



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus de São José dos Campos
Instituto de Ciência e Tecnologia



Cemaden
Centro Nacional de Monitoramento
e Alertas de Desastres Naturais

UNIDADE DE PESQUISA DO

MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL

JOÃO VITOR MARIANO RIBEIRO

ANÁLISE ESTRATÉGICA DA PAISAGEM DA UGRHI 02
BASEADA EM ANÁLISE MULTICRITÉRIO PARA A
DEFINIÇÃO DE ÁREAS POTENCIAIS DE
RESTAURAÇÃO ATIVA

2021

JOÃO VITOR MARIANO RIBEIRO

**ANÁLISE ESTRATÉGICA DA PAISAGEM DA UGRHI 02 BASEADA EM ANÁLISE
MULTICRITÉRIO PARA A DEFINIÇÃO DE ÁREAS POTENCIAIS DE
RESTAURAÇÃO ATIVA**

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Campus de São José dos Campos; Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), como parte dos requisitos para obtenção do título de MESTRE pelo Programa de Pós-Graduação em DESASTRES NATURAIS.

Área: Desastres Naturais. Linha de pesquisa: Instrumentação e análise de dados.

Orientadora: Profa. Dra. Tatiana Sussel Gonçalves Mendes

Coorientador: Prof. Dr. Silvio Jorge Coelho Simões

São José dos Campos

2021

Instituto de Ciência e Tecnologia [internet]. Normalização de tese e dissertação [acesso em 2021]. Disponível em <http://www.ict.unesp.br/biblioteca/normalizacao>

Apresentação gráfica e normalização de acordo com as normas estabelecidas pelo Serviço de Normalização de Documentos da Seção Técnica de Referência e Atendimento ao Usuário e Documentação (STRAUD).

Ribeiro, João Vitor Mariano

Análise estratégica da paisagem da UGRHI 02 baseada em análise multicritério para a definição de áreas potenciais de restauração ativa. / João Vitor Mariano Ribeiro. - São José dos Campos : [s.n.], 2021. 66 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Desastres Naturais) - Pós-graduação em Desastres Naturais - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia; Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), São José dos Campos, 2021.

Orientadora: Tatiana Sussel Gonçalves Mendes

Coorientador: Sílvio Jorge Coelho Simões

1. Restauração florestal. 2. Análise multicritério. 3. UGRHI 02. I. Mendes, Tatiana Sussel Gonçalves, orient. II. Simões, Sílvio Jorge Coelho, coorient. III. Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos. IV. Universidade Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita Filho' - Unesp. V. Universidade Estadual Paulista (Unesp). VI. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden). VII. Título.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Tatiana Sussel Gonçalves Mendes (Orientadora)

Universidade Estadual Paulista (Unesp)

Instituto de Ciência e Tecnologia

Campus de São José dos Campos

Dr. Humberto Gallo Junior

Instituto Florestal (IF)

Divisão de Reservas e Parques Estaduais

Taubaté

Prof. Dr. Rogério Galante Negri

Universidade Estadual Paulista (Unesp)

Instituto de Ciência e Tecnologia

Campus de São José dos Campos

São José dos Campos, 06 de agosto de 2021.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha esposa **Nathália**. Agradeço todos os dias por estarmos construindo juntos a nossa história. Você é a minha inspiração, minha motivação, meu apoio, meu amor incondicional. Este título é parte de nossos sonhos que dividimos e construímos juntos. Este título é nosso. Te amo.

Dedico este trabalho à **Mônica**, minha mãe. Este trabalho também é fruto de toda sua dedicação e amor a mim, faz parte de nossa história. Seu amor incondicional me faz ser quem sou, ser seu filho é motivo de honra e orgulho. Me inspiro em você a cada passo. Você sempre estará comigo e eu sempre estarei com você. Te amo.

Dedico este trabalho à **Rogério Marcos** (*in memoriam*), meu pai. É uma alegria imensa descobrir todos os dias como você se faz presente em minha vida, mesmo que fisicamente impossível. Este trabalho também é inspirado em você, é continuação de sua história. Você sempre estará comigo e eu sempre estarei com você. Te amo.

Dedico este trabalho ao meu padrasto, **Luiz Carlos**. Obrigado por ser tão presente em minha vida. Dentre tantas características suas que trago comigo, seus valores e princípios fazem parte de cada escolha e decisão que tomo. Este trabalho também é seu. Te amo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os meus familiares, padrinhos, madrinhas, tios, tias, primos e primas. O laço de amor construído por muitos e muitos anos é maior do que a distância imposta por diversas circunstâncias da vida.

Aos meus amigos da UNESP/CEMADEN, que fazem parte de minha formação desde a graduação até o mestrado. Tenham certeza que levo um pouco de cada um dentro de mim e que este trabalho também é reflexo disso. Em especial quero agradecer aos meu irmão de vida **Júlio Luz**. Não tenho irmãos de sangue, mas Deus colocou você em minha vida.

Agradeço imensamente à família Corredor Ecológico do Vale do Paraíba, **Alex, Carolina, Giovana, Isabela, Luis Gustavo, Mariana, Nathaly, Olga, Sérgio e Tatiana**. Este trabalho teve início em 29 de janeiro de 2018, dia em que efetivamente comecei a fazer parte da história dessa organização, que é viva, constrói e reconstrói seu propósito com muitas mãos. Com vocês aprendo diariamente o quão importante é fazer parte desse propósito. Com vocês me encantei pela restauração florestal, que sabemos que é muito mais do que a técnica. Este trabalho é nosso. Em especial, quero agradecer a **Carolina**, que além de fazer parte de minha vida desde antes da graduação, participou diretamente neste trabalho. Também é a minha companheira de ideias, projetos e mapas. Dividimos a mesma paixão pelo GIS.

Quero agradecer também a minha orientadora, **Profa. Dra. Tatiana Mendes**. Obrigado por ter topado a participação nessa pesquisa, que por muitas vezes se mostrou mais desafiadora do que esperávamos. Você ensina pela sua forma de ser, e com isso aprendo diariamente que existem características para o trabalho que são muito mais importantes do que o conhecimento técnico. Aqui agradeço também ao meu coorientador **Prof. Dr. Silvio Simões**, que desde o primeiro dia de aula deixou claro seu amor por nosso curso e programa. Agradeço também a **Profa. Dra. Klécia Massi** e o **Dr. Pedro Camarinha**, pela participação direta e indireta neste trabalho. Vocês são referência para mim.

Ao Programa de Pós-Graduação em Desastres Naturais da UNESP/CEMADEN, por toda a estrutura, apoio e auxílio. Agradeço também a todos os funcionários, técnicos, professores que fizeram parte de minha formação de alguma forma.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE QUADROS	8
LISTA DE TABELAS.....	9
RESUMO.....	10
ABSTRACT.....	11
1 INTRODUÇÃO.....	12
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 Restauração	14
2.2 Paisagem do Vale do Paraíba Paulista: histórico do uso da terra .	19
2.3 Análise multicritério.....	21
2.3.1 Analytical Hierarchy Process (AHP).....	23
2.3.2 Inferência Fuzzy	25
3 PROPOSTA DE PESQUISA.....	28
4 MATERIAIS E MÉTODOS	29
4.1 Materiais	29
4.2 Método	29
4.2.1 Organização da base de dados	31
4.2.2 Edição Espacial dos Dados.....	31
4.2.3 Análise Multicritério	34
4.2.4 Relação do potencial de restauração com variáveis socioeconômicas.....	37
5 RESULTADOS.....	39
6 DISCUSSÕES.....	53
7 CONCLUSÕES	59
REFERÊNCIAS	60
APÊNDICE A.....	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma com as etapas realizadas para geração do mapa de potencial de restauração por meio das análises multicritério AHP e Inferência Fuzzy (operador gama). .30

Figura 2 – Mapa de potencial de restauração ativa obtido pela ponderação AHP 1. O peso considerado para as variáveis foram: 0,6 para Uso e Cobertura da Terra e 0,2 para Declividade e para Hidrografia..... 39

Figura 3 – Mapa de potencial de restauração ativa obtido pela ponderação AHP 2. O peso considerado para as variáveis foram: 0,5 para Uso e Cobertura da Terra e 0,25 para Declividade e para Hidrografia. 40

Figura 4 – Mapa de potencial de restauração ativa obtido pelo método de Inferência Fuzzy com o operador gama usando um valor igual a 0,4 para o expoente. 41

Figura 5 – Mapa de potencial de restauração ativa obtido pelo método de Inferência Fuzzy com o operador gama usando um valor igual a 0,6 para o expoente. 41

Figura 6 – Mapa de potencial de restauração ativa obtido pelo método de Inferência Fuzzy com o operador gama usando um valor igual a 0,8 para o expoente. 42

Figura 7 – Mapas em relação ao ponto 1 gerado aleatoriamente: A) imagem de satélite; B) MAPBIOMAS recategorizado; C) AHP 1; D) AHP 2; E) Operador gama 0,4; F) Operador gama 0,6; G) Operador gama 0,8. 43

Figura 8 – Mapas em relação ao ponto 2 gerado aleatoriamente: A) imagem de satélite; B) MAPBIOMAS recategorizado; C) AHP 1; D) AHP 2; E) Operador gama 0,4; F) Operador gama 0,6; G) Operador gama 0,8. 43

Figura 9 – Mapas em relação ao ponto 3 gerado aleatoriamente: A) imagem de satélite; B) MAPBIOMAS recategorizado; C) AHP 1; D) AHP 2; E) Operador gama 0,4; F) Operador gama 0,6; G) Operador gama 0,8. 44

Figura 10 – Mapas em relação ao ponto 4 gerado aleatoriamente: A) imagem de satélite; B) MAPBIOMAS recategorizado; C) AHP 1; D) AHP 2; E) Operador gama 0,4; F) Operador gama 0,6; G) Operador gama 0,8. 44

Figura 11 – Mapas em relação ao ponto 5 gerado aleatoriamente: A) imagem de satélite; B) MAPBIOMAS recategorizado; C) AHP 1; D) AHP 2; E) Operador gama 0,4; F) Operador gama 0,6; G) Operador gama 0,8. 45

Figura 12 – Mapa representando a classificação dos municípios quanto à: A) área absoluta de potencial de restauração em cada município e; B) área relativa de potencial de restauração em cada município. 49

Figura 13 – Mapa condicional evidenciando os municípios em classes referentes à renda per capita média, à área absoluta de potencial de restauração e à porcentagem de propriedades que disponibilizaram áreas para restauração no CAR..... 50

Figura 14 – Mapa condicional evidenciando os municípios em classes referentes à renda per capita média, à área relativa de potencial de restauração e à porcentagem de propriedades que disponibilizaram áreas para restauração no CAR..... 51

Figura 15 – Mapa evidenciando: A) bacias prioritárias de abastecimento e os municípios; e B) as bacias de abastecimento classificadas de acordo com a porcentagem de áreas de alto e muito alto potencial de restauração. 52

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Algumas técnicas de restauração empregadas quando é possível aproveitar o potencial de autorrecuperação da área degradada.....16

Quadro 2 – Variáveis utilizadas para a definição de áreas potenciais para restauração ativa, seu tipo, sua fonte de obtenção e o formato do dado.....29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Matriz de comparação pareada.....	23
Tabela 2 – Valores de importância para comparação pareada entre os critérios no método AHP e suas respectivas importâncias qualitativas.	24
Tabela 3 – Valores de Consistência Aleatória (CA) utilizados para calcular a Razão de Consistência (RC) para n critérios.....	25
Tabela 4 – Reclassificação realizada para a variável Uso e Cobertura da Terra e os subpesos definidos. As colunas Classe e Subclasses apresentam a forma como o dado é disponibilizado pelo Projeto MapBiomias.....	32
Tabela 5 – Primeira matriz de comparação pareada elaborada utilizando valores ímpares para a importância entre as variáveis – AHP 1.	35
Tabela 6 – Segunda matriz de comparação pareada elaborada utilizando valores pares para a importância entre as variáveis – AHP 2.	36
Tabela 7 – Áreas de cada classe em hectares (ha) e em porcentagem (%) obtidas referente aos diferentes mapas de potenciais de restauração gerados.....	46
Tabela 8 – Área de cada classe obtida referente aos diferentes dados de potenciais de restauração gerados em relação as áreas de restauração realizadas pela ACEVP.....	47

RIBEIRO, JVM. **Análise estratégica da paisagem da UGRHI 02 baseada em análise multicritério para a definição de áreas potenciais de restauração ativa.** 2021. Dissertação (Mestrado em Desastres Naturais) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia; Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), São José dos Campos, 2021.

RESUMO

Com a intensificação das mudanças climáticas e seus consequentes efeitos deletérios às diversas formas de vida, destacando-se o aumento do risco de desastre, a restauração florestal é uma atividade de suma importância para a adaptação e mitigação destes efeitos. A Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 02 (UGRHI 02), localizada no Vale do Paraíba Paulista, é uma região que apresenta uma grande alteração da cobertura florestal devido ao seu processo de ocupação. Desta forma, este trabalho tem como objetivo a definição de áreas potenciais de restauração florestal ativa na UGRHI 02 por meio de uma abordagem baseada em análise multicritério. O mapa resultante foi analisado frente a algumas variáveis socioeconômicas que possam refletir a realidade local, tendo como objetivo específico elucidar possibilidades de aplicação dos resultados. Para a determinação do potencial de restauração foram utilizadas as variáveis de Uso e Cobertura do Terra, Declividade e Hidrografia. Já as variáveis socioeconômicas utilizadas foram: Renda *per capita* Média Municipal; Bacias de Abastecimento; e Disponibilidade de áreas para restauração em propriedades rurais. Para determinar o potencial de restauração florestal ativa, foram utilizados dois métodos de Análise Multicritério: o Processo de Análise Hierárquica (AHP) e a Inferência Fuzzy pelo operador gama. Foram feitas duas comparações pareadas por AHP, denominadas de AHP 1, resultando em pesos de 0,6 para Uso e Cobertura da Terra e 0,2 para Declividade e para Hidrografia, e AHP 2, resultando em pesos de 0,5 para Uso e Cobertura da Terra e 0,25 para Declividade e para Hidrografia. Para a Inferência Fuzzy, foram utilizados três diferentes valores para o expoente gama: 0,4; 0,6 e 0,8. Os resultados foram classificados em cinco classes de potencial: Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito Alto. A análise dos cinco mapas de potencial de restauração obtidos pelos métodos de análise multicritério foi feita de maneira visual, selecionando cinco pontos aleatórios na área de estudo, e de maneira quantitativa, identificando a quantidade de cada classe na UGRHI 02 e também nas áreas de restauração já implementadas pela Associação Corredor Ecológico do Vale do Paraíba. Com isso, identificou-se que a ponderação AHP 2 apresentou o melhor resultado. Assim, considerando este resultado, foi possível analisar a aplicabilidade do estudo, por meio da: identificação do potencial de restauração dos municípios na região; relacionamento entre o potencial de restauração de cada município, a renda *per capita* e a disponibilidade de áreas para restauração em propriedades rurais; e identificação de quais bacias de abastecimento apresentam maior potencial de restauração. O estudo conclui que para o objetivo do trabalho, o método AHP apresentou melhores resultados. Também fica evidente o elevado potencial de restauração florestal ativa da UGRHI 02.

Palavras-chave: Restauração florestal. Análise multicritério. UGRHI 02.

RIBEIRO, JVM. Strategic landscape analysis of UGRHI 02 based on multi-criteria analysis to define potential areas for active restoration. 2021. Dissertation (Master's degree in Natural Disaster) - São Paulo State University (Unesp), Institute of Science and Technology, National Center for Monitoring and Early Warning of Natural Disasters (Cemaden), São José dos Campos, 2021.

ABSTRACT

With the intensification of climate change and its deleterious effects on various forms of life, highlighting the increased of disaster risk, forest restoration is an activity of great importance for the adaptation and mitigation of these effects. The Water Resources Management Unit 02 (UGRHI 02, Portuguese acronym), located in Vale do Paraíba Paulista, is a region that has undergone a major change in forest cover due to its occupation process. Thus, this work aims to define potential areas for active forest restoration at UGRHI 02 through an approach based on multi-criteria analysis. The resulting map was analyzed in light of some socioeconomic variables that may reflect the local reality, with the specific objective of elucidating possibilities for applying the results. To determine the restoration potential, the Land Use and Coverage, Slope and Hydrography variables were used. The socioeconomic variables used were: Average Municipal Income per capita; Supply Basins; and Availability of restoration areas on rural properties. To define the active forest restoration potential, two Multicriteria Analysis methods were used: the Hierarchical Analysis Process (AHP) and the Fuzzy Inference by the gamma operator. Two paired comparisons were made by AHP, called AHP 1, resulting in weights of 0.6 for Land Use and Cover and 0.2 for Slope and Hydrography, and AHP 2, resulting in weights of 0.5 for Land Use and Cover, and 0.25 for Slope and Hydrography. For Fuzzy Inference, three different values were used for the gamma exponent: 0.4; 0.6 and 0.8. The results were classified into five potential classes: Very Low, Low, Medium, High, and Very High. The analysis of the five restoration potential maps obtained by the multicriteria analysis methods was done visually, selecting five random points in the study area, and quantitatively, identifying the quantity of each class in the UGRHI 02 and also in implemented restoration areas by the Associação Corredor Ecológico do Vale do Paraíba. Thus, it was identified that the AHP 2 presented the best result. Thus, considering this result, it was possible to analyze the applicability of the study, through: identification of the restoration potential of municipalities in the region; relationship between the restoration potential of each municipality, the per capita income and the availability of restoration areas on rural properties; and identifying which watersheds have the greatest potential for restoration. The study concludes that for the purpose of the work, the AHP method presented better results. The high potential for active forest restoration of UGRHI 02 is also evident.

Keywords: Forest restoration. Multi-criteria analysis. UGRHI 02.

1 INTRODUÇÃO

Segundo o relatório da Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), é estimado que 420 milhões de hectares foram desflorestados desde 1990 (FAO, 2020). Diversas são as consequências negativas deste processo de alteração da cobertura terrestre, destacando-se a emissão de grandes quantidades de dióxido de carbono contribuindo para o cenário de aquecimento global (IPCC, 2019). Neste contexto, a restauração florestal se torna fundamental para a adaptação e mitigação dos efeitos do aquecimento global (BUSTAMANTE et al., 2019), sendo evidenciado por diversos esforços internacionais como, por exemplo, o Acordo de Paris, no qual o Brasil se comprometeu a restaurar 12 milhões de hectares até 2030 (BRASIL, 2015) e pela Década da Restauração de Ecossistemas da ONU (UN ENVIRONMENT PROGRAMME, 2020).

O desmatamento e a não preservação dos ecossistemas também são fatores que estão fortemente relacionados com a geração de risco de desastre (IPCC, 2019). Mesmo com tamanha relevância, a manutenção dos ecossistemas foi por muito tempo negligenciada no contexto de Redução de Risco de Desastres, sendo principalmente a partir do Marco de Ação de Hyogo que houve maior valorização das medidas de redução de risco baseadas em ecossistemas (RENAUD; SUDMEIER-RIEUS; ESTRELLA, 2013). Hoje, a restauração de ecossistemas é entendida como uma Solução Baseada na Natureza (SBN). As SBN são maneiras de utilizar os ecossistemas e seus serviços não apenas para enfrentar os desafios das mudanças climáticas, mas também para outros desafios relacionados, como a segurança alimentar e a diminuição dos riscos de desastres (COHEN-SCHACHAM et al., 2016). Segundo os mesmos autores, diversas ações de restauração já foram implementadas com objetivo de minimizar os riscos de desastres, fortalecer o desenvolvimento social e econômico, mitigar os efeitos das mudanças climáticas e outras questões relacionadas às SBN.

Evidenciado a importância da restauração no enfrentamento aos difíceis cenários atuais, a priorização de áreas de restauração é fundamental para minimizar custos e maximizar os efeitos. O estudo feito por Strassburg et al. (2020) mostra que restaurar 15% das áreas prioritárias globais determinadas pelos autores pode sequestrar 299 gigatoneladas de dióxido de carbono, sendo uma das áreas prioritárias para restauração neste estudo localizada ao longo da costa brasileira. Por sua vez, Brancalion et al. (2019), ao buscarem por oportunidades de restauração nas regiões tropicais, identificaram que o bioma Mata Atlântica é um dos Hotspots de Conservação (MITTERMEIER; RYLANDS, 2018; MYERS et al., 2000) que mais apresenta

áreas para restauração, podendo ser considerado também como Hotspot de Restauração.

Atualmente, a Mata Atlântica é habitada por mais de 60% da população brasileira (SCARANO; CEOTTO, 2015) e, considerando o estado de São Paulo, restam apenas 16,3% em relação a área original (SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2020). Fica claro o elevado potencial de restauração da Mata Atlântica, sendo uma atividade que pode trazer inúmeros benefícios para a região, como a geração de emprego e renda (STANTURF et al., 2015), podendo aumentar a resiliência da sociedade frente às mudanças climáticas e riscos de desastres. No entanto, a restauração de áreas degradadas e a preservação de ecossistemas não é uma tarefa simples, necessitando de integração entre as diferentes esferas da sociedade e envolvimento social (BUSTAMANTE et al., 2019; HOLL; BRANCALION, 2020).

Na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 02 – Paraíba do Sul (UGRHI 02) encontram-se 34 municípios que fazem parte do Vale do Paraíba Paulista (VPP) e do bioma Mata Atlântica. Estes municípios vivenciam consequências negativas do desmatamento (PADOVESI et al., 2018) devido à grande alteração de sua paisagem resultante do desmatamento ocorrido ao longo do seu processo de ocupação (DEVIDE et al., 2014). Como uma forma para restaurar a paisagem da UGRHI 02, Camarinha et al. (2011) propuseram uma metodologia para a definição de áreas potenciais para formação de corredores ecológicos. Tal metodologia foi utilizada como base para as ações de restauração da paisagem da Associação Corredor Ecológico do Vale do Paraíba (ACEVP) ao longo de 10 anos de atuação na região.

Assim como o que foi realizado por Camarinha et al. (2011), na literatura são encontrados diversos estudos que trabalham com o planejamento da restauração florestal voltado diretamente para a formação de corredores ecológicos (PIERIK et al., 2016; SANTOS et al., 2018) ou para a restauração (LOPES et al., 2020; SILVA, 2018; VETORRAZZI, 2006). Muitos destes estudos utilizam Sistema de Informação Geográfica (SIG) e buscam relacionar diferentes variáveis que influenciam o processo de restauração por meio da Análise Multicritério (LOPES et al., 2020; MORANDI et al., 2020; SANTOS et al., 2018; SILVA, 2018; VETORRAZZI, 2006).

Diante do exposto fica evidente a importância da restauração de paisagens degradadas para a manutenção dos serviços ecossistêmicos, a redução do risco de desastre e a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas. Neste cenário, o planejamento da restauração é de suma importância para evitar que investimentos sejam desperdiçados e para tentar maximizar os benefícios da ação. Com isso, o objetivo deste trabalho é de definir áreas potenciais de restauração florestal ativa na UGRHI 02 por meio de análise multicritério em ambiente SIG.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Restauração

A definição de restauração ecológica passou por grandes alterações ao longo do tempo. Uma das primeiras definições foi estabelecida pela Sociedade para a Restauração Ecológica (SER) que entendia restauração como o processo de alteração intencional de uma área para estabelecer um ecossistema histórico nativo (SER, 1990 apud HIGGS, 1997). Contudo, com o passar do tempo, ficou evidente que é impossível restaurar uma área almejando um estado exatamente igual ao considerado nativo, pois características como diversidade de espécies, arranjo dos indivíduos e cobertura de copa não serão exatamente iguais (BRANCALION; GANDOLFI; RODRIGUES, 2015). Também é claro que as relações com o entorno serão diferentes, pois este provavelmente já não é mais o mesmo. Desta forma, atualmente, a SER define restauração ecológica como o processo de ajudar a recuperar um sistema que foi degradado, danificado ou destruído (SER, 2020). De maneira geral, é possível entender a restauração como o processo em que há a intervenção humana intencional em ecossistemas alterados para desencadear, facilitar ou acelerar o processo natural de sucessão ecológica (BRANCALION; GANDOLFI; RODRIGUES, 2015).

A natureza por si só pode recuperar uma área degradada por meio da sucessão ecológica, processo em que gradualmente diferentes espécies, ao mesmo tempo ou em momentos distintos, colonizam a área degradada até a formação de uma floresta. Isto pode levar um tempo muito maior do que a atividade que gerou a degradação, dependendo de fatores como o histórico de uso da terra, a forma de degradação, o tipo de vegetação, as condições de conservação do entorno, entre outros (ALMEIDA, 2016). Logo, a restauração tem o intuito de intervir na área degradada por meio de ações que possam acelerar ou desencadear este processo, sendo impossível separar a sucessão ecológica da restauração, pois ambas acontecem simultaneamente (BRANCALION; GANDOLFI; RODRIGUES, 2015).

Diversos são os motivos para restaurar uma área degradada, desde a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas (BUSTAMANTE et al., 2019) até a manutenção de habitats (PRIMACK; RODRIGUES, 2001). A restauração também apresenta papel fundamental para o controle de processos erosivos e seus consequentes efeitos, como assoreamento dos rios, inundação e instabilidade de encostas. A cobertura vegetal, ao interceptar as gotas de chuva, diminui a força do impacto e a consequente desagregação de grãos do solo. As raízes também

apresentam importante função na contenção do processo erosivo, servindo como uma rede para contenção do solo, além de possibilitarem maior infiltração de água e, assim, melhorar o abastecimento dos aquíferos subterrâneos (BRANCALION; GANDOLFI; RODRIGUES, 2015 E DA SILVA, 2015).

Não só em relação aos aspectos ambientais, a restauração é uma atividade que interage com diversos atores e variáveis econômicas, sociais e políticas (MENZ; DIXON; HOBBS, 2013), conferindo-a um caráter transdisciplinar (BRANCALION; GANDOLFI; RODRIGUES, 2015). Por consequência, não há uma única forma de atuar em uma área degradada, mas diferentes maneiras poderão ser utilizadas conforme as características do contexto local (MENZ; DIXON; HOBBS, 2013; STANTURF et al., 2015). Assim, se faz necessário o planejamento das atividades de restauração para que sejam implementadas e atinjam seus objetivos de fato. Caso contrário, é possível que efeitos adversos ocorram podendo impactar as esferas ambiental, social e econômica (SCHEIDEL; WORK, 2018; SKIDMORE et al., 2019).

Como maneira de nortear as questões ambientais do Brasil e, conseqüentemente, as atividades de restauração, diversas são as legislações pertinentes a esta área. No que diz respeito proteção da vegetação nativa brasileira, o Código Florestal Brasileiro (Lei N° 12.651/2012) é a principal lei que dispõe sobre o assunto. Dentre muitas definições abordadas no Código Florestal, uma definição de interesse para o presente trabalho são as Áreas de Uso Restrito, sendo entendidas como áreas importantes para conservação, onde é possível conciliar o manejo e a exploração sustentável. Por sua vez, as Áreas de Preservação Permanente (APPs) são regiões mais restritivas, sendo definidas pela legislação como:

...área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com 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 humanas;

O Código Florestal estabelece quais são as áreas caracterizadas como APP e suas dimensões, destacando-se para o presente estudo as faixas marginais de cursos d'água, as nascentes e as encostas com declividades elevadas. Ainda em relação as APPs, a lei define que a vegetação destas áreas deve ser mantida e, caso tenha ocorrido sua supressão, a obrigação de restauração é do proprietário da área. Como são muitas as áreas definidas como APPs, há um grande passivo ambiental no Brasil gerado pela necessidade de restauração destas áreas. Apenas no VPP, o passivo de APPs foi estimado em 70 mil hectares (PADOVESI et al., 2018), gerando

assim uma enorme demanda para o emprego de diferentes formas de restauração.

No tocante às técnicas de restauração, a tomada de decisão em relação à escolha da técnica a ser empregada pode ser baseada no potencial de autorrecuperação de uma área, indicando a possibilidade ou não de aproveitamento da regeneração natural. Caso este potencial seja elevado, o que geralmente ocorre em áreas com menor tempo de uso da terra, formas de uso menos intensivas, tipos de vegetação mais resilientes (fatores estes relacionados à persistência das espécies nativas), áreas com maior grau de conectividade (fator relacionado ao fluxo de material genético) e técnicas de restauração passiva podem ser adotadas (ALMEIDA, 2016). Tais técnicas visam a indução e/ou condução da regeneração natural, sendo algumas destas evidenciadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Algumas técnicas de restauração empregadas quando é possível aproveitar o potencial de autorrecuperação da área degradada.

Técnicas de restauração baseadas no aproveitamento do potencial de autorrecuperação de uma área degradada	
Condução da regeneração natural	Indução da regeneração natural
<i>Remoção dos fatores de perturbação</i> mediante a instalação de cercas para dificultar o acesso à área; controle de gramíneas invasoras e da fauna que podem dificultar o processo de regeneração natural. <i>Adensamento</i>, que consiste na inserção de espécies, por meio de mudas ou sementes, em áreas que a densidade ou a distribuição de indivíduos não são satisfatórias para formação da fisionomia florestal em período adequado <i>Enriquecimento</i>, técnica empregada em áreas que apresentam densidade e distribuição satisfatória de indivíduos, mas com baixa diversidade de espécies, sendo inseridas espécies de diversidade.	<i>Indução do banco de sementes</i>, técnica que consiste no revolvimento do solo de áreas que apresentam sementes enterradas para expô-las e facilitar a quebra de dormência. <i>Nucleação</i>, estratégia que pode facilitar a regeneração natural através da implementação de pequenos núcleos de vegetação, podendo propiciar condições para o surgimento de espécies nativas sob suas copas, assim como serem abrigos para fauna.

Fonte: adaptado de Brancalion et al. (2015).

No caso de áreas com baixo potencial de autorregeneração, se faz necessária o emprego de técnicas mais intensivas para que a área se recupere na velocidade desejada (RODRIGUES et al., 2009). Estas ações, denominadas de restauração ativa ou dirigida, são fortemente dependentes da ação humana, tornando-as mais caras e seu sucesso resulta da

escolha e adequação do método utilizado. Para o reestabelecimento dos processos ecológicos que ocorrem em uma floresta, tais ações são responsáveis apenas por iniciar e acelerar o processo de restauração da área degradada, não sendo possível desassocia-las da regeneração natural e sucessão ecológica (BRANCALION; GANDOLFI; RODRIGUES, 2015).

Dentre as técnicas de restauração ativa, o plantio de mudas em área total é muito utilizada no Brasil, mesmo sendo uma das técnicas que demandam maiores recursos financeiros (ALMEIDA, 2016). A adoção preferencial desta técnica está associada ao fato de muitas áreas de restauração se encontrarem em regiões intensamente degradadas, como na região Sudeste do Brasil (BRANCALION et al., 2015). Esta técnica consiste no plantio de mudas de diferentes estágios sucessionais, tentando garantir que o processo seja o mais parecido possível com a sucessão ecológica (TNC, 2013). O sucesso desta ação dependerá de diversos fatores como a resiliência local e da paisagem, a escolha das espécies e o arranjo delas no campo, a qualidade das mudas e também as operações de implementação e manutenção (BRANCALION et al., 2015).

Outra técnica de restauração ativa que pode ser empregada é a semeadura direta (RODRIGUES et al., 2009). Tal técnica apresenta relativas vantagens quanto ao plantio de mudas em área total quando a perspectiva analisada é o custo, já que não é necessário gastos com produção e/ou compra de mudas, assim como transportes das mesmas. Cuidados como a escolha de sementes de espécies compatíveis com os maquinários utilizados, a diversidade e a forma de quebra de dormência das sementes são necessários para que tal técnica seja empregada (BRANCALION et al., 2015). No entanto, esta é uma técnica que pode apresentar dificuldades de desenvolvimento quando aplicada em áreas muito degradadas (RODRIGUES et al., 2009).

No caso de intensa degradação do solo, como no caso de recuperação de áreas mineradas, a transposição do solo florestal superficial pode ser uma técnica interessante (RODRIGUES et al., 2009). Transpor o solo de uma floresta, juntamente com a serrapilheira, para a área degradada tem como intuito principal a inserção de sementes, rebrotas de tocos, raízes e galhos e também da microfauna, como fungos e bactérias fixadoras de nitrogênio. A escolha por esta técnica depende de fatores como a época de dispersão de sementes, os custos de deslocamento do solo, o estado de degradação da área a ser restaurada e da floresta fornecedora do solo (BRANCALION et al., 2015; RODRIGUES et al., 2009).

Também é possível realizar a restauração de modo a conciliar produção agrícola e recuperação dos processos ecológicos, sendo os Sistemas Agroflorestais (SAFs) uma forma

para alcançar tal combinação. Segundo a Resolução CONAMA 429/2011 SAFs são definidos como:

...sistemas de uso e ocupação do solo em que plantas lenhosas perenes são manejadas em associação com plantas herbáceas, arbustivas, arbóreas, culturas agrícolas, e forrageiras, em uma mesma unidade de manejo, de acordo com arranjo espacial e temporal, com diversidade de espécies nativas e interações entre estes componentes.

O Código Florestal destaca que os SAFs são uma das formas de restaurar as Reservas Legais de pequenas propriedades rurais, sendo assim uma maneira de conciliar a restauração de áreas degradadas e produção agrícola (ALMEIDA, 2016; SEMA, 2017).

Para que a restauração atinja larga escala, além de ser entendida como uma necessidade para cumprimento das obrigações legais, é preciso que seja uma atividade geradora de ocupação e renda. Hoje, muitas das áreas ainda se encontram degradadas devido a utilização destas para produção e sustento dos produtores rurais, não sendo fácil o convencimento da necessidade de restauração (BRANCALION; GANDOLFI; RODRIGUES, 2015; GONÇALVES, 2014). Mesmo que a legislação estabeleça que determinadas áreas devem ser restauradas, esta atividade passa a ser vista como um ônus pelo produtor rural, que tem de deixar sua produção para investir na restauração. Desta maneira, a restauração deve ser acompanhada de políticas públicas para o planejamento da propriedade, possibilitando que ambas as atividades sejam conciliadas (ALVES-PINTO et al., 2017). Por si só, o investimento na cadeia de restauração poderá gerar postos de trabalho e renda, seja por meios diretos, através de empresas que realizam restauração e empregam uma grande quantidade de mão de obra, como por meios indiretos, mediante a venda de insumos, equipamentos e assistência técnica (BRANCALION; GANDOLFI; RODRIGUES, 2015; RODRIGUES et al., 2009).

Visto a grande complexidade que envolve a cadeia da restauração, fica evidente a necessidade do planejamento destas ações. Não apenas em relação a diferentes técnicas, o planejamento pode auxiliar na identificação de regiões onde diferentes fatores ambientais, sociais e econômicos apresentam sinergia quanto a necessidade e interesse em restauração. Restaurar estas regiões pode maximizar os ganhos ambientais, trazer benefícios sociais e diminuir o risco da perda de recursos financeiros com ações de restauração mal sucedidas.

2.2 Paisagem do Vale do Paraíba Paulista: histórico do uso da terra

A bacia hidrográfica do Paraíba do Sul está dividida em três estados: São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. O órgão instituído com o propósito de debater e decidir a respeito das questões afins ao uso da água da bacia é o Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (CEIVAP). A sua área de atuação compreende 184 municípios, sendo 39 localizados no estado de São Paulo (AGEVAP, 2014). Destes 39 municípios, 34 são integrantes da UGRHI 02 e 5 pertencem a UGRHI 06 – Alto Tietê, definidas pela Lei 16.337/16 do estado de São Paulo. As UGRHIs são divisões relacionadas a execução de estudos, programas de utilização, recuperação, proteção e conservação dos recursos hídricos e ações relacionadas (SÃO PAULO, 2016).

Os 34 municípios que integram a UGRHI 02 ocupam uma área de aproximadamente 1,4 milhão de hectares (IBGE, 2010), localizados entre duas das mais importantes regiões metropolitanas do Brasil, São Paulo e Rio de Janeiro. De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante nesta região é o Cwa – clima subtropical com inverno seco (KÖPPEN, 1948). Quanto ao bioma, a UGRHI 02 está inserido predominantemente na Mata Atlântica, sendo encontrados alguns fragmentos de Cerrado na parte baixa do vale, principalmente às margens da Rodovia Presidente Dutra (IF, 2020; JUNIOR; MARSON, 2007; VICTOR et al., 2005).

É possível entender o histórico de ocupação da UGRHI 02 analisando o desenvolvimento do VPP, já que apenas três municípios do VPP não fazem parte da UGRHI 02. Estes municípios correspondem a São Bento do Sapucaí, Campos do Jordão e Santo Antônio do Pinhal, os quais integram a UGRHI 01, sendo área de atuação do Comitê de Bacias Hidrográficas da Serra da Mantiqueira (CBH-SM, 2016). Estes três municípios, apesar de não fazerem parte da bacia do Rio Paraíba do Sul, são considerados politicamente como parte da Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte (SÃO PAULO, 2012) e apresentam histórico de desenvolvimento integrado aos municípios da UGRHI 02 (DEVIDE et al., 2014; PADOVESI et al., 2018).

O VPP apresenta importância histórica para o desenvolvimento econômico do estado de São Paulo e também a nível nacional (KOSHIBA; PEREIRA, 1979). A intensificação da ocupação inicia-se no século XVI devido à exploração de madeira e minérios, sendo considerada uma região estratégica para o deslocamento entre o estado de Minas Gerais e o litoral (DEVIDE et al., 2014). Em meados do século XIX, a região ganhou importância nacional

devido à sua intensa produção de café, principal atividade econômica nacional à época (DEAN, 1996). A expansão da cultura cafeeira ocasionou uma grande alteração da paisagem em um curto espaço de tempo, dizimando grandes maciços florestais. Contudo, a grande diversidade de ambientes encontrada na região, como brejos e colinas íngremes, impulsionaram que o incentivo governamental para cultura cafeeira migrasse para o oeste paulista. Desta forma, as cidades mais ricas da época empobreceram e hoje formam as denominadas “cidades mortas” (Arapeí, Areias, Bananal, Queluz, São José do Barreiro e Silveiras) (DEVIDE et al., 2014).

O acúmulo de capital durante o ciclo do café possibilitou a transição de uma sociedade baseada no cultivo do café para uma sociedade urbano-industrial. A industrialização começa às margens da Rodovia Presidente Dutra, região estratégica pra conexão entre São Paulo e Rio de Janeiro, com investimentos concentrados em São José dos Campos relacionados ao desenvolvimento aeroespacial (KOSHIBA; PEREIRA, 1979). Na zona rural, as áreas antes cultivadas passam a ser utilizadas como pastagens e, mais tarde, são destinadas para silvicultura de eucaliptos (DEVIDE et al., 2014).

Em relação a conservação, atualmente existem pequenos fragmentos florestais ao longo da bacia e grandes fragmentos apenas nas áreas de topos de morros, principalmente nas Serras do Mar, da Mantiqueira e da Bocaina, cujo acesso às tais localidades é dificultado pela declividade acentuada. Como consequência da alteração da paisagem do VPP, o total de floresta existente atualmente na região é de 33% em relação a vegetação original, ou seja, 590 mil hectares (PADOVESI et al., 2018).

Sabendo que o risco de um desastre é produto entre a exposição a uma ameaça natural e as vulnerabilidades sociais, diversos são os motivos para o acontecimento de um desastre. O estudo elaborado por Padovesi et al. (2018) evidencia que o histórico de uso e ocupação da terra no VPP, depreciando os serviços ecossistêmicos, afetou significativamente a forma de viver nas zonas rurais e urbanas. Como exemplo, cita-se o aumento do processo erosivo que assoreou corpos d’água e que, como consequência, tem-se o aumento do risco de inundações e enchentes, assim como o aumento do custo para o tratamento de água. Esse e outros efeitos da degradação do ambiente estimularam o êxodo rural e a ocupação irregular e de áreas de risco em áreas urbanas, com exposição da população ao risco de desastres.

Outro conflito vivenciado na região do VPP entre os anos de 2013 e 2014 foi a crise hídrica. Mesmo com problemas de abastecimento previstos desde o início dos anos 2000 e com as alterações no padrão climático do Sudeste brasileiro a partir de 2012, poucas medidas foram tomadas para lidar com as severas consequências de uma diminuição drástica no volume útil

armazenado nos reservatórios da região (GALVÃO; BERMANN, 2015). Apesar de ainda não ser clara a relação entre a produção de água e a cobertura florestal de uma região (FILOSO et al., 2017), sabe-se que a segurança hídrica também se relaciona com a qualidade da água, e que esta característica por sua vez apresenta significativa melhora em regiões com elevada cobertura florestal (MELO et al., 2020). Com o intuito de direcionar as ações de restauração por meio de programas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) foram delimitadas 34 bacias de abastecimento na UGRHI 02 e que devem ser prioritárias no direcionamento de recursos para conservação e restauração (OIKOS, 2015), sendo estas bacias integrantes do Plano de Bacias da UGRHI 02 (CBH-PS, 2016).

Fica evidente a necessidade de ações voltadas para a restauração e conservação florestal que, se planejadas, podem atingir diversos benefícios além da recuperação dos serviços ecossistêmicos. Para isso, é necessário integrar diversas iniciativas, políticas públicas, instrumentos regulatórios e agentes como a iniciativa privada, a academia e a sociedade civil para a recuperação da paisagem (TABARELLI et al., 2005). Um planejamento da restauração florestal com objetivo de recuperar os serviços ecossistêmicos, principalmente aqueles relacionados à proteção do solo e recursos hídricos, e maximizar o retorno econômico para os produtores rurais, é uma das principais ações que pode ser implementada para a restauração da paisagem do VPP (BRANCALION et al., 2019; MUCHAILH et al., 2010; TABARELLI et al., 2005). A importância do retorno econômico fica ainda maior ao considerar que muito do que há para a preservação e recuperação se encontra em terras privadas (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2003), tornando o convencimento da importância da restauração mais fácil a partir do momento que há possibilidade de geração de renda.

2.3 Análise multicritério

Análise multicritério é um conjunto de métodos que podem ser empregados para auxiliar tomadas de decisão que devem ser embasadas em diversos critérios (CINELLI; COLES; KIRWAN, 2014). Surgindo na década de 70, sua principal motivação é para auxiliar os complexos *trade offs*, processos em que uma tomada de decisão é feita escolhendo uma opção dentre algumas existentes (CARVER, 1991). Estes métodos possibilitam, por meio de uma estrutura definida, que todos os critérios relevantes para a tomada de decisão sejam considerados de maneira a caracterizar e estabelecer as relações entre eles. A análise multicritério permite que diferentes alternativas sejam comparadas a fim de estabelecer qual é

a melhor escolha a ser feita, baseando-se em determinados critérios considerados, sendo estes por muitas vezes apresentados em unidades diferentes (HAJKOWICZ; COLLINS, 2007).

De modo geral, os diferentes métodos podem ser classificados nos seguintes grupos (DE BRITO; EVERS, 2016; HAJKOWICZ; COLLINS, 2007):

- a) Funções de valor: o objetivo destes métodos é a definição de uma função de valor para o tomador de decisão que relacionará as variáveis, transformadas em uma escala comum. Como exemplo cita-se o Multi-Attribute Utility Theory (MAUT).
- b) Comparação pareada: estes métodos buscam a comparação pareada de critérios para responder qual é critério mais importante, sendo empregados geralmente quando não é possível definir uma função de valor. Um exemplo de técnica comum deste grupo é o Processo Analítico Hierárquico (AHP - Analytic Hierarchy Process).
- c) Métodos de superação: parte do princípio de que não há uma única solução ideal e sim, que há um grau de dominância de uma alternativa em relação a outra. Como exemplos destes métodos destacam-se Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations (PROMETHEE) e Elimination and Choice Expressing Reality (ELECTRE).
- d) Distância ideal para pontos: as alternativas são analisadas considerando a distância para o ponto ideal, sendo considerada como melhor escolha aquela que apresentar a menor distância.
- e) Conjuntos Fuzzy: baseado na teoria de Zadeh (1965), a lógica Fuzzy considera uma transição gradual de uma classe para outra, por meio de uma função de pertinência. Pode ser uma importante ferramenta para lidar com incertezas oriundas da análise multicritério, baseando-se também em outros métodos. Para combinar diferentes conjuntos fuzzy, é utilizada a Inferência Fuzzy.

Como a necessidade de tomar decisões baseadas em diversos critérios existentes em diferentes áreas da ciência e da sociedade, a análise multicritério é empregada em inúmeros âmbitos (ARAUJO et al., 2013; FARIA, 2011; HAJKOWICZ; COLLINS, 2007; MAFRA et al., 2020; OLIVEIRA et al., 2014; DA SILVA, 2013). Com a existência de diversos métodos e uma grande variedade de áreas para aplicação, não existe um único método que obterá os

melhores resultados para todas as decisões (DE BRITO; EVERS, 2016).

No contexto de estudos ambientais, a análise multicritério é amplamente empregada em ambiente de SIG, o que permite integrar e manipular informações espaciais para observar determinados comportamentos e respostas no espaço de interesse (MARTINS, 2009). Dentre os métodos de análise multicritério apresentados, serão abordados brevemente os métodos AHP e Inferência Fuzzy, os quais serão utilizados no método proposto.

2.3.1 Analytical Hierarchy Process (AHP)

O método AHP é um dos métodos de análise multicritério mais empregados (JUNQUEIRA et al., 2020; LOPES et al., 2020; MARINS; SOUZA; BARROS, 2009; SANTOS et al., 2018; SPIGOLON et al., 2015). Este método foi proposto por Tomas Saaty na década de 70, sendo inicialmente desenvolvido para auxiliar na seleção de opções estratégicas no âmbito empresarial (SAATY, 1977). A adaptação deste método para outras situações se tornou recorrente, ponderando e hierarquizando informações.

A comparação pareada é uma boa maneira para investigar como os critérios relevantes para uma tomada de decisão se relacionam, pois compara os critérios de par em par, atribuindo pesos de um em relação ao outro (MARTINS, 2009), sendo que, de modo geral, quanto maior o peso atribuído a um critério, maior será a sua importância em relação ao outro (MALCZEWSKI, 1999). A matriz de comparação pareada é exemplificada na Tabela 1. Considerando n o número de critérios adotados e $i, j = 1, \dots, n$, o elemento c_{ij} corresponde à comparação do critério da linha (C_i) com o critério da coluna (C_j) de modo que $c_{ij} > 0$, $c_{ij} = 1$ para todo $i=j$ e $c_{ij} = 1/c_{ji}$.

Tabela 1 – Matriz de comparação pareada.

Critérios	C_1	C_2	C_3	C_n
C_1	1	$1/c_{12}$	$1/c_{13}$	$1/c_{1n}$
C_2	c_{12}	1	$1/c_{23}$	$1/c_{2n}$
C_3	c_{13}	c_{23}	1	$1/c_{3n}$
C_n	c_{1n}	c_{2n}	c_{3n}	1

Fonte: adaptado de Saaty (1990).

A escala de importância para analisar os pares de critérios de acordo com Saaty (1977) está apresentada na Tabela 2. Geralmente nesta escala são utilizados números ímpares para que

haja uma diferenciação maior entre os critérios, sendo os números pares empregados quando não há consenso entre os pesquisadores (SAATY, 1977). Ressalta-se que a atribuição dos pesos para os critérios é realizada pelo julgamento dos envolvidos no processo de *trade off*.

Tabela 2 – Valores de importância para comparação pareada entre os critérios no método AHP e suas respectivas importâncias qualitativas.

Valores	Importância
1/9	Extremamente menos importante que
1/7	Muito fortemente menos importante que
1/5	Fortemente menos importante que
1/3	Moderadamente menos importante que
1	Igualmente importante a
3	Moderadamente mais importante que
5	Fortemente mais importante que
7	Muito fortemente mais importante que
9	Extremamente mais importante que

Fonte: adaptado de Saaty (1977).

Após a elaboração da matriz de comparação, é preciso calcular o autovetor, que segundo Saaty (1990) é realizado da seguinte maneira:

- Calcula-se a soma de cada coluna da matriz de comparação;
- A normalização relativa dos pesos deve ser realizada através da divisão de cada peso pela sua respectiva soma de pesos, obtendo uma nova matriz denominada matriz normalizada;
- A partir da matriz normalizada realiza-se a média aritmética de cada linha da matriz, gerando assim o autovetor ou vetor de prioridades para cada critério (linha). Esse autovetor representa a hierarquia de prioridades dos critérios escolhidos.

Para determinar se o resultado obtido com base nos julgamentos foi coerente, é necessário realizar a análise de sensibilidade, estabelecida por Saaty (1990) e simplificada por Faria (2011):

- Determinar o valor do autovalor máximo (λ_{max}), calculado através da seguinte equação:

$$\lambda_{max} = T \cdot w \quad (1)$$

Em que T é o autovetor normalizado e w a soma das colunas da matriz de comparação para cada critério.

b) Calcular o Índice de Consistência (IC), indicando o quanto o autovalor está afastado do número de quantidade de critérios n em relação ao número de graus de liberdade da matriz ($n - 1$), através da seguinte equação:

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

c) Calcular a Razão de Consistência (RC) por meio do quociente de IC pela Consistência Aleatória (CA), que é um valor que seria obtido para uma matriz de comparação com n critérios, porém, envolvendo julgamentos ilógicos. Os valores de CA podem ser vistos na Tabela 3. RC é um valor que diz quanto incoerente é o julgamento de critérios elaborado, sendo aceitáveis valores menores ou iguais a 0,1 (10%) (SAATY, 1987).

Tabela 3 – Valores de Consistência Aleatória (CA) utilizados para calcular a Razão de Consistência (RC) para n critérios.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
CA	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

Fonte: adaptado de Saaty (1987).

2.3.2 Inferência Fuzzy

Em 1965, Zadeh introduziu a lógica dos conjuntos Fuzzy para lidar com conceitos inexatos. Também conhecida como lógica nebulosa, a abordagem Fuzzy possibilita trabalhar com classes que não necessariamente apresentam fronteiras bem definidas, diferenciando-se assim do raciocínio booleano (ZADEH, 1965). Desta forma, a pertinência de um determinado objeto a um conjunto não é medida de maneira binária (sim ou não), mas é definida em probabilidade de pertencer ou não pertencer a um conjunto por meio de uma função pertinência. Desta maneira, têm-se que os valores de pertinência de elementos pertencentes a um conjunto sob a lógica Fuzzy devem variar entre 0 e 1, em que o valor 1 diz que o elemento pertence

totalmente ao conjunto de interesse e o valor 0 diz que ele não pertence (YAGER; ZADEH, 1992). A lógica Fuzzy permite que variáveis incertas sejam trabalhadas de maneira computacional, pois são traduzidas em números.

Na análise multicritério, nem sempre é possível expressar de forma clara os pesos dos critérios, já que por muitas vezes eles são representados de forma qualitativa como alto, médio ou baixo e não apresentam uma relação numérica claramente definida. Não sendo possível definir com exatidão as variações de um critério, a lógica Fuzzy se torna uma alternativa para realização da análise multicritério.

Segundo Câmara et al. (2001) os dados que são representados em conjunto Fuzzy podem ser manipulados por meio de métodos lógicos, sendo as operações básicas sobre subconjuntos Fuzzy similares as operações da lógica binária. Com isso, a sobreposição de vários dados na lógica Fuzzy através de operadores Fuzzy pode gerar o resultado esperado de uma análise multicritério. Ainda segundo os autores, os operadores permitem realizar cruzamentos de duas ou mais variáveis de informação em que cada localização desta informação é testada para determinar se a hipótese em análise é verdadeira ou falsa.

Considere a existência de n critérios a serem analisados, dentre os operadores que podem ser aplicados para os dados em lógica Fuzzy, destacam-se os seguintes (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001):

a) Fuzzy AND

Este operador é similar ao operador E da lógica booleana, ou seja, retorna à intersecção de dois ou mais conjuntos que pertencem simultaneamente aos n critérios analisados.

b) Fuzzy OR

Similar ao operador OU booleano, retornando a união dos n critérios analisados. É satisfeito caso o valor em análise pertença a qualquer um dos critérios analisados.

c) Produto Algébrico Fuzzy

O Produto Algébrico Fuzzy é dado pela função de pertinência:

$$\mu = \prod_{i=1}^n p_i \quad (3)$$

onde p_i é o valor de pertinência Fuzzy para o local em análise do i -ésimo critério e n o número de critérios. Ou seja, esta operação realiza a multiplicação entre os valores de pertinência de acordo com cada critério analisado. Como os valores na lógica Fuzzy variam entre 0 e 1, a tendência é que esta operação resulte em valores pequenos.

d) Soma Algébrica Fuzzy

A Soma Algébrica Fuzzy é dada pela função de pertinência:

$$\mu = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_i) \quad (4)$$

sendo p_i o valor de pertinência Fuzzy para o local em análise do i -ésimo critério e n o número de critérios. Assim como no Produto Algébrico, este operador realiza esta operação para todos os locais em análises considerando todos os critérios. Por sua vez, a soma algébrica tem o efeito de aumentar o valor de pertinência em relação aos valores de entrada.

e) Operador gama

O operador gama é definido pela seguinte equação:

$$\mu = (\text{soma algébrica Fuzzy})^\gamma \cdot (\text{produto algébrico Fuzzy})^{1-\gamma} \quad (5)$$

O expoente gama (γ) determina a importância de cada termo da equação, variando seu valor entre 0 e 1. Se o valor de gama for igual a 0, o resultado dependerá do Produto Algébrico Fuzzy, enquanto se o valor de gama for igual a 1, o resultado dependerá da Soma Algébrica Fuzzy. Valor de gama entre 0 e 0,35 resultará em valores iguais menores que o menor membro Fuzzy (n_i), sendo que por sua vez valores de gama entre 0,8 e 1 resultarão em valores iguais ou maiores que o maior membro Fuzzy (n_i).

3 PROPOSTA DE PESQUISA

Considerando a importância da restauração para a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas e para a diminuição do risco de desastres, os diversos fatores que interferem em tal atividade e o complexo histórico de degradação do solo no VPP, este trabalho tem como principal objetivo definir áreas potenciais de restauração ativa na UGRHI 02 por meio de uma abordagem envolvendo análise multicritério.

Como objetivos específicos têm-se:

- a) Gerar diferentes mapas de potencial de restauração ativa pelos métodos AHP e Inferência Fuzzy;
- b) Analisar visualmente e quantitativamente os resultados obtidos por diferentes métodos de análise multicritério e definir o melhor resultado para o objetivo principal do trabalho;
- c) Analisar o mapa de potencial de restauração frente às variáveis socioeconômicas que possam refletir a dinâmica da paisagem a fim de entender aplicações do resultado gerado.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

A definição das áreas potenciais de restauração florestal ativa na UGRHI 02 foi realizada em ambiente de SIG utilizando o software ArcGIS PRO (software de propriedade da ESRI). Foram empregadas variáveis físicas para a determinação do potencial de restauração, que por sua vez foi analisado frente às variáveis socioeconômicas com auxílio do software GeoDa (ANSELIN; SYABRI; KHO, 2006). As variáveis utilizadas neste processo são apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2 – Variáveis utilizadas para a definição de áreas potenciais para restauração ativa, seu tipo, sua fonte de obtenção e o formato do dado.

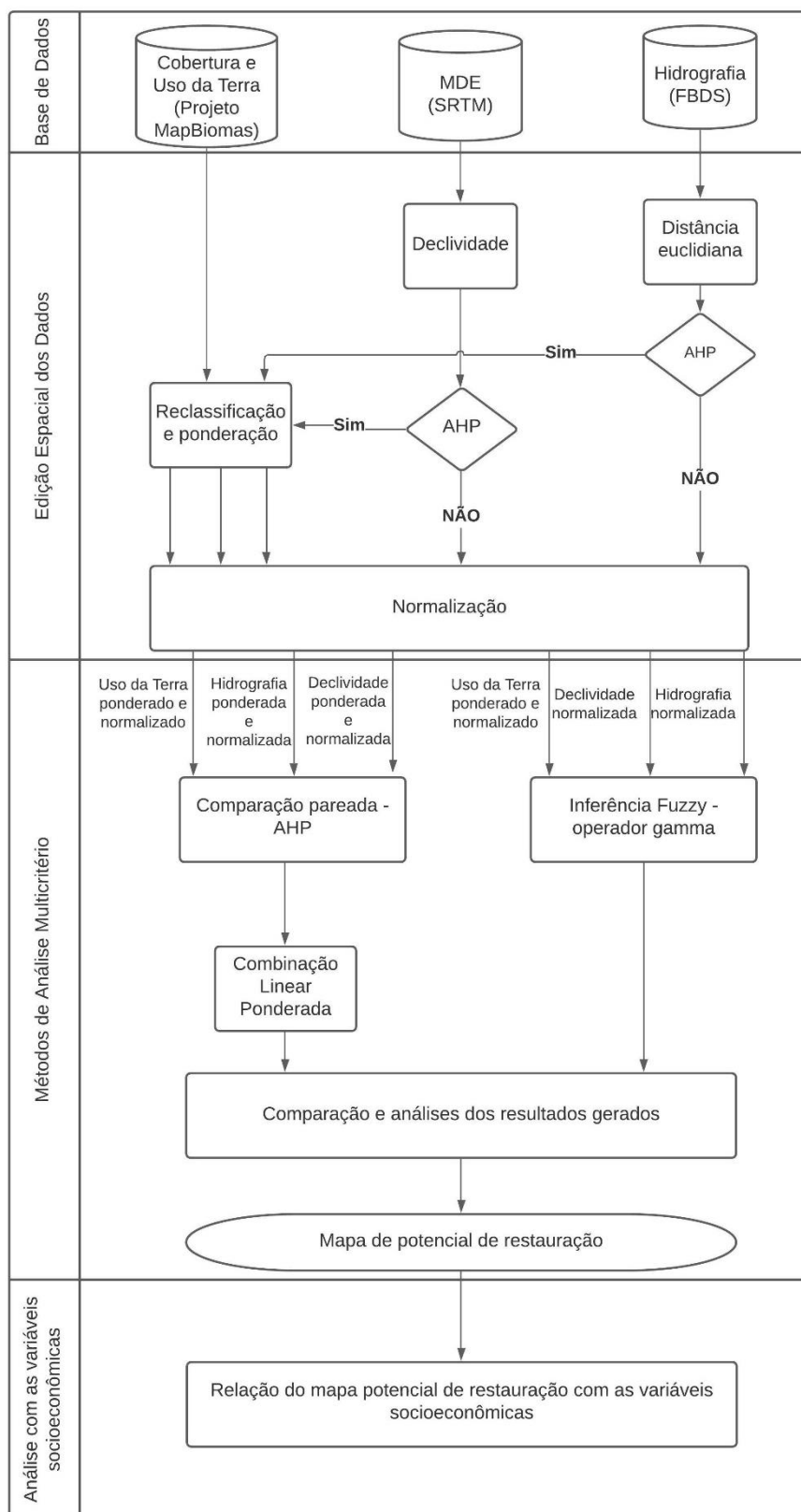
Variável	Tipo	Fonte	Formato
Hidrografia	Física	Fundação Brasileira de Desenvolvimento Sustentável (FBDS)	Vetorial
Uso e cobertura da terra	Física	Projeto MapBiomias	Raster
Modelo Digital de Elevação	Física	Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (USGS)	Raster
Disponibilidade de área para restauração em propriedades rurais	Socioeconômica	Sistema de Cadastro Ambiental Rural do Estado de São Paulo (SICAR - SP)	Vetorial
Bacias de abastecimento	Socioeconômica	Comitê das Bacias Hidrográficas do Rio Paraíba do Sul (CBH-PS)	Vetorial
Renda <i>per capita</i> média municipal	Socioeconômica	IBGE	Tabular

Fonte: elaborado pelo autor.

4.2 Método

O método consiste da aplicação da análise multicritério para a geração do mapa potencial de restauração, seguida de uma análise relacionando o melhor resultado obtido com variáveis socioeconômicas. O fluxograma apresentado na Figura 1 traz as etapas desenvolvidas.

Figura 1 – Fluxograma com as etapas realizadas para geração do mapa de potencial de restauração por meio das análises multicritério AHP e Inferência Fuzzy (operador gama).



Fonte: elaborado pelo autor.

4.2.1 Organização da base de dados

Considerando como limite vetorial a região que compreende a UGHRI 02, a primeira etapa consistiu na organização da base de dados geográficos a partir da compilação de dados de diferentes fontes, conforme o Quadro 2. Para a base de dados foram adotados o sistema de referência SIRGAS 2000 e a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) Fuso 23 Sul.

4.2.2 Edição Espacial dos Dados

O Uso e Cobertura da Terra é uma variável categórica, uma vez que traz informações qualitativas sobre a região. Como o dado disponibilizado pelo Projeto MapBiomas – Coleção 5 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil (Projeto MapBiomas, disponível em <<https://mapbiomas.org/>>), apresenta uma diversidade de classes, foi necessário realizar a reclassificação de forma a agrupar classes com o mesmo grau de importância para a determinação do potencial de restauração. Com o dado reclassificado, realizou-se o processo de ponderação no qual é atribuído um valor, denominado subpeso, para cada classe. A lógica utilizada nesse processo foi de que subpesos maiores são empregados para classes que podem facilitar a restauração ativa. Os valores utilizados variam entre 1 e 5, sendo 1 para as classes onde a viabilidade de restauração florestal é muito baixa e 5, muito alta. Na prática, tanto o processo de reclassificação quanto o de ponderação foram realizados simultaneamente pela ferramenta *Reclassify* do ArcGIS PRO. Para a normalização da variável, uma transformação linear sobre os valores dos subpesos adotados foi realizada por meio da normalização Min-Max (Equação 6) usando a ferramenta *Raster Calculator* do ArcGIS PRO.

$$z = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (6)$$

sendo x o valor de entrada (classe ponderada); $\min(x)$ e $\max(x)$, os valores mínimo e máximo para a variável, respectivamente; e z o valor de saída normalizado.

A Tabela 4 apresenta a reclassificação feita para a variável Uso e Cobertura da Terra e os subpesos adotados para as classes.

Tabela 4 – Reclassificação realizada para a variável Uso e Cobertura da Terra e os subpesos definidos. As colunas Classe e Subclasse(s) apresentam a forma como o dado é disponibilizado pelo Projeto MapBiomias.

Classificação MapBiomias		Reclassificação	Subpeso
Classe	Subclasse(s)		
Agricultura	Mosaico de Agricultura e Pastagem	Pasto Sujo	3
	Cana Lavoura Perene Outras Lavouras Temporárias Soja	Agricultura	1
	Pastagem	Pastagem	5
Formação Não Florestal	Afloramento Rochoso	Formação não Florestal	NODATA
Formação Florestal	Floresta Plantada	Floresta Plantada	1
	Formação Florestal	Formação Florestal	3
	Formação Savânica	Formação Savânica	NODATA
Área não vegetada	Infraestrutura Urbana Outras áreas não vegetadas	Área não vegetada	NODATA
	Mineração	Mineração	1
Água	Aquicultura Rio, Lago e Oceano	Água	NODATA

Fonte: elaborado pelo autor.

No processo de definição de subpesos foi atribuído NODATA para as classes de Formação não Florestal, Formação Savânica, Área Não Vegetada e Água, uma vez que estas não apresentam vegetação originalmente ou o custo de restauração destas áreas seria muito elevado, tornando inviável tal atividade. Neste caso, vale ressaltar que a Formação Savânica pode representar os fragmentos de Cerrado existentes na região, contudo sabe-se que tais fragmentos se encontram próximos a áreas urbanas, o que praticamente inviabiliza sua restauração. Para as classes de Agricultura, Floresta Plantada e Mineração atribuiu-se subpeso 1. As classes Agricultura e Floresta Plantada representam áreas com interesse humano para o cultivo de determinada cultura, mas que podem um dia ser de interesse para restauração florestal, já nas áreas de Mineração alguma atividade de restauração deverá ser realizada quando a atividade mineradora não puder mais ser executada (BRASIL, 1988). Por sua vez, as classes de Formação Florestal receberam subpeso 3, já que são áreas que apresentam cobertura florestal, mas que em determinadas regiões podem ser de interesse para técnicas de

adensamento ou enriquecimento. As classes Mosaico de Agricultura e Pastagem foram reclassificadas como Pasto Sujo. Para confirmar que tais classes possuem característica de Pasto Sujo, uma análise visual de 20 pontos distribuídos aleatoriamente foi realizada com base em imagens de alta resolução disponíveis no aplicativo Google Earth. Dentre os 20 pontos observados, 11 (55%) foram classificados visualmente como pasto sujo. Tal classificação foi adotada por essas áreas apresentarem alguns indivíduos arbóreos ou indícios de que a área se encontra no início do processo de regeneração, como a textura diferenciada das áreas ao redor, principalmente em relação às pastagens. Referente aos demais pontos, 6 (30%) foram classificados como pastagem e 3 (15%) como agricultura. Outra observação importante é que dos 20 pontos gerados, 18 (90%) se encontravam em polígonos vizinhos a outros polígonos da classe de Formação Florestal, sendo esta classificação confirmada com as imagens de Google Earth. Áreas próximas aos fragmentos florestais apresentam, de maneira geral, uma tendência de se regenerarem mais rápido por estarem sobre influência da maior biodiversidade de uma área florestal, podendo em muitos casos serem utilizadas técnicas de restauração passiva (BRANCALION; GANDOLFI; RODRIGUES, 2015). Desta maneira, reclassificou-se a classe Mosaico de Agricultura e Pastagem para Pasto Sujo e foi ponderada com subpeso 3. A classe de Pastagem recebeu subpeso 5, uma vez que é a classe que possui maior extensão territorial na região, representando áreas, em sua maioria, degradadas e que apresentam menor conflito de interesse econômico.

O Modelo Digital de Elevação (MDE) oriundo do SRTM (disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>), representa a superfície topográfica da área de estudo e foi utilizado para gerar a variável declividade, com a utilização da ferramenta *Slope*. Para aplicar o método AHP, a variável declividade foi reclassificada e ponderada de acordo com as classes de uso restrito e APP definidas pelo Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2012): 0 a 25° (subpeso 1); 25 a 45° (subpeso 3); maior que 45° (subpeso 5). Segundo a legislação, áreas de uso restrito se encontram entre 25 e 45°, onde é permitido o manejo florestal sustentável e atividades agrossilvipastoris e é vedada a conversão de novas áreas, exceto para interesse social e utilidade pública. Já as áreas com declividade superior a 45° são determinadas como APPs. A variável declividade, já ponderada, também passou pelo processo de normalização, dado pela Equação 6. Contudo, para aplicar a Inferência Fuzzy pelo operador gama, não é necessário que o dado seja reclassificado e ponderado, passando apenas pela etapa de normalização antes da Análise Multicritério. É importante ressaltar que além de ser um critério para restauração definido por lei, a declividade também foi escolhida como variável para este estudo pois o

reflorestamento em áreas com alta declividade é de suma importância no tocante a diminuição do risco de desastre, já que a vegetação nestas áreas protege o solo de erosão, minimiza a velocidade de quedas de rochas e aumenta a infiltração da água no solo, atrasando assim o pico de fluxos de água (PEDRR, 2010).

Em relação à variável hidrografia, o primeiro processo da edição espacial foi gerar o dado de distância euclidiana por meio da ferramenta *Euclidean Distance*. Assim como para a declividade, para a aplicação do método AHP, o dado passou pelo processo de reclassificação e ponderação. Este processo levou em consideração o Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2012) que delimita as seguintes dimensões de APP: 0 a 50 metros (subpeso 5); 50 a 100 metros (subpeso 4); 100 a 200 metros (subpeso 3); 200 a 500 metros (subpeso 2); maior que 500 metros (subpeso 1). Vale ressaltar que, segundo a legislação, o tamanho de uma APP de um rio é delimitado em função de sua largura, logo a reclassificação realizada neste trabalho não representa de fato as APPs de cada rio, mas esta lógica indica que áreas mais próximas aos corpos d'água devem receber maior subpeso segundo um critério estabelecido por lei. Como as nascentes são o corpo hídrico mais sensível, a distância mínima considerada foi de 50 metros, que corresponde a APPs oriundas de nascentes. Outro fator que influenciou esta decisão é que a resolução dos dados empregados é de 30 metros, logo a APP de 30 metros representaria apenas um pixel. Após a reclassificação e ponderação, a variável hidrografia também passou pela normalização Min-Max (Equação 6). Para a aplicação da Inferência Fuzzy não foi realizada a reclassificação e ponderação da hidrografia, utilizando apenas o dado de distância euclidiana normalizado. Além disso, a variável permite considerar a importância da vegetação próxima a corpos hídricos, tanto para a sua preservação como para a retenção de sedimentos, evitando processos de assoreamento e auxiliando no armazenamento de água no solo para que seja liberada lentamente, reduzindo assim a velocidade de escoamento (PEDRR, 2010).

Destaca-se que a etapa de normalização é exigida apenas para a Inferência Fuzzy, sendo assim os dados poderiam ser empregados no método AHP com valores de 1 a 5. Contudo, apenas por padronização, optou-se por normalizar os dados.

4.2.3 Análise Multicritério

Para a análise multicritério usando AHP, duas comparações pareadas foram realizadas. A primeira considerou o indicado por Saaty (1977), utilizando apenas números ímpares para maior diferenciação entre os critérios (denominada a partir de agora por AHP 1). Contudo, para

diminuir a diferença entre os pesos estimados para cada variável, foi realizada a segunda comparação pareada com valores pares e ímpares (denominada a partir de agora por AHP 2). Apesar de Saaty (1977) sugerir a utilização de números ímpares para realizar a comparação pareada, entende-se que neste caso mesmo a variável de Uso e Cobertura da Terra sendo considerada de maior relevância, a diferença entre outras variáveis não pode ser tão grande. Considerou-se a variável Uso e Cobertura da Terra como de maior relevância pois indica onde de fato pode ocorrer a restauração. Com relação as demais variáveis, atribuiu-se pesos iguais para hidrografia e declividade nos dois julgamentos (AHP 1 e AHP 2), pois ambas são variáveis abordadas pela legislação brasileira e a restauração realizada nas áreas consideradas de alta importância definida por essas variáveis pode contribuir para a preservação da qualidade da água, estabilidade de encostas, redução de processos de erosão e mitigação dos efeitos das mudanças climáticas.

As Tabelas 5 e 6 apresentam as comparações pareadas pelo método AHP, os pesos obtidos e o valor de Razão de Consistência (RC). Observa-se que ao utilizar valores menores na comparação pareada (AHP 2) resultou em pesos menos discrepantes entre as variáveis. Em ambos os cenários, a Razão de Consistência foi igual a 0%, indicando que os julgamentos realizados na comparação pareada foram consistentes.

Tabela 5 – Primeira matriz de comparação pareada elaborada utilizando valores ímpares para a importância entre as variáveis – AHP 1.

	Uso e Cobertura da Terra	Hidrografia	Declividade	Peso	RC
Uso e Cobertura da Terra	1	3	3	0,6	0%
Declividade	1/3	1	1	0,2	
Hidrografia	1/3	1	1	0,2	

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 6 – Segunda matriz de comparação pareada elaborada utilizando valores pares para a importância entre as variáveis – AHP 2.

	Uso e Cobertura da terra	Hidrografia	Declividade	Peso	RC
Uso e Cobertura da Terra	1	2	2	0,5	0%
Declividade	1/2	1	1	0,25	
Hidrografia	1/2	1	1	0,25	

Fonte: elaborado pelo autor.

Após a ponderação das variáveis para a matriz pareada e a verificação do RC obtida, os pesos resultantes foram usados na álgebra de mapas usando o método de Combinação Linear Ponderada (VOOGD, 1982) para gerar os dois mapas de potencial de restauração AHP 1 e AHP 2.

Para a Análise Multicritério usando a Inferência Fuzzy, foram adotados três valores para o expoente gama (0,4; 0,6 e 0,8), a fim de verificar o comportamento da análise multicritério com a variação deste expoente. Desta maneira, foram gerados três mapas de potencial de restauração combinando as variáveis Uso e Cobertura da Terra, Declividade e Hidrografia com variação do valor do expoente gama.

Os resultados obtidos nas Análises Multicritério foram categorizados em 5 classes referentes ao potencial de restauração (Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito Alto) usando o método de Quebras Naturais ou algoritmo de Jenks (DENT; TORGUSON; HODLER, 2008). Este método foi escolhido por unir em uma mesma classe os valores que se aproximam, minimizando a variância dentro de uma classe e maximizando as diferenças entre as classes.

Para entender o comportamento dos resultados obtidos, uma análise visual foi realizada em cinco pontos definidos de forma aleatória na área de estudo. Para cada um dos pontos, uma região próxima a eles foi considerada, e tanto os dados obtidos por AHP quanto por Inferência Fuzzy, foram comparados de forma visual.

Além da análise visual, o comportamento das classes de potencial de restauração foi analisado quantitativamente através do cálculo de área em hectares e em porcentagem para cada classe considerando os diferentes mapas resultantes. A mesma análise quantitativa foi realizada considerando a intersecção dos diferentes mapas resultantes com as áreas de restauração já executadas pela ACEVP, disponibilizadas pela organização em formato *shapefile*. Esta análise permitiu definir qual dos resultados obtidos se aproximou da prática de restauração. Vale ressaltar que a área calculada foi referente as classes ponderadas, desconsiderando aquelas

classes que receberam NODATA.

A partir das análises descritas nesta subseção foi possível definir o mapa de potencial de restauração que apresentou melhor resultado.

4.2.4 Relação do potencial de restauração com variáveis socioeconômicas

Considerando o mapa de potencial de restauração que apresentou melhor resultado na etapa anterior e as variáveis socioeconômicas da área de estudo (Quadro 2), a relação entre eles foi realizada com o intuito de entender as possibilidades de aplicação do mapa gerado e as ações voltadas para as atividades de restauração na região.

Devido ao tamanho e a heterogeneidade da área de estudo quanto às características socioeconômicas, optou-se por executar esta etapa a nível municipal. Para isso, primeiro foi identificado quanto cada município apresenta de potencial de restauração referente as classes de alto e muito alto, tanto em área (hectares) quanto em porcentagem em relação à área do município. Para facilitar a compreensão, a partir de agora estes dados serão denominados, respectivamente, de área absoluta de potencial de restauração e área relativa de potencial de restauração. Depois, considerando a renda *per capita* média e a porcentagem de propriedades que disponibilizaram áreas para restauração no Cadastro Ambiental Rural (CAR) como importantes fatores para a dinâmica da restauração na região, estes dois fatores socioeconômicos foram relacionados com a área absoluta e área relativa de potencial de restauração por meio de dois mapas condicionais gerados no software GeoDa. O dado de potencial de restauração considerado como melhor resultado também foi utilizado para caracterizar as bacias prioritárias para abastecimento quanto ao potencial de restauração, identificando aquelas bacias que tem maior ou menor potencial para restauração.

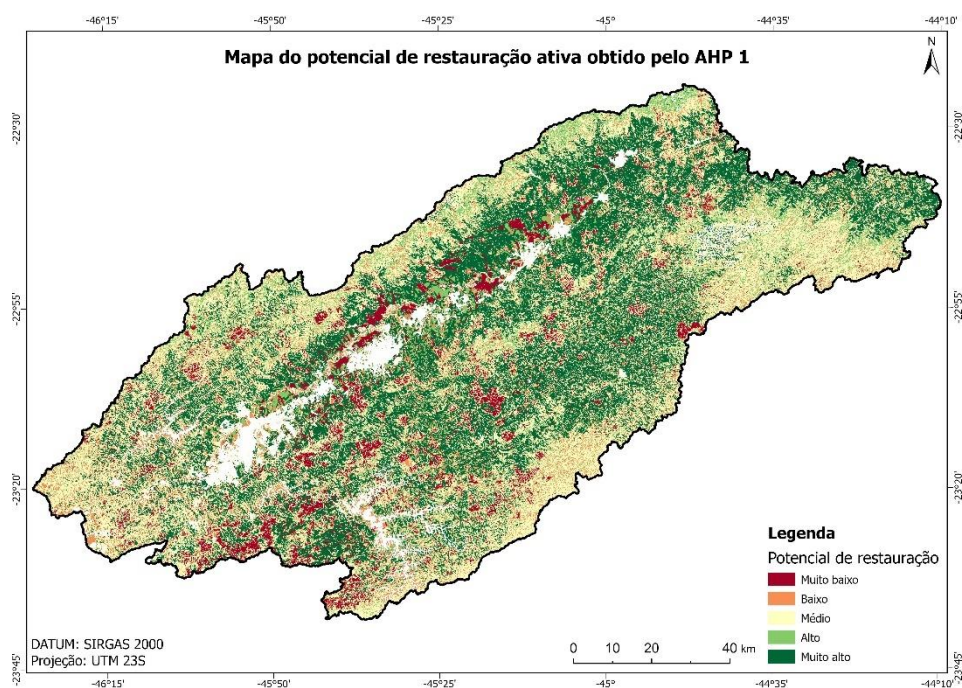
É importante destacar que a variável “porcentagem de propriedades que disponibilizaram áreas para restauração no CAR” foi obtida pela sobreposição das seguintes informações fornecidas pelo SICAR-SP: limite das propriedades rurais e APPs degradadas disponíveis para restauração. Ao realizar o CAR no SICAR-SP, o proprietário rural pode indicar o interesse em restaurar as APPs degradadas de sua propriedade. As APPs degradadas declaradas no CAR e disponíveis para restauração são acessíveis em arquivo vetorial no formato shapefile para download. Contudo, pelo fato de o CAR ser um cadastro autodeclaratório, as informações inseridas no sistema são fortemente dependentes do conhecimento do proprietário sobre as características requisitadas da propriedade. Estas

informações por muitas vezes estão vinculadas a conceitos da legislação brasileira e a conhecimentos técnicos ambientais, que podem não ser do cotidiano dos proprietários. Como todo sistema, também existem limitações na interface para inserção das informações. Desta forma, para trabalhar apenas com a disponibilidade de área para restauração em propriedades rurais, foi feita a intersecção das APPs disponíveis para restauração e o limite das propriedades por meio da ferramenta *Join table*, relacionando o número do CAR. Sendo assim, foi gerado um dado com os limites das propriedades que disponibilizaram áreas para restauração. Com este dado, foi possível calcular a porcentagem de propriedades que disponibilizaram área para restaurar em relação as propriedades cadastradas no CAR para cada município.

5 RESULTADOS

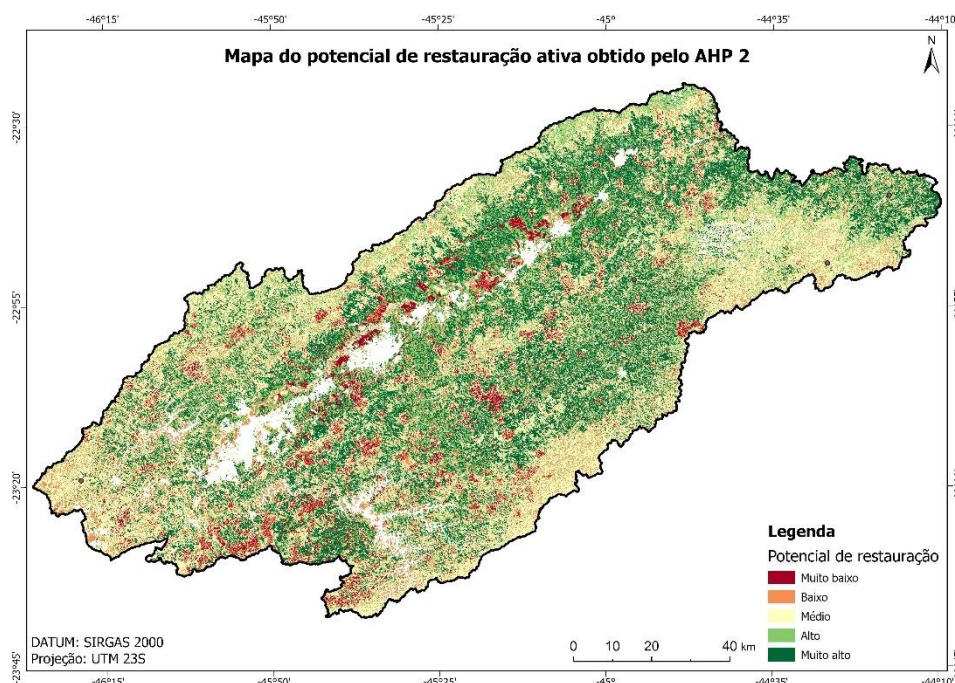
Os mapas sínteses gerados a partir das diferentes abordagens de análise multicritério representam o potencial de restauração da área de estudo em 5 classes (método de Quebras Naturais), os quais são apresentados nas Figuras 2 a 6.

Figura 2 – Mapa de potencial de restauração ativa obtido pela ponderação AHP 1. O peso considerado para as variáveis foram: 0,6 para Uso e Cobertura da Terra e 0,2 para Declividade e para Hidrografia.



Fonte: elaborado pelo autor.

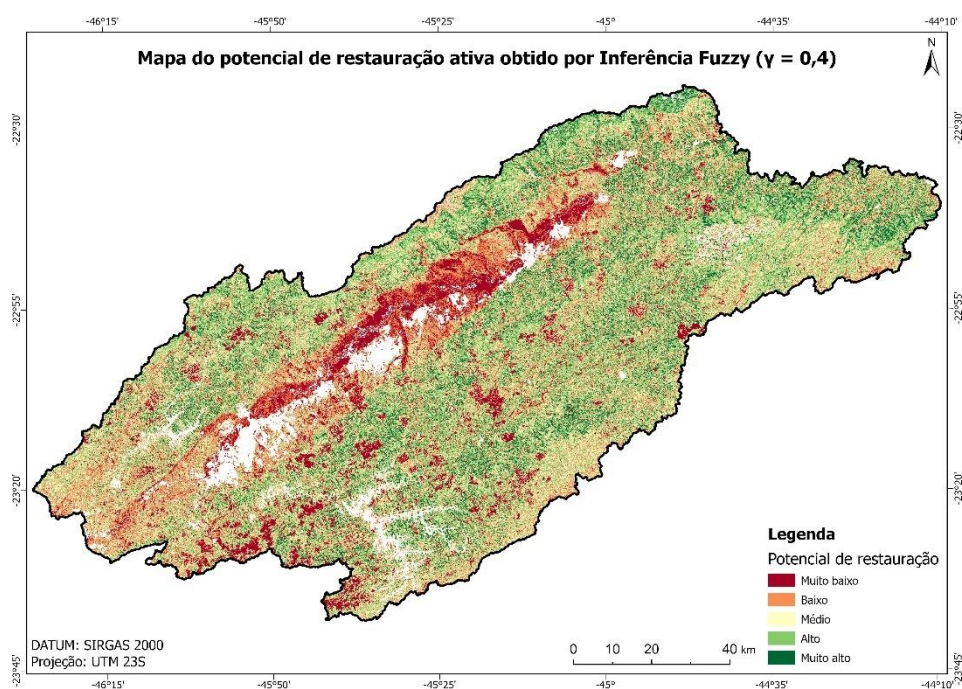
Figura 3 – Mapa de potencial de restauração ativa obtido pela ponderação AHP 2. O peso considerado para as variáveis foram: 0,5 para Uso e Cobertura da Terra e 0,25 para Declividade e para Hidrografia.



Fonte: elaborado pelo autor.

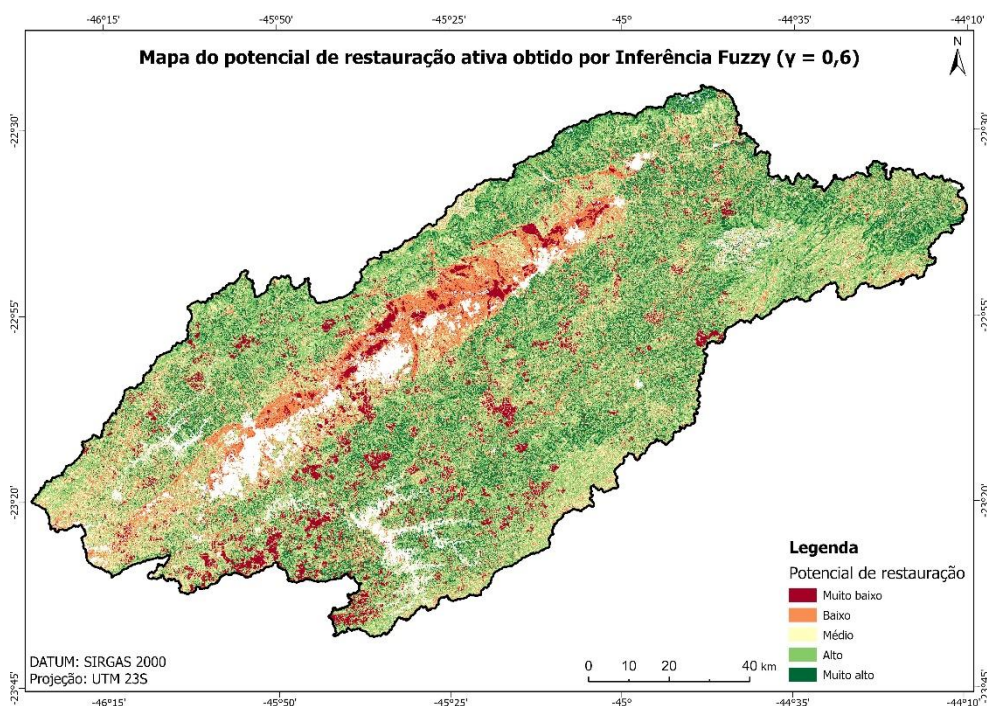
Em relação aos dois mapas gerados pelo método AHP (Figuras 2 e 3) nota-se que há poucas áreas de muito baixo potencial de restauração, sendo estas localizadas praticamente nas mesmas regiões em ambos os mapas, distribuídas na região central da UGRHI 02. As áreas em branco no interior da UGRHI 02 são as regiões consideradas como NODATA segundo a Tabela 4. Quanto às classes de alto e muito alto potencial de restauração, no caso do AHP 1 (Figura 2) é visível uma maior quantidade de áreas classificadas como muito alto potencial, sendo evidenciado pela cor verde escuro. Já para o AHP 2 (Figura 3), observa-se uma maior quantidade de áreas classificadas com área de alto potencial (na cor verde claro).

Figura 4 – Mapa de potencial de restauração ativa obtido pelo método de Inferência Fuzzy com o operador gama usando um valor igual a 0,4 para o expoente.



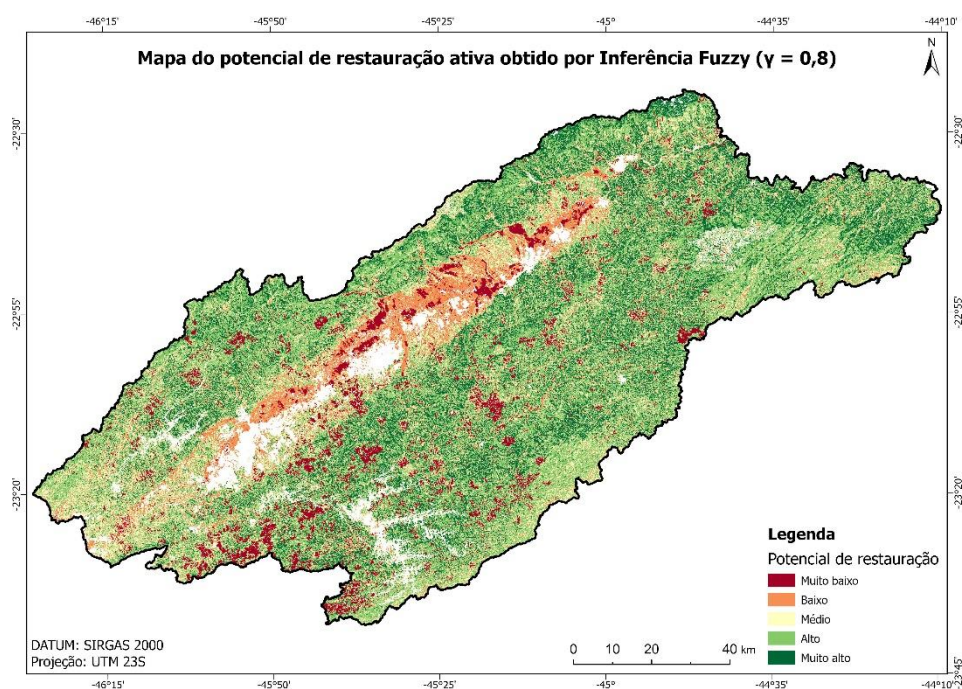
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 5 – Mapa de potencial de restauração ativa obtido pelo método de Inferência Fuzzy com o operador gama usando um valor igual a 0,6 para o expoente.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 6 – Mapa de potencial de restauração ativa obtido pelo método de Inferência Fuzzy com o operador gama usando um valor igual a 0,8 para o expoente.

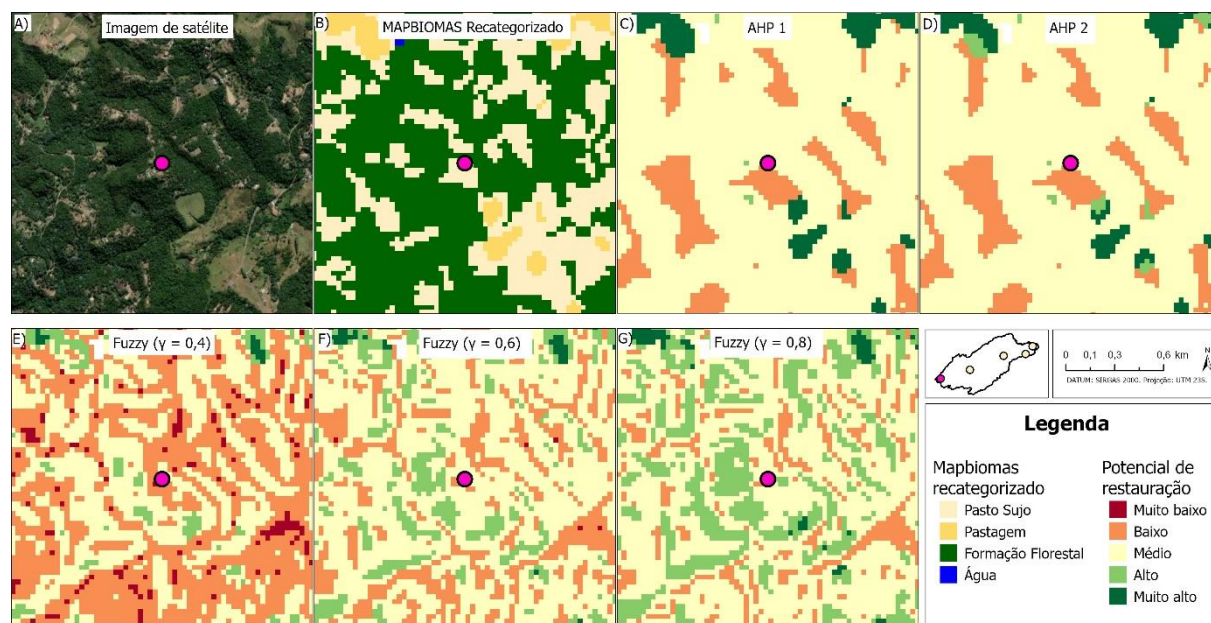


Fonte: elaborado pelo autor.

Em relação as Figuras de 4 a 6, nota-se que a variação no valor do expoente gama gera mapas com predominância de classes diferentes, sendo que quanto maior o valor de gama, maior a quantidade de áreas classificadas como alto ou muito alto potencial (cores verde claro e verde escuro, respectivamente). Assim como para os mapas gerados pelo método AHP, os mapas das Figuras 4 a 6 apresentam áreas em branco no interior da UGRHI 02, que são áreas classificadas como NODATA, segundo a Tabela 4.

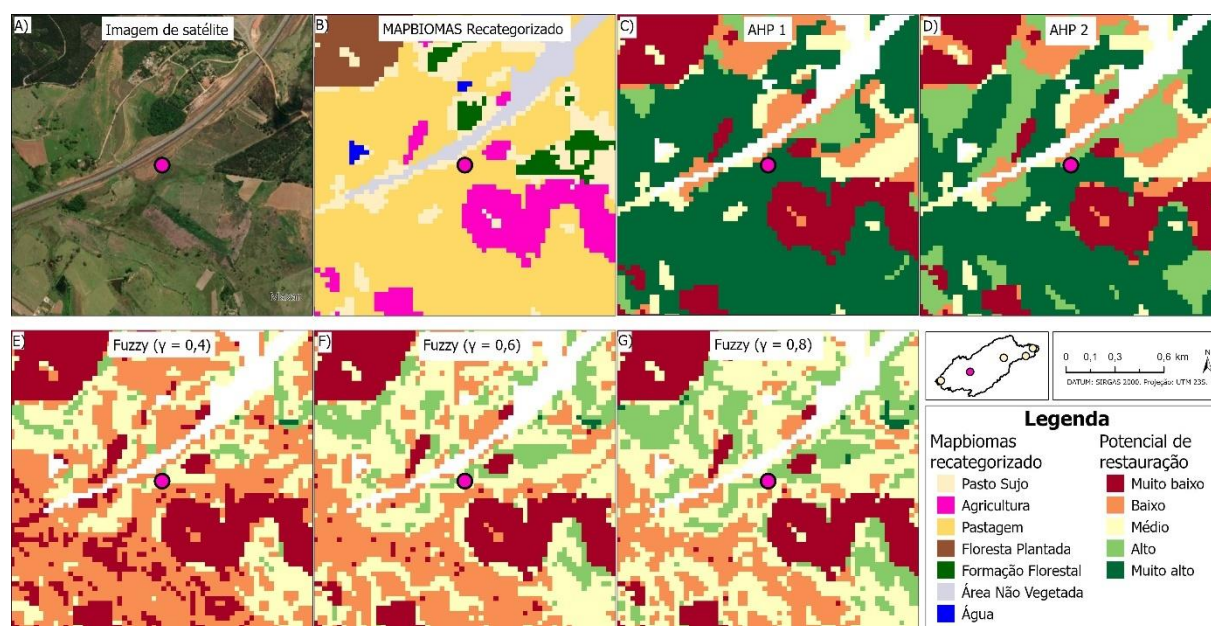
As Figuras de 7 a 11 apresentam as regiões próximas aos cinco pontos amostrados de forma aleatória para a área de estudo, permitindo uma análise visual mais detalhada do resultado dos métodos de análise multicritério realizados.

Figura 7 – Mapas em relação ao ponto 1 gerado aleatoriamente: (a) imagem de satélite; (b) mapa do MapBiomas recategorizado; (c) AHP 1; (d) AHP 2; (e) Operador gama 0,4; (f) Operador gama 0,6; (g) Operador gama 0,8.



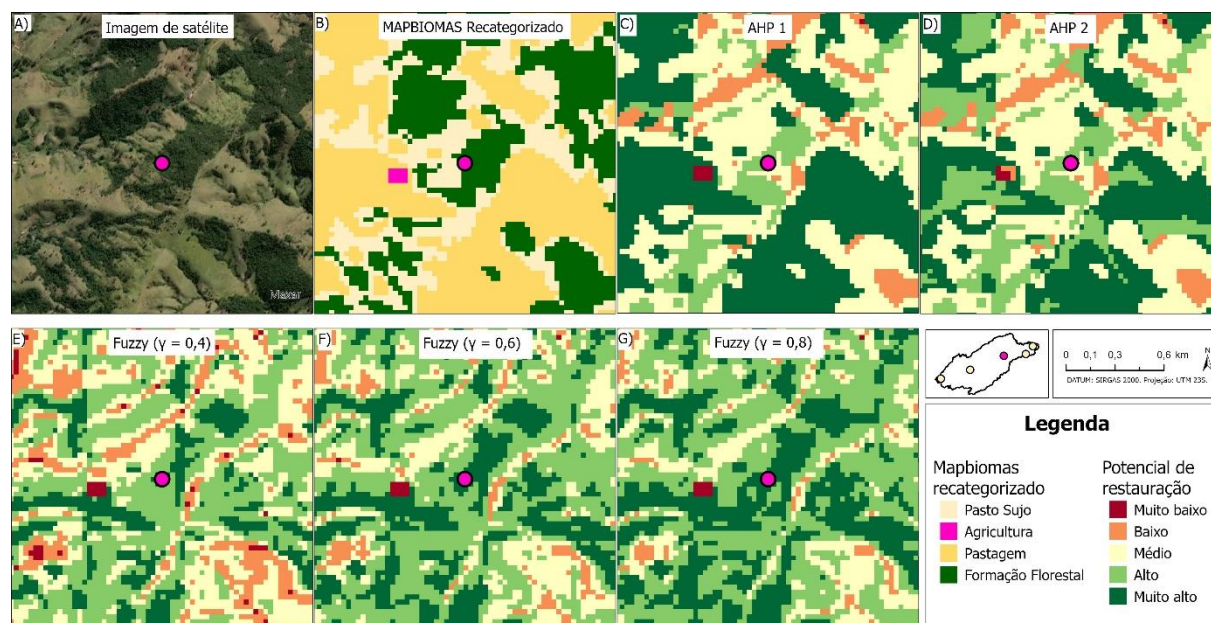
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 8 – Mapas em relação ao ponto 2 gerado aleatoriamente: (a) imagem de satélite; (b) mapa do MapBiomas recategorizado; (c) AHP 1; (d) AHP 2; (e) Operador gama 0,4; (f) Operador gama 0,6; (g) Operador gama 0,8.



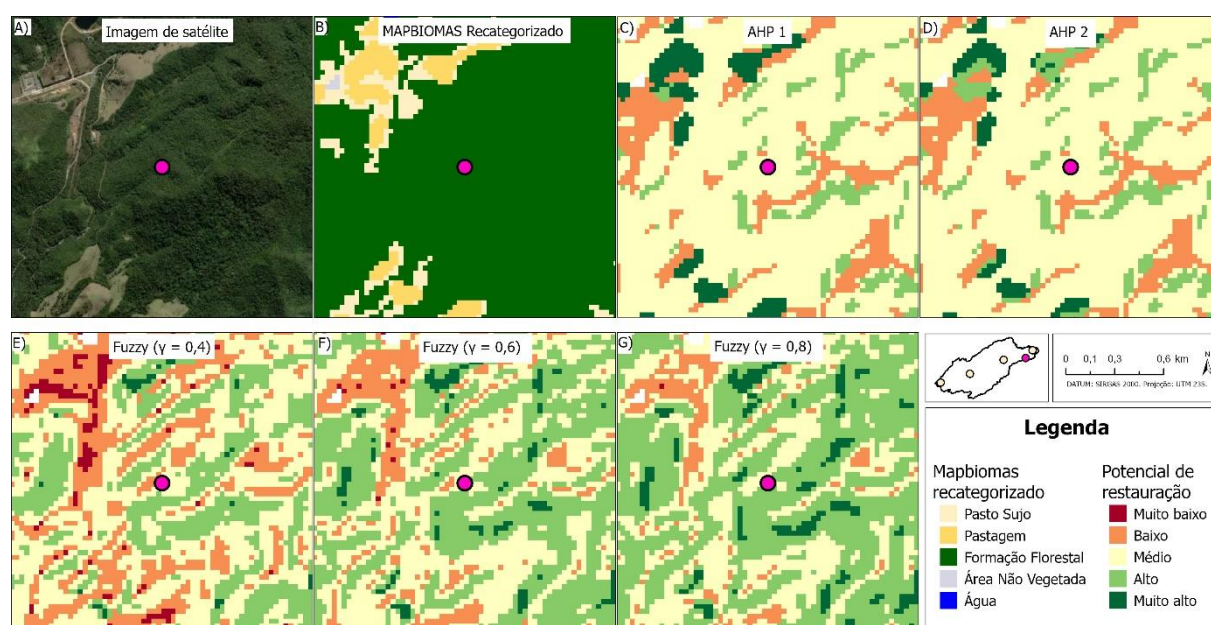
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 9 – Mapas em relação ao ponto 3 gerado aleatoriamente: (a) imagem de satélite; (b) mapa do MapBiomas recategorizado; (c) AHP 1; (d) AHP 2; (e) Operador gama 0,4; (f) Operador gama 0,6; (g) Operador gama 0,8.



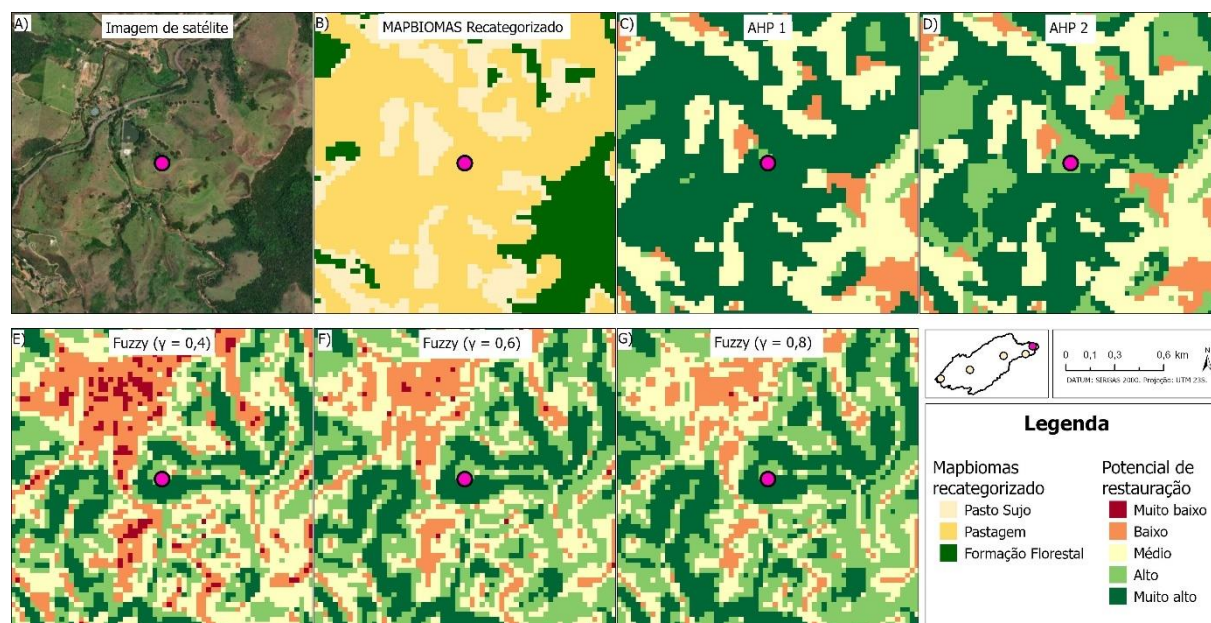
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 10 – Mapas em relação ao ponto 4 gerado aleatoriamente: (a) imagem de satélite; (b) mapa do MapBiomas recategorizado; (c) AHP 1; (d) AHP 2; (e) Operador gama 0,4; (f) Operador gama 0,6; (g) Operador gama 0,8.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 11 – Mapas em relação ao ponto 5 gerado aleatoriamente: (a) imagem de satélite; (b) mapa do MapBiomas recategorizado; (c) AHP 1; (d) AHP 2; (e) Operador gama 0,4; (f) Operador gama 0,6; (g) Operador gama 0,8.



Fonte: elaborado pelo autor.

A partir dos mapas de potencial de restauração gerados para cada uma das abordagens de análise multicritério, calculou-se a área (em hectares) e a porcentagem para as classes de restauração em relação à toda a área considerada na UGRHI 02, sendo os resultados apresentados na Tabela 7. Para comparar os dados de potencial de restauração gerados pelas análises multicritério com restaurações que existem na região, um recorte destes dados com áreas de restauração implementadas pela ACEVP foi realizado. Os resultados deste recorte são apresentados na Tabela 8.

Tabela 7 – Áreas de cada classe em hectares (ha) e em porcentagem (%) obtidas referente aos diferentes mapas de potenciais de restauração gerados.

Classe	Métodos de Análise Multicritério									
	AHP				Fuzzy					
	AHP 1		AHP 2		$\gamma = 0,4$		$\gamma = 0,6$		$\gamma = 0,8$	
	Área (ha)	% relativa	Área (ha)	% relativa	Área (ha)	% relativa	Área (ha)	% relativa	Área (ha)	% relativa
Muito baixo	92.934	7	68.719	5	162.473	12	104.364	8	98.422	7
Baixo	146.768	11	170.978	13	281.911	21	193.286	14	139.329	10
Médio	532.494	39	535.438	40	427.239	32	379.515	28	326.381	24
Alto	117.425	9	232.150	17	338.058	25	461.669	34	518.334	38
Muito alto	465.512	34	347.849	26	145.453	11	216.300	16	272.668	20
Total	1.355.134	100	1.355.134	100	1.355.134	100	1.355.134	100	1.355.134	100

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 8 – Área de cada classe obtida referente aos diferentes dados de potenciais de restauração gerados em relação as áreas de restauração realizadas pela ACEVP.

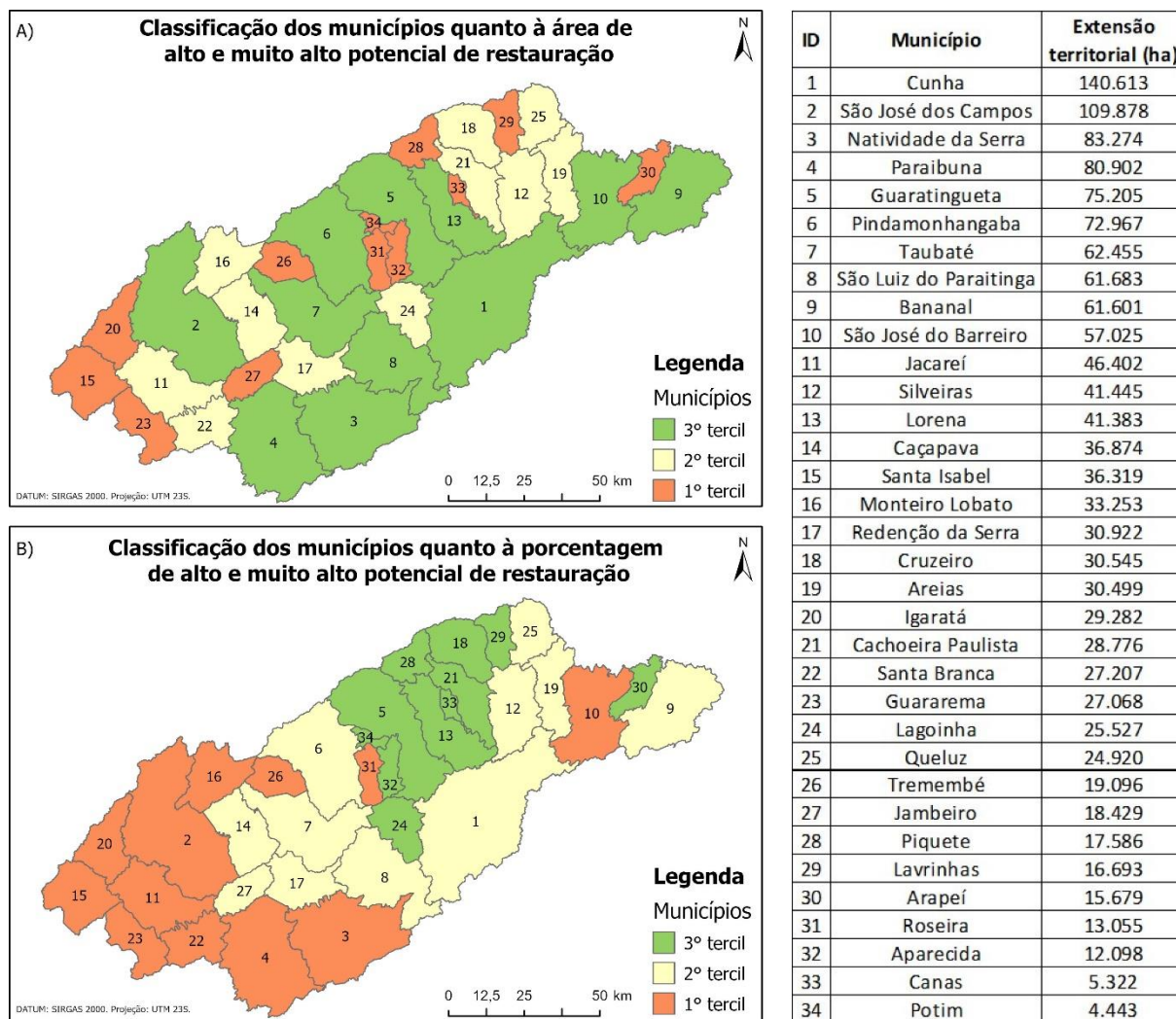
Classe	Métodos de Análise Multicritério									
	AHP				Fuzzy					
	AHP 1		AHP 2		$\gamma = 0,4$		$\gamma = 0,6$		$\gamma = 0,8$	
	Área (ha)	% relativa	Área (ha)	% relativa	Área (ha)	% relativa	Área (ha)	% relativa	Área (ha)	% relativa
Muito baixo	12	3	5	1	30	7	13	3	13	3
Baixo	20	5	27	7	101	25	65	16	41	10
Médio	161	40	161	40	134	33	131	32	118	29
Alto	6	1	25	6	83	20	117	29	138	34
Muito alto	208	51	189	46	59	15	82	20	97	24
Total	407	100	407	100	407	100	407	100	407	100

Fonte: elaborado pelo autor.

A partir da análise visual dos mapas de potencial gerados (Figuras 2 a 6), da análise detalhada dos resultados considerando os cinco pontos amostrados (Figuras 7 a 11) e da análise quantitativa (Tabelas 9 e 10), tem-se que a ponderação AHP 2 foi a que apresentou melhor resultado. Considerando principalmente os dados da Tabela 8, fica evidente que o método AHP se aproximou mais da prática de restauração da ACEVP, já que apresentou maiores porcentagens da classe de muito alto potencial. Nota-se também que a ponderação AHP 2 expressou maior variação entre as classes de alto e muito alto potencial.

O resultado do mapa de potencial gerado pela ponderação AHP 2 foi analisado considerando as classes de alta e muito alto potencial de restauração para cada um dos municípios de modo a possibilitar a relação deste com as variáveis socioeconômicas. Os municípios foram separados em tercís relacionados à área absoluta e à área relativa de potencial de restauração (Figura 12). Na Figura 12(a) tem-se os municípios categorizados em relação a área das classes de alto e muito alto potencial de restauração (área absoluta de potencial de restauração), sendo os municípios do 3º tercil aqueles que apresentam uma maior quantidade de área destas classes. É possível perceber que este dado está relacionado principalmente a dimensão territorial dos municípios. Por sua vez, a Figura 12(b) evidencia os municípios categorizados considerando a porcentagem de área destas classes em relação a extensão territorial (área relativa de potencial de restauração). Da mesma forma, os municípios do 3º tercil são aqueles que apresentam maiores porcentagens. Nota-se que muitos municípios de uma mesma classe são vizinhos entre si. No Apêndice A constam as informações de área e porcentagem de todas as classes consideradas para o dado de potencial de restauração em relação a cada município e, também, para a soma das classes de alto e muito alto potencial.

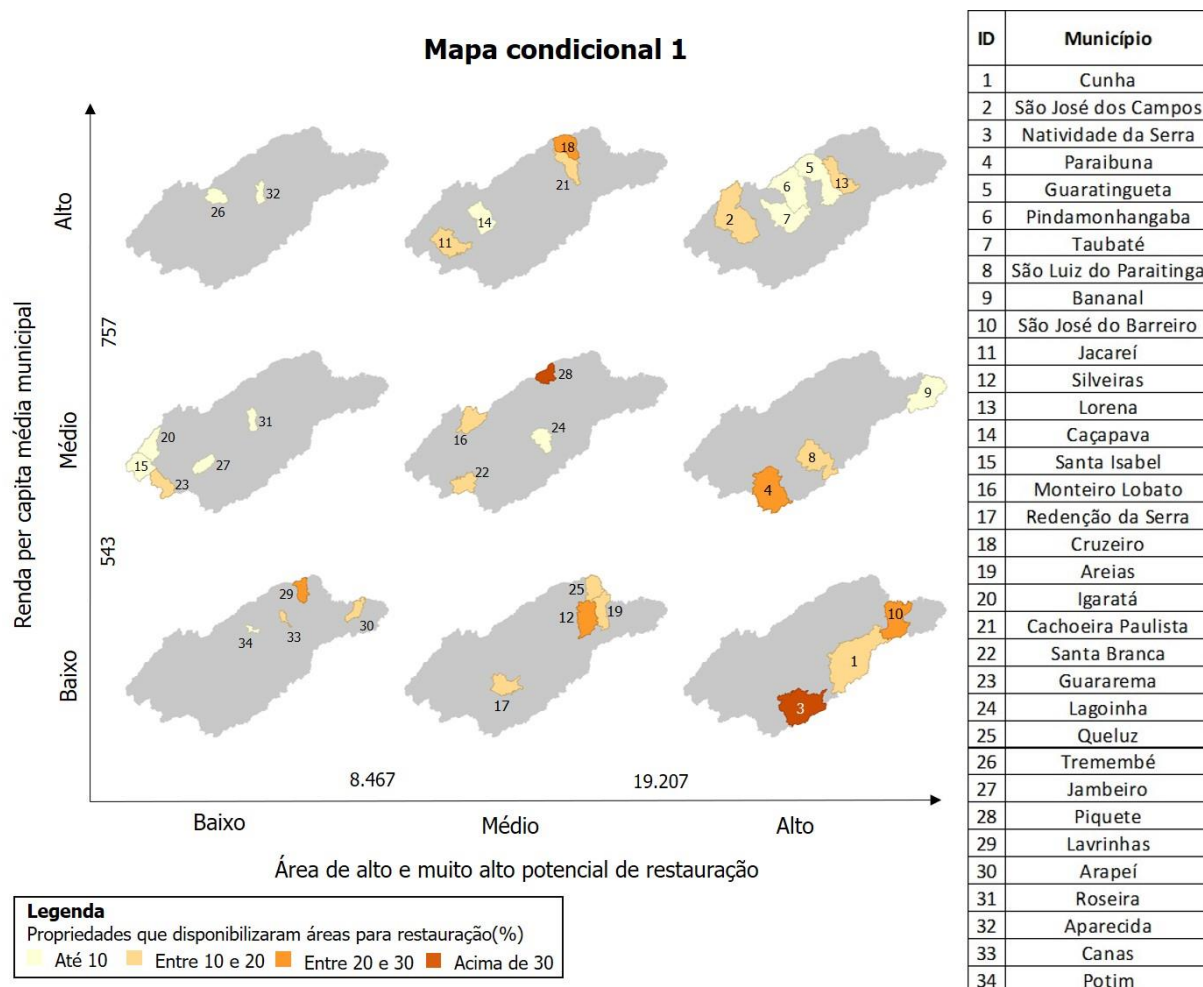
Figura 12 – Mapa representando a classificação dos municípios quanto à: A) área absoluta de potencial de restauração em cada município e; B) área relativa de potencial de restauração em cada município.



Fonte: elaborado pelo autor.

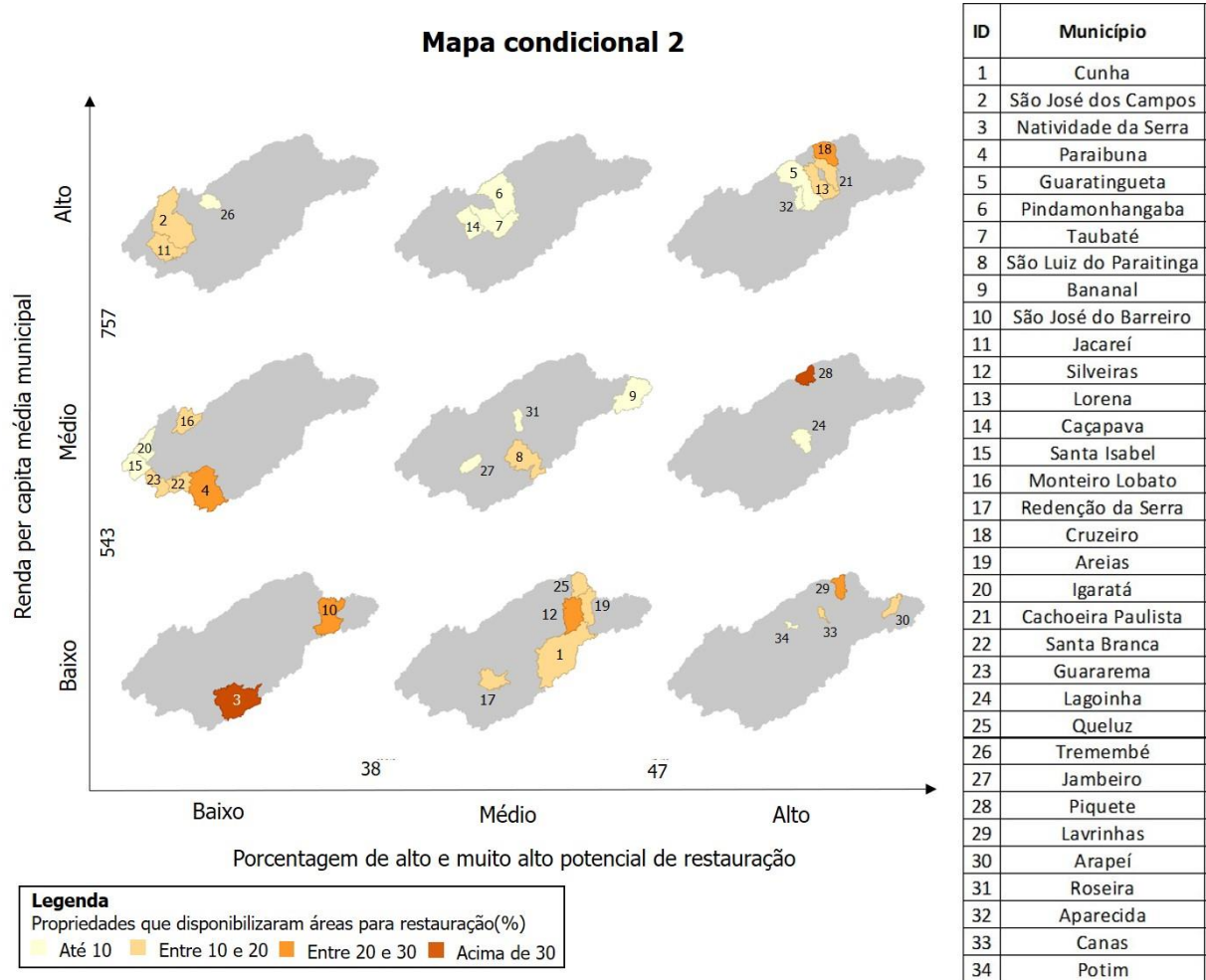
Levando em consideração as duas classificações apresentadas na Figura 12 foi possível relacioná-las com os dados de renda *per capita* média e a porcentagem de propriedades que disponibilizaram áreas para restauração no CAR por meio dos mapas condicionais, os quais são apresentados nas Figuras 13 e 14. Em ambos os mapas, a informação de renda foi categorizada em tercis. Já a disponibilidade de áreas para restauração foi classificada em faixas de 0 a 10%; 10 a 20%; 20 a 30%; e acima de 30%, devido a grandes diferenças destes valores entre os municípios que apresentam maiores porcentagens de propriedades cadastradas no CAR que disponibilizaram suas APPs para restauração (Natividade da Serra com 43% e Piquete com 35%) e os demais municípios (todos com menos de 30%).

Figura 13 – Mapa condicional evidenciando os municípios em classes referentes à renda per capita média, à área absoluta de potencial de restauração e à porcentagem de propriedades que disponibilizaram áreas para restauração no CAR.



Fonte: elaborado pelo autor.

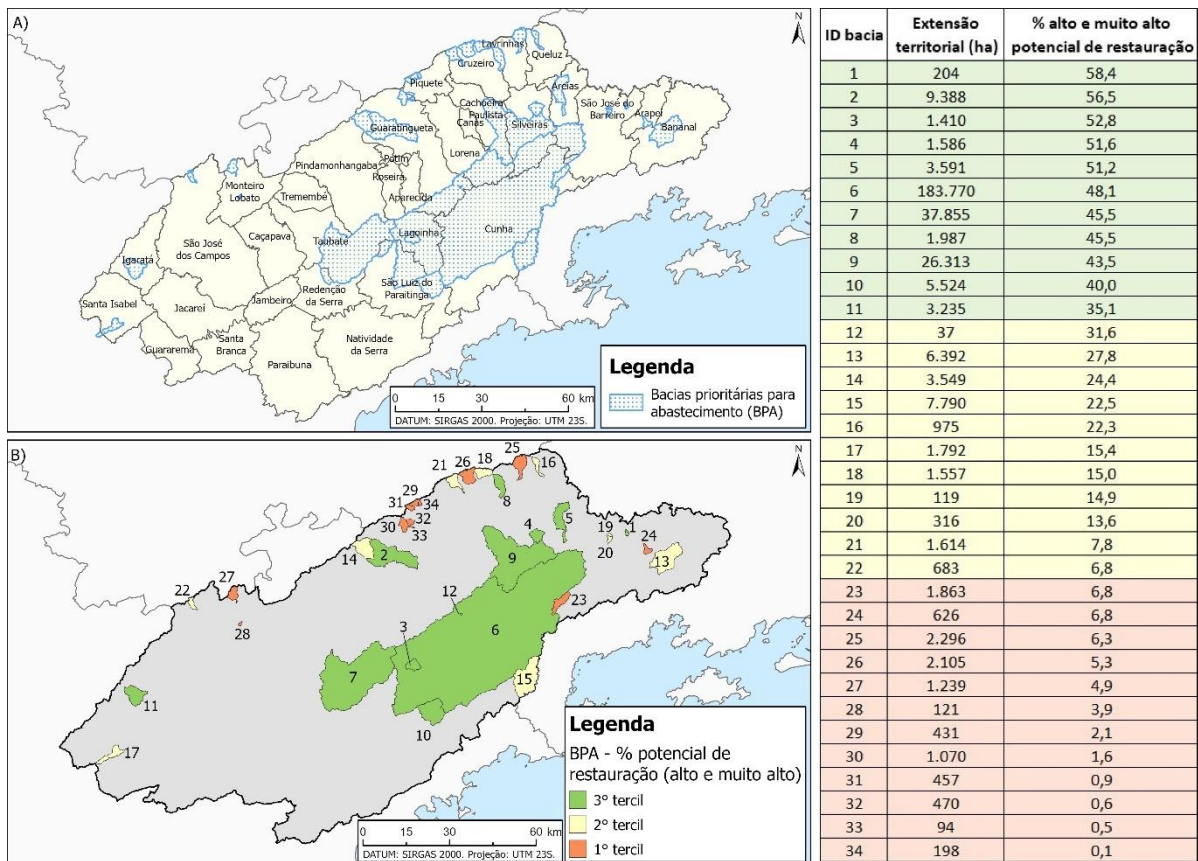
Figura 14 – Mapa condicional evidenciando os municípios em classes referentes à renda per capita média, à área relativa de potencial de restauração e à porcentagem de propriedades que disponibilizaram áreas para restauração no CAR.



Fonte: elaborado pelo autor.

Com o intuito de relacionar o mapa de potencial de restauração resultante com as bacias de abastecimento, o mapa da Figura 15 foi elaborado. Na Figura 15(a) são apresentadas as 34 bacias de abastecimento e os 34 municípios da UGRHI 02. Já na Figura 15(b) é possível ver as bacias enumeradas de forma decrescente de acordo a porcentagem de áreas classificadas como alto e muito alto potencial de restauração em relação a extensão territorial da bacia. Desta forma as bacias puderam ser classificadas em tercís, sendo o 3º tercís a classe que apresenta as bacias com maiores porcentagens. É importante ressaltar que as áreas de floresta foram retiradas na análise do potencial de restauração destas bacias para que fossem priorizadas as regiões desprovidas de qualquer cobertura vegetal, o que pode impactar diretamente na qualidade dos recursos hídricos da bacia.

Figura 15 – Mapa evidenciando: A) bacias prioritárias de abastecimento (BPA) e os municípios; e B) as bacias de abastecimento classificadas de acordo com a porcentagem de áreas de alto e muito alto potencial de restauração.



Fonte: elaborado pelo autor.

6 DISCUSSÕES

Referente aos métodos de análise multicritério utilizados, tanto o AHP quanto a Inferência Fuzzy puderam ser empregados para definir áreas potenciais de restauração ativa.

No método da Inferência Fuzzy pelo operador gama, a partir de uma análise visual, é possível perceber nas Figuras 4 a 6, que apresentam os resultados para os diferentes expoentes, e nas Figuras 7 a 11, que quanto maior o valor atribuído para ao expoente gama, maior foi a quantidade de áreas classificadas como muito alto potencial de restauração. O padrão inverso foi observado para as áreas com muito baixo potencial de restauração, ou seja, quanto menor valor para expoente gama, maiores foram as quantidades de áreas classificadas com muito baixo potencial. Este padrão é também constatado, quantitativamente, nas Tabelas 9 e 10, evidenciando o aumento da porcentagem das classes de alto e muito alto potencial conforme o valor do expoente gama aumenta.

Considerando que este trabalho é desenvolvido em uma escala regional, buscando auxiliar na definição de áreas potenciais para restauração, não é interessante priorizar poucas áreas, pois a restauração depende de diversos fatores locais e que não são abordados neste estudo. Levando em conta os objetivos do trabalho e, sabendo que de fato a restauração irá ocorrer em uma escala local (HOLL; BRANCALION, 2020), tem-se que o método de Inferência Fuzzy usando o expoente 0,6 foi o melhor dentre os diferentes valores utilizados. Com este valor, o resultado do mapa de potencial de restauração não foi tão restritivo a ponto de poucas áreas serem consideradas como mais alto potencial, mas também não foi tão abrangente a ponto de considerar muitas áreas como mais alto potencial.

Já em relação aos resultados gerados pelo método AHP, nota-se que tanto o AHP 1 quanto o AHP 2 apresentaram a mesma porcentagem de área classificada como alto e muito alto potencial em ambas as análises quantitativas feitas, sendo 41% nestas duas classes para toda a UGRHI 02 e 52% para as áreas de restauração da ACEVP (Tabelas 9 e 10). Contudo, a ponderação AHP 1 apresentou uma maior porcentagem de áreas classificadas como muito boas para restauração, seja para toda a UGRHI 02 ou para as áreas de restauração da ACEVP. Tal comportamento se explica pois o AHP 2 apresenta maior peso para as variáveis de hidrografia e declividade, fazendo com que haja uma maior variação dentro de uma mesma classe de Uso e Cobertura da Terra. Tal fato também pode ser observado por meio de uma análise visual nas regiões próximas aos cinco pontos das Figuras 7 a 11. Analisando especificamente a Figura 7, nota-se que na Figura 7(b) há uma predominância da classe Formação Florestal, classe essa que

teve um valor intermediário atribuído como subpeso (3) (Tabela 4). Tanto no AHP 1 quanto no AHP 2 há uma predominância da variável de Cobertura e Uso da Terra em relação as demais variáveis devido ao maior peso atribuído. Desta forma, a região ao redor do ponto está classificada predominantemente como classes de médio ou baixo potencial de restauração nas Figuras 7(c) e 7(d). Ainda, é possível observar nestas figuras que há a formação de alguns “corredores” de classe de médio potencial, gerados devido ao alto subpeso (5) atribuído a regiões de até 50 metros de distância às hidrografias na variável de distância euclidiana da Hidrografia. Com tais observações, considera-se que o AHP 2 foi melhor para o propósito do trabalho do que o AHP 1, pois apresentou uma maior variação dentro de uma mesma classe de Uso e Cobertura da Terra e refletiu melhor a interação entre as variáveis selecionadas, deixando claro que áreas íngremes ou próximas à corpos d’água devem ser priorizadas para restauração, principalmente, quando considera-se o Código Florestal Brasileiro.

Ao comparar os dois melhores resultados obtidos por AHP e a Inferência Fuzzy pelo operador gama, nota-se que a ponderação AHP 2 apresentou o maior percentual de áreas de restauração da ACEVP que foram classificadas como muito alto potencial de restauração, totalizando 52%, frente a 20% da Inferência Fuzzy com o expoente gama igual a 0,6. Desta forma, para que o dado de potencial de restauração gerado possa auxiliar no planejamento da dinâmica da restauração ativa e que este se aproxime mais de ações de restauração que já ocorrem na região, considerou-se que a ponderação AHP 2 apresentou melhor resultado.

Não apenas em relação as análises quantitativas, é possível diferenciar os métodos quanto a lógica de funcionamento. No método da Inferência Fuzzy as variáveis são agregadas sem haver distinção de peso entre elas. Isto fez com que áreas de maior potencial para restauração (neste caso, valores mais próximos a 1) ocorressem onde houvesse a sobreposição das classes mais propícias (maiores subpesos) para restauração em relação as três variáveis. Olhando para as variáveis escolhidas e os critérios adotados para definir o maior potencial de restauração, locais que fossem íngremes, próximos às hidrografias e classificados como pastagem, apresentariam os maiores valores e assim seriam considerados como maior potencial para restauração. Uma situação em que a aplicação deste método pode ser interessante é quando se deseja de fato determinar qual é a área mais importante para que a restauração ocorra segundo determinados critérios, objetivando a otimização de recursos e maximização de benefícios. Para o método AHP, a lógica de sobreposição de maiores pesos em um certo local também é válida. Contudo, como o método permite a diferenciação da relevância das variáveis para o objetivo principal, é possível que haja a predominância de uma variável sobre a outra, sendo que no

presente trabalho houve a predominância da variável Cobertura e Uso da Terra, já que é a variável que mostra quais são as diferentes classes que se relacionam na dinâmica da paisagem local.

Analisando este aspecto dos métodos em relação aos critérios selecionados, considerou-se que as regiões de APP deveriam apresentar uma maior relevância por serem áreas protegidas por lei. Sabe-se que uma área de APP hídrica, mesmo que com baixa declividade, ainda assim é uma APP segundo o Código Florestal Brasileiro. E isto é um fato recorrente, já que as áreas de APP hídrica em muitas situações apresentam menor declividade do que a região do seu entorno, pois a água tende a fluir de cotas mais elevadas para cotas mais baixas, ocorrendo o acúmulo de água onde há menor declividade. Estes fatos reafirmam que os resultados obtidos pela ponderação AHP 2 são melhores para obter um mapa de potencial de restauração que possa auxiliar no planejamento da dinâmica da restauração ativa e que este se aproxime mais de restaurações já implementadas na região.

Para entender como que as áreas de potencial de restauração obtidas por AHP 2 se comportam na região, foi gerado o mapa da Figura 12. Na Figura 12(a) fica claro que os municípios com maiores dimensões acabam apresentando maior quantidade de áreas classificadas como alto e muito alto potencial de restauração. Boa parte destes municípios se encontram na região sul da UGRHI 02, próximos a Serra do Mar. Já a Figura 12(b) apresenta um padrão diferente ao classificar os municípios quanto a área relativa de potencial de restauração. Nota-se que há uma grande variação quanto ao tamanho dos municípios classificados no 3º tercil, contudo, com a exceção do município de Arapeí, todos os outros municípios são vizinhos entre si, estando localizados mais próximos a Serra da Mantiqueira e na região central da UGRHI 02. Este cenário pode ter relação com o histórico de uso e ocupação do VPP, já que muitas dessas cidades apresentam um antigo processo de ocupação, passando pelos diversos ciclos vivenciados na região. Outro fator que estimulou a ocupação dessa região é que muito dos municípios se encontram às margens do Rio Paraíba do Sul e da Rodovia Presidente Dutra, facilitando o acesso à água e o desenvolvimento das atividades antrópicas, respectivamente (DEVIDE et al., 2014; PADOVESI et al., 2018).

A diferença observada entre as Figuras 12(a) e 12(b) é interessante, pois pode ajudar a direcionar políticas públicas entre os municípios que se assemelham. Com relação aos municípios que apresentam maiores quantidades de áreas relativas de potencial de restauração (Figura 12B), este é um cenário preocupante, uma vez que evidencia que boa parte dos municípios se encontra degradada, o que, além de prejudicar a qualidade de vida no local, pode

agravar também o cenário de risco de desastres (RENAUD; SUDMEIER-RIEUS; ESTRELLA, 2013). Contudo, este fato pode ser visto como uma oportunidade para que estes municípios busquem, de forma conjunta, maneiras para acelerar o processo de restauração dessas áreas. Por sua vez, caso o interesse seja trabalhar com grandes áreas de restauração em uma mesma região ou município, é possível direcionar esforços de restauração para os municípios ao longo da Serra do Mar, como pode ser visto na Figura 12A.

Os mapas condicionais apresentados nas Figuras 13 e 14 permitem interpretar os dados de potencial de restauração frente a renda média *per capita* do município e a disponibilidade de área para restauração. Analisar simultaneamente estes fatores é importante, pois a restauração de áreas degradadas em propriedades rurais, segundo o Código Florestal Brasileiro, é um passivo que deve ser arcado pelo proprietário rural (BRASIL, 2012). Assim, ao considerar o alto custo da restauração (BRANCALION et al., 2019b; DE GROOT et al., 2013), a renda média *per capita* pode ser um indicador de onde a restauração pode encontrar maior dificuldade para ocorrer. A disponibilidade de área para restauração em propriedades rurais também se faz relevante, pois os proprietários são importantes *stakeholders* de toda a cadeia da restauração, sendo necessário entender onde de fato há o interesse em restauração (METZGER et al., 2017; NUNES et al., 2017), de modo a facilitar o direcionamento de diferentes projetos e fontes de financiamento. Sabe-se que o dado obtido no CAR pode conter incertezas quanto a representar o interesse para restauração, mas pode ser visto como um indicativo de onde há a disponibilidade para restauração e também pode servir como apoio para conversas com proprietários rurais.

Analisando a Figura 13, percebe-se que os municípios de Cunha, Natividade da Serra e São José do Barreiro apresentam uma grande quantidade de área absoluta para restauração e baixa renda. Considerando o que foi mencionado anteriormente, se a restauração depender apenas do financiamento dos proprietários rurais, pode-se levar muito tempo para que atinja larga escala nestes municípios e ainda onerar os produtores rurais, ao invés de possibilitar a geração de renda (HOLL; BRANCALION, 2020). Contudo, Natividade da Serra é o município que apresenta a maior porcentagem de propriedades que disponibilizaram áreas para restauração, sendo este um fator interessante para projetos que financiem a restauração, podendo ser um facilitador para atingir restauração em larga escala. Já na Figura 14, nota-se que os municípios de Lavrinhas, Arapeí, Canas e Potim são aqueles que apresentam maiores porcentagens de potencial de restauração e valores baixos de renda *per capita* média, sendo Lavrinhas o município que apresenta uma maior porcentagem de propriedades que

disponibilizaram áreas para restauração. Apesar de não apresentarem grandes áreas de potencial de restauração quando comparado com os outros municípios da região, a elevada área relativa de potencial de restauração destes municípios pode ser relevante para que gestores públicos e outros atores regionais planejem as atividades dos municípios, não olhando para a restauração apenas como um cumprimento de passivo ambiental, mas também como uma boa oportunidade para geração de renda e emprego (STANTURF et al., 2015), já que estimativas apontam para a geração de 200 empregos diretos a cada 1.000 hectares restaurados (CROUZEILLES; RODRIGUES; STRASSBURG, 2019).

Quanto a análise das bacias de abastecimento, considerando o efeito positivo da cobertura florestal sobre a qualidade da água (MELO et al., 2020), optou-se por desconsiderar as regiões florestais para que fosse indicado aquelas regiões em que a restauração pode auxiliar na qualidade da água. Desta forma, é possível observar na Figura 15 que as maiores bacias de abastecimento apresentam um grande percentual de áreas com alto e muito alto potencial de restauração (3º tercil), representando aproximadamente 90% da extensão territorial de todas as bacias. Ainda em relação as bacias do 3º tercil, 10 das 11 bacias apresentam pelo menos 40% de sua área classificada como alto e muito alto potencial de restauração. Isto mostra que, para lidar com os problemas de abastecimento de água enfrentados na região, além dos investimentos já realizados em infraestrutura cinza (GALVÃO; BERMANN, 2015), é possível também investir na restauração florestal para que as florestas possam contribuir para a recarga das áreas subterrâneas, regulação dos fluxos dos rios, reduzindo erosão do solo e consequente deposição de material nos corpos hídricos (EBERHARDT et al., 2019). Ações de restauração já são implementadas em algumas regiões por meio de Soluções Baseadas na Natureza para lidar com problemas de erosão e regulação da vazão de corpos hídricos, a fim de melhorar a qualidade da água e também enfrentar os problemas causados por eventos climáticos extremos (COHEN-SCHACHAM et al., 2016).

As análises realizadas permitiram compreender a ampla aplicação do estudo para determinar áreas potenciais de restauração por meio de análise multicritério. É possível que o estudo seja utilizado como base para que tomadores de gestão possam orientar suas ações, visando não apenas a restauração em si, mas também os múltiplos benefícios que a atividade de restauração pode trazer. No tocante a redução de risco de desastres, a restauração florestal pode atenuar diversos fatores que contribuem para a criação do risco de desastre por meio da geração de renda, o aumento da resiliência e estabelecimento de um ambiente mais equilibrado e preparado para ameaças futuras (LIN, 2019; RENAUD; SUDMEIER-RIEUS; ESTRELLA,

2013) e até a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas (BUSTAMANTE et al., 2019).

7 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos e as análises realizadas é possível concluir que o método de análise multicritério por AHP apresentou melhores resultados para a definição de áreas potenciais de restauração ativa em comparação com o método de Inferência Fuzzy pelo expoente gama, considerando a escala da paisagem trabalhada e o objetivo do trabalho. Com relação às duas ponderações feitas pelo método AHP, a ponderação AHP 2 apresentou uma maior variação dentro de uma mesma classe de Uso e Cobertura da Terra e, assim, foi considerada como melhor do que a ponderação AHP 1.

Considerando os resultados gerados pelo método AHP 2, conclui-se que a região de estudo apresenta elevado potencial de restauração, com aproximadamente 40% de toda sua extensão classificada como alto ou muito alto potencial de restauração ativa.

A metodologia apresentada pode ser empregada em outras regiões, de mesmas ou diferentes extensões territoriais. Considerando que diferentes regiões podem apresentar características distintas, também é possível o emprego de outras variáveis.

É importante considerar que o trabalho não teve o intuito de explorar todas as possíveis aplicações do mapeamento das áreas potenciais de restauração obtido, mas foi capaz de mostrar como este dado pode ser utilizado para subsidiar tomadas de decisões. Considerando o caráter transdisciplinar da restauração, recomenda-se fortemente que futuros trabalhos sejam realizados interpretando o dado gerado em sinergia com outras variáveis sociais, econômicas e ambientais que reflitam a realidade local, buscando a maximização dos benefícios da restauração na dinâmica da paisagem.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO PRÓ-GESTÃO DAS ÁGUAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL (AGEVAP). **Plano integrado de recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Paraíba Do Sul e planos de ação de recursos hídricos das bacias afluentes relatório de diagnóstico: Tomo I**. Resende, p. 1-226, 2014.
- ALMEIDA, D. S. DE. **Recuperação Ambiental da Mata Atlântica**. 3 ed. Ilhéus: Editus - Editora da Universidade Estadual de Santa Catarina, 2016.
- ALVES-PINTO, H. N. et al. Reconciling rural development and ecological restoration: Strategies and policy recommendations for the Brazilian Atlantic Forest. **Land Use Policy**, v. 60, p. 419–426, 2017.
- ANSELIN, L.; SYABRI, I.; KHO, Y. GeoDa: An introduction to spatial data analysis. **Geographical Analysis**, v. 38, n. 1, p. 5–22, 2006.
- ARAUJO, O.; CHAVES, J. M.; JESUS, W. DE. Proposta metodológica para modelagem espacial da suscptibilidade à degradação ambiental por inferência fuzzy aplicada ao médio Jacuípe-BA. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 65, p. 1025–1043, 2013.
- BRANCALION, P. H. S. et al. Global restoration opportunities in tropical rainforest landscapes. **Science Advances**, v. 5, n. 7, p. 1–12, 2019a.
- BRANCALION, P. H. S. et al. What makes ecosystem restoration expensive? A systematic cost assessment of projects in Brazil. **Biological Conservation**, v. 240, n. February, p. 108274, 2019b.
- BRANCALION, P. H. S.; GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. R. **Restauração Florestal**. 1 ed. São Paulo: Oficina de textos, 2015.
- BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 5 de outubro de 1988. Diário Oficial da União, Seção 1, Brasília, DF.
- BRASIL. Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Diário Oficial da União, Brasília, DF.
- BRASIL. Intended Nationally Determined Contribution: Towards achieving the objective of the United Nations Framework Convention on Climate Change. Brasília, DF, v. 9, p. 6, 2015.
- BUSTAMANTE, M. M. C. et al. Ecological restoration as a strategy for mitigating and adapting to climate change: lessons and challenges from Brazil. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 24, n. 7, p. 1249–1270, 2019.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação** São José dos Campos, 2001.

CAMARINHA, P. I. M. et al. Proposta metodológica para a definição de corredor ecológico com base em modelagem cartográfica – a bacia do rio Paraíba do Sul, porção paulista. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 1989–1996, 2011.

CARVER, S. J. Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems. **International journal of geographical information systems**, v. 5, n. June 2012, p. 321–339, 1991.

COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO RIO PARAÍBA DO SUL (CBH-PS). **REVISÃO E ATUALIZAÇÃO DO PLANO DE BACIAS DA UGRHI 02**. São Paulo, p. 1-155, 2016.

COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DA SERRA DA MANTIQUEIRA (CBH-SM). **Comitê das bacias Hidrográficas da Serra da Mantiqueira**. Campos do Jordão, p. 1-18, 2016.

CINELLI, M.; COLES, S. R.; KIRWAN, K. Analysis of the potentials of multi criteria decision analysis methods to conduct sustainability assessment. **Ecological Indicators**, v. 46, p. 138–148, 2014.

COHEN-SCHACHAM, E. et al. **Nature-based solutions to address global societal challenges**. Gland, Suíça, p. 1-97, 2016.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução N° 429, de 28 de fevereiro de 2011.

CROUZEILLES, R.; RODRIGUES, R. R.; STRASSBURG, B. B. N. **Relatório Temático sobre Restauração de Paisagens e Ecossistemas**. São Carlos, Editora Cubo, 2019.

DA SILVA, A. C. **Identificação das áreas de vulnerabilidade socioambiental mediante lógica fuzzy - estudo no município de Ponta Grossa, PR**. Ponta Grossa, Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2013.

DA SILVA, L. P. **Hidrologia - Engenharia e Meio Ambiente**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2015.

DE BRITO, M. M.; EVERS, M. Multi-criteria decision-making for flood risk management: A survey of the current state of the art. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 16, n. 4, p. 1019–1033, 2016.

DE GROOT, R. S. et al. Benefits of Investing in Ecosystem Restoration. **Conservation Biology**, v. 27, n. 6, p. 1286–1293, 2013.

DEAN, W. **A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira**. 1. ed. São Paulo: Companhia das Letras, 1996.

DENT, B. D.; TORGUSON, J. S.; HODLER, T. W. **Cartography: Thematic Map Design**. 6. ed. Nova Iorque, McGraw-Hill Higher Education, 2008.

DEVIDE, A. C. P. et al. História Ambiental do Vale do Paraíba Paulista , Brasil. **Revista Biociências**, v. 2014, p. 12–29, 2014.

EBERHARDT, U. et al. **Advancing the forest and water nexus: A capacity development facilitation guide** **Advancing the forest and water nexus: A capacity development facilitation guide**. Roma, p. 1-129, 2019, FAO.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Global Forest Resources Assessment 2020**. Roma, p. 1-12, 2020.

FARIA, D. G. M. **Mapeamentos de perigo de escorregamento em áreas urbanas precárias brasileiras com a incorporação do Processo de Análise Hierárquica (AHP)**. São Carlos, Universidade de São Paulo, 2011.

FILOSO, S. et al. Impacts of forest restoration on water yield : A systematic review. **Plos One**, v. 12, n. 8, p. 1–26, 2017.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA E INPE. **ATLAS DOS REMANESCENTES FLORESTAIS DA MATA ATLÂNTICA PERÍODO 2018-2019**. São Paulo, p. 1-61, 2020.

GALVÃO, J.; BERMANN, C. Crise hídrica e energia: Conflitos no uso múltiplo das águas. **Estudos Avancados**, v. 29, n. 84, p. 43–68, 2015.

GONÇALVES, B. V. Percepção ambiental de produtores rurais na recuperação florestal da sub-bacia hidrográfica do rio Poxim – Sergipe. **Desenvolvimento e meio ambiente**, v. 29, p. 127–138, 2014.

HAJKOWICZ, S.; COLLINS, K. A review of multiple criteria analysis for water resource planning and management. **Water Resources Management**, v. 21, n. 9, p. 1553–1566, 2007.

HIGGS, E. S. What is Good Ecological Restoration? **Conservation Biology**, v. 11, n. 2, p. 338–348, 1997.

HOLL, K. D.; BRANCALION, P. H. S. Tree planting is not a simple solution. **Science**, v. 368, n. 6491, p. 580–581, 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico Brasileiro de 2010**. Rio de Janeiro, 2010.

IF, **Inventário florestal do estado de São Paulo: mapeamento da cobertura vegetal nativa 2020**. São Paulo, 2020.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change and Land**. Genebra, p 1-1542, 2019.

JUNIOR, G. DE F.; MARSON, A. A. Estudo comparado de biogeografia fisionômica - caracterização da vegetação do Vale do Paraíba paulista nos anos de 1817 e 2007. **Anais I Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul**, v. 53, n. 9, p. 107–114, 2007.

JUNQUEIRA, A. M. et al. Landslide susceptibility mapping for transmission lines: dynamic monitoring, analysis and alerts for extreme natural events. **Environmental Earth Sciences**, v. 79, n. 1, p. 1–18, 2020.

KÖPPEN, W. **Climatologia: Con un Estudio de los Climats de la Tierra**. Cidade do México: Fundo de Cultura Econômica, 1948.

KOSHIBA, L. P.; PEREIRA, D. M. F. **História do Brasil**. São Paulo: Atual Editora, 1979.

LIN, P. S. Building resilience through ecosystem restoration and community participation: Post-disaster recovery in coastal island communities. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 39, p. 101249, 2019.

LOPES, T. R. et al. Priority areas for forest restoration aiming at the maintenance of water resources in a basin in the Cerrado/Amazon ecotone, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 101, n. April, p. 102630, 2020.

MAFRA, R. C. et al. Validação de mapa de vulnerabilidade a erosão por aprendizagem de máquina. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, p. 1275–1291, 2020.

MALCZEWSKI, J. **Gis and Multicriteria Decision Analysis**. 1. ed. New York: Ed. John Wiley & Sons., 1999.

MARINS, C. S.; SOUZA, D. DE O.; BARROS, M. DA S. O uso do método de Análise Hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais - um estudo de caso. **Anais do XLI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, p. 11, 2009.

MARTINS, V. B. **Metodologia baseada em sistemas de informação geográfica e análise multicritério para a seleção de áreas para a construção de um repositório para o combustível nuclear usado**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2009.

MELO, F. P. L. et al. Adding forests to the water – energy – food nexus. **Nature Sustainability**, v. 1, 2020.

MENZ, M. H. M.; DIXON, K. W.; HOBBS, R. J. Hurdles and opportunities for landscape-scale restoration. **Science**, v. 339, n. 6119, p. 526–527, 2013.

METZGER, J. P. et al. Best practice for the use of scenarios for restoration planning. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 29, p. 14–25, 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Fragmentação de Ecossistemas: Causas, Efeitos sobre a Biodiversidade e Recomendações de Políticas Públicas**. Brasília: p. 1-509, 2003.

MITTERMEIER, R. A.; RYLANDS, A. B. **Biodiversity hotspots**. Arlington: Elsevier Inc., 2018. v. 1–5

MORANDI, D. T. et al. Delimitation of ecological corridors between conservation units in the Brazilian Cerrado using a GIS and AHP approach. **Ecological Indicators**, v. 115, n. April, p. 106440, 2020.

MUCHAILH, M. C. et al. Metodologia de planejamento de paisagens fragmentadas visando a formação de corredores ecológicos. **Floresta**, v. 40, n. 1, p. 147–162, 2010.

MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Biodiversity and conservation**, v. 16, n. 4, p. 853–858, 2000.

NUNES, F. S. M. et al. Enabling large-scale forest restoration in Minas Gerais state, Brazil. **Environmental Research Letters**, v. 12, n. 4, 2017.

OIKOS. **Projeto PSA Água Vale do Paraíba: “Programa de Pagamento por Serviços Ambientais para os Mananciais de Abastecimento Público do Trecho Paulista da Bacia do Paraíba do Sul”**. Lorena: v.1, p 1-144, 2015.

OLIVEIRA, F. B. DE et al. Aplicação de geoprocessamento e lógica fuzzy para criação de zoneamento no parque estadual da Cachoeira da Fumaça/ES para fins de conservação. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 66, p. 545–554, 2014.

PADOVESI, A. et al. **Oportunidades para restauração de paisagens e florestas na porção paulista do Vale do Paraíba: Plano de Desenvolvimento Florestal Territorial para a porção paulista do Vale do Paraíba**. 1a edição ed. Porto Alegre: Ideo Graf, 2018.

PEDRR. **Demonstrating the Role of Ecosystems-based Management for Disaster Risk Reduction**. p 1-64, 2010.

PIERIK, M. E. et al. Designing ecological corridors in a fragmented landscape: A fuzzy approach to circuit connectivity analysis. **Ecological Indicators**, v. 67, p. 807–820, 2016.

PRIMACK, R. B.; RODRIGUES, E. **Biologia da Conservação**. Londrina: Planta, 2001.

PROJETO MAPBIOMAS. **Projeto MapBiomias**. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 19 dez. 2020.

RENAUD, F. G.; SUDMEIER-RIEUS, K.; ESTRELLA, M. **The Role of Ecosystems in Disaster Risk Reduction**. Tóquio: United Nations University Press, 2013. v. 13

RODRIGUES, R. R. et al. **Pacto pela Restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**. São Paulo: p. 1-246, 2009.

SAATY, R. W. The analytic hierarchy process-what it is and how it is used. **Mathematical Modelling**, v. 9, n. 3–5, p. 161–176, 1987.

SAATY, T. L. A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 281, p. 234–281, 1977.

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

SANTOS, J. S. et al. Delimitation of ecological corridors in the Brazilian Atlantic Forest. **Ecological Indicators**, v. 88, n. July 2017, p. 414–424, 2018.

SÃO PAULO. Lei complementar nº 1.166, de 09 de Janeiro de 2012. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, São Paulo, v. 122, n. 6, p. 1, 2012.

SÃO PAULO, G. DO E. Lei Nº 16.337, de 14 de dezembro de 2016. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, São Paulo, v. 126, n. 234, p. 1, 2016.

SCARANO, F. R.; CEOTTO, P. Brazilian Atlantic forest: impact, vulnerability, and adaptation to climate change. **Biodiversity and Conservation**, v. 24, n. 9, p. 2319–2331, 2015.

SCHEIDEL, A.; WORK, C. Forest plantations and climate change discourses: New powers of ‘green’ grabbing in Cambodia. **Land Use Policy**, v. 77, n. April, p. 9–18, 2018.

SEMA. **Guia Técnico para a recuperação de vegetação em imóveis rurais no estado da Bahia**, Salvador, Secretaria do Meio Ambiente (SEMA), p. 1-82, 2017.

SER. **What is Ecological Restoration?** Disponível em: <https://www.ser-rrc.org/what-is-ecological-restoration/>. Acesso em: 25 dez. 2020.

SILVA, T. C. M. **Análise da Paisagem e identificação de Áreas Prioritárias para Restauração Florestal na Bacia do rio Arauaí, Moju, Pará**. Belém, Universidade Federal Rural da Amazônia, 2018.

SKIDMORE, A. K. et al. Comment on “The global tree restoration potential”. **Science**, v. 366, n. 6469, p. 1–5, 2019.

SPIGOLON, L. M. G. et al. Seleção de áreas adequadas para a instalação de aterro sanitário utilizando SIG e análise multicritério - estudo de caso: UGRHI 5 (Piracicaba/Capivari/Jundiaí).

Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, v. 5, n. 2010, p. 1983–1990, 2015.

STANTURF, J. A. et al. **Forest Landscape Restoration as a Key Component of Climate Change Mitigation and Adaptation**. 1 ed. Viena: International Union of Forest Research Organizations (IUFRO), v. 34, 2015.

STRASSBURG, B. B. N. et al. Global priority areas for ecosystem restoration. **Nature**, v. 586, n. 7831, p. 724–729, 2020.

TABARELLI, M. et al. Desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade na Mata Atlântica brasileira. **Oecologia Brasiliensis**, v. 13, n. 3, p. 518–535, 2005.

TNC. **Manual de Restauração Florestal: Um Instrumento de Apoio à Adequação Ambiental de Propriedades Rurais do Pará**. Belém, p. 1-129, 2013.

UN ENVIRONMENT PROGRAMME. **Ecosystem restoration 2021-2030**. Disponível em: <https://www.decadeonrestoration.org/about-un-decade>. Acesso em: 20 dez. 2020.

VETORRAZZI, C. A. **Avaliação multicritérios, em ambiente SIG, na definição de áreas prioritárias à restauração florestal visando a conservação de recursos hídricos**. Piracicaba: Universidade de São Paulo (USP), 2006.

VICTOR, M. A. M. et al. **Cem anos de devastação: revisitada 30 anos depois**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

VOOGD, J. H. **Multicriteria evaluation for urban and regional planning**. 1 ed. Londres: Delftsche Uitgevers Maatschappij, 1982.

YAGER, R. R.; ZADEH, L. A. **An introduction to fuzzy logic applications in intelligent systems**. 1 ed. New York: Springer Science + Business Media, 1992.

ZADEH, L. A. Fuzzy Sets. **Information and control**, v. 8, p. 338–353, 1965.

APÊNDICE A – Potencial de restauração ativa por AHP 2 para cada município da UGRHI 02.

Município	Classe do Potencial de Restauração - AHP 2												Extensão territorial
	Muito baixo		Baixo		Médio		Alto		Muito Alto		Alto e Muito Alto		
	Área	%	Área	%	Área	%	Área	%	Área	%	Área	%	
Aparecida	504	4,2	996	8,2	3.831	31,7	2.239	18,5	3.614	29,9	5.853	48,4	12.098
Arapeí	120	0,8	1.403	8,9	6.304	40,2	3.300	21	4.448	28,4	7.748	49,4	15.679
Areias	812	2,7	2.174	7,1	10.678	35	4.908	16,1	9.018	29,6	13.926	45,7	30.499
Bananal	239	0,4	6.574	10,7	29.511	47,9	9.762	15,8	14.879	24,2	24.642	40	61.601
Caçapava	4.288	11,6	3.977	10,8	8.450	22,9	6.714	18,2	9.576	26	16.290	44,2	36.874
Cachoeira Paulista	855	3	1.944	6,8	6.584	22,9	6.505	22,6	12.021	41,8	18.526	64,4	28.776
Canas	689	13	426	8	798	15	1.498	28,1	1.739	32,7	3.237	60,8	5.322
Cruzeiro	558	1,8	1.734	5,7	10.098	33,1	6.965	22,8	9.674	31,7	16.640	54,5	30.545
Cunha	3.260	2,3	15.114	10,7	55.694	39,6	21.482	15,3	43.841	31,2	65.323	46,5	140.613
Guararema	2.283	8,4	4.348	16,1	12.771	47,2	1.933	7,1	4.109	15,2	6.042	22,3	27.068
Guaratingueta	3.844	5,1	6.889	9,2	24.088	32	15.840	21,1	21.111	28,1	36.951	49,1	75.205
Igaratá	1.468	5	4.076	13,9	14.060	48	2.880	9,8	5.087	17,4	7.967	27,2	29.282
Jacareí	1.342	2,9	5.562	12	15.239	32,8	5.631	12,1	10.200	22	15.831	34,1	46.402
Jambeiro	1.780	9,7	1.987	10,8	5.996	32,5	2.045	11,1	5.941	32,2	7.986	43,3	18.429
Lagoinha	990	3,9	2.187	8,6	8.583	33,6	3.731	14,6	9.969	39,1	13.700	53,7	25.527
Lavrinhas	510	3,1	1.352	8,1	5.944	35,6	3.832	23	4.601	27,6	8.433	50,5	16.693
Lorena	2.186	5,3	3.652	8,8	11.759	28,4	8.632	20,9	13.263	32	21.895	52,9	41.383
Monteiro Lobato	944	2,8	3.986	12	17.887	53,8	5.467	16,4	4.843	14,6	10.310	31	33.253
Natividade da Serra	4.202	5	12.848	15,4	34.500	41,4	10.323	12,4	14.000	16,8	24.323	29,2	83.274
Paraibuna	6.538	8,1	11.774	14,6	21.652	26,8	8.343	10,3	15.138	18,7	23.481	29	80.902
Pindamonhangaba	4.096	5,6	8.281	11,3	22.566	30,9	16.142	22,1	16.766	23	32.907	45,1	72.967
Piquete	173	1	1.417	8,1	7.080	40,3	3.926	22,3	4.576	26	8.502	48,3	17.586
Potim	374	8,4	313	7,1	373	8,4	1.211	27,2	1.885	42,4	3.096	69,7	4.443
Queluz	816	3,3	3.027	12,1	10.200	40,9	4.662	18,7	5.262	21,1	9.924	39,8	24.920
Redenção da Serra	2.787	9	4.053	13,1	10.009	32,4	5.036	16,3	7.889	25,5	12.926	41,8	30.922
Roseira	1.233	9,4	2.069	15,8	3.970	30,4	2.523	19,3	2.668	20,4	5.191	39,8	13.055
São José do Barreiro	103	0,2	5.469	9,6	29.951	52,5	10.322	18,1	9.566	16,8	19.888	34,9	57.025
São José dos Campos	3.819	3,5	12.580	11,4	40.184	36,6	17.040	15,5	19.833	18	36.873	33,6	109.878
São Luiz do Paraitinga	4.181	6,8	7.476	12,1	24.479	39,7	7.411	12	17.858	29	25.269	41	61.683
Santa Branca	3.806	14	4.600	16,9	8.928	32,8	2.380	8,7	6.528	24	8.908	32,7	27.207
Santa Isabel	1.030	2,8	6.198	17,1	19.724	54,3	2.883	7,9	4.995	13,8	7.878	21,7	36.319
Silveiras	1.521	3,7	4.215	10,2	17.021	41,1	6.826	16,5	11.178	27	18.004	43,4	41.445
Taubaté	3.832	6,1	6.301	10,1	16.041	25,7	12.117	19,4	15.740	25,2	27.857	44,6	62.455
Tremembé	2.011	10,5	2.779	14,6	5.513	28,9	2.507	13,1	4.533	23,7	7.040	36,9	19.096