.org/10.14393/RCG217752869>.
- MAHONEY, D. T.; FOX, J. F.; AAMERY, N.. Watershed erosion modeling using the probability of sediment connectivity in a gently rolling system. **Journal Of Hydrology**, v. 561, p. 862-883, jun. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.04.034>.
- MALCZEWSKI, J.. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. **International Journal Of Geographical Information Science**, v. 20, n. 7, p.703-726, ago. 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/13658810600661508>.
- MARGULES, C. R.; PRESSEY, R. L.. Systematic conservation planning. **Nature**, Austrália, v. 405, n. 6783, p. 243-253, maio 2000. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/35012251>.
- MATSUOKA, E. H. Conservação de água através de pagamento por serviços ambientais: avaliação de fatores críticos de sucesso dos projetos do rio camboriú e das cidades de extrema e Nova Iorque. Dissertação (Mestrado profissional MPGC) . **Fundação Getúlio Vargas Escola de Administração de Empresas De São Paulo Edson**, p. 1–13, 2019.
- MELLO, K. D.; COSTA, D. R.D.A; VALENTE, R. A.; VETTORAZZI, C. A.. Multicriteria Evaluation for Protected Area Definition Aiming at Water Quality Improvement. **Floresta e Ambiente**, São Paulo/Brasil, v. 25, n. 3, p. 1-10, 28 maio 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.013416>.
- MESHARAM, S. G.; ALVANDI, E.; SINGH, V. P.; MESHARAM, C.. Comparison of AHP and fuzzy AHP models for prioritization of watersheds. **Soft Computing**, v. 23, n. 24, p. 13615-13625, 11 mar. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00500-019-03900-z>.
- MESHARAM, S. G.; SHARMA, S. K..Prioritization of watershed through morphometric parameters: a pca-based approach. **Applied Water Science**, v. 7, n. 3, p. 1505-1519, 18 set. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s13201-015-0332-9>.
- METZGER, J. P.; CASATTI, L.. Do diagnóstico à conservação da biodiversidade: o estado da arte do programa BIOTA/FAPESP. **Biota Neotropica**, São Paulo, v. 6, n. 2, p.1-23, maio 2006.
- MMA.MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (org.). **Áreas Prioritárias para Conservação da Biodiversidade Brasileira**. Brasília. Out. 2017.
- MMA.MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Constituição. Deliberação CONABIO nº 39, de 14 de dezembro de 2005. **Dispõe Sobre a Aprovação da Metodologia Para Revisão das Áreas Prioritárias Para A Conservação, Utilização Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira**. Brasília, DF, 2005.
- MITCHELL, M.G.E.; SUAREZ-CASTRO, A. F.; MARTINEZ-HARMS, M.; MARON, M.; MCALPINE, C.; GASTON, K. J.; JOHANSEN, K.; RHODES, J. R.. Reframing landscape fragmentation's effects on ecosystem services. **Trends In Ecology & Evolution**, v. 30, n. 4, p. 190-198, abr. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2015.01.011>.
- Mokany K.; Westcott D.A.; Prasad S.; Ford A.J.; Metcalfe D.J.. Identifying Priority Areas for Conservation and Management in Diverse Tropical Forests. **Plos One**, v. 9, n. 2, p.1-10, 14 fev. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0089084>.
- MORI, G. B.; PAULA, F. R. DE; FERRAZ, S. F. DE B.; CAMARGO, A. F. M.; MARTINELLI, L. A.. Influence of landscape properties on stream water quality in agricultural catchments in Southeastern Brazil. **Annales de Limnologie - International Journal Of Limnology**, v. 51, n. 1, p. 11-21, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/S2179-975X2011000200009>.
- MYERS, N.. The biodiversity challenge: Expanded hot-spots analysis. **The Environmentalist**, v. 10, n. 4, p.243-256, dez. 1990. **Springer Science**. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/bf02239720>.
- MYERS, N.. Threatened biotas. **The Environmentalist**, v. 8, n. 3, p.187-208, set. 1988. **Springer Science and Business Media LLC**. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/bf02240252>

- MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B. D.; KENT, J.. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853-858, fev. 2000. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/35002501>.
- FABBRO NETO, F.; MARQUES, E. M.; SANTOS, F. S.; MONTAÑO, M.. Critérios técnicos e de participação social para a recuperação florestal: Quais as diferenças na definição de áreas prioritárias? **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 353-360, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522014019000000403>.
- NÉTO, N. C. G.; SOUZA, L. D. N. D.; CASTRO, C. A. F.; COSTA, D.D. A.; FERREIRA, M. I. P.. Soluções Baseadas na Natureza aplicadas à conservação e à gestão integrada das águas – Um estudo prospectivo à luz da Agenda 2030 da ONU. **Revista Principia - IFPB**, v. 1, n. 51, p. 30-42, 3 set. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2020v1n51p30-43>.
- PAGIOLA, S.; VON GLEHN, H. C.; TAFFARELLO, D. (org.). **Experiências de Pagamentos por Serviços Ambientais no Brasil**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo, 338 p. 2013.
- PARDINI, R.; BUENO, A.D.A; GARDNER, T. A.; PRADO, P. I.; METZGER, J. P.. Beyond the Fragmentation Threshold Hypothesis: regime shifts in biodiversity across fragmented landscapes. **Plos One**, v. 5, n. 10, p. 1-10, 27 out. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0013666>.
- PAUDYAL, K.; BARAL, H.; BHANDARI, S. P.; BHANDARI, A.; KEENAN, R. J.. Spatial assessment of the impact of land use and land cover change on supply of ecosystem services in Phewa watershed, Nepal. **Ecosystem Services**, v. 36, p. 100-895, abr. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100895>.
- PINHEIRO, J.A. C.; DIAS, H. C. T.; PAIVA, H.N. de; SILVA, C. M.; FERNANDES FILHO, E. I.; OLIVEIRA NETO, S.N. de; BARBOSA, R.A. Processos hidrológicos na bacia hidrográfica do Córrego Zerede em Timóteo-MG. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 4, p. 1658-1670, 10 dez. 2019. Universidade Federal de Santa Maria. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/198050984677>.
- PINTO, L. P., BEDÊ, L., PAESE, A., FONSECA, M., PAGLIA, A., LAMAS, I.. Mata Atlântica Brasileira: os desafios para conservação da biodiversidade de um hotspot mundial. **Biologia da conservação: essências**. São Carlos: RiMa, p. 91-118, 2006.
- POSTEL, S. L.; THOMPSON, B. H.. Watershed protection: capturing the benefits of nature's water supply services. **Natural Resources Forum**, v. 29, n. 2, p. 98-108, maio 2005. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1477-8947.2005.00119.x>.
- QIU, J.; TURNER, M. G.. Importance of landscape heterogeneity in sustaining hydrologic ecosystem services in an agricultural watershed. **Ecosphere**, v. 6, n. 11, p. 1-19, nov. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1890/ES15-00312.1>.
- RANDHIR, T. O.; O'CONNOR, R.; PENNER, P. R.; GOODWIN, D. W.. A watershed-based land prioritization model for water supply protection. **Forest Ecology and Management**, v. 143, n. 1-3, p. 47-56, abr. 2001. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/s0378-1127\(00\)00504-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0378-1127(00)00504-1).
- RAPACCIUOLO, G.. Strengthening the contribution of macroecological models to conservation practice. **Global Ecology and Biogeography**, v. 28, n. 1, p. 54-60, 25 nov. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/geb.12848>.
- REDHEAD, J.W.; STRATFORD, C.; SHARPS, K.; JONES, L.; ZIV, G.; CLARKE, D.; OLIVER, T.H.; BULLOCK, J.M.. Empirical validation of the InVEST water yield ecosystem service model at a national scale. **Science Of The Total Environment**, v. 569-570, p. 1418-1426, nov. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.227>.
- REID, W.V. Biodiversity hotspots. **Trends In Ecology & Evolution**, v. 13, n. 7, p.275-280, jul. 1998. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/s0169-5347\(98\)01363-9](http://dx.doi.org/10.1016/s0169-5347(98)01363-9).
- RIO DE JANEIRO. **DECRETO Nº 42.029, DE 15 DE JUNHO DE 2011**. Regulamenta o Programa Estadual de Conservação revitalização de recursos hídricos - PROHIDRO, previsto nos artigos 5º e 11 da lei nº 3.239, de 02 de agosto de 1999, que instituiu a Política Estadual de recursos hídricos, e dá outras providências.
- RIO DE JANEIRO. **LEI Nº 3.239, DE 02 DE AGOSTO DE 1999**. Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos; cria o Sistema Estadual de gerenciamento de recursos hídricos; regulamenta a Constituição Estadual, em seu artigo 261, parágrafo 1º, inciso vii; e dá outras providências. RJ.
- ROUX, J. J. L.E; HUI, C.; CASTILLO, M. L.; IRIONDO, J. M.; KEET, JH.; KHAPUGIN, A. A.; MÉDAIL, F.; REJMÁNEK, M.; THERON, G.; YANNELLI, F. A.. Recent Anthropogenic Plant Extinctions Differ in Biodiversity Hotspots and Coldspots. **Current Biology**, v. 29, n. 17, p. 2912-2918, set. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2019.07.063>.
- RUIZ, C. B.. Pagamento por serviços ambientais: da teoria à prática /Maurício Ruiz Castello Branco. – Rio Claro (RJ): **INSTITUTO TERRA DE PRESERVAÇÃO AMBIENTAL - ITPA**, p. 1-188. 2015

- SANTOS, F. A. M. D.; COELHO-JUNIOR, M. G.; CARDOSO, J. C.; BASSO, V. M.; MARQUES, A.L. D. P.; SILVA, E. M. R. DA. Program Outcomes of Payments for Watershed Services in Brazilian Atlantic Forest: how to evaluate to improve decision-making and the socio-environmental benefits. **Water**, v. 12, n. 9, p. 2441-2452, 31 ago. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12092441>.
- SARTORI, A. A. DA C.; SILVA, R.F. B. DA; ZIMBACK, C. R. L.. Combinação linear ponderada na definição de áreas prioritárias à conectividade entre fragmentos florestais em ambiente SIG. **Revista Árvore**, v. 36, n. 6, p. 1079-1090, dez. 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-67622012000600009>.
- SILVA, A. A.D.. **Panorama da aplicação de práticas de conservação de solo e água nos Programas de Pagamento por Serviços Ambientais hídricos do Estado do Rio de Janeiro**. 2018. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.
- SILVA, V. A M; MELLO, K. D.; VETTORAZZI, C. A.; COSTA, D. R. DA; VALENTE, R. A.. Priority areas for forest conservation, aiming at the maintenance of water resources, through the multicriteria evaluation1. **Revista Árvore**, v. 41, n. 1, p. 1-11, 6 nov. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1806-90882017000100019>.
- SIMONCIC, T.; BONCINA, A.; ROSSET, C.; BINDER, F.; MEO, I. de; CAVLOVIC, J.; GAL, J.; MATIJASIC, D.; SCHNEIDER, J.; SINGER, F.. Importance of priority areas for multi-objective forest planning: a central european perspective. **International Forestry Review**, v. 15, n. 4, p. 509-523, 1 dez. 2013. Commonwealth Forestry Association. DOI: <http://dx.doi.org/10.1505/146554813809025685>.
- TAMBOSI, L. R.; VIDAL, M. M.; FERRAZ, S. F. DE B.; METZGER, J. P.. Funções eco-hidrológicas das florestas nativas e o Código Florestal. **Estudos Avançados**, v. 29, n. 84, p. 151-162, ago. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142015000200010>.
- TURUNEN, J.; MARKKULA, J.; RAJAKALLIO, M.; AROVIITA, J.. Riparian forests mitigate harmful ecological effects of agricultural diffuse pollution in medium-sized streams. **Science Of The Total Environment**, v. 649, p. 495-503, fev. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.427>.
- VALENTE, R. A.; PETEAN, F. C. DE S.; VETTORAZZI, C. A. Multicriteria decision analysis for prioritizing areas for forest restoration. **Cerne**, v. 23, n. 1, p. 53–60, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/01047760201723012258>.
- VETTORAZZI, C. A.; VALENTE, R. A.. Priority areas for forest restoration aiming at the conservation of water resources. **Ecological Engineering**, São Paulo/Brasil, v. 94, p. 255-267, set. 2016. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.05.069>.
- WILLIAMS, K. J.; MARGULES, C. R.; PERT, P. L.; BARRETT, T.. A preliminary Assessment of Priority Areas for Plant Biodiversity Conservation in the Wet Tropics Bioregion. **Living In A Dynamic Tropical Forest Landscape**, p.577-590, 2 fev. 2009., Ltd. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/9781444300321.ch46>.
- WOOD, S. L.R.; JONES, S. K.; JOHNSON, J. A.; BRAUMAN, K. A.; CHAPLIN-KRAMER, R.; FREMIER, A.; GIRVETZ, E.; GORDON, L. J.; KAPPEL, C. V.; MANDLE, L.. Distilling the role of ecosystem services in the Sustainable Development Goals. **Ecosystem Services**, v. 29, p. 70-82, fev. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.10.010>.
- YANG, S.; ZHAO, W.; LIU, Y.; WANG, S.; WANG, J.; ZHAI, R.. Influence of land use change on the ecosystem service trade-offs in the ecological restoration area: Dynamics and scenarios in the Yanhe watershed, China. **Science Of The Total Environment**, v. 644, p.556-566, dez. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.348>.

ARTIGO CIENTÍFICO 2

USO DA ANÁLISE MULTICRITÉRIOS NA DEFINIÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS À RESTAURAÇÃO FLORESTAL NA BACIA DO RIO URUBU

RESUMO

A bacia do rio Urubu, Campos dos Goytacazes/RJ, representa a situação de grande parte do território da RH IX, onde o uso e ocupação do solo destinou-se predominantemente a expansão da produção agrícola e a exploração dos recursos naturais, culminando na fragmentação da vegetação nativa e alterações nas características da paisagem. Como consequência, houve a diminuição dos habitats naturais, aparecimento de processos erosivos, degradação dos recursos naturais, comprometimento da disponibilidade hídrica e diferentes mudanças do regime hidrológico da bacia hidrográfica. Nesse contexto, o objetivo do presente estudo foi identificar áreas prioritárias para restauração florestal na bacia hidrográfica do rio Urubu, visando possibilitar a conservação dos recursos hídricos. A bacia hidrográfica mencionada, foi selecionada considerando a sua importância regional e o alto nível de degradação ambiental apresentado. A metodologia utilizada foi a Análise multicritérios baseada em SIG, associada ao método do Processo Analítico Hierárquico (AHP) e Álgebra de Mapas. Os fatores utilizados foram a declividade da bacia, nascentes, proximidade à malha viária, proximidade à rede de drenagem, pedologia, uso e cobertura do solo e proximidade às feições erosivas, todos representados em mapas temáticos com pesos distintos. O mapa final, resultado das interações entre os fatores, fornece um cenário com áreas adequadas à recuperação florestal, segundo os critérios adotados. Foi evidenciado que 72,7% da área foi classificada como “alta” e “muito alta” prioridade para recuperação; e apenas 9,82% da área foi classificada como “baixa” e “muito baixa prioridade”. O nível de prioridade foi mais alto nas áreas associadas à maiores densidades das nascentes, valores mais altos de declividade e áreas compostas por pastagens. Podemos concluir que o método utilizado foi eficiente para identificação das áreas prioritárias, permitindo subsidiar a tomada de decisão para alocação de recursos e incremento de projetos dessa natureza nas áreas prioritárias, contribuindo assim com a gestão do território.

Palavras-chave: Áreas prioritárias. Restauração Florestal. Sistemas de Informações Geográficas; Análise Multicritérios.

ABSTRACT

The Urubu River basin, Campos dos Goytacazes / RJ, represents the situation in a large part of the RH IX territory, where land use and occupation was predominant due to the expansion of agricultural production and the exploitation of natural resources, culminating in the fragmentation of the native vegetation and changes in landscape characteristics. As a consequence, there was a decrease in natural habitats, the appearance of erosion processes, degradation of natural resources, compromised water availability and different changes in the hydrological regime of the hydrographic basin. In this context, the objective of the present study was to identify priority areas for forest restoration in the hydrographic basin of the Urubu River, aiming to enable the conservation of water resources. The mentioned hydrographic basin was selected considering its regional importance and the high level of environmental degradation presented. The methodology used was Multicriteria Analysis based on GIS, associated with the Hierarchical Analytical Process (AHP) method and Map Algebra. The factors used were the slope of the basin, springs, proximity to the road network, proximity to the drainage network, pedology, land use and coverage and proximity to erosive features, all represented on thematic maps with different weights. The final map, the result of the interactions between the factors, provides a scenario with areas suitable for forest recovery, according to the adopted criteria. It was evidenced that, 72.7% of the area was classified as “high” and “very high” priority for recovery; and only 9.82% of the area was classified as “low” and “very low priority”. The level of priority was highest in areas associated with higher densities of springs, higher values of slope and areas composed of pastures. We can conclude that the method used was efficient for the identification of priority areas, allowing to subsidize decision making for the allocation of resources and the increase of projects of this nature in the priority areas, thus contributing to the management of the territory.

Keywords: *Priority areas. Forest Restoration. Geographic Information Systems; Multicriteria Analysis.*

1. INTRODUÇÃO

A substituição da cobertura original do solo, associada às práticas de manejo inadequado, produz alterações nas características físicas do solo e na paisagem de maneira geral, influenciando diretamente a gestão sustentável dos recursos naturais. Diante da recente crise hídrica instalada, em razão da crescente demanda de água doce, as alternativas para manter a qualidade e quantidade de

água em corpos hídricos são pautas de inúmeros estudos. As ações de restauração ecológica vêm sendo incentivadas e apontadas como uma das respostas mais praticáveis e acessíveis economicamente para a questão da produção de água de boa qualidade para consumo humano (VETTORAZZI, 2006). Contudo, mesmo sendo uma solução acessível, os custos são elevados, o que exige um planejamento aprimorado para apontar áreas prioritárias para o investimento de recursos em reflorestamento (SARTORI *et al.*, 2012).

A abordagem de restauração ecológica é frequentemente atribuída a outros conceitos, tais como ‘reabilitação’, ‘recuperação’, ‘redesignação’ e ‘revegetação’. Contudo, esses conceitos podem ser insuficientes no que diz respeito à abordagem ecológica do ecossistema (BRANCALION *et al.*, 2015). Posto isto, consideraremos para este estudo o conceito de restauração florestal estabelecido pela *Society for Ecological Restoration*, que define essa prática como “o processo de auxiliar a recuperação de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído” (SERI, 2004); e conservação florestal, como um conjunto de ações desempenhadas em um ecossistema, visando a sua restauração, proteção e manutenção de seus componentes e processos (DUNSTER; DUNSTER, 1996).

As intervenções de restauração florestal são capazes de mitigar os efeitos negativos decorrentes dos diferentes usos do solo, que agravam os processos de degradação em bacias hidrográficas (HONDA; DURIGAN, 2017). Há uma ampla relação já conhecida entre os processos hidrológicos e a vegetação em áreas importantes, como as zonas ripárias. A vegetação ripária, exerce uma influência ambiental significativa no âmbito hidrológico, ecológico e geomorfológico em uma bacia hidrográfica. Na perspectiva hidrológica, observa-se uma influência na qualidade e quantidade da água, na regulação do regime hídrico e na redução do assoreamento dos corpos hídricos; do ponto de vista ecológico, a ligação entre os fragmentos florestais promove a formação de corredores ecológicos, compreendendo todas as conectividades estruturais e funcionais da paisagem envolvida; e do ponto de vista geomorfológico, a vegetação ripária contribui para o controle dos processos erosivos do solo e do assoreamento dos rios, além de atuar como barreira natural contra resíduos de diversas naturezas (CASTRO; MELLO; POESTER, 2012; SEOANE *et al.* 2010).

O emprego de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são ferramentas muito presentes em análises ambientais, pois possibilitam a construção de bancos de dados digitais, análise de dados de fontes distintas, planejamento e otimização de tarefas, produzindo assim, resultados confiáveis aos diagnósticos e auxiliando nas tomadas de decisão (SOARES, 2020). A espacialização da paisagem na seleção de áreas prioritárias para restauração e para o manejo de bacias hidrográficas representa um dos métodos mais eficientes e economicamente viáveis. Na utilização de SIGs na área de análise

ambiental, é frequente o uso de múltiplos critérios para atender a um ou vários objetivos, esta técnica é denominada Análise Multicritérios (AMC) (SARTORI *et al.*, 2012).

A AMC é frequentemente empregada no ordenamento das estratégias de restauração florestal, além de auxiliar no processo de tomada de decisão em planejamentos ambientais que envolvem diferentes variáveis, sendo possível atribuir valores às mesmas, cujas combinações produzem alternativas prioritárias de acordo com o objetivo proposto (EASTMAN, 2001; FABBRO NETO *et al.* 2014). A AMC no contexto da Analytic Hierarchy Process (AHP) - Processo hierárquico analítico é uma das técnicas mais difundidas de tomada de decisão para definir áreas prioritárias (VETTORAZZI; VALENTE, 2016). É considerado um processo que permite a integração de diferentes planos de informação (PI) em um Sistema de Informação Geográfica (SIG), proporcionando a obtenção de mapas de prioridades confiáveis e em um curto espaço de tempo (MALCZEWSKI, 2006).

No Brasil, alguns estudos têm sido desenvolvidos utilizando a AMC no âmbito da priorização de áreas, como Valente *et al.* (2017) que identificaram áreas para restauração florestal, visando a manutenção dos recursos hídricos e da biodiversidade em uma bacia urbanizada, utilizando a AMC associada à Combinação Linear Ponderada (CLP); Mafra *et al.*(2020) que definiram as áreas prioritárias à restauração em uma bacia com alto déficit de vegetação, associando a AMC com a CLP e o operador Fuzzy Gamma; Almeida *et al.* (2020) que mapearam áreas prioritárias para recuperação florestal na bacia do Rio Doce, Minas Gerais, cenário de grande impacto ambiental devido ao rompimento de uma barragem de rejeitos de mineração, aplicando a análise multicritérios pelo método AHP, associado à CLP; Vieira *et al.* (2020) identificaram áreas prioritárias para abastecimento de água e conservação ambiental na bacia hidrográfica “Canal do Rio Guandu”, no Rio de Janeiro, através da associação da análise multicritérios baseada em SIG com a ferramenta da álgebra de mapas.

A bacia hidrográfica do rio Urubu está integrada a importantes corpos hídricos da Região Hidrográfica IX, tais como a bacia hidrográfica da Lagoa de Cima e da Lagoa Feia. A Lagoa de Cima, é abastecida pelos rios Urubu e Imbé, e apresenta uma grande importância regional, devido ao potencial turístico e por constituir uma Área de Proteção Ambiental (APA), com um espelho d'água de 15 km² de área, que desagua no rio Ururaí, que por sua vez desagua na Lagoa Feia. A Lagoa Feia compreende o maior reservatório hídrico superficial de água doce do estado do Rio de Janeiro, recebendo contribuição dos rios Ururaí, Macabú e de outros canais naturais e artificiais (LIMA, 2014). A conservação dos recursos hídricos nessa região se justifica por apresentar apenas 10% da área constituída por florestas nativas (COPPETEC, 2014), produto de um processo desordenado de uso e

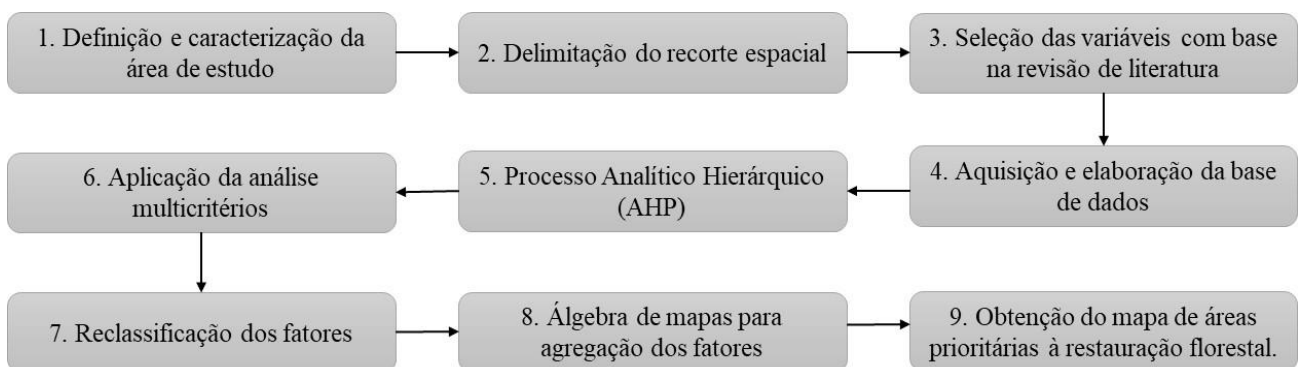
ocupação do solo, acrescido de alterações ambientais, geológicas e socioeconômicas (REZENDE, 2006).

Constatando-se a carência de estudos desta natureza na região, este trabalho visa preencher parcialmente essa lacuna. Nesse sentido, objetiva-se identificar áreas com potencial para restauração florestal na bacia hidrográfica do rio Urubu, visando possibilitar a conservação dos recursos hídricos. Definimos os critérios utilizados para análise sob a ótica da restauração paisagística, consideramos as funções ecológicas e econômicas, com objetivo de obter um mapeamento detalhado de onde aplicar investimentos em reflorestamento.

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Buscando atingir os objetivos elencados, este trabalho foi estruturado em um conjunto de etapas, como ilustrado na Figura 1. Para um melhor entendimento, cada etapa será descrita detalhadamente.

Figura 1: Etapas metodológicas utilizadas na pesquisa.

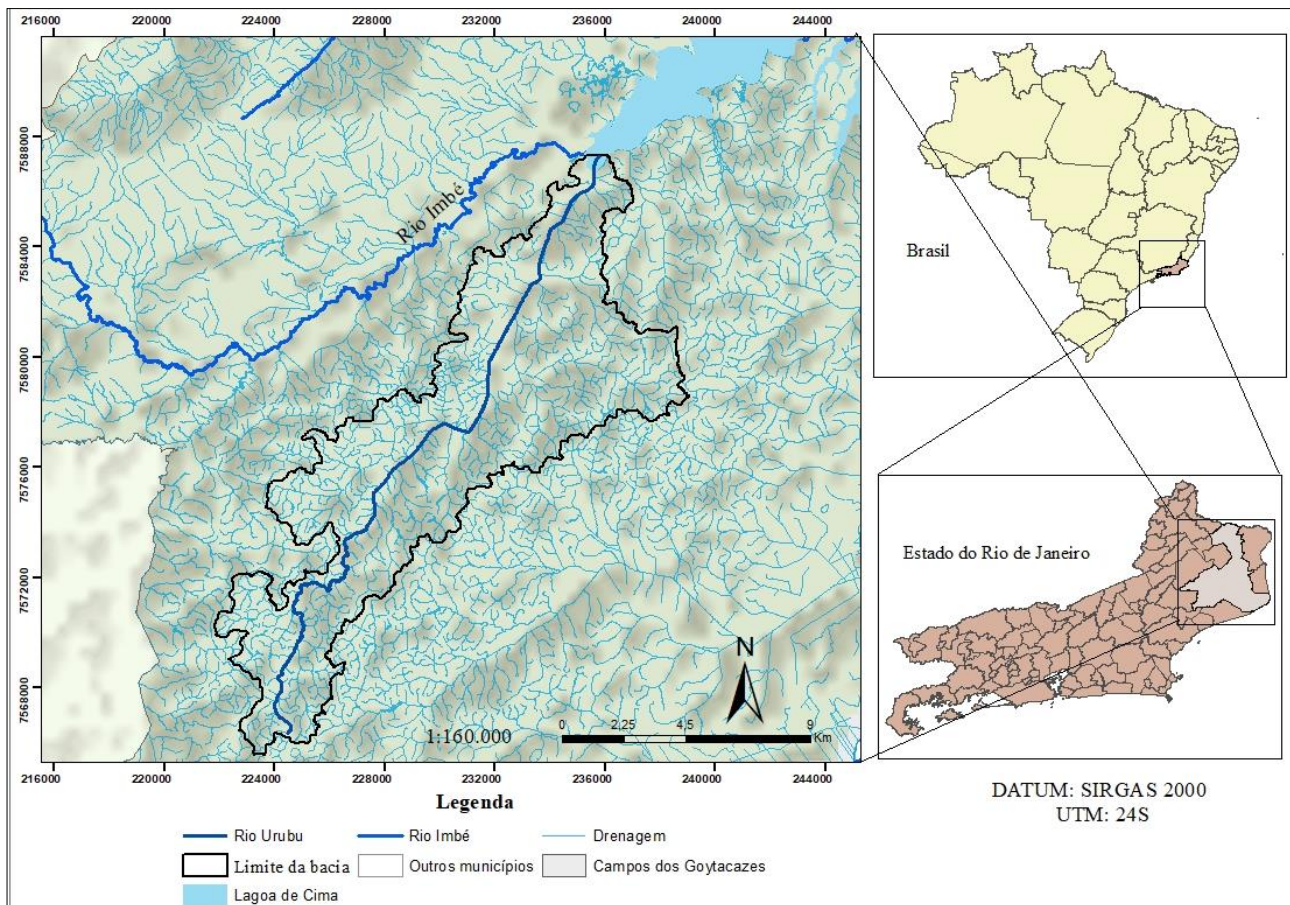


Fonte: Elaboração própria.

2.1. Área de estudo

A bacia do rio Urubu está situada no município de Campos dos Goytacazes, Norte do Estado do Rio de Janeiro e inserida RH IX. O rio Urubu nasce na Serra do Quimbira e apresenta cerca de 40 km de extensão. Essa bacia possui 112 km² e encontra-se inserida na Bacia de drenagem do Rio Imbé e da Lagoa de Cima. A bacia de drenagem da Lagoa de Cima abrange uma área de 127.000 ha (RIO RURAL, 2014), sendo abastecida pela confluência do Rio Imbé, com vazão média anual de 10,5 m³/s e do Rio Urubu, com 1,25 m³/s. Estes dois rios possuem, em conjunto, uma área de drenagem de 986 km². O clima da região apresenta uma característica estacional, com inverno pouco seco e verão úmido, e a precipitação média anual fica em torno de 1.400 mm e a temperatura média varia entre 16°C e 32°C (REZENDE, 2006).

Figura 2: Localização da bacia hidrográfica do rio Urubu, Campos dos Goytacazes-RJ.



Fonte: Elaboração própria.

A região possui uma diversificada atividade econômica, com o cultivo de cana-de-açúcar, café e a pecuária leiteira. As plantações de cana-de-açúcar e pecuária predominam nas áreas que circundam os rios Urubu, Imbé, Ururai e a Lagoa de Cima. O rio Urubu, tem na sua bacia de drenagem uma região de pouco escoamento e baixo potencial hídrico, haja vista que o aumento do desmatamento para o desenvolvimento das atividades agropecuárias, produziu um cenário crítico em termos de distribuição da cobertura vegetal (REZENDE, 2006).

2.2. Delimitação do recorte espacial: bacia do rio Urubu

Inicialmente foi realizada delimitação automática da bacia hidrográfica, utilizando a extensão *ArchHydro Tools* para o *software* ArcGIS®, ambos na versão 10.4. O dado de entrada utilizado foi um Modelo Digital de Elevação – MDE no formato matricial (*raster*). Por se tratar de uma modelagem hidrológica, é necessário representar o relevo de forma a reproduzir, com exatidão, o caminho preferencial do escoamento da água superficial observando a realidade, e obtendo as características morfométricas das bacias de drenagem. Para tanto, foi gerado o Modelo Digital de Elevação

Hidrologicamente Consistente (MDEHC) (Chaves, 2002; Oliveira, 2012), conforme a metodologia aplicada e descrita por Elesbon *et. al* (2011).

O modelo foi elaborado a partir de dados vetoriais com escala de 1:25.000 (IBGE, 2018). Os dados utilizados foram: 1) Ponto cotado; 2) Curva de nível e 3) Rede de drenagem. O MDEHC é o mais indicado para modelagens hidrológicas devido a capacidade de reproduzir com maior fidelidade o caminho preferencial do escoamento superficial (Chaves, 2002; Oliveira, 2012). Por fim, os procedimentos realizados para delimitação da bacia hidrográfica, a partir do MDEHC foram: “Fill Sinks”, “Flow Direction”, “Flow Accumulation”, “Stream Definition”, “Stream Segmentation”, “Catchment Grid Delineation”, “Catchment Polygon Processing”, “Drainage Line Processing”, “Adjoint Catchment Processing”, “Drainage Point Processing”, “Batch Point Generation” e, por fim, “Watershed delineation”. Após cumprir todas as etapas, o limite da bacia do rio Urubu foi gerado, e então utilizado para recortar todos os planos de informações que foram utilizados nesta pesquisa.

2.3. Aquisição e elaboração da base de dados

A formação do banco de dados deu-se através da obtenção da base de dados digitais de projetos e instituições públicas. Estes dados foram analisados e editados, estruturando o banco de dados digital georreferenciado do trabalho. Os metadados utilizados para elaboração dos mapas das áreas prioritárias na bacia hidrográfica do Rio Urubu foram:

- Mapa de declividade: Base de dados na escala de 1:150.000, disponibilizados pela CPRM (2015);
- Mapa de feições erosivas (ravinas ou voçorocas): Base de dados na escala de 1:400.000, disponibilizadas pela CPRM (2014);
- Mapa da rede de drenagem: Base de dados na escala de 1:5.000, disponibilizadas pelo Centro de Informações e Dados de Campos (CIDAC) (2016);
- Mapa com as Áreas de Preservação Permanente de nascentes: Base de dados na escala de 1:25.000, disponibilizadas pelo IBGE/SEA (2016);
- Mapa de pedologia: Base de dados na escala de 1:400.000, disponibilizadas pela CPRM (2014);
- Mapa do Uso e ocupação do solo: Base de dados na escala de 1:25.000, utilizada no projeto Olho no Verde, disponibilizadas pelo INEA (2017);
- Mapa de rodovias: Base de dados na escala de 1:25.000, disponibilizadas pelo INEA (2016).

Para auxiliar a identificação das áreas prioritárias para restauração, a ferramenta de geoprocessamento é muito utilizada para o tratamento de informações geográficas devido à capacidade de processamento, análise e manipulação de dados (CAMPOS *et al.*, 2017). Para a estruturação de uma base de dados que permita utilizar a análise multicritério e o método da AHP, inicialmente fez-se necessária a conversão dos mapas do formato vetorial (*shapefile*) para o formato matricial (raster). Todos os dados foram dispostos em um Sistema de Informações Geográficas (SIG) através de um Banco de Dados Geográficos (BDG), e em seguida tratados através do *software* ArcGis 10.4 e projetados para um sistema de coordenadas geográficas e *datum* SIRGAS 2000 fuso 24 S.

2.4. Definição dos critérios

Para a definição dos fatores a serem aplicados no processo de identificação de áreas prioritárias à restauração florestal, visando a conservação dos recursos hídricos, a literatura elenca diversas variáveis a serem consideradas. Contudo, para embasar a escolha dos critérios utilizados nesta pesquisa, consideramos os estudos desenvolvidos por Vettorazzi e Valente (2016), Valente (2017), Vettorazzi (2016), Valente *et al.* (2017), Bochner (2010), Fabbro Neto *et al.* (2014); Nossack, (2012) e Francisco (2006). E a seleção destes critérios se deu a partir das características da área de estudo e dos aspectos ambientais mais relevantes envolvidos no processo de restauração florestal de uma bacia hidrográfica.

Proximidade à rede de drenagem

Para a obtenção deste fator, uma faixa de distância (*buffer*) de 100, 200, 300 e 400 metros de distância da rede de drenagem em relação ao rio Urubu foram gerados através do *software* ArcGis 10.4 (ALMEIDA *et al.*, 2019). Estabeleceu-se que quanto mais próximo da rede de drenagem, maior a prioridade para recuperação florestal. Para elaboração do mapa de distância em relação aos corpos d'água, utilizamos a base de dados da rede hidrográfica fornecida por CIDAC/PMCG (2016). Esta, associado aos limites da bacia, possibilitou o cálculo automático das distâncias somente dentro dos limites da bacia do Rio Urubu.

Ressaltamos ainda que, foram considerados para análise apenas os aspectos da paisagem, naturais ou antrópicos, e não as regulamentações dispostas no Novo Código Florestal - Lei 12.651/2012, que determina a largura das faixas marginais. Dentro desse contexto, consideramos que a vegetação florestal é importante por exercer funções como controle da erosão, da desertificação, sequestro de carbono atmosférico e da qualidade da água em uma bacia hidrográfica, independente

da sua distância em relação corpo hídrico (TAMBOSI *et al*, 2015; VETTORAZZI, 2006). Portanto, essa importância aumenta à medida que a distância para o corpo d'água ou nascente diminui. (VETTORAZZI, 2006).

Proximidade à malha viária

O plano de informação utilizado para malha viária permitiu a identificação, tanto das estradas principais (vias estaduais e municipais), quanto as secundárias (vicinais), sendo asfaltadas ou não. Aplicamos a metodologia de estimativa de densidade por *Kernel*, que consiste em uma técnica de interpolação exploratória que produz uma superfície de densidade, possibilitando a estimação da intensidade de um evento em toda área de estudo (BRITO; FERREIRA, 2015). Este método utiliza algoritmos estatísticos não paramétricos dos pontos dentro de um raio de influência, ponderando-os pela distância de cada um à localização de interesse. O resultado gerado permite o reconhecimento espacial de áreas mais concentradas dentro da área de estudo.

A modelagem do mapa *Kernel* foi executada por intermédio da ferramenta *Kernel Density* presente no *software* ArcGIS. A observação para este fator foi ponderada pela distância do Rio Urubu em relação à localização de toda malha viária. Em seguida um novo plano de informação com a intensidade pontual de cada trecho da malha viária foi gerado, possibilitando uma melhor visualização da influência da malha viária na área de estudo. Os resultados foram expressos em cinco intervalos iguais de densidade: a) muito baixa, b) baixa, c) média, d) alta, e) muito alta. Consideramos para este critério que, as áreas que se encontram mais distantes da maior concentração de malha viária são mais prioritárias à projetos de restauração, pois são menos vulneráveis aos efeitos deletérios provocados por este fator (BOCHNER, 2010).

Concentração das nascentes

O plano de informação utilizado para obter os dados das nascentes da bacia do rio Urubu foi produzido pelo INEA na escala de 1:25.000 no ano de 2016, e foi elaborado a partir do perímetro de 50m de cada nascente, conforme determinações do Código Florestal (Lei nº12.651/2012). Com o objetivo de avaliar a distribuição espacial das nascentes ao longo da bacia, elaborou-se uma base de dados com a densidade das nascentes existentes. Aplicamos a metodologia de estimativa de densidade por *Kernel*, conforme utilizado para o fator de “malha viária”. A observação para o fator “nascentes” foi ponderada pela maior e menor concentração das nascentes na bacia. Em seguida, um novo plano de informação com a intensidade pontual das nascentes foi gerado, possibilitando uma melhor visualização da influência das nascentes na área de estudo. Posteriormente um mapa temático com a

concentração das nascentes produzido, possibilitou a melhor visualização da disposição das nascentes na área de estudo. Os resultados foram expressos em cinco intervalos de intensidade: a) muito baixa, b) baixa, c) média, d) alta, e) muito alta.

Declividade da bacia

O plano de informação para elaboração da declividade da bacia foi obtido a partir do MDEHC, para tanto, utilizou-se os dados de: ponto cotado; curva de nível, rede de drenagem e o limite da bacia hidrográfica. A base de dados de declividade foi produzida através das ferramentas do *software* ArcGIS, com cálculos em porcentagem, que foram classificados em seis intervalos correspondentes a classificação adotada pelo manual da EMBRAPA (1999):

Quadro 1: Classes de declividade e percentual de área da bacia do rio Urubu.

Declividade	Classe atribuída	área (%)
0 – 3%	plano	28,15
3 – 8%	suave ondulado	35,41
8 – 20%	ondulado	20,83
20 – 45%	forte ondulado	11,20
45 – 75%	montanhoso	3,62
> 75%	escarpado	0,79

Fonte: EMBRAPA (1999)

Para este critério, deu-se a maior relevância às áreas localizadas em regiões de maior declive, tendo em vista que essas áreas apresentam maiores condições para desencadear processos erosivos, sendo assim uma ameaça à conservação e preservação florestal (SARTORI *et al.*, 2012). Consideramos neste fator que, áreas com maiores percentuais de declividade traduzem-se em um cenário prioritário para ações de restauração, visto que solos expostos representam um fator determinante para aceleração de processos erosivos (DANIEL; VIEIRA, 2015).

Pedologia

O fator pedologia está diretamente associado à vulnerabilidade à movimentos de massa. Uma vez que alguns solos são mais susceptíveis à processos erosivos do que outros. Isso ocorre devido a combinação dos fatores geológicos, geomorfológicos e pluviométricos, com as características físicas e químicas do solo (BIGARELLA *et al.*, 2003). O plano de informação pedológico foi desenvolvido

pela CPRM na escala de 1:400.000 para o estado do Rio de Janeiro e recortado para a bacia do Rio Urubu. Os dados foram organizados em classes representando o tipo de solo em toda área da bacia.

Para esse critério, consideramos a influência dos atributos pedológicos de cada classe de solo no que tange a recuperação de áreas degradadas e a prevenção de processos erosivos, atribuindo maior prioridade na análise para os solos que apresentarem características convergentes com o objetivo proposto.

Uso e cobertura do solo

Este critério na análise atua como um indicador de áreas propícias ou inadequadas para indicação de locais prioritários à restauração florestal, sendo essencial para demonstrar as principais ações antrópicas na bacia. Os dados de uso e cobertura do solo foram obtidos a partir do mapa de Uso e Cobertura do solo do INEA (2017). O plano de informação foi recortado para a bacia do Rio Urubu e os dados foram organizados em classes segundo o Uso e ocupação do solo.

Para esse critério, consideramos a influência do Uso e Ocupação do solo na conservação dos recursos hídricos, tendo em vista que a bacia do Rio Urubu se encontra em alto nível de degradação ambiental e fragmentação florestal. Para tanto, as áreas que apresentaram ausência de cobertura vegetal original obtiveram maior prioridade na análise.

Proximidade às feições erosivas

As alterações no uso do solo podem provocar uma aceleração dos processos erosivos, configurando indícios de instabilidade dos sistemas geomorfológicos (DANIEL; VIEIRA, 2015). No plano de informações utilizado para embasar este critério, todas feições erosivas foram identificadas como ravinas, isso se deu a partir de levantamentos de campo e interpretação de imagens aéreas disponibilizados pelo CPRM (2014). Após o conhecimento da disposição das ravinas, realizamos a interpolação desses dados por média ponderada, através do método IDW - *Inverse Distance Weight*, conhecido como, Ponderação do Inverso das Distância. Consiste em um procedimento determinístico local considerando a altitude e a proximidade dos pontos amostrais. Este método parte do princípio de que os pontos mais próximos da área analisada terão maior influência no local e diminuirão com a distância (ARUN, 2013). Os resultados foram expressos em cinco intervalos sendo: a) muito baixa, b) baixa, c) média, d) alta, e) muito alta.

Conforme evidenciado, a existência de feições erosivas no interior de uma bacia hidrográfica pode representar indícios de instabilidade dos sistemas geomorfológicos (CAMPOS *et al.*, 2017). Nesse sentido, ponderamos neste critério que a presença de feições erosivas em áreas com faixas

maiores de altitude, associadas com usos antrópicos intensos, tendem a agravar os processos erosivos já existentes. Portanto, consideramos que o aumento crescente das faixas de altitude numa área é proporcional à sua prioridade para restauração.

Após a seleção de todos os elementos necessários à análise, bem como a elucidação quanto a aplicabilidade destes na presente pesquisa, o passo seguinte consistiu em realizar o processamento de todos os planos de informação de modo a transformá-los para o formato matricial, igualando o número de linhas, colunas, escala e resolução espacial, possibilitando assim a utilização no método AHP e na análise multicritérios. A partir da elaboração desse banco de dados, produzimos mapas temáticos que contribuíram para a visualização das correlações existentes entre as variáveis na área de estudo.

2.5. Análise multicritérios/ Processo Analítico Hierárquico (AHP)

O processo de tomada de decisão dentro de um planejamento ambiental requer a combinação de variáveis que caracterizam a área de estudo, considerando atender a um ou mais objetivos. Nesse contexto, a análise multicritérios com abordagem espacial têm sido amplamente utilizada a partir de ferramentas de geoprocessamento. Há muitos métodos de análise multicritérios para auxílio à tomada de decisão, contudo, a técnica que tem se mostrado mais eficiente em estudos ambientais foi proposta por Thomas Saaty em 1978, denominada de Analytic Hierarchy Process (AHP) (SAATY, 1991; ALMEIDA *et al.*, 2019). O princípio desta técnica consiste em determinar a ordem de importância entre os fatores analisados, atribuindo pesos relativos aos critérios e assim, estabelecer relações existentes entre as variáveis analisadas dentro do foco do estudo (ALMEIDA *et. al* 2020; VALENTE *et al.*, 2017).

Para tanto, Saaty propôs uma escala de 1 a 9, denominada de Escala Fundamental (Tabela 1), sendo o valor 1 concedido aos critérios de mesma importância relativa, e o valor 9 aos critérios de importância absoluta em relação aos demais (SAATY, 1990). Nesse sentido, ao aplicar a comparação pareada para cada um dos critérios apresentados, pode-se presumir que se o critério A é absolutamente mais importante que o critério B e é classificado como 9, então B deve ser absolutamente menos importante que A e é avaliado em 1/9. Enquanto, no julgamento de fatores iguais, será atribuído o valor 1. Dessa forma, uma matriz quadrada é construída (Figura 3) com os fatores e seus respectivos valores (ALMEIDA *et. al* 2020).

Tabela 1: Intensidade da escala de classificação de Saaty.

Valor	Recíproco	Definição
1	1	Igual importância: os dois critérios contribuem de forma idêntica.
3	1/3	Pouco mais importante: um critério é um pouco mais importante do que o outro.
5	1/5	Muito mais importante: um dos critérios é claramente mais importante do que o outro.
7	1/7	Fortemente mais importante: um dos critérios é predominantemente mais importante do que o outro.
9	1/9	Extremamente mais importante: um dos critérios, sem dúvidas, é absolutamente predominante para o objetivo.
2, 4, 6 e 8	*	Valores intermediários de Julgamento.

Fonte: Adaptado de Saaty (1991).

Após a seleção dos critérios para o presente estudo, os pesos atribuídos para cada critério foram estabelecidos a partir da literatura científica e na experiência de pesquisadores da área. Após a construção da matriz de pareamento, calculou-se o Índice de Consistência (IC) e a Taxa de Consistência (TC). O IC é o procedimento que permite avaliar a consistência das avaliações realizadas para o cálculo da AHP, para tanto, utiliza-se da seguinte equação (SAATY, 1991):

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

Onde: n representa o número de ordem da matriz e $\lambda \max$ é o maior valor de autovetor da matriz de julgamentos, alcançado através do somatório da multiplicação dos resultados da AHP de cada linha vezes o valor da coluna correspondente.

A Taxa de Consistência ou a Razão de Consistência (RC), é o procedimento responsável por verificar as possíveis inconsistências que podem ocorrer durante as comparações na etapa de julgamentos. A Taxa de Consistência não deve ultrapassar o valor de 0,1, indicando consistência nos valores da matriz. Caso os valores sejam maiores que 0,1, haverá a necessidade de reavaliar as comparações, até que a RC apresente resultados coerentes com o modelo proposto por Saaty (SAATY, 1991). A Razão de consistência é representada pela equação:

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (2)$$

Onde: IC = Índice de Consistência e IR = Índice Randômico obtido através da Tabela 2 e calculado para matrizes quadradas de ordem “n”.

O índice randômico também foi proposto por Saaty (1991) e modifica de acordo com o número de fatores analisados.

Tabela 2: Índice randômico de acordo com o número de fatores estudados.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IR	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

Fonte: Saaty (1991).

Todas as etapas para a obtenção dos pesos resultantes da matriz de avaliação foram realizadas automaticamente em ambiente SIG, utilizando o plugin de extensão *Easy AHP*, disponível no *software ArcGis 10.4*. Após inserir os julgamentos, o plugin gerou o peso de cada fator, fornecendo o resultado da matriz de pesos.

2.6. Reclassificação dos fatores

Após a obtenção dos pesos, foi necessário transformar todos os planos de informação em uma escala mensurável e assim, todos os dados matriciais foram reclassificados através da ferramenta *Reclassify*, disponível no *software ArgGIS 10.4*, em uma escala de ordem crescente de importância e prioridade, que varia de 1 a 5, sendo: 1: muito baixo, 2: baixo, 3: médio, 4: alto e 5: muito alto. Estas notas foram atribuídas a cada classe dos critérios utilizados para auxiliar na identificação de áreas prioritárias para restauração. Para tanto, consideramos os estudos realizados por Almeida et al. (2019); Salomão et al. (2020), Vettorazzi e Valente (2016), Valente; Petean; Vettorazzi (2017), Fabbro Neto et al. (2014), Nossack (2012), Francisco (2006), Salomão et al. (2020) e os adaptamos para área de estudo desta pesquisa.

2.7. Álgebra de mapas – Integração dos planos de informação

A álgebra de mapas consiste em uma técnica composta por um conjunto de operadores aritméticos responsáveis por manipular uma combinação de dados, considerando diferentes variáveis. Essa operação ocorre através da sobreposição dos dados matriciais de cada critério que foram reclassificados previamente com valores ponderados (SAMPAIO, 2016).

A partir das notas de cada classe e os pesos dos planos de informação calculados a partir do método AHP, foi utilizada a ferramenta *Raster Calculator* do *SpatialAnalyst Tools* do *software*

ArcGIS 10.4. Para obter o mapa de áreas prioritárias, calculamos a média ponderada dos dados espaciais que foi dada pela seguinte equação:

$$\text{MAP} = (fa*pa + fb*pb + fc*pc \dots) / n \quad (3)$$

Onde:

MAP = Mapa de áreas prioritárias;

p = Peso (AHP);

f = fatores (planos de informação);

n = número de fatores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. RESULTADOS

A proposta da metodologia aplicada nesta pesquisa se baseia no método de análise multicritérios usando o Processo Analítico Hierárquico (AHP), que visa fornecer alternativas para decisões complexas que envolvem muitos critérios, e que a seleção destes, assim como dos pesos aplicados, deverá variar de acordo com as particularidades da área de estudo.

Após o preenchimento da matriz de comparação pareada, pelo método AHP, obtivemos os valores de importância entre os critérios para cada nível da hierarquia, bem como os pesos de importância relativa de cada critério utilizado, seguindo a prioridade de influência de cada variável na seleção de áreas prioritárias para restauração florestal na bacia hidrográfica do Rio Urubu (Tabela 3). Observamos que a taxa de consistência (TC) foi de 0,096, o que representa um nível aceitável de consistência do processo, sendo possível a utilização dos pesos atribuídos aos critérios nas etapas seguintes.

Tabela 3: Matriz de pesos dos critérios definidos pelo método AHP.

	Declividade	Prox.feições erosivas	Prox. rede drenagem	Nascentes	Pedologia	Uso do solo	Prox. malha viária	Pesos
Declividade	1	3	5	1/3	1/3	1/7	1/3	8,402
Feições erosivas	1/3	1	1/3	1/5	1/3	1/5	1/5	3,441
Prox. Rede de drenagem	1/5	3	1	1/5	1/2	1/7	1/2	5,228
Prox. App de nascentes	3	5	5	1	1/2	1/4	1	14,782
Pedologia	3	3	2	2	1	1/2	1	16,046
Uso do solo	7	5	7	4	2	1	4	38,306
Prox. rodovias	3	5	2	1	1	1/4	1	13,794
Taxa de consistência (TC) = 0,096								

Fonte: Elaboração própria.

Para o desenvolvimento da análise multicritérios em ambiente SIG, consideramos todos os critérios selecionados previamente, uma vez que estes podem contribuir para conservação dos recursos hídricos na bacia. Desta forma, para cada uma das classes que compõem os fatores elencados, foram atribuídas notas de 1 (menor) a 5 (maior), considerando o nível de importância (Figura 5). Todas as notas foram atribuídas a partir da adaptação de conceitos e estudos apresentados por autores que desenvolveram estratégias para restauração em bacias hidrográficas.

Quadro 2: Relação entre os critérios e suas respectivas classes para obtenção dos pesos para cada classe.

Critérios	Classe	Peso classe	Metodologia
Declividade	0-3%	1	Adaptado de Almeida <i>et al.</i> (2019); Salomão <i>et al.</i> (2020).
	3-6%	1	
	12-20%	3	
	20-45%	3	
	45-75%	4	
	>75%	5	
Feições erosivas	Muito baixa	1	Adaptado de Silva <i>et al.</i> (2017); Vettorazzi e Valente (2016)
	Baixa	1	
	Média	3	
	Alta	4	
	Muito alta	5	
Prox. rede de drenagem	100	5	Adaptado de Almeida <i>et al.</i> , (2019) e Valente; Petean; Vettorazzi (2017)
	200	4	
	300	3	
	400	2	
Nascentes	Muito baixa	5	Adaptado de Fabbro Neto <i>et al.</i> (2014) e Nossack (2012)
	Baixa	4	
	Média	3	
	Alta	1	
	Muito alta	1	
Pedologia	Latossolo	1	Adaptado de Almeida <i>et al.</i> 2019
	Gleissolo	2	
	Argissolo	4	
Uso do solo	Floresta	1	Adaptado de Vettorazzi e Valente, (2016); Francisco (2006)
	Pastagem	5	
	Pastagem em várzea	5	
	Veget.secundária	2	
Prox. malha viária	0	5	Adaptado de Vettorazzi e Valente, (2016); Salomão <i>et al.</i> (2020).
	0 - 385	5	
	385 - 1.348	3	
	1.348 - 2.793	2	
	2.793 - 24.564	1	

Fonte: Elaboração própria.

A prancha com os produtos temáticos elaborados e utilizados durante o processo da identificação das áreas prioritárias para restauração são apresentados nas Figuras 1 e 2. A partir da

combinação dos pesos obtidos em cada critério, pelo método da AHP e das notas atribuídas a cada classe, na reclassificação, seguimos para sobreposição ponderada das informações. Aplicamos o método da Álgebra de Mapas, sendo expresso pela seguinte equação:

$$\text{MAP} = (\text{F1} * 8.4) + (\text{F2} * 3.4) + (\text{F3} * 5.2) + (\text{F4} * 14.8) + (\text{F5} * 16.1) + (\text{F6} * 38.3) + (\text{F7} * 13.8) / 7$$

Onde:

F1 = Declividade da bacia

F2 = Proximidade às feições erosivas

F3 = Proximidade à rede de drenagem

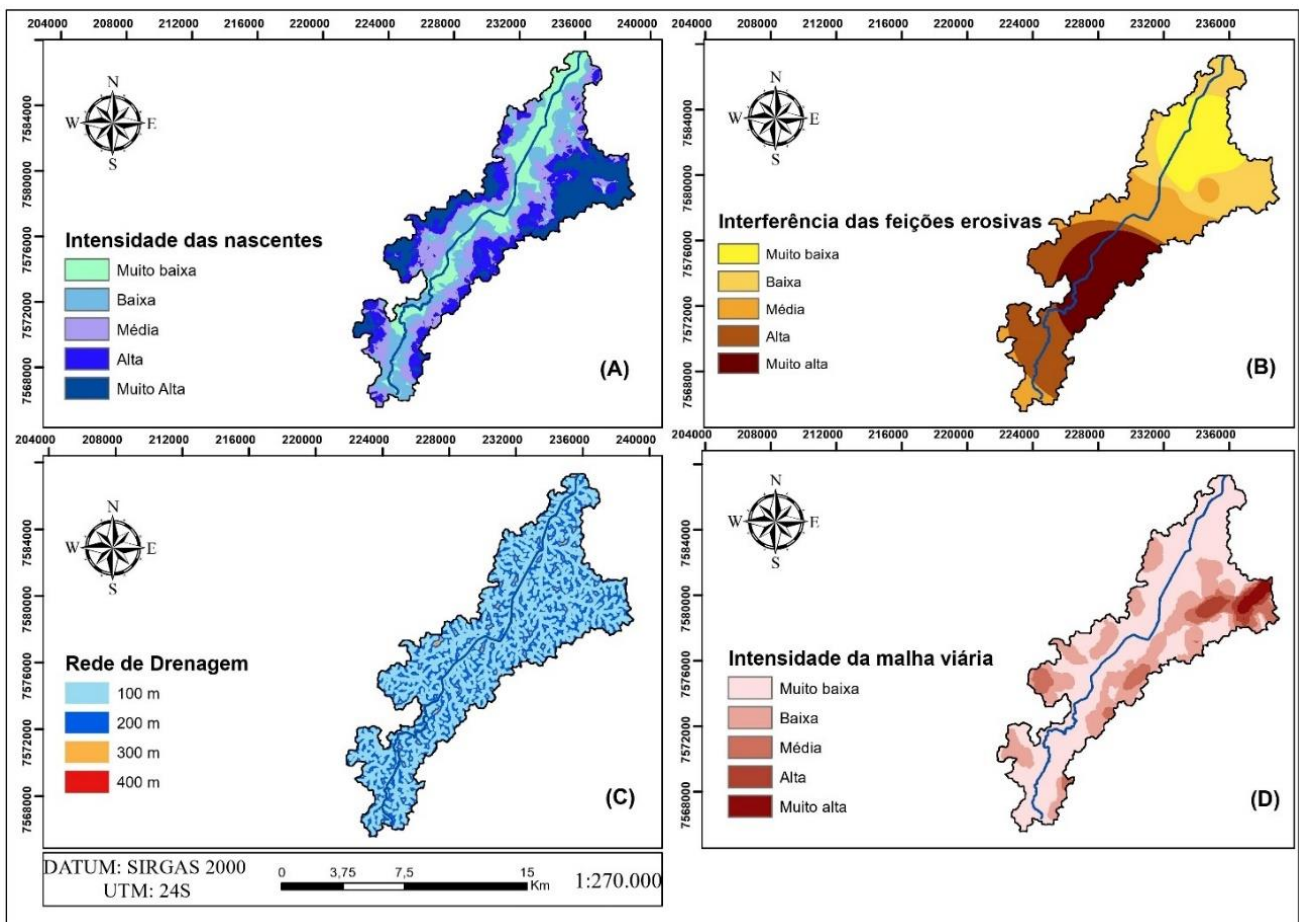
F4 = Proximidade às APP's de nascentes

F5 = Pedologia do solo

F6 = Uso e ocupação do solo

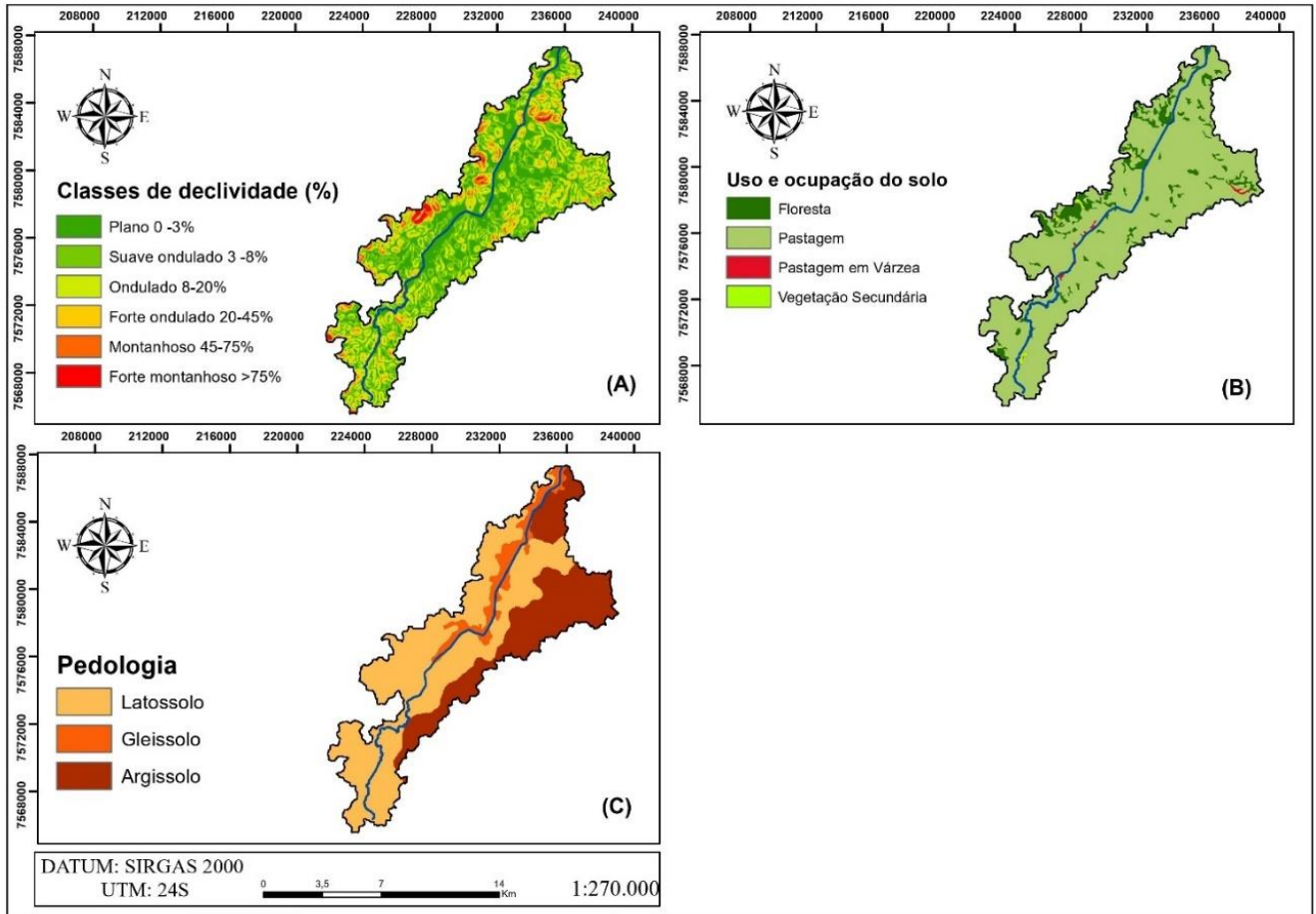
F7 = Proximidade à malha viária

Figura 3: Prancha com os planos de informações utilizados na pesquisa, sendo: (A) Concentração das nascentes por Kernel; (B) feições erosivas por IDW; (C) Buffer de distância da rede de drenagem; (D) Concentração da malha viária.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 4: Prancha com os planos de informações utilizados na pesquisa, sendo: (A) declividade ; (B) Uso e ocupação do solo; (C) Pedologia.

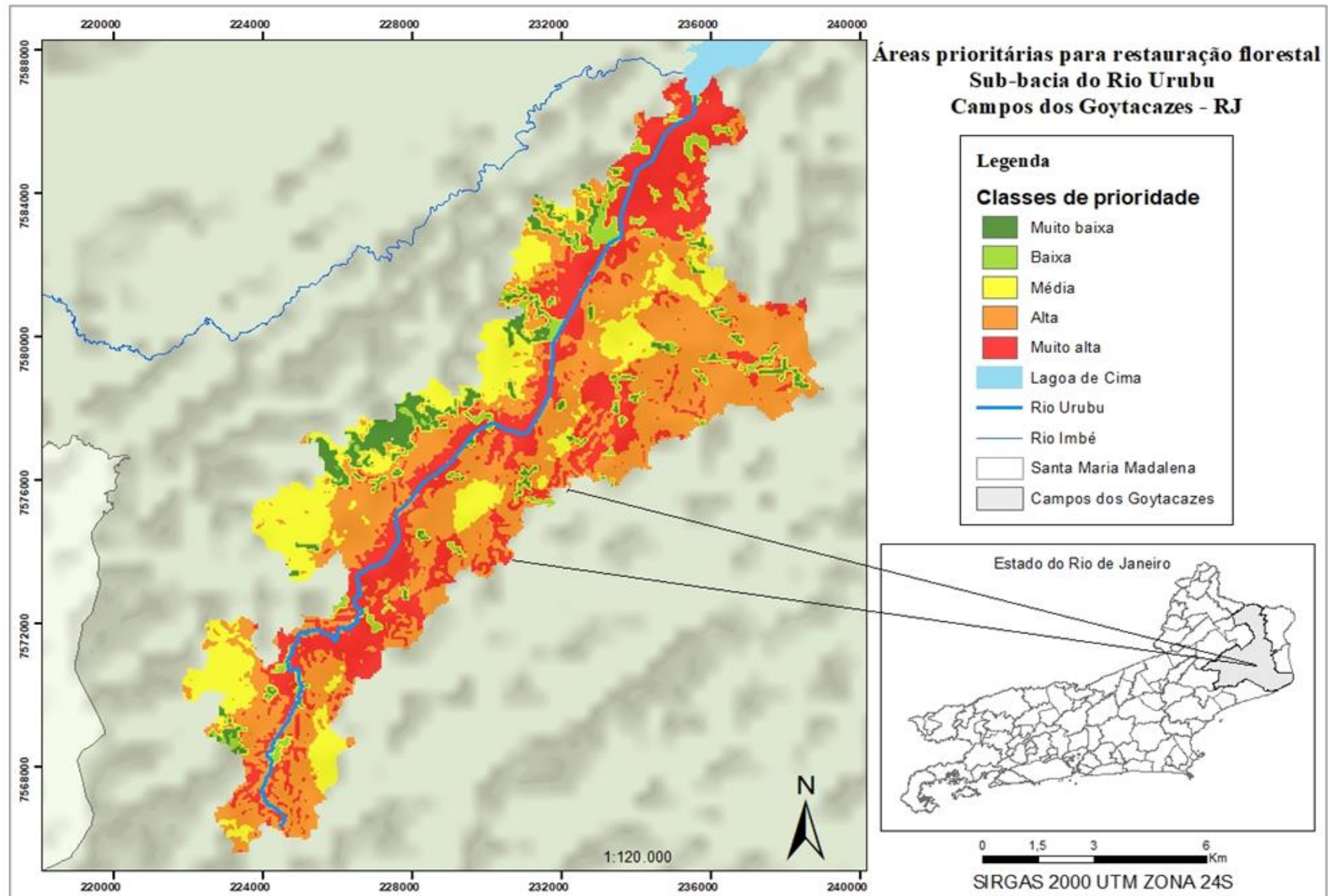


Fonte: Elaboração própria.

A solução para a tomada de decisão quanto a identificação das áreas prioritárias para restauração florestal na bacia do rio Urubu é apresentada na Figura 5 e as classes de prioridade com suas respectivas áreas estão expressas na Tabela 4. Essas classes foram definidas após uma reclassificação, onde cada dado matricial resultante foi agrupado em cinco categorias hierárquicas de prioridade, variando o grau desde muito baixa até muito alta.

A aplicação da análise multicritérios baseada no método AHP resultou em um cenário onde 72% da bacia apresenta “muito alta” e “alta prioridade” para restauração florestal, o que perfaz cerca de 8.000 ha; 17% da bacia com média prioridade, o que representa 1.900 ha; e apenas 9,8% da bacia com baixa e muito baixa prioridade, o que equivale a aproximadamente 1.079 ha.

Figura 5: Áreas prioritárias para restauração florestal na bacia do rio Urubu, no município de Campos dos Goytacazes-RJ.



Fonte: Elaboração própria.

Tabela 4: Classes das áreas prioritárias para restauração florestal com os respectivos cálculos de área do percentual de área.

Nível de prioridade	Área (%)
Muito baixa	4,99
Baixa	4,83
Média	17,48
Alta	44,68
Muito alta	28,02

Fonte: Elaboração própria.

3.2. DISCUSSÃO

A combinação de fatores como, formas de relevo sem grandes variações de declividade, solos mais profundos, com boa capacidade de drenagem e boa disponibilidade hídrica, favorecem a produção agrícola e pecuária em escala local, resultando no uso e manejo intensivo do solo em toda área da bacia do rio Urubu. Dentro desse contexto, podemos inferir que essas áreas apresentam maior fragilidade aos processos erosivos, bem como aos processos ecológicos devido à supressão das Áreas de Preservação Permanente (APP) (FERREIRA; SILVA, 2020).

A distribuição espacial das classes de prioridade é expressa pelas figuras 3 e 4, e está essencialmente relacionada a três critérios principais, são eles: “uso e cobertura do solo”, “pedologia” e “nascentes”. Foram considerados os critérios mais importantes após o preenchimento da matriz de comparação, que visou estabelecer a importância entre as variáveis seguindo a prioridade de influência de cada variável na identificação das áreas a serem restauradas. Isso representa que os locais classificados como de prioridade “muito alta” e “alta” estão associados às classes desses critérios. A mesma tendência se mantém para os demais critérios, associando-os aos outros níveis de prioridade.

Verificamos que o critério que obteve o maior peso na análise foi o de “Uso e cobertura do solo”, com peso de 38,31 (Tabela 4). A partir da análise do mapa, observa-se que as áreas de pastagem recobrem 89% da bacia hidrográfica, ocupando uma área com cerca de 10.000 ha (Tabela 5). Podemos inferir que a ocupação intensiva da pecuária na região está associada à combinação de formas de relevo sem grandes variações de declividade e ao clima favorável. Apenas 9% da área estudada apresenta-se com vestígios de cobertura vegetal original, o que revela a fragilidade da bacia devido às ações antrópicas, comprometendo o funcionamento hidrológico e a biodiversidade local. Dessa forma, a prioridade está atrelada às áreas que carecem de ações de restauração.

Tabela 5: Classes de uso e cobertura do solo e suas respectivas áreas em ha e percentual por área.

Uso	Área (ha)	Área (%)
Floresta	1058,04	9,44
Pastagem	10020,5	89,45
Pastagem em várzea	71,07	0,63
Vegetação Secundária em estágio inicial	53,05	0,47

Fonte: Elaboração própria.

Verificamos que áreas indicadas como de “muito alta” e “alta” prioridade estão situadas nas regiões sob o uso de pastagens (Figura 5). Segundo Yang *et al.* (2016) essas áreas são mais propícias à processos erosivos, sobretudo devido à falta de cobertura vegetal, contribuindo com o aumento do carregamento de sedimentos, poluentes, contaminantes e detritos até os rios. Enquanto as áreas cobertas por florestas e vegetação em estágio inicial, foram classificadas como de “muito baixa” ou “baixa prioridade” para restauração. O fator “Uso e cobertura do solo” também foi considerado essencial para Vettorazzi e Valente (2016) e Bochner (2010) em estudo visando identificar áreas prioritárias à restauração florestal para conservação dos recursos hídricos em bacias fragmentadas.

O segundo critério com maior peso na AHP foi a “pedologia”, obtendo peso de 16,06. A constituição pedológica na bacia do Rio Urubu é composta por três grandes classes de solo: Latossolos, Argissolos e Gleissolos, sendo em sua maior parte, composta por Latossolos, que ocupam 59% da área total da bacia, seguido pelos Argissolos e Gleissolos que ocupam 32% e 9% respectivamente.

Os Latossolos são solos normalmente, fortemente intemperizados, profundos, porosos, com boa capacidade de drenagem e estão presentes em áreas de baixa declividade, com relevo plano (0 – 3 %), suave ondulado (3 – 8 %) e ondulado (8 – 20 %), embora possa ocorrer em relevos mais acidentados (EMBRAPA, 2006). Estes solos apresentam estabilidade e são mais resistentes a erosão hídrica, sobretudo quando submetidos a sistemas de manejos adequados (AYER *et al.*, 2015). O mapa final de áreas prioritárias (Figura 5) indica que os Latossolos estão presentes, em sua maioria, nas áreas classificadas como “média” e “alta” prioridade. Os solos desta classe estão presentes nas regiões de grande produtividade agrícola do país, sendo preferível também para áreas destinadas à reflorestamento e formação de pastagens (KER, 1997).

Os Argissolos compreendem a classe de solos com a textura que varia de arenosa a argilosa no horizonte (A) e de média a muito argilosa no horizonte (Bt) (EMBRAPA, 2006). Esses solos

tendem a ter maior suscetibilidade à processos erosivos devido às características texturais, haja vista que ocorre uma rápida infiltração no horizonte (A), devido ao baixo teor de argila e uma lenta infiltração nos horizontes (B), devido ao maior teor de argila favorecendo a retenção hídrica. São de profundidade variável, alternando de forte à imperfeitamente drenados. Se desenvolvem em áreas de relevo plano (0 – 3%) a montanhoso(45 – 75%). Quando utilizados para fins agrícolas, ainda que em relevo plano, as práticas de conservação do solo devem ser implementadas (EMBRAPA, 2006). O mapa final de áreas prioritárias (Figura 5) aponta que essa classe de solo está presente nas regiões classificadas como “muito alta” e “alta” prioridade para restauração.

Assim como os Latossolos, os Gleissolos também apresentam baixa suscetibilidade à processos erosivos; compreende os solos hidromórficos, constituído de material muito influenciado por encharcamento prolongado. Esses solos têm grande distribuição em áreas de relevos planos de planícies fluviais, lacustres, marinhos, nas proximidades dos cursos d’água e depressões. São solos pouco profundos, em sua maioria, são mal ou muito mal drenados, exceto se drenados artificialmente. Apresentam textura argilosa, argilo-arenosa e arenosa, não favorecendo o escoamento. Resultam em uma fertilidade relativa, sendo mais cultivado com cana-de-açúcar e, em menores proporções as culturas de subsistência e a pecuária. (EMBRAPA, 2006). Esta classe distribui-se predominantemente sob áreas de grande fragilidade e de preservação legal. Na bacia do rio Urubu, essa classe de solo encontra-se com uma distribuição espacial mais restrita, com uma concentração às margens do rio, área classificada como de “muito alta” prioridade.

A intensidade das nascentes foi o terceiro fator com maior peso de influência na análise. Podemos inferir que esse resultado ocorre em função da contribuição das nascentes para estabilidade e integridade ecossistêmica, constituindo uma área de grande sensibilidade dentro da bacia (PINTO *et al.*, 2005). As nascentes são elementos essenciais do ciclo hidrológico, e considerar a concentração das nascentes no interior de uma bacia, torna-se um fator importante para alcançar iniciativas de conservação dos corpos hídricos, devido ao seu papel fundamental na produção de água (PINTO *et al.* 2005). Com a intensa ocupação urbana e o desenvolvimento das atividades agrícolas e pastoris, a integridade das nascentes é ameaçada, refletindo diretamente nos corpos hídricos (CARMO; FELIPPE; JUNIOR, 2014). Nesse sentido, práticas associadas à conservação e restauração da vegetação contribuem para manter qualidade e quantidade de água produzida pelas nascentes, bem como para proteção e regulação dos cursos d’água, redução dos processos erosivos do solo e do assoreamento dos corpos d’água (VENZEL *et al.*, 2016; LEAL *et al.*, 2017).

O novo Código Florestal - Lei 12.651/12 estabelece proteção às nascentes e olhos d’água perenes, e independente da sua localização são consideradas Áreas de Preservação Permanente

(APP). A APP de uma nascente deve compreender a preservação de uma área com vegetação, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros, buscando assim assegurar o estado de conservação da mesma (BRASIL, 2012). Analisando conjuntamente, a localização das nascentes na bacia do rio Urubu e o uso e ocupação do solo, pode-se inferir que os parâmetros exigidos pela legislação não estão sendo atendidos. Sugerindo que a revegetação dessas áreas, legalmente protegidas, seja incentivada e priorizada.

A partir do plano de informação utilizado, identificamos 664 nascentes em toda área da bacia do rio Urubu. O mapa final de áreas prioritárias (Figura 3-A) evidencia que a maior intensidade das nascentes está a oeste da bacia, em uma região composta por pastagens e poucos fragmentos florestais, refletindo possíveis perturbações às nascentes. Todavia, é necessário destacar que não houve a validação desses resultados em campo, porém os indicativos apontam a coerência dos resultados. De acordo com Pinto *et al.* (2005), as nascentes degradadas, desflorestadas e mais suscetíveis aos processos erosivos, bem como as localizadas em solos compactados, sob interferência do pisoteio de animais, devem ter prioridade no processo de reflorestamento. Ressaltam ainda que, a restauração florestal deve ter início nas partes mais altas da bacia, pois conforme acontece o restabelecimento da vegetação, este contribui também com a recuperação das áreas de mata ciliar ao longo do leito dos cursos d'água.

O fator “proximidade à malha viária” também se enquadra como relevante à conservação dos recursos hídricos por meio da restauração florestal. A construção de estradas representa uma das principais causas de erosão dos solos, produção de sedimentos e condução de resíduos oriundos de outras fontes, exercendo forte impacto sobre a rede de drenagem e demais recursos naturais (VETTORAZZI, 2006; MARINHESKI, 2017). Desta forma, é possível observar no mapa final de áreas prioritárias para restauração (Figura 5) que, as áreas com maior densidade da malha viária estão classificadas como “alta” prioridade. Segundo Honda e Durigan (2017), a localização inadequada das estradas rurais e rodovias, bem como a falta de destino da água das chuvas captadas pelas estradas representam as principais causas de erosão e assoreamento em grande parte do planeta.

Quanto ao parâmetro de interferência da malha viária no que tange a identificação de áreas prioritárias, consideramos atribuir maior prioridade para as regiões onde há menor intensidade da malha viária. Em estudo realizado por Bochner (2010), que buscou identificar áreas prioritárias para recomposição florestal na bacia do rio Macacu, no estado do Rio de Janeiro, foi ponderado que as áreas que necessitam de ações de restauração florestal devem estar distantes dos distúrbios causados pelas estradas. Contudo, este mesmo fator foi avaliado em estudo conduzido por Vettorazzi e Valente (2016), ao identificar áreas prioritárias para restauração florestal na bacia do rio Corumbataí em São

Paulo, onde consideraram que as áreas de maior prioridade deveriam estar junto às estradas, devido à possível contribuição das florestas para formação de corredores ecológicos e a conservação da biodiversidade. Diante do exposto, podemos inferir que a inserção do fator “malha viária” no contexto da identificação de áreas para restauração, pode variar de acordo com o contexto regional e a estrutura da paisagem.

A declividade é uma das principais condicionantes geoambientais que podem resultar no avanço dos processos erosivos que ocorrem nos solos (SANTOS *et al.*, 2019). De forma geral, regiões com altos níveis de declividade apresentam maior suscetibilidade à processos erosivos (SILVA *et al.*, 2017). A associação de terrenos com altos níveis de declividade, sobretudo nas encostas, com a ausência de cobertura vegetal adequada, promove uma maior velocidade no escoamento da água, ocasionando a redução da disponibilidade hídrica e da infiltração de água no solo (NOSSACK, 2012). A declividade é um indicador relevante para diversas análises ambientais, uma vez que aponta para padrões de uso do solo, regiões susceptíveis a erosão e movimentos de massa, além de auxiliar o processo de implantação de vegetação (SIMONI, 2017). Nossack (2012), Almeida (2019) e Silva *et al.* (2017) também utilizaram este fator em estudos para identificação de áreas prioritárias para restauração florestal em bacias hidrográficas, associando-o à incidência de processos erosivos nos solos.

Observamos que a influência deste fator para seleção das áreas prioritárias está diretamente associada às características da paisagem em questão. Portanto, para a bacia do rio Urubu, este fator não foi expressivo em ordem de importância. Consideramos que as áreas com declive mais acentuado são mais apropriadas à restauração florestal, devido à necessidade de cobertura vegetal no solo e à dificuldade do tráfego agrícola durante o processo produtivo (NOSSACK, 2012). Na bacia do rio Urubu, a maior parte do relevo está compreendido na classe suave ondulado (35,41%) e plano (28,15%) (Quadro 1). A partir da sobreposição do mapa de feições erosivas (Figura 3-B) com o mapa de declividade (Figura 4-A), é possível observar que as feições erosivas (ravinas) estão localizadas entre as classes de relevo plano (0-3%) a ondulado.

As feições erosivas na paisagem são elementos visuais, portanto, durante o mapeamento, a vegetação presente nas áreas pode esconder as erosões. Nesse sentido, sugere-se a validação dessas informações em campo (SIMONI, 2017). Na área de estudo, o plano de informação utilizado indicou seis feições de erosão, foram classificadas como ravinas. As ravinas são consideradas feições erosivas lineares, e de maneira geral, o processo de ravinamento é iniciado devido às mudanças no uso da terra, alterações climáticas ou ações antrópicas (GUERRA, 1997).

Alguns autores afirmam que após a retirada da cobertura vegetal, o forte impacto das gotículas de chuva resulta em um fluxo de sedimentos aumentado e favorecendo o aparecimento de ravinas. Contudo outras condicionantes estão associadas e devem ser avaliadas, como, as propriedades do solo, característica das encostas, os fatores geológicos, quantidade e distribuição das chuvas (LAFAYETTE; CANTALICE; COUTINHO, 2011). Consideramos que as feições erosivas localizadas nas áreas de altitude mais elevada apresentam maior prioridade para restauração. O mapa final de áreas prioritárias demonstra que todas as feições erosivas estão compreendidas nas regiões classificadas como “muito alta”, “alta” e “média” prioridade reflorestamento.

A proximidade da rede de drenagem é um fator relevante para conservação dos recursos hídricos através da restauração florestal, devido a contribuição das matas ciliares para conservação do solo, da água e para manutenção da biodiversidade. Garantir a integridade do sistema ripário traduz-se em preservar as funções hidrológicas de uma bacia hidrográfica, assegurando sua capacidade de armazenamento, manutenção da qualidade e quantidade hídrica, estabilidade das margens dos rios e formação de corredores ecológicos (ALMEIDA *et al.*, 2019; PIRES *et al.*, 2017; VALENTE *et al.*, 2017).

Na bacia do rio Urubu consideramos que as áreas mais próximas à rede de drenagem são mais adequadas à recomposição, devido à proteção que a vegetação ripária pode oferecer às águas superficiais, à manutenção da função hidrológica na bacia, face a todas as perturbações evidenciadas (NOSSACK, 2012; Vettorazzi e Valente, 2016). Este fator, assim como as feições erosivas, obtiveram os menores pesos na análise, e conseqüentemente foram considerados menos importantes para identificação das áreas prioritárias à restauração. Contudo, os estudos realizados por Vettorazzi e Valente (2016), Valente *et al.* 2017, visando a identificação de áreas prioritárias para restauração florestal, este critério foi considerado o mais importante, conferindo maior influência na seleção dessas áreas. Nesse sentido, podemos inferir que, a importância do fator “proximidade à rede de drenagem” está associado às características críticas da área de estudo, bem como o número de critérios utilizados na análise.

Diante do exposto, o cenário para restauração florestal na bacia do rio Urubu é representado pela Figura 5, sendo o resultado da ponderação de todos os critérios selecionados, que nos permite conduzir ações específicas para subsidiar a restauração da paisagem, bem como auxiliar a geração de outros estudos geoambientais para a bacia supracitada. Neste mapa é possível observar que as áreas de “muito baixa” e baixa” prioridade representam 9,8% da bacia (Tabela 5), e estão associadas à presença de fragmentos florestais e vegetação em estágio secundário, contudo essas áreas encontram-se contornadas pela classificação de média prioridade. Podemos inferir que essa sinalização obtida

pelo método retrata um aspecto crítico de uma paisagem fragilizada pela pressão antrópica, indicando atenção a esses fragmentos e medidas de recuperação a longo prazo.

As áreas classificadas como “média prioridade” representam 17% da bacia (Tabela 4) e a classe de solo predominante são os Latossolos. Essas regiões estão associadas às áreas com declividades mais elevadas; no entorno e na proximidade dos fragmentos florestais existentes; nas regiões onde há uma intensidade média da malha viária. Um destaque deve ser dado para as áreas classificadas como “alta prioridade” (Tabela 4), que correspondem a 44% da área da bacia, o que equivale a 4.900 ha. É possível observar que essas áreas estão em sua maioria associadas às áreas com a maior concentração de nascentes. Tem ainda o fator “proximidade a rede de drenagem”, que mesmo ocupando a sexta posição no ranking de peso na matriz pareada, está presente em toda extensão da bacia. Enquanto as áreas de “muito alta prioridade”, representam 28% da área da bacia (Tabela 4) e estão em sua maioria nas margens dos cursos d’água, evidenciando a necessidade de ações para recuperação das APPs; bem como nas áreas com valores de declive mais altos.

Segundo Salomão (2020), a participação popular, conhecida como validação *in loco*, é fundamental no processo de restauração florestal. O autor afirma que o sucesso de processos ambientais é geralmente determinado pela contribuição popular. Portanto, cabe ao poder público desenvolver e fomentar iniciativas que possibilitem a atuação popular. Ressaltamos ainda que, a principal limitação desta pesquisa refere-se a falta de validação dos resultados em campo. Contudo, as evidências apresentadas nos asseguram quanto a ocorrência dos resultados.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia proposta para identificação das áreas prioritárias para restauração florestal na bacia hidrográfica do rio Urubu, mediante a aplicação da AMC pelo método AHP, apresentou um desempenho satisfatório. Pois consiste em um método que auxilia a tomada de decisão, considerando vários critérios que futuramente podem ser adaptados de acordo com o objetivo proposto ou até mesmo para outras áreas.

A seleção dos critérios se baseou em uma análise da literatura existente, levando em consideração os estudos de identificação de áreas prioritárias para restauração florestal que apresentam similaridade com as características da paisagem da bacia do rio Urubu.

Acredita-se que o presente estudo seja um instrumento eficiente para ações de recuperação de áreas degradadas em bacias hidrográficas devido a relevância ambiental dessas áreas para manutenção do sistema hidrológico e para biodiversidade local. Ressaltamos ainda que este estudo

foi orientado sob a ótica da restauração da paisagem, ou seja, buscou-se a articulação dos diversos elementos que integram essa unidade ambiental.

O mapa final com as áreas prioritárias para restauração na bacia do rio Urubu, evidencia uma solução adequada para melhoria de funções ecológicas como, a conectividade entre fragmentos florestais que conduzem à formação de corredores ecológicos; a redução e prevenção dos processos erosivos, além da manutenção da qualidade e quantidade de água através da recuperação de nascentes e da mata ciliar.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F.C; SILVEIRA, E M. de O.; ACERBÍ JUNIOR, F.W.; FRANÇA, L.C. J.; BUENO, I. T.; TERRA, B. J.O.. Análise multicritério na definição de áreas prioritárias para recuperação florestal na bacia do rio doce, em minas gerais. **Nativa**, v. 8, n. 1, p. 81-90, 5 fev. 2020. DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v8i1.8130>.

ALMEIDA, F.C; SILVEIRA, E M. de O.; PAIVA, L. L.; ACERBI JÚNIOR, F.W.. Mapping priority areas for forest recovery using multicriteria analysis in the brazilian atlantic forest. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 46, n. 3, p. 113-124, 28 ago. 2019. DOI: <https://doi.org/10.5380/raega.v46i3.67075>.

ARUN, P.V.. A comparative analysis of different DEM interpolation methods. **The Egyptian Journal Of Remote Sensing And Space Science**, v. 16, n. 2, p. 133-139, dez. 2013. Elsevier BV. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2013.09.001>.

AYER, Joaquim Ernesto Bernardes; OLIVETTI, Diogo; MINCATO, Ronaldo Luiz; SILVA, Marx Leandro Naves. Erosão hídrica em Latossolos Vermelhos distróficos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 2, p. 180-191, jun. 2015. FapUNIFESP (SciELO). DOI:1 <https://doi.org/0.1590/1983-40632015v4531197>.

BIGARELLA, J. J. et al. Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais. Florianópolis: **Editora da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)**. v.3, Cap.8, p.1026-1098, 2003.

BOCHNER, J. K.. **Proposta Metodológica para Identificação de Áreas Prioritárias para Recomposição Florestal** - Estudo de Caso: Bacia Hidrográfica do rio Macacu / RJ. 2010. 152 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Instituto de Florestas, Universidade Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

BRANCALION P.H.S., VIANI R.A.G., RODRIGUES R.R., GANDOLFI S. Avaliação e monitoramento de áreas em processo de restauração. In: Martins SV, editor. **Restauração ecológica de ecossistemas degradados**. 2. ed. Viçosa: Editora UFV; 2015.

BRASIL. Lei Federal no 12.651, de 25 de maio de 2012a. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; e dá outras providências.

BRITO, G.H.M.; FERREIRA, A. A.. Identification of susceptibility fire occurrence forest for the state of Goiás IN 2011 YEAR. **Nucleus**, v. 12, n. 1, p. 135-144, 30 abr. 2015. Fundacao Educational de Ituverava. DOI: <https://doi.org/10.3738/1982.2278.1406>

CAMPOS, E. H. et al. A ocorrência de feições erosivas como evidência da evolução de voçoroca em Uberlândia-MG. **Revista Brasileira de Geografia Física - Rbgf**, Recife, v. 1, n. 02, p. 64-77, dez. 2009.

CARMO, G.L., FELIPPE, M.F., JUNIOR, P.M.. Áreas de preservação permanente no entorno de nascentes: conflitos, lacunas e alternativas da legislação ambiental brasileira. **Boletim Goiano de Geografia**. 2014, 34 (2), 275-293 Acesso em: 3 de Março de 2021. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=337131734006>

CAMPOS, S.; SILVEIRA, G. R.P.; GARCIA, Y.M.; CAMPOS, M.; CAMPOS, M.. Técnicas de geoprocessamento na caracterização de apps numa microbacia, em função da legislação ambiental. **Revista Energia na Agricultura**, v. 32, n. 2, p. 184-188, 27 nov. 2017. DOI: <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2017v32n2p184-188>

CASTRO, D. de; MELLO, R. S. P.; POESTER, G. C. Práticas para Restauração da Mata Ciliar. Porto Alegre: **Catarse - Coletivo de Comunicação**, 2012.

CENTRO DE INFORMAÇÕES E DADOS DE CAMPOS. Shapefile: Lagoas, Rios e Canais da Região de São Tomé. Disponível em: <https://cidac.campos.rj.gov.br/pracadigital/mapa.php> Acesso em: 24 de novembro de 2020.

CHAVES, M de A. **Modelos digitais de elevação hidrologicamente consistentes para a Bacia Amazônica**, 2002. 115 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Universidade Federal de Viçosa: UFV, Viçosa, 2002.

COPPETEC – COORDENAÇÃO DE PROJETOS, PESQUISAS E ESTUDOS TECNOLÓGICOS. **Elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro: R7 – Relatório Diagnóstico**. Rio de Janeiro, RJ: COPPETEC, 2014. Disponível em:

<http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwew/mdyy/~edisp/inea0062195.pdf>. Acesso em: 05.JAN. 2020.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro. **Programa Geologia do Brasil**. Ministério de Minas e Energia. Belo Horizonte, 2016.

DANIEL, E.; VIEIRA, B. C.. A ocorrência de feições erosivas como evidência da evolução de voçoroca em Uberlândia-MG. **A Evolução das Feições Erosivas da Bacia do Córrego Espriado, São Pedro (Sp)**, Goiás, v. 35, n. 2, p. 339-358, 02 maio 2015.

DUNSTER, J.; DUNSTER, K. **Dictionary of natural resource management**. Vancouver: University of British Columbia, 379 p.1996.

ELESBON, A.A.A; GUEDES, H.A.S; SILVA, D.D ; OLIVEIRA, I.C.. Uso de dados SRTM e plataforma SIG na caracterização morfológica da bacia hidrográfica do Braço Norte do Rio São Mateus - Brasil. **Revista Escola de Minas**, v. 64, n. 3, p. 281-288, set. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0370-44672011000300005>.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Editores Técnicos, Humberto Gonçalves dos Santos *et al.* Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2006. Acesso em: 08 FEV.2020. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/downloads/sistema-brasileiro-de-classificacao-dos-solos2006.pdf>.

EMBRAPA. Projeto Rio Sesmaria. Diagnóstico Ambiental da Bacia Hidrográfica. Classes de Declividade. 1999.

FABBRO NETO, F.; MARQUES, E.M; SANTOS, F.S; MONTAÑO, M.. Critérios técnicos e de participação social para a recuperação florestal: quais as diferenças na definição de áreas prioritárias. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 353-360, dez. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522014019000000403>.

FERREIRA, P. S; SILVA, C. A.. **O método AHP e a Álgebra de Mapas para determinar a fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Brilhante (Mato Grosso do Sul / Brasil), proposições para a gestão do território**. Confins, n. 46, p. 1-15, 23 jun. 2020. Open Edition. DOI: <https://doi.org/10.4000/confins.30897>

FRANCISCO, C. E. D. S.. **Áreas de Preservação Permanente na bacia do ribeirão das Anhumas: estabelecimento de prioridades para recuperação por meio de análise multicriterial**, 2006. 108 f. Dissertação (Mestrado)– Pós-Graduação – IAC.

GUERRA, A. J. T. *et al.* RAVINAS: PROCESSO DE FORMAÇÃO E DESENVOLVIMENTO. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 1, p. 9-26, jan. 1997.

HONDA, E. A.; DURIGAN, G.. A restauração de ecossistemas e a produção de água. **Hoehnea**, v. 44, n. 3, p. 315-327, set. 2017. FapUNIFESP (SciELO). DOI: [10.1590/2236-8906-82/2016](https://doi.org/10.1590/2236-8906-82/2016).

KER, J.C. Latossolos do Brasil: Uma revisão. **Geonomos**, 5:17-40, 1997.

LAFAYETTE, K. P. V; CANTALICE, J. R. B. ; COUTINHO, R. Q. Resistência à erosão em ravinas, em latossolo argiloarenoso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 6, p. 2167-2174, dez. 2011. FapUNIFESP (SciELO). DOI: [10.1590/s0100-06832011000600031](https://doi.org/10.1590/s0100-06832011000600031).

LEAL, M.S; TONELLO, K.C.; DIAS, H. C. T.; MINGOTI, R.. Caracterização hidroambiental de nascentes. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, v. 12, n. 1, p. 146-158, 1 jan. 2017. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas (IPABHi). DOI:10.4136/ambi-agua.1909.

LIMA, V. S. **Variação Espaço-Temporal do Espelho D'água da Lagoa Feia, RJ**. Dissertação (mestrado em Geografia).Universidade Federal do Espírito Santo(UFES). Vitória/ES.

MAFRA, R.; OSCO, L. P.; ALVES, M. R.; RAMOS, A. P.. Definição de áreas prioritárias para a recuperação florestal em Bacias Hidrográficas a partir de análise multicritério. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia-MG, v. 21, n. 77, p. 220-233, out. 2020. DOI: <https://doi.org/10.14393/RCG217752869>.

MALCZEWSKI, J.. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. **International Journal Of Geographical Information Science**, v. 20, n. 7, p.703-726, ago. 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/13658810600661508>.

MARINHESKI, V. **A erosão em estradas não pavimentadas na bacia do rio do atalho em cruz machado – PR**. Boletim de Geografia, v. 35, n. 2, p. 117-127, 1 dez. 2017. Universidade Estadual de Maringa. DOI: <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v35i2.28802>.

MELLO, K. de; RANDHIR, T. O.; VALENTE, R.A ; VETTORAZZI, C.A.. Riparian restoration for protecting water quality in tropical agricultural watersheds. **Ecological Engineering**, v. 108, p. 514-524, nov. 2017. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.06.049>.

MELLO, K. de ; COSTA, D. R. da ; VALENTE, R.A ; VETTORAZZI, C. Al.. Avaliação multicritério para definição de área protegida com o objetivo de melhorar a qualidade da água.

Floresta e Ambiente. 2018, vol.25, n.3, e20160134, 28 de maio de 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.013416>.

NOSSACK, Fábio Ávila. **Planejamento da recomposição florestal pela análise multicriterial na sub-bacia do córrego do descavado visando a conservação de recursos hídricos.** 2012. 69 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Faculdade de Ciências Agrômicas, Botucatu, 2012.

OLIVEIRA, A. H. et al. Consistência hidrológica de modelos digitais de elevação (MDE) para definição da rede de drenagem na sub-bacia do horto florestal Terra Dura, Eldorado do Sul, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 4, p. 1259-1267, 2012.

PINTO, L. V. A.; BOTELHO, S. A.; OLIVEIRA-FILHO, A. T.; DAVIDE, A. C.. Estudo da vegetação como subsídios para propostas de recuperação das nascentes da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG. **Revista Árvore** , v. 29, n. 5, pág. 775-793, fora. 2005. DOI:<https://doi.org/10.1590/S0100-67622005000500013>.

PIRES, A. P.F.; REZENDE, C. L.; ASSAD, E. D.; LOYOLA, R.; SCARANO, F. R.. Forest restoration can increase the Rio Doce watershed resilience. Perspectives In **Ecology And Conservation**, v. 15, n. 3, p. 187-193, jul. 2017. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pecon.2017.08.003>.

REZENDE, Carlos Eduardo; BENEDITTO, Ana Paula Madeira Di (org.). **Diagnóstico Ambiental da Área de Proteção Ambiental Lagoa de Cima. Rio de Janeiro.** Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro(UENF): Centro de Biociências e Biotecnologia: Laboratório de Ciências Ambientais, 2006.

SAATY, T. L; VARGAS, L. G. **Prediction. Projection and forecasting.** Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, USA, p.251, 1991.

SALOMÃO, C.S.C; PAULA, L.G.S.; ELMIRO, M.A.T. Use of multicriteria analysis to define priority areas for reforestation in the Piranga River Basin, MG, Brazil. **Sustentabilidade em Debate**, v. 11, n. 2, p. 95-120, 31 ago. 2020. Editora de Livros IABS. DOI: <http://dx.doi.org/10.18472/sustdeb.v11n2.2020.30468>.

SAMPAIO, A. C. P.; CORDEIRO, A. M. N; BASTOS, F. H.. Susceptibilidade à Erosão Relacionada ao Escoamento Superficial na Sub-Bacia do Alto Mundaú, Ceará, Brasil. **Revista Brasileira de**

Geografia Física, v. 9, n. 1, p. 125, 27 jan. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v9.1.p125-143>.

SANTOS, J.P.C.; CALDAS, V.I.S.P ; SILVA, A.S . Suscetibilidade a Erosão dos Solos da Bacia Hidrográfica Lagos – São João, no Estado do Rio de Janeiro – Brasil, a partir do Método AHP e Análise Multicritério. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 4, p. 1415-1430, 11 nov. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v12.4.p1415-1430>

SARTORI, A. A. DA C.; NOSSACK, F. A.; SILVA, RAMON F. B.; ZIMBACK, C. R. L.. Restauração florestal visando à conservação de recursos hídricos por meio da combinação linear ponderada. **Floresta**, v. 42, n. 1, p. 201-212, 28 mar. 2012. Universidade Federal do Paraná. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v42i1.26318>.

SEOANE, C. E. S.; DIAZ, V. S.; SANTOS, T. L.; FROUFE, L. C. M. Corredores ecológicos como ferramenta para a desfragmentação de florestas tropicais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n.63, p.207, 2010. DOI:10.4336/2010.pfb.30.63.207. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/158>. Acesso em: 6 mar. 2021.

SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION - SERI - **International Science and Policy Working Group**. The SER primer in ecological restoration (Version 2). 2004. Disponível em: Disponível em: <file:///D:/Esp%20chace/Restaura%C3%A7%C3%A3o%20de%20paisagens/Lido%203.pdf>. Acesso em 10 dezembro de 2020

SILVA, V. A. M.; MELLO, K.; VETTORAZZI, C.A.; COSTA, D.R. ; VALENTE, R.A.. Priority areas for forest conservation, aiming at the maintenance of water resources, through the multicriteria evaluation1. **Revista Árvore**, v. 41, n. 1, p. 1-10, 6 nov. 2017. FapUNIFESP (SciELO). DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1806-90882017000100019>.

SIMONI, BRUNO STEFAN DE. **Avaliação do desempenho da recuperação de áreas degradadas pela mineração utilizando análise multicritério - Estudo de caso da mina Córrego do Sítio**. 2017. 146 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade Socioeconômica Ambiental., Pro-água, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

SOARES, D. R.. **Proposição de áreas prioritárias à restauração florestal visando o redesenho da paisagem na Amazônia mato-grossense**. 2020. 182 f. Dissertação (mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2020. Disponível em:

https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/12877/SOARES_Diego_2020.pdf?sequence=5&isAllowed=y. Acesso em: 30 mar. 2020.

TAMBOSI, L. R.; VIDAL, M. M.; FERRAZ, S.F.B.; METZGER, J. P.. Funções eco-hidrológicas das florestas nativas e o Código Florestal. **Estudos Avançados**, v. 29, n. 84, p. 151-162, ago. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142015000200010>.

VALENTE, A. R.; PETEAN, F. C. S.; VETTORAZZI, C. A. Multicriteria decision analysis for prioritizing areas for forest restoration. **Cerne**, Lavras, v. 23, n. 1, p. 53–60, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/01047760201723012258>.

VENZEL, S.M.; PAIXÃO, M.V.S.; PAIXÃO, G.P.; PAIXÃO, P.P. Revitalização de nascentes. *Natureza on line*, Santa Teresa, v.14, n.2, p.1-6, 2016

VETTORAZZI, C. A. **Avaliação multicritérios, em ambiente SIG, na definição de áreas prioritárias à restauração florestal visando à conserva de recursos hídricos**. 2006. 151f. Tese (Livre Docência): ESALQ/USP Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” USP, Piracicaba, 2006.

VETTORAZZI, C. A.; VALENTE, R. A.. Priority areas for forest restoration aiming at the conservation of water resources. **Ecological Engineering**, São Paulo/Brasil, v. 94, p. 255-267, set. 2016. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.05.069>.

VIEIRA, J. N.; PINHEIRO, H. S. K.; BUENO, M.M. ; CARVALHO, W.J.P., RENDEIRO, N; CARVALHO, D. C; SOARES, P. F. C. Priority Areas for Water Resources Conservation: study case canal guandu watershed. **Aquatic Science And Technology**, v. 9, n. 1, p. 1-17, 24 set. 2020. Macrothink Institute. DOI: <http://dx.doi.org/10.5296/ast.v9i1.17502>.

YANG, H.; WANG, G.; WANG, L.; ZHENG, B.,. Impact of land use change on water quality in headwaters of the Three Gorges Reservoir. **Environmental Science and Pollution Research**, 23, p. 11448-11460. 2016