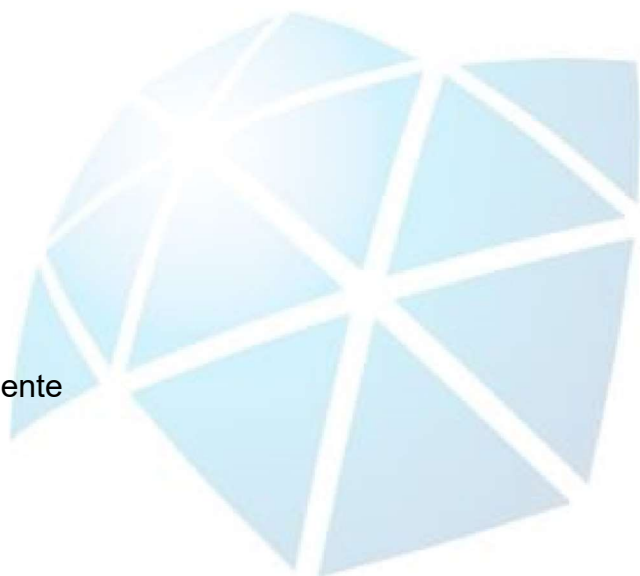




NICOLE DE ALMEIDA FREITAS
OTÁVIO MARTINS COLOMBINO

**DEFINIÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA RESTAURAÇÃO
ECOLÓGICA E CONSERVAÇÃO DO SOLO POR MEIO DE
AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIOS, NO MANANCIAL DO ALTO CURSO
DO RIO DO PEIXE**

Presidente Prudente
2020



NICOLE DE ALMEIDA FREITAS
OTÁVIO MARTINS COLOMBINO

**DEFINIÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA RESTAURAÇÃO
ECOLÓGICA E CONSERVAÇÃO DO SOLO POR MEIO DE AVALIAÇÃO
MULTICRITÉRIOS, NO MANANCIAL DO ALTO CURSO DO RIO DO PEIXE**

Trabalho de graduação apresentado à
Faculdade de Ciências e Tecnologia da
UNESP – Campus de Presidente Prudente
como parte dos requisitos para conclusão
do curso de graduação em Engenharia
Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Fernanda Sayuri
Yoshino Watanabe

Presidente Prudente
2020



Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação - Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação - UNESP, Campus de Presidente Prudente

F937d Freitas, Nicole de Almeida.
Definição de áreas prioritárias para restauração ecológica e conservação do solo por meio de avaliação multicritérios, no manancial do alto curso do rio do Peixe / Nicole de Almeida Freitas, Otávio Martins Colombino. - 2020
92 f. : il.

Orientadora: Fernanda Sayuri Yoshino Watanabe
Trabalho de conclusão (bacharelado - Engenharia Ambiental) -
Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia,
Presidente Prudente, 2020
Inclui bibliografia

1. Restauração ecológica. 2. Conservação do solo. 3. Avaliação multicritérios. 4. Sistemas de informação geográfica. 5. Rio do Peixe. I. Colombino, Otávio Martins. II. Watanabe, Fernanda Sayuri Yoshino. III. Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente. IV. Título.

Alessandra Kuba Oshiro Assunção
CRB-8/9013

TERMO DE APROVAÇÃO

Nicole de Almeida Freitas

Otávio Martins Colombino

"DEFINIÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA E CONSERVAÇÃO DO SOLO POR MEIO DE AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIOS, NO MANANCIAL DO ALTO CURSO DO RIO DO PEIXE"

Trabalho de graduação aprovado como um dos requisitos parciais para a obtenção do título de Engenheiro Ambiental da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – Faculdade de Ciências e Tecnologia, *campus* de Presidente Prudente – SP, pela seguinte banca examinadora:

A handwritten signature in dark ink, reading "Fernanda Sayuri Yoshino Watanabe", is positioned above a horizontal line.

Prof^{fa}. Dr^a. Fernanda Sayuri Yoshino Watanabe (Orientadora)

VIDEOCONFERÊNCIA

Prof. Dr. Antônio Cezar Leal

VIDEOCONFERÊNCIA

Prof. Dr. Nilton Nobuhiro Imai

Presidente Prudente, 11 de janeiro de 2021.

AGRADECIMENTOS

À minha família, por terem sido fonte de apoio e motivação em minha vida; em especial minha mãe, Leuza, por sempre me apoiar e aconselhar minhas decisões. Essa vitória também é de vocês.

Ao Otávio Martins Colombino, meu parceiro de TG e parceiro de vida. Obrigada pela paciência, compreensão, carinho e amor oferecidos não somente na realização desse trabalho, mas também durante toda a graduação. Com certeza essa fase da minha vida foi muito mais alegre e divertida por sua causa. Obrigada por sempre acreditar em mim e estar presente em todos os momentos.

À Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – UNESP, por ter aberto tantas portas e oportunidades durante todos esses anos de graduação, além de oferecer conhecimento científico de excelência. Gostaria de agradecer também às instituições que encontrei na universidade, como a empresa júnior GeoAmbiental Jr., a Liga das Empresas Juniores de Presidente Prudente e o grupo de pesquisa GADIS, por me promoverem tanto desenvolvimento pessoal quanto profissional.

À nossa orientadora, Fernanda Sayuri Yoshino Watanabe, por sua dedicada orientação. Obrigada por todo o conhecimento compartilhado, pelo tempo despendido para nos orientar, por sempre estar disponível e pela paciência durante esse ano de orientação.

Aos meus amigos e colegas de classe, em especial a Victória Maria de Araújo Barboza e Anna Carolina Samagaio. Obrigada por estarem presentes, pelas risadas e pelos conselhos. A companhia de vocês fez toda a diferença para mim.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, em especial ao Matheus Naoto Archangelo Okado, que nos inspirou na escolha do tema do nosso TG e sempre esteve disponível para compartilhar seus conhecimentos, principalmente com os softwares de GIS.

Por fim, gostaria de agradecer a todos que acreditaram em mim e que desejam o meu sucesso. O meu muito obrigada a vocês!

Nicole de Almeida Freitas

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Adriano e Nara, e ao meu irmão, Heitor, por todo o apoio e incentivo à minha formação, pelos ensinamentos e valores transmitidos, pela ajuda nos momentos difíceis, e pela compreensão nos momentos em que eu fiquei afastado de seu convívio.

À Nicole de Almeida Freitas, minha namorada e dupla de TG, por toda a paciência, compreensão, amor e dedicação; e por me ajudar muitas vezes a encontrar soluções quando elas pareciam não aparecer. Obrigado por acreditar em mim.

À nossa orientadora, Fernanda Sayuri Yoshino Watanabe, por compartilhar sua sabedoria, seu tempo e sua experiência. Obrigado por esclarecer nossas dúvidas, e ser tão compreensiva e paciente.

Às minhas melhores amigas, Fernanda Carvalho Guedes e Fernanda Yoshie Nishi de Castro, pela amizade verdadeira e leal. Mesmo com a distância, vocês sempre estiveram presentes e me ajudaram durante a graduação, com gestos de carinho ou palavras de apoio, força e incentivo.

À empresa júnior GeoAmbiental Jr., pelo amadurecimento pessoal, pela capacitação profissional e pelas amizades.

À Liga das Empresas Juniores de Presidente Prudente, que provocou uma revolução na minha vida e me transformou como pessoa, especialmente a gestão 2016–17. Muito obrigado Fer, Kumi, Poli, Alvox, Marcelo, Neto e Panda. Vocês foram uma verdadeira família para mim, e eu nunca esquecerei todos os momentos que passamos juntos.

Ao Matheus Naoto Archangelo Okado, pela amizade desenvolvida na reta final da graduação, pelas idas ao Fagulha Fire, e por toda a disposição em nos ajudar com o ArcGIS e com outros aspectos deste trabalho.

Aos membros da banca examinadora, pelo tempo despendido tendo em vista o enriquecimento deste trabalho.

A todos os docentes e servidores da FCT/UNESP, que, de forma direta ou indireta, contribuíram para que eu tivesse uma excelente experiência acadêmica.

A todas as pessoas que de alguma forma acreditaram e torceram pelo meu sucesso, o meu muito obrigado!

Otávio Martins Colombino

RESUMO

Este trabalho buscou caracterizar a bacia hidrográfica do manancial do Alto Curso do Rio do Peixe e definir áreas prioritárias para restauração ecológica e conservação do solo neste manancial. A bacia hidrográfica do Alto Curso do Rio do Peixe localiza-se no extremo leste da bacia hidrográfica do Rio do Peixe, fazendo parte da UGRHI-21. A área ocupada pelo manancial conta com apenas 32% de suas APPs com cobertura vegetal nativa, o que tem ocasionado o assoreamento dos córregos e rios que compõem a bacia hidrográfica do Alto Curso do Rio do Peixe. A partir da escassez crônica de recursos financeiros, aliada à dificuldade em executar projetos de restauração ecológica e conservação do solo, fez-se necessário o exercício da priorização, de modo a direcionar recursos humanos e financeiros de maneira mais eficiente para áreas que venham a causar maior impacto ambiental no manancial. Para tal priorização, empregou-se a avaliação multicritérios, em ambiente SIG, com o Método da Soma Ponderada para combinação dos critérios (características da paisagem) importantes ao objetivo do trabalho. Os critérios selecionados foram: APPs; declividade; pedologia; propriedades rurais; e uso e cobertura do solo. Para viabilizar o processo decisório, foram utilizadas duas metodologias distintas: AHP (Analytic Hierarchy Process) e Lógica Fuzzy. Num primeiro momento, utilizou-se o método AHP para definir o grau de significância de cada um dos temas, ou seja, o quanto cada tema influencia no processo de tomada de decisão. Uma vez concluída esta etapa, cada tema foi analisado individualmente e as classes de cada tema receberam pesos através das duas metodologias (AHP e Lógica Fuzzy). Com as significâncias e pesos, os dados foram tabulados e processados para gerar os mapas de áreas prioritárias para restauração ecológica e conservação do solo na bacia hidrográfica do manancial do Alto Curso do Rio do Peixe. Concluiu-se que os atributos selecionados foram satisfatórios para a produção dos mapas de áreas prioritárias e que ambas as metodologias utilizadas forneceram ferramentas adequadas para a priorização de áreas, porém a Lógica Fuzzy mostrou-se mais efetiva.

Palavras-chave: restauração ecológica; conservação do solo; avaliação multicritérios; sistemas de informação geográfica; Rio do Peixe.

ABSTRACT

This work aimed to characterize the watershed of the wellspring of the Upper Course of the Peixe River and to define priority areas for ecological restoration and soil conservation in this wellspring. The Upper Course of the Peixe River basin is located in the eastern end of the Peixe River basin, being part of Water Resources Management Unit #21 (WRMU-21). The area occupied by the wellspring only has 32% of its Permanent Preservation Areas (PPAs) covered with native vegetation, which has caused the silting of streams and rivers that make up the Upper Course of the Peixe River basin. Because of the chronic scarcity of financial resources, combined with the difficulty in executing ecological restoration and soil conservation projects, the exercise of prioritization becomes necessary, in order to direct human and financial resources more efficiently to areas that may cause greater environmental impact in the wellspring. For this prioritization, the multicriteria evaluation was utilized, in GIS environment, using the Weighted Sum Method for combining the criteria (landscape characteristics) that were important to the purpose of the work. The selected criteria were: PPAs; slope; pedology; rural properties; and land use and cover. To make the decision-making process feasible, two distinct methodologies were used: AHP (Analytic Hierarchy Process) and Fuzzy Logic. At first, the AHP method was used to define the degree of significance of each theme, that is, how much each theme influences the decision-making process. Once this step was completed, each theme was analyzed individually and the classes of each theme received weights through the two methodologies (AHP and Fuzzy Logic). With the significance and weights, the data were tabulated and processed to generate the priority areas maps for ecological restoration and soil conservation in the watershed of the wellspring of the Upper Course of the Peixe River. It was concluded that the selected attributes were satisfactory for the production of priority area maps and that both methodologies used provided adequate tools for prioritizing areas, but Fuzzy Logic proved to be more effective.

Keywords: ecological restoration; soil conservation; multicriteria evaluation; geographic information systems; Peixe River.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização geográfica da bacia hidrográfica do manancial do Alto Curso do Rio do Peixe.	37
Figura 2: Mapa de declividade da bacia hidrográfica do manancial do Alto Curso do Rio do Peixe.	40
Figura 3: Mapa pedológico da bacia hidrográfica do manancial do Alto Curso do Rio do Peixe.	43
Figura 4: Mapa de uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do manancial do Alto Curso do Rio do Peixe.	47
Figura 5: Uso e cobertura da terra nas áreas de preservação permanente na bacia hidrográfica do manancial do Alto Curso do Rio do Peixe.	49
Figura 6: Propriedades rurais por módulo fiscal na bacia hidrográfica do manancial do Alto Curso do Rio Peixe.	52
Figura 7: Diagrama metodológico deste trabalho.	53
Figura 8: Escala de comparação de critérios.	56
Figura 9: Ferramenta Pertinência Fuzzy.	58
Figura 10: Diagrama de funcionamento das técnicas de inferência espacial.	58
Figura 11: Ferramenta Weighted Sum com os temas e suas respectivas significâncias (restauração ecológica).	59
Figura 12: Ferramenta Weighted Sum com os temas e suas respectivas significâncias (conservação do solo).	60
Figura 13: Histograma da soma ponderada para restauração ecológica pela metodologia AHP.	66
Figura 14: Histograma da soma ponderada para restauração ecológica pela Lógica Fuzzy.	66
Figura 15: Histograma da soma ponderada para conservação do solo pela metodologia AHP.	67
Figura 16: Histograma da soma ponderada para conservação do solo pela Lógica Fuzzy.	68
Figura 17: Áreas prioritárias para restauração ecológica usando a metodologia de AHP na bacia hidrográfica do manancial do Alto Curso do Rio do Peixe.	70
Figura 18: Áreas prioritárias para restauração ecológica usando a metodologia de Lógica <i>Fuzzy</i> na bacia hidrográfica do manancial do Alto Curso do Rio do Peixe.	71

Figura 19: Áreas prioritárias para conservação do solo usando a metodologia de AHP na bacia hidrográfica do manancial do Alto Curso do Rio do Peixe.	72
Figura 20: Áreas prioritárias para conservação do solo usando a metodologia de Lógica <i>Fuzzy</i> na bacia hidrográfica do manancial do Alto Curso do Rio do Peixe.	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Faixas obrigatórias de recomposição de APP para áreas consolidadas até 22 de julho de 2008.....	27
Tabela 2: Valores de índice randômico de acordo com a ordem da matriz dominante.	34
Tabela 3: Características dos solos da bacia hidrográfica do Alto Peixe.	41
Tabela 4: Quantificação dos remanescentes de vegetação na bacia do Alto Peixe.	45
Tabela 5: Áreas, em quilômetros quadrados, de uso e cobertura da terra por município na bacia hidrográfica do manancial do Alto Curso do Rio do Peixe.	46
Tabela 6: Porcentagens de uso e cobertura da terra por município na bacia hidrográfica do manancial do Alto Curso do Rio do Peixe.	46
Tabela 7: Número de propriedades rurais por MF em cada cidade.	51
Tabela 8: Dados utilizados, com suas respectivas origens e escalas originais.....	54
Tabela 9: Escala Fundamental de Saaty.....	55
Tabela 10: Matriz AHP elaborada para definir o grau de significância de cada tema para restauração ecológica.	63
Tabela 11: Matriz AHP elaborada para definir o grau de significância de cada tema para conservação do solo.	63
Tabela 12: Graus de significância dos temas e pesos das classes para restauração ecológica.	64
Tabela 13: Graus de significância dos temas e pesos das classes para conservação do solo.....	65
Tabela 14: Dimensões das áreas separadas por prioridade.....	76
Tabela 15: Áreas, separadas por prioridade, de modo percentual.....	76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP *Analytic Hierarchy Process*

AMC Avaliação/Análise Multicritérios

APP Área de Preservação Permanente

APRM Área de Proteção e Recuperação dos Mananciais

CAR Cadastro Ambiental Rural

CATI Coordenadoria de Assistência Técnica Integral

CBH-AP Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Aguapeí e Peixe

CBRN Coordenadoria de Biodiversidade e Recursos Naturais

DEMA Departamento de Engenharia e Mecânica da Agricultura

FBDS Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável

FCT Faculdade de Ciências e Tecnologia

IBRA Instituto Brasileiro de Reforma Agrária

INCRA Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

INPE Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPT Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

MDE Modelo Digital de Elevação

MF Módulo Fiscal

NW *North-West* (Noroeste)

PI Plano de Informação

PNRH Política Nacional de Recursos Hídricos

PPA *Permanent Preservation Area*

RL Reserva Legal

SAA Secretaria de Agricultura e Abastecimento

SE Sudeste

SER Society for Ecological Restoration

SIG Sistema de Informações Geográficas

SINIMA Sistema Nacional de Informação sobre Meio Ambiente

SMA Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo

TIN *Triangulated Irregular Network*

UGRHI Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

WRMU *Water Resources Management Unit*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS.....	17
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E ASPECTOS LEGAIS.....	18
3.1 Bacias hidrográficas.....	18
3.2 Manancial de abastecimento público.....	19
3.3 Restauração ecológica	20
3.4 Conservação do solo.....	22
3.5 Aspectos legais.....	24
3.5.1 Legislação Federal.....	24
3.5.1.1 Restauração ecológica	24
3.5.1.2 Conservação do solo.....	28
3.5.2 Legislação estadual paulista	28
3.5.2.1 Restauração ecológica	28
3.5.2.2 Conservação do solo.....	29
3.6 Sistemas de Informação Geográfica	31
3.7 Avaliação Multicritérios e o Método do Processo Hierárquico Analítico	32
3.8 Lógica Fuzzy	34
4 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO CURSO DO RIO DO PEIXE.....	36
4.1 Área de estudo	36
4.2 Hidrografia.....	38
4.3 Relevo	38
4.4 Solos	41
4.5 Uso e cobertura.....	44
4.6 Propriedades rurais	50

5 MATERIAIS E MÉTODOS	53
5.1 Software e dados utilizados	53
5.2 Definição de critérios e pesos	55
5.3 Padronização.....	57
5.4 Inferência espacial	58
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	62
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	77
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
APÊNDICES	87

1 INTRODUÇÃO

A Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe é um manancial de abastecimento público de interesse regional no Estado de São Paulo, sendo responsável por aproximadamente 75% do abastecimento de água do município de Presidente Prudente, e 65% do município de Marília. Ainda assim, a bacia apresenta graves problemas referentes à gestão dos seus recursos hídricos, sendo grande parte deles decorrentes de políticas ineficientes da má gestão do uso e ocupação do solo na área rural e urbana (ALMEIDA FILHO e HELLMEISTER JUNIOR, 2018).

Não restam dúvidas que a água é um dos elementos mais essenciais para a manutenção da vida de todos os seres vivos na Terra. À medida que a população mundial cresce, também cresce a demanda por água, visto que os seres humanos utilizam esse recurso em múltiplos usos (irrigação; produção energética; atividades industriais; abastecimento humano, etc.). Sendo um recurso natural finito, pode-se dizer que a quantidade de água *per capita* vem diminuindo a cada dia com o crescimento populacional e a degradação dos mananciais, principalmente em locais próximos a áreas urbanas e/ou com práticas agrícolas intensivas (SILVA *et al.*, 2018).

Tendo isso em vista, são cada vez mais necessárias a elaboração e a implementação de medidas para proteção dos recursos hídricos. Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), inspirados nos oito Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), iniciativa da Organização das Nações Unidas (ONU), definem em uma das suas 17 pautas a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos (ODS 6) como prioridade nas políticas públicas até 2030. Para que isso seja cumprido, são inúmeras as ações a serem tomadas por cada segmento público e privado.

Já os objetivos 13 e 15 tratam do combate às mudanças climáticas e à desertificação e degradação dos solos, respectivamente. Tais metas estão intrinsecamente interligadas com a questão da disponibilidade hídrica, visto que, além de fatores físicos, como precipitações e intemperismo, a quantidade e a qualidade da água também sofrem influência das condições ambientais das áreas que contribuem para o escoamento para o leito aquático (denominadas “áreas de contribuição”) e do manejo inadequado do solo. Esses dois aspectos podem interferir na infiltração e no armazenamento das águas subterrâneas, o que, por sua vez, pode afetar o fluxo das

nascentes e também pode levar à erosão do solo e assoreamento dos cursos d'água (SILVA, 2015).

Como determinado pela Lei Federal nº 9.433/97, a bacia hidrográfica é uma unidade territorial de gerenciamento. Isso, porque, de acordo com Santos (2004, p. 40), ela:

constitui um sistema natural bem delimitado no espaço, composto por um conjunto de terras topograficamente drenadas por um curso d'água e seus afluentes, onde as interações, pelo menos físicas, são integradas e, assim, mais facilmente interpretadas.

Em outras palavras, empregar a bacia hidrográfica como unidade territorial é exercer a gestão das águas através de uma perspectiva holística, reconhecendo as correlações existentes entre as águas, os demais recursos naturais e as atividades humanas. Santos (2004, p. 37) também afirma que:

De forma geral, os gerenciamentos integrados [...] e os planos de manejo de bacias hidrográficas são mais amplos no que tange à interpretação e ação voltada aos recursos associados à água. Somam mais efetivamente medidas de conservação dos mananciais com medidas de conservação do solo, dos remanescentes vegetacionais e fauna, com controle de atividades rurais e urbanas.

A fim de manter a água armazenada na bacia hidrográfica, é de extrema importância que a cobertura florestal (especialmente nas zonas ripárias) seja mantida, pois a vegetação é um dos principais fatores que contribuem para a capacidade de infiltração da água no solo, e reduzem o escoamento superficial e os processos erosivos. Segundo Pes e Giacomini (2017, p. 25):

A vegetação atua na proteção do solo em três níveis:

- a) Nível da copada – o impacto das gotas de chuva é amortecido pelas folhas e ramos da planta.
- b) Nível da superfície do solo – a vegetação funciona como uma barreira, diminuindo a velocidade do escoamento superficial da água e, como consequência, reduzindo a capacidade da água de desagregar e transportar as partículas de solo.
- c) Nível do interior do solo – as raízes aumentam a estabilidade dos agregados do solo, dificultando a desagregação. Além disso, com a morte das raízes e posterior decomposição, haverá formação de canais, que aumentam a porosidade do solo e a capacidade de infiltração de água.

Infelizmente, grande parte das matas ciliares do Brasil encontra-se em um alto nível de degradação devido às práticas agrícolas e ao processo de ocupação do país, que se caracterizou pela falta de planejamento. Neste contexto, as matas ciliares

acabam não cumprindo seu papel de proteger as nascentes e os cursos d'água e, portanto, a restauração dessas áreas é crucial para a perpetuação de um ambiente equilibrado (MARTINS, 2007).

Apesar dos inúmeros benefícios que a restauração ecológica promove, é comum que ela seja encarada como uma despesa, e não um investimento. Isso faz com que o montante de recursos que os diferentes setores da sociedade (governos, empresas, proprietários de terras, etc.) destinam à prevenção e reversão dos impactos ambientais seja, de modo geral, o menor possível.

Com extensas áreas de matas ciliares degradadas e uma escassez crônica de fundos para restaurá-las, faz-se necessário o exercício da priorização. A priorização de áreas é uma estratégia pragmática e econômica para a restauração do ecossistema e manutenção da biodiversidade, uma vez que permite ordenar os recursos disponíveis e as ações necessárias.

Para executá-la de modo que seja abrangente, costuma-se utilizar a Avaliação Multicritérios (AMC), uma ferramenta de apoio à tomada de decisão que integra diversos dados de entrada e cria circunstâncias que viabilizam a combinação e comparação de cenários, apresentando um gerenciamento de opções de escolha. Para fins ambientais, a AMC é feita por meio de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs).

Capazes de organizar e manipular dados espaciais de forma sistematizada, são os SIGs que possibilitam a produção de mapas de prioridades, integrando os diferentes planos de informação que compõem as paisagens para auxiliar na determinação das ações de manejo ambiental (KANGAS *et al.*, 2000; VETORAZZI, 2006; SARTORI, 2010).

2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo definir áreas prioritárias para restauração ecológica e conservação do solo no manancial do alto curso do Rio do Peixe, visando o aumento da disposição e qualidade da água, com base numa análise multicritérios em ambiente SIG.

Seus objetivos específicos são:

- Diagnosticar a situação do manancial do alto curso do Rio do Peixe;
- Selecionar critérios para a priorização de áreas de restauração ecológica e conservação do solo;
- Utilizar e comparar duas metodologias distintas de avaliação multicritérios em ambiente SIG para ponderar os fatores de priorização de áreas;
- Selecionar áreas prioritárias para restauração ecológica e conservação do solo;
- Avaliar a importância e a influência dos fatores e pesos escolhidos, para o processo de tomada de decisão;
- Avaliar a efetividade das metodologias Processo Hierárquico Analítico e Lógica *Fuzzy* para gerar mapas de áreas prioritárias.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E ASPECTOS LEGAIS

3.1 Bacias hidrográficas

Segundo Tucci (2004), bacia hidrográfica pode ser definida como uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório. A bacia hidrográfica compõe-se basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar um leito único no exutório.

Bacia hidrográfica também pode ser entendida como a área determinada topograficamente, delimitada pelos divisores de águas (linhas que unem os pontos de cotas mais elevadas), que é drenada por um curso de água ou por um conjunto desses cursos conectados, de forma que toda vazão efluente seja drenada por uma simples saída (CECÍLIO; REIS, 2006). No contexto das bacias hidrográficas, pode-se dizer que cada bacia hidrográfica se interliga com outra de ordem hierárquica superior, constituindo, em relação à última, uma sub-bacia. Portanto, os termos bacia e sub-bacia hidrográfica são relativos (SANTANA, 2003).

As bacias hidrográficas são apontadas por vários autores como unidades ideais para o planejamento do território (ARAÚJO *et al.*, 2007; VILAÇA *et al.*, 2009; BERNARDI *et al.*, 2012), visto que integram uma visão conjunta do comportamento das condições naturais e das atividades humanas nelas desenvolvidas. Em outros termos, pode-se dizer que as características de uso e ocupação da bacia hidrográfica, seus elementos naturais, e as trocas de energia e matéria estão intrinsecamente relacionados.

Essa concepção foi empregada no Brasil, estando disposta na Lei Federal nº 9.433/97, já mencionada na introdução deste trabalho. Essa lei institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), e tem como um de seus fundamentos que a gestão dos recursos hídricos deve ser realizada de maneira descentralizada, adotando a bacia hidrográfica como unidade territorial. Dentre as diretrizes gerais de ação para a implementação da PNRH está a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental (BRASIL, 1997). Isso quer dizer que a gestão dos recursos hídricos deve ser realizada de modo que haja associação e articulação com a gestão de outros recursos ambientais, incorporando as políticas de planejamento numa mesma base territorial.

Através da elaboração de mapas, é possível observar as atuais condições da bacia hidrográfica, acompanhar as transformações feitas pelo homem, assim como a maneira que a natureza reage a essas transformações; e, a partir dessas informações, definir políticas públicas, planos de restauração, monitoramento, entre outros instrumentos para um bom manejo da unidade territorial.

3.2 Manancial de abastecimento público

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2020), um manancial de abastecimento público se resume a uma fonte de água doce superficial ou subterrânea utilizada para consumo humano ou desenvolvimento de atividades econômicas. Para cumprir suas funções, o manancial requer atenção e cuidados específicos, que são contemplados pelas legislações estaduais de proteção para mananciais.

A Lei nº 9.866, de 28 de novembro de 1997, que “dispõe sobre diretrizes e normas para a proteção e recuperação das bacias hidrográficas dos mananciais de interesse regional para o abastecimento das populações futuras do Estado de São Paulo” (SÃO PAULO, 1997), em seu primeiro artigo – parágrafo único – considera mananciais de interesse regional as águas interiores subterrâneas, superficiais, fluentes, emergentes ou em depósito, efetiva ou potencialmente utilizáveis para o abastecimento público. Já no segundo artigo – parágrafo único – é declarado que as águas dos mananciais são consideradas áreas prioritárias em detrimento de sua importância para fornecimento público.

Como recurso natural prioritário, a água de um manancial está profundamente ligada com os usos e atividades desenvolvidas em sua bacia hidrográfica. A manutenção de um manancial hídrico, livre de degradações provocadas pela ocupação humana, é uma garantia de que ele seja capaz de produzir água em quantidade e qualidade adequadas para o abastecimento público (DIBIESO, 2013).

Segundo Leal (2000, p. 36), as águas podem constituir recursos limitantes ou indutores do processo de desenvolvimento econômico social de determinada área e sua gestão pode interferir no uso e ocupação da terra. Assim, se as intervenções antrópicas na bacia hidrográfica têm influência direta na disponibilidade e qualidade de água, de maneira semelhante à gestão de recursos hídricos, afetam os usos da água e, conseqüentemente, interferem nos usos da terra na bacia hidrográfica.

A Lei 9.866/1997 possui alguns objetivos a fim de assegurar o manancial e o próprio abastecimento em si. Seus objetivos são preservar e recuperar os mananciais

de interesse regional do Estado, compatibilizar as ações de proteção do meio ambiente e dos mananciais com o uso e ocupação do solo e do desenvolvimento socioeconômico. Ademais, prevê uma gestão participativa que integra setores e instâncias governamentais, bem como a sociedade civil, descentralizando o planejamento e a gestão das bacias hidrográficas desses mananciais a fim de sua proteção e recuperação.

Para facilitar o cumprimento dos objetivos, foi definido pela Lei 9.866/97 que uma ou mais sub-bacias hidrográficas dos mananciais de interesse público para abastecimento podem ser consideradas Áreas de Proteção e Recuperação dos Mananciais (APRM). As APRMs são definidas e delimitadas com uma proposta feita pelo Comitê de Bacia Hidrográfica. Os comitês são de extrema importância, pois, garantem a descentralização do planejamento e oferecem uma melhor gestão das bacias hidrográficas visto que, conseguem analisar e identificar, de forma mais rápida e eficaz, os problemas presentes nas bacias e, conseqüentemente, nos mananciais.

3.3 Restauração ecológica

O conceito de restauração ecológica vem amadurecendo e se tornando mais diverso ao decorrer do tempo devido às mudanças tecnológicas e aprimorações das técnicas. De acordo com Rodrigues *et al.* (2009, p.10), a restauração dos ecossistemas degradados é uma prática antiga, entretanto, não tinha caráter de área de conhecimento devido aos seus propósitos. Conhecimentos sobre os processos envolvidos na dinâmica de formações naturais remanescentes foram incorporados à técnica de restauração, e essa passou a abranger a reconstrução das complexas interações da comunidade, e assim, foi denominada por alguns autores como ecologia da restauração.

O termo 'restauração ecológica' pode ser conceituado como a ciência, prática e arte de assistir e manejar à recuperação da integridade ecológica dos ecossistemas, incluindo um nível mínimo de biodiversidade e de variabilidade na estrutura e funcionamento dos processos ecológicos, considerando-se seus valores ecológicos, econômicos e sociais (RODRIGUES *et al.*, 2009 p.10).

Para a SER - *Society for Ecological Restoration* (2004), restauração ecológica é o processo de auxílio ao restabelecimento de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído. Já a resolução SMA 32/2014 (SMA - Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do estado de São Paulo, 2014) define restauração

ecológica como intervenção humana intencional em ecossistemas degradados ou alterados para desencadear, facilitar ou acelerar o processo natural de sucessão ecológica.

De acordo com Rodrigues *et al.* (2009), os conceitos e métodos de restauração ecológica passaram por quatro fases de evolução no Brasil. A primeira delas, (até a década de 1980) menos vinculada às concepções teóricas e definida apenas com base em aspectos silviculturais, resultou na implantação de espécies exóticas, com o objetivo, geralmente, de recompor áreas que foram objeto de degradação.

Com a averiguação de problemas causados especialmente pela implantação de espécies exóticas, na fase 2, decidiu-se fazer o uso de espécies nativas (ainda que não nativas regionais), adotando-se critérios sucessionais, e priorizando espécies de rápido crescimento. Na fase seguinte, passou-se a buscar uma “floresta modelo” com um clímax bem definido, incorporando ainda o uso de espécies nativas regionais, com alta diversidade e com a disposição correta das mesmas em campo, conforme suas características. Por fim, na fase atual, o foco passou a ser a reconstrução dos processos ecológicos responsáveis pela formação de florestas. O autor ainda cita como perspectivas futuras a preocupação com a diversidade genética e a inserção de outras formas de vida no processo de restauração ecológica.

Existe uma divergência sobre o significado de restauração entre as instituições e órgãos que estudam e protegem o meio ambiente. De acordo com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) *apud* Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo (2005), o conceito de restauração remete ao objetivo de reproduzir as condições originais exatas de tal local, tais como eram antes de serem alteradas pela intervenção. Já a Lei Federal 9.985, de 18 de julho de 2000, declara em seu segundo artigo que restauração é definida como restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada o mais próximo possível da sua condição original.

Ainda segundo a Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000 - Lei de recuperação de áreas degradadas - um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído é considerado recuperado – e restaurado – quando contém recursos bióticos e abióticos suficientes para continuar seu desenvolvimento sem auxílio ou subsídios adicionais.

Segundo Engel & Parrota, (2003) mesmo que o processo de restauração ecológica tenha evoluído muito, restaurar integralmente os ecossistemas naturais está muito além da capacidade humana e retorná-lo ao seu estado original é impossível.

Porém, a ecologia de restauração tem como premissa básica que muitas forças degradantes são temporárias e que algumas perdas de habitats e populações são recuperáveis (Young, 2000). De acordo com Goosen e Tucker (1995) é possível, portanto, trazer de volta a uma área espécies características da mesma, assistindo e direcionando os processos naturais para características desejáveis no sistema futuro, muito mais do que desejar o que essa área foi no passado.

3.4 Conservação do solo

Segundo Wadt (EMBRAPA, 2003), o solo é um dos recursos naturais mais importantes para a qualidade de vida do homem, devido às suas múltiplas funções nos ciclos dos nutrientes, no ciclo da água e na sustentabilidade dos sistemas naturais. A conservação do solo equivale ao conjunto de práticas agrícolas destinadas a preservar ou recuperar a fertilidade química e as condições físicas e microbiológicas desse recurso natural tão significativo. Entretanto, de acordo com Borgonovi (2014), a questão da conservação do solo tinha pouca ou quase nenhuma relevância no Brasil antes da visita de Hugh Bennett ao país.

Até a década de 1920, aproximadamente, predominava no Brasil o sistema colonial de exploração do solo. Segundo Bertol (2016), o preparo do solo, a semeadura, os tratos culturais e a colheita eram realizados manualmente, usando a força humana ou a tração animal, qualificando-se uma agricultura pouco agressiva e de baixo impacto. As queimadas iniciais (utilizadas para eliminar a vegetação nativa e limpar o terreno) e as finais (utilizadas para limpar os resíduos culturais após a colheita) eram os principais fatores de degradação do solo, pois, além de eliminar a matéria orgânica, tornavam-no desprotegido.

Porém, com o passar do tempo e a evolução dos sistemas de cultivo, o solo passou a ser manejado com muito mais intensidade. As matas eram derrubadas e a destoca era feita com o uso de máquinas; a biomassa proveniente da destoca era amontoada em leiras e geralmente queimada; o preparo do solo era feito com arados e grades (aradora, destorroadora e niveladora); e a semeadura era feita com tração mecânica. Consequentemente, somaram-se às queimadas iniciais e finais novos fatores de degradação, como a desagregação mecânica pelo preparo do solo e pela energia da chuva, a compactação do solo, e a redução da fertilidade (BERTOL, 2016).

O despertar para o problema aconteceu com a introdução da cultura do algodão no Estado de São Paulo. Em virtude da crise de 1929, houve uma grande decadência

do café, principal produto de exportação do Brasil. Com o colapso da economia cafeeira, o algodão foi o produto escolhido por vários agricultores para substituir o café. A década de 1930 representou um divisor de águas na cotonicultura nacional, e foi com o impacto imposto aos agricultores pelos estragos no solo causados por essa atividade que percebeu-se a necessidade de um manejo adequado do solo para evitar a erosão (BORGONOV, 2014).

Em 1939, a Secretaria de Agricultura criou o que se chamou de Serviço de Terraceamento, o qual consistia em construir curvas de nível com seção triangular para impedir a formação do enxurro que assustava os agricultores. Tal fato ocorria porque a cultura do algodão exigia um preparo do solo com aração enérgica e o seu manejo ocorria justamente na época de chuvas torrenciais (BORGONOV, 2014). O Serviço de Terraceamento pode ser considerado um tímido pontapé inicial rumo à conservação do solo no Brasil.

Em 1954, o Dr. Hugh Hammond Bennett, que é considerado o pai da conservação do solo nos Estados Unidos, foi convidado pelo Dr. Guido César Rando, diretor da Divisão de Conservação do Solo da extinta DEMA/SAA (Departamento de Engenharia e Mecânica da Agricultura/Secretaria de Agricultura e Abastecimento), para vir ao Brasil conhecer, avaliar e auxiliar na questão da conservação do solo. Como já mencionado anteriormente, a visita de Bennett foi transformadora.

Após sua visita e o acervo bibliográfico deixado por ele, intensificou-se o contato dos técnicos do Brasil (em especial os do Estado de São Paulo) com os EUA. “Este fato foi essencial porque, enquanto nos EUA a conservação do solo já estava bem desenvolvida, aqui no Brasil tudo ainda estava por ser feito e estávamos em um estágio muito incipiente” (BORGONOV, 2014).

A partir daí, a conservação do solo foi ganhando relevância, sendo estudada, e suas técnicas sendo aprimoradas. Ainda assim, de acordo com Souza e Borges (2012), historicamente a conservação do solo tem sido entendida, no Brasil, como sinônimo de práticas mecânicas de controle da erosão (terraceamento, banquetas individuais, cordões em contorno, etc.). Se usadas isoladamente, essas práticas agem somente sobre 5% da erosão hídrica, que consiste na perda da camada superficial do solo causada pelo escoamento superficial da água.

Cerca de 95% das perdas de solo e água em áreas com declive acentuado são acarretadas pelas gotas de chuva. Ao caírem sobre o solo descoberto, as gotas rompem e espalham os agregados superficiais, formando uma crosta superficial de

baixa permeabilidade à água e ao ar que pode ser mais espessa ou mais delgada dependendo da cobertura vegetal existente, da intensidade da chuva e da declividade do terreno (SOUZA e BORGES, 2012). Tendo isso em vista, faz-se necessário o emprego de práticas edáficas (práticas que melhoram a fertilidade e as condições morfológicas do solo na fase de plantio e condução da lavoura) e, principalmente, vegetativas, que se fundamentam na manutenção da cobertura do solo.

3.5 Aspectos legais

Neste tópico serão apresentadas as principais leis vigentes que regem a proteção e restauração de áreas no Brasil e no estado de São Paulo. A abrangência nacional e estadual é aquela necessária para abarcar as normas que incidem sobre a área de estudo.

3.5.1 Legislação Federal

Normativas sobre proteção ao meio ambiente, em especial, proteção vegetal e proteção dos recursos hídricos são de extrema importância para a definição de áreas prioritárias de restauração ecológica e conservação do solo. Além disso, é preciso ter conhecimento sobre as áreas que obrigatoriamente, de acordo com a legislação, necessitam de restauro, caso estejam em algum estágio de degradação.

3.5.1.1 Restauração ecológica

O Código Florestal (Lei Federal nº 12.651/2012) estabelece uma série de normativas, dentre elas normas sobre a área de preservação vegetal, reserva legal (RL) e área de preservação permanente (APP). O Código passou por muitas alterações, as quais trouxeram significativos avanços e retrocessos, porém, sua necessidade é imprescindível visto que o Brasil possui recursos naturais valiosos que são protegidos por essa normativa.

Primeiramente, são apresentadas as normativas sobre as Áreas de Preservação Permanente. De acordo com o terceiro artigo do inciso II (Lei Federal 12.651/2012), elas podem ser definidas 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” (BRASIL,

2012). Já a delimitação de áreas de preservação permanente é definida nos artigos quarto e quinto como segue abaixo:

I - As faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de: (Incluído pela Lei nº 12.727, de 2012).

- a) 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;
- b) 50 (cinquenta) metros, para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;
- c) 100 (cem) metros, para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;
- d) 200 (duzentos) metros, para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;
- e) 500 (quinhentos) metros, para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros; (BRASIL, 2012).

II - As áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais, em faixa com largura mínima de:

- a) 100 (cem) metros, em zonas rurais, exceto para o corpo d'água com até 20 (vinte) hectares de superfície, cuja faixa marginal será de 50 (cinquenta) metros;
- b) 30 (trinta) metros, em zonas urbanas (BRASIL, 2012).

Segundo inciso IV do quarto artigo, as áreas de APP no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, independentemente da situação geográfica, devem ter raio mínimo de 50 metros. Pode se considerar nascente qualquer afloramento natural do lençol freático que apresenta perenidade e dá início a um curso d'água (ZAKIA e PINTO, 2013).

Como algumas áreas do estudo apresentam feições de mais de 45° de declividade, deve se considerar que, segundo o inciso V ainda do quarto artigo, são áreas de preservação permanente, chamadas APPs de morros:

V - As encostas ou partes destas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive.

Logo em seguida, são instituídas as áreas de reserva legal. Nesse caso, de acordo com o inciso III do terceiro artigo da Lei Federal 12.651/2012 é considerada RL: área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, com as funções de assegurar o uso econômico sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, de auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e de promover a conservação da biodiversidade, bem como o abrigo e a proteção da fauna silvestre e da flora nativa. No estado de São Paulo, a reserva legal deve ocupar pelo menos 20%

da área da propriedade, independentemente do tipo de vegetação nativa, e devem estar posicionadas de forma que haja conexão com outros fragmentos de vegetação, aumentando o fluxo gênico e a biodiversidade do local.

Para que o poder público possa realizar o controle e monitoramento da vegetação e do desmatamento, a lei do código florestal implementa em seu vigésimo nono artigo o Cadastro Ambiental Rural (CAR). O CAR é um registro eletrônico de abrangência nacional junto ao órgão ambiental competente, no âmbito do Sistema Nacional de Informação sobre Meio Ambiente - SINIMA, obrigatório para todos os imóveis rurais, com a finalidade de integrar as informações ambientais das propriedades e das posses rurais, compondo base de dados para o controle, o monitoramento, o planejamento ambiental e econômico (ZAKIA e PINTO 2013).

A lei do Código Florestal institui algumas normativas sobre áreas rurais consolidadas. Essas normas podem ser um contraponto as mesmas citadas acima. As áreas de uso consolidado são definidas como:

IV - área rural consolidada: área de imóvel rural com ocupação antrópica preexistente a 22 de julho de 2008, com edificações, benfeitorias ou atividades agrossilvipastoris, admitida, neste último caso, a adoção do regime de pousio (Lei Federal n.º 12.651/2012, Art. 29º).

No artigo 61-A, é esclarecido que as atividades serão permitidas nas áreas consolidadas até 22 de julho de 2008, sendo obrigatória a recomposição de faixa marginal segundo os seguintes critérios:

§ 1º Para os imóveis rurais com área de até 1 (um) módulo fiscal que possuam áreas consolidadas em Áreas de Preservação Permanente ao longo de cursos d'água naturais, será obrigatória a recomposição das respectivas faixas marginais em 5 (cinco) metros, contados da borda da calha do leito regular, independentemente da largura do curso d'água.

§ 2º Para os imóveis rurais com área superior a 1 (um) módulo fiscal e de até 2 (dois) módulos fiscais que possuam áreas consolidadas em Áreas de Preservação Permanente ao longo de cursos d'água naturais, será obrigatória a recomposição das respectivas faixas marginais em 8 (oito) metros, contados da borda da calha do leito regular, independentemente da largura do curso d'água.

§ 3º Para os imóveis rurais com área superior a 2 (dois) módulos fiscais e de até 4 (quatro) módulos fiscais que possuam áreas consolidadas em Áreas de Preservação Permanente ao longo de cursos d'água naturais, será obrigatória a recomposição das respectivas faixas marginais em 15 (quinze) metros, contados da borda da calha do leito regular, independentemente da largura do curso d'água.

§ 4º Para os imóveis rurais com área superior a 4 (quatro) módulos fiscais que possuam áreas consolidadas em Áreas de Preservação Permanente ao longo de cursos d'água naturais, será obrigatória a recomposição das respectivas faixas marginais: (Lei Federal n.º 12.651/2012, Art. 29º).

Para ter mais clareza ao estudo, é necessário entender o conceito de módulo fiscal. Módulo fiscal é a unidade de medida agrária usada no Brasil, instituída pela Lei nº 6746/1979. É expressa em hectares e é variável, sendo fixada para cada município, levando-se em conta: o tipo de exploração predominante no município; a renda obtida com a exploração predominante; outras explorações existentes no município que, embora não predominantes, sejam expressivas em função da renda ou da área utilizada; e o conceito de propriedade familiar (ZAKIA e PINTO, 2013).

Além disso, é importante frisar que de acordo com Zakia e Pinto (2013), a APP com uso consolidado não é uma extensão da área de cultivo ou produção agropecuária ou florestal. Pelo contrário, é uma área de produção dentro de uma APP, que é uma área frágil, de risco ambiental e com uma função ecológica. Portanto, ela pode requerer um manejo diferenciado do resto da área produtiva. Logo, a produção em uso consolidado de APP aumenta a complexidade da gestão da propriedade. As áreas de APP com uso consolidado devem estar delimitadas no mapa da propriedade e no CAR.

Para tornar mais didático o entendimento do que é disposto na Lei Federal nº 12.651/2012 sobre faixas de plantio em áreas de preservação permanente, será apresentada abaixo uma tabela com o resumo.

Tabela 1: Faixas obrigatórias de recomposição de APP para áreas consolidadas até 22 de julho de 2008.

Tamanho da propriedade (imóvel rural)		Módulos Fiscais				
		Até 1	>1 a 2	>2 a 4	>4 a 10	> 10
Rios com largura de:		Qualquer largura	Qualquer largura	Qualquer largura	10 m	Todos
Obrigações mínimas de recompor a APP:	Rios	5 m	8 m	15 m	20 m	de 30 a 100 metros em função da largura do rio (metade da largura do rio)
	Nascentes	15 m	15 m	15 m	15 m	15 m
	Lagoas e lagos	5 m	8 m	15 m	30 m	30 m
	Veredas	30 m	30 m	30 m	50 m	50 m

Fonte: ZAKIA e PINTO, 2013. Adaptada pelos autores.

3.5.1.2 Conservação do solo

Ao contrário de florestas, o solo não possui um código nacional. Talvez a maior atenção dada a esse recurso em esfera federal quanto à questão do uso do solo para atividades agrícolas seja através do Estatuto da Terra, Lei n.º 4.504/64, que determina alguns direitos e obrigações concernentes aos bens imóveis rurais e é regulamentado pelo decreto n.º 55.891/65, referente ao zoneamento agrícola. Segundo o artigo 29 do decreto citado,

O Instituto Brasileiro de Reforma Agrária (IBRA) elaborará levantamentos e análises para atualização e complementação do zoneamento do país, com o objetivo de:

I - Orientar as disponibilidades agropecuárias nas áreas sob seu controle, quanto à melhor destinação econômica das terras, quanto à adoção de práticas adequadas segundo as condições ecológicas e quanto à capacidade potencial do uso da terra e dos mercados interno e externo;

II - Recuperar diretamente, mediante projetos especiais, as áreas degradadas em virtude de uso predatório e de ausência de medidas de conservação dos recursos naturais renováveis e que se situem em regiões de elevado valor econômico.

É importante citar que o IBRA corresponde atualmente ao INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – e que esses levantamentos objetivam atualizar e complementar, conforme mencionado no artigo citado, o zoneamento do país, a fim de estabelecer diretrizes da política agrícola a ser praticada em cada região. Contudo, essa menção do Estatuto da Terra a respeito do recurso solo não exige de seu proprietário ou ocupante a sua conservação e manejo adequado. Assim, cabe aos Estados apresentar legislações adequadas a respeito do assunto (GOLLA, 2006).

3.5.2 Legislação estadual paulista

3.5.2.1 Restauração ecológica

O estado de São Paulo possui algumas leis específicas para aplicação da lei florestal, devido às particularidades do seu território. A resolução SMA nº 32, de 03 de abril de 2014, estabelece as orientações, diretrizes e critérios sobre restauração no Estado de São Paulo, além de fornecer providências correlatas (SMA, 2014). A resolução estabelece também conceitos importantes referentes a restauração ecológica, projeto de restauração e recomposição, como consta em seu artigo 2º:

- I - Restauração ecológica: intervenção humana intencional em ecossistemas degradados ou alterados para desencadear, facilitar ou acelerar o processo natural de sucessão ecológica;
- II - Projeto de restauração ecológica: instrumento de planejamento, execução e monitoramento da restauração ecológica, em áreas rurais ou urbanas, que deverá ser apresentado pelo restaurador, sendo a recomposição seu principal objetivo;
- III - Recomposição: restituição de ecossistema ou comunidade biológica nativa degradada ou alterada a condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original (SÃO PAULO, 2014).

No artigo 5º, a norma faz duas menções relacionadas ao tema de áreas prioritárias para restauração, ambas praticamente em sequência:

- Artigo 5º - São consideradas prioritárias, levando-se em conta o objetivo e o contexto regional do Projeto de Restauração Ecológica, e respeitada legislação específica, as áreas:
- I - Relevantes para a conservação de recursos hídricos, em especial aquelas no entorno de nascentes e olhos d'água, perenes ou intermitentes;
 - II - Com elevado potencial de erosão dos solos e acentuada declividade do terreno;
 - III - Que promovam o aumento da conectividade da paisagem regional;
 - IV - Que ampliem ou melhorem a forma de fragmentos de vegetação nativa;
 - V - Localizadas em Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos - UGRHI com baixa cobertura vegetal nativa;
 - VI - Localizadas em zonas de recarga hídrica;
 - VII - Localizadas em Unidades de Conservação e zonas de amortecimento;
 - VIII - Consideradas relevantes para fins de restauração ecológica em Zoneamento Ecológico-Econômico.
- § 1º - Nas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos em que houver Plano Diretor ou de Bacias determinando as áreas prioritárias para a restauração ecológica, deverão ser consideradas as áreas indicadas pelo Plano.

Já para o monitoramento de projetos de restauração ecológica, a SMA estabelece diretrizes através de uma portaria da CBRN - Coordenadoria de Biodiversidade e Recursos Naturais. A Portaria CBRN 01/2015 define a metodologia de coleta de dados que deverá ser utilizada pelo restaurador para encontrar os valores para os indicadores ecológicos: cobertura do solo com vegetação nativa, densidade de indivíduos nativos regenerantes e número de espécies nativas regenerantes. Esses indicadores deverão ser medidos de acordo com cada tipo de vegetação.

3.5.2.2 Conservação do solo

A respeito da conservação do solo na esfera estadual, cabe mencionar a Lei do Uso do Solo do Estado de São Paulo, n.º 6.171/88, alterada pela Lei n.º 8.421/93 e regulamentada pelo Decreto n.º 41.719/97. De acordo com o artigo 2º do referido decreto,

O solo agrícola é patrimônio da humanidade cumprindo aos responsáveis pela sua exploração:

I - Zelar pelo aproveitamento adequado e pela conservação das águas em todas as suas formas;

II - Controlar a erosão do solo, em todas as suas formas;

III - Evitar processos de desertificação;

IV - Evitar assoreamento de cursos d'água e bacias de acumulação;

V - Zelar pelas dunas, taludes e escarpas naturais ou artificiais;

VI - Evitar a prática de queimadas, praticando-as, somente nas hipóteses previstas neste decreto;

VII - Evitar o desmatamento das áreas impróprias para exploração agrosilvopastoril e promover a possível vegetação permanente nessas áreas, quando desmatadas;

VIII - Recuperar, manter e melhorar as características físicas, químicas e biológicas do solo agrícola;

IX - Adequar a locação, construção e manutenção de barragens, estradas, carreadores, caminhos, canais e irrigação e prados escoadouros aos princípios de conservação do solo agrícola.

§ 1.º - Considera-se solo agrícola para os efeitos deste decreto a superfície de terra utilizada, ou passível de utilização para exploração agrosilvopastoril.

§ 2.º - Entende-se por conservação do solo a manutenção e melhoramento de sua capacidade produtiva.

§ 3.º - As responsabilidades por danos ou prejuízos ao solo agrícola podem decorrer tanto de ação quanta de omissão e serão estabelecidas nos termos deste decreto.

Visando facilitar o cumprimento deste decreto, o artigo 24 informa que:

O Estado, através da Secretaria de Agricultura e Abastecimento, alocará recursos específicos do seu orçamento para a aplicação e cumprimento da legislação de uso do solo agrícola.

§ 1.º - Todas as práticas e procedimentos a serem utilizados no cumprimento deste decreto deverão, obedecendo o planejamento técnico, ter prioridade nas linhas de crédito e financiamento com recursos subsidiados, advindos do poder público estadual, para o meio rural.

§ 2.º - Todos os projetos de financiamento agrícola que envolverem a aplicação de recursos públicos estaduais devem exigir o cumprimento do presente decreto como condição resolutiva.

§ 3.º - O disposto neste artigo aplica-se também no tocante à correção dos problemas de erosão causados pelas estradas e ferrovias já existentes.

Convém citar também a Resolução SAA n.º 7 de 1997, que estabelece os valores de multas por infração às Leis n.º 6.171/88 e 8.421/93; e a Portaria CATI n.º 6 de 1997, que dispõe sobre o estabelecimento de critérios técnicos para efeito de fiscalização do uso do solo agrícola no Estado de São Paulo.

Com base nessa consulta à legislação de uso do solo no Estado, pode-se constatar que este recurso, o qual é considerado patrimônio da humanidade, deve ser ocupado e manejado de acordo com suas potencialidades e limitações, utilizando práticas que evitem sua degradação e recuperando as áreas que já encontram-se degradadas.

3.6 Sistemas de Informação Geográfica

O termo “geoprocessamento” refere-se a um conjunto de tecnologias voltadas à coleta e ao tratamento de informações espaciais para um objetivo específico. As operações que envolvem o geoprocessamento são realizadas por sistemas específicos chamados de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), os quais integram e armazenam dados com informações espaciais, permitindo a realização de análises complexas na área avaliada.

Segundo o INPE (s.d.), SIG é um sistema que processa dados gráficos e não gráficos (alfanuméricos) com ênfase em análises espaciais e modelagens de superfícies. Outra definição possível para SIG é um sistema de suporte à decisão que integra dados referenciados espacialmente num ambiente de respostas a problemas (COWEN, 1988). Essa definição é validada quando observa-se a aplicação do SIG como ferramenta de integração de dados para apoiar o planejamento e a gestão ambiental, utilizando componentes ecológicos, socioculturais e econômicos de uma determinada região para executar uma análise multifuncional.

A definição de áreas prioritárias com base nos SIG é aplicada em uma variedade de situações, onde os critérios são selecionados e os graus de prioridade a eles são atribuídos de acordo com as diferentes características ambientais que podem ser correlacionadas na área de estudo. De acordo com Kangas *et al.* (2000), o SIG tem facilitado o planejamento, a otimização e o sucesso das ações de conservação e preservação florestal, permitindo que elas sejam direcionadas para as áreas de maior risco ou prioritárias às ações.

Um bom exemplo da utilização do SIG como ferramenta de suporte à decisão é o caso de Sartori (2010), que definiu áreas prioritárias para favorecer a conectividade entre fragmentos florestais, visando a restauração florestal e utilizando análise multicriterial em ambiente SIG, com o Método da Combinação Linear Ponderada. Nesse estudo, os dados de entrada para produção do resultado foram: proximidade entre fragmentos de maior área nuclear; proximidade a cobertura florestal; proximidade a rede hidrográfica; distância aos centros urbanos; erodibilidade; e declividade.

Por outro lado, Vetorazzi (2006) apresentou um estudo que se propôs a analisar o emprego da Avaliação Multicritérios em ambiente SIG, comparando os métodos da Combinação Linear Ponderada e da Média Ponderada Ordenada na

geração de mapas de áreas prioritárias à restauração florestal, na bacia hidrográfica do Rio Corumbataí, SP.

Com o aprimoramento do SIG, houve também um desenvolvimento das técnicas empregadas na definição de áreas prioritárias. Conforme Malczewski (2004), o cruzamento entre diferentes planos de informação nos SIG tem sido o procedimento básico para o desenvolvimento da maioria dos trabalhos, sendo a abordagem multicriterial uma das técnicas mais empregadas e também o objeto de estudo do presente trabalho.

3.7 Avaliação Multicritérios e o Método do Processo Hierárquico Analítico

No processo de tomada de decisão em um SIG, um dos métodos mais importantes é a Avaliação Multicritérios (AMC). Este método é utilizado com o objetivo de propiciar melhores condições para trabalhar com situações nas quais há a necessidade de identificação de prioridades sob a ótica de múltiplos critérios. Para Wolf (2002), a abordagem multicriterial baseia-se na crença de que a construção de diversos critérios influi positivamente na construção do modelo para apoio à decisão, pois leva em conta os diversos aspectos considerados importantes por aqueles envolvidos no processo decisório.

Na esfera da AMC, Eastman *et al.* (1995) definem “decisão” como uma escolha entre alternativas, as quais podem representar diferentes ações, localizações, planos, hipóteses, etc. “Critério” é definido como uma condição, na qual as decisões se baseiam, que pode ser quantificada ou avaliada. Os critérios podem ser de dois tipos: fatores ou restrições.

Um fator é um critério que aumenta ou diminui a aptidão de uma determinada alternativa para o objetivo em questão, portanto é medido numa escala contínua. Por exemplo, uma empresa florestal estabelece que quanto mais íngreme for o terreno, mais caro será o transporte de madeira. Como resultado, as melhores áreas para exploração madeireira seriam aquelas onde o terreno é plano – quanto mais plano, melhor. Já uma restrição é um critério que limita as alternativas em consideração na análise. Retomando o exemplo da empresa florestal, um tipo de restrição seriam as áreas demarcadas e sinalizadas como Unidades de Conservação ou Terras Indígenas, visto que é estritamente ilegal realizar exploração madeireira nessas áreas.

O método do Processo Hierárquico Analítico, mais conhecido como método AHP (do inglês, *Analytic Hierarchy Process*), é descrito por Oliveira e Belderrain (2008)

como um dos métodos mais utilizados para o apoio multicritério à decisão. Eastman *et al.* (1995) apontam este método como sendo o mais promissor em processos decisórios, possibilitando estabelecer e organizar um modelo racional de integração de dados. Desenvolvido na década de 1970 pelo matemático Thomas Lorie Saaty, da Wharton School da Universidade da Pensilvânia (EUA), o método AHP é um processo de escolha baseada na lógica de comparação par a par (*pairwise comparison*), onde os diferentes fatores que influenciam a tomada de decisão são comparados dois a dois.

Essa comparação é feita através de uma matriz quadrada $n \times n$, usualmente denominada matriz dominante, onde as linhas e colunas correspondem aos n critérios analisados para o problema em questão. Assim, o valor a_{ij} representa a importância relativa do critério da linha i perante o critério da coluna j . Como essa matriz é recíproca positiva, apenas a metade triangular inferior necessita ser avaliada. Na outra metade, as ponderações são o inverso das primeiras ($a_{ji} = 1/a_{ij}$), e na diagonal principal, todas as ponderações são iguais a 1, pois cada critério está sendo comparado a ele próprio.

A concepção de comparações pareadas para todos os critérios necessita da determinação de uma escala, destinada à normalização. Por esse motivo, utiliza-se a Escala Fundamental de Saaty, uma escala pré-definida que expressa a intensidade com que um fator predomina sobre outro, em relação à tomada de decisão. Essa escala será apresentada mais adiante.

Após o preenchimento da matriz dominante, o passo que se segue é a obtenção do autovetor (ou vetor de pesos) associado a essa matriz, que indicará a prioridade de cada um dos julgamentos e a importância relativa de cada critério quando comparado aos outros. Para se calcular tais prioridades, podem ser aplicadas diversas ferramentas matemáticas.

Visando facilitar a comparação entre critérios e alternativas, Saaty (2008) sugere que os autovetores sejam normalizados. Normalizar (ou padronizar) é o ato de transformar valores com diferentes escalas de medidas, ajustando-os para uma escala de medida comum. No caso da AHP, os autovetores são normalizados de modo que $w_1 + w_2 + w_3 + \dots + w_n$ seja igual a 1 ou 100%. Essa normalização é feita somando-se todos os autovetores e, então, dividindo cada autovetor pela soma. Com isso, obtém-se o vetor final de pesos, em que cada elemento é o valor do peso de um dos critérios analisados (PASSOS, 2010).

No entanto, considerando-se as dificuldades intrínsecas do ser humano em tomar decisões diante de problemas com muitas informações e com múltiplos critérios, Saaty (1991) propôs um procedimento para verificar a existência de inconsistências devido a erros no julgamento de valor por parte dos decisores. Primeiro, calcula-se o autovalor máximo ($\lambda_{\max}$), obtido através do produto de cada soma total das colunas j da matriz dominante por cada autovetor normalizado. Em seguida, é calculado o índice de coerência (IC), determinado pela Equação 1:

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

Onde:

$\lambda_{\max}$ = Autovalor máximo

n = Número de linhas/colunas da matriz dominante (critérios)

E, por último, calcula-se a razão de coerência (RC), determinada pela Equação 2:

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

Sendo IR o índice randômico; um índice aleatório tabelado para matrizes recíprocas quadradas de ordem n , calculado pelo Laboratório Nacional de Oak Ridge nos Estados Unidos e apresentado na Tabela 2 abaixo. Obtendo-se a razão de coerência (RC), finalmente é possível avaliar o grau de consistência dos julgamentos de valor por parte dos decisores na matriz dominante. De acordo com Saaty (1991), caso a RC seja inferior ou igual a 0,10 ou 10%, a matriz dominante é considerada consistente. Caso contrário, os valores da matriz de comparação pareada devem ser revistos.

Tabela 2: Valores de índice randômico de acordo com a ordem da matriz dominante.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
IR	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,54	1,56	1,57	1,59

3.8 Lógica *Fuzzy*

Segundo Marro *et al.* (2000), o termo “*fuzzy*”, da língua inglesa, ainda não possui uma tradução unânime, transitando entre os vocábulos “nebuloso”; “difuso”; “vago”; “indistinto” e “incerto”. Por isso, costuma-se utilizar o termo em inglês, na sua forma original. A Lógica *Fuzzy*, também chamada de lógica multivalorada, foi

primeiramente introduzida em 1930 pelo filósofo e lógico polonês Jan Łukasiewicz. Ele adotou conjuntos com graus de pertinência sendo 0, $\frac{1}{2}$ e 1; e, mais tarde, expandiu para um número infinito de valores entre 0 e 1. Entretanto, a primeira publicação utilizando explicitamente o termo “*fuzzy*” no meio científico data de 1965, quando Lotfi Aliasker Zadeh, professor na Universidade da Califórnia em Berkeley, publicou o artigo *Fuzzy Sets* no periódico *Information and Control*, onde ficou marcada a origem da Lógica Fuzzy.

A teoria clássica de conjuntos permite o tratamento de classes de dados e suas inter-relações em um universo definido. Nessa teoria, a *pertinência* de um elemento com relação a um conjunto pode ser apenas verdadeira ou falsa, ou seja, a lógica convencional refere-se ao fato de tal elemento pertencer ou não a esse conjunto. Já a Lógica Fuzzy utiliza a ideia de que todos os dados admitem *graus de pertinências*, isto é, a Lógica Fuzzy trata de valores-verdade que variam continuamente de 0 a 1. Dessa forma, um fato pode ser meio verdade (0,5), quase verdade (0,9) ou quase falso (0,1).

De acordo com Silva (2005), o uso da Lógica Fuzzy em sistemas de raciocínio traz impacto não somente na máquina de inferência, mas também na representação do conhecimento, uma vez que os conjuntos *fuzzy* que classificam os elementos de um dado universo são menos rígidos do que aqueles utilizados na teoria clássica, pois admitem graus parciais de pertinência.

Oliveira (2014) utilizou a Lógica Fuzzy para geração de zonas de manejo para a cultura do mamoeiro em um plantio comercial localizado em São Mateus (ES), e também para desenvolver e executar um procedimento para dar suporte ao processo de tomada de decisões, envolvendo análise multicritério, assim, gerando mapas de adequabilidade ao uso público e à conservação no Parque Estadual da Cachoeira da Fumaça, no município de Alegre (ES). Tanto na área agrária, quanto na área ambiental, o método apresentou resultados satisfatórios na geração de mapas temáticos e facilitou a ponderação dos fatores considerados importantes para o zoneamento.

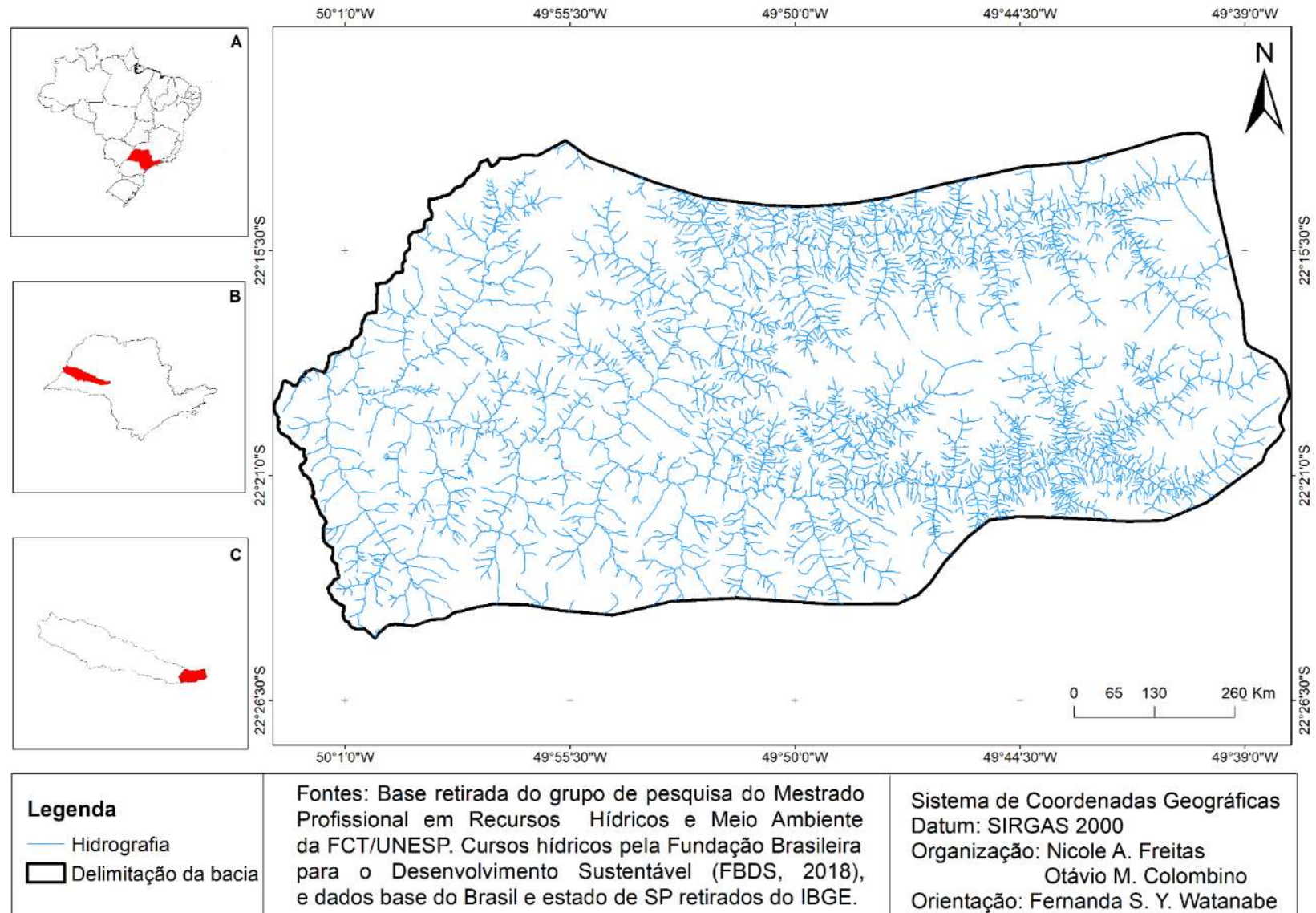
4 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO CURSO DO RIO DO PEIXE

4.1 Área de estudo

A bacia hidrográfica do manancial do alto curso do Rio do Peixe está localizada na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Peixe (UGRHI-21), no oeste do Estado de São Paulo, entre os paralelos 22° 13' 16"S e 22° 24' 08"S e os meridianos 49° 37' 57"O e 50° 02' 43"O. A bacia possui área de 742,53 km², abrangendo parte dos municípios de Gália, Garça, Lupércio, Marília, Ocaçu e Vera Cruz; e é atravessada pelas rodovias Transbrasiliana (BR-153), no sentido NW-SE, e Comandante João Ribeiro de Barros (SP-294), no extremo norte da bacia.

A Figura 1 mostra a localização da bacia em perspectiva, em que a Figura 1A representa o Estado de São Paulo destacado em vermelho no mapa da República Federativa do Brasil; a Figura 1B representa a UGRHI-21 destacada em vermelho no mapa do Estado de São Paulo; e a Figura 1C representa a bacia hidrográfica do manancial do alto curso do Rio do Peixe destacada em vermelho no mapa da UGRHI-21.

Figura 1: Localização geográfica da bacia hidrográfica do manancial do Alto Curso do Rio do Peixe.



4.2 Hidrografia

O principal curso d'água da bacia hidrográfica em estudo é o Rio do Peixe. De acordo com o CBH-AP – Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Aguapeí e Peixe (2016), esse rio nasce na Serra dos Agudos, numa altitude de 670 metros, e desemboca no Rio Paraná, a uma altitude de 240 metros. Dos seus 380 km de extensão total, aproximadamente 45 km estão contidos na bacia do Alto Peixe, indo das nascentes dos Ribeirões da Garça e do Alegre até a captação do Departamento de Água e Esgoto de Marília.

No que diz respeito às águas subterrâneas, a área aflorante do Aquífero Bauru corresponde a 100% da área da bacia. O sistema aquífero Bauru é constituído de arenitos finos e mal selecionados na base, e de arenitos argilosos e calcíferos no topo. É uma unidade hidrogeológica de extensão regional, contínua, livre a semi-confinada, com espessura média de 100 m, mas que pode chegar a 250 m (CAMPOS, 1993). Trata-se do maior sistema aquífero do Estado de São Paulo, ocupando pouco mais de 40% de sua área; e por aflorar em 100% da extensão da bacia hidrográfica em estudo, constitui excelente fonte de recursos hídricos para a região, sendo amplamente solicitado devido à sua fácil captação, com poços relativamente rasos.

4.3 Relevo

A bacia hidrográfica do manancial do alto curso do Rio do Peixe está localizada no Planalto Ocidental Paulista. O relevo da bacia, segundo o IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (1981), é representado principalmente por três modalidades:

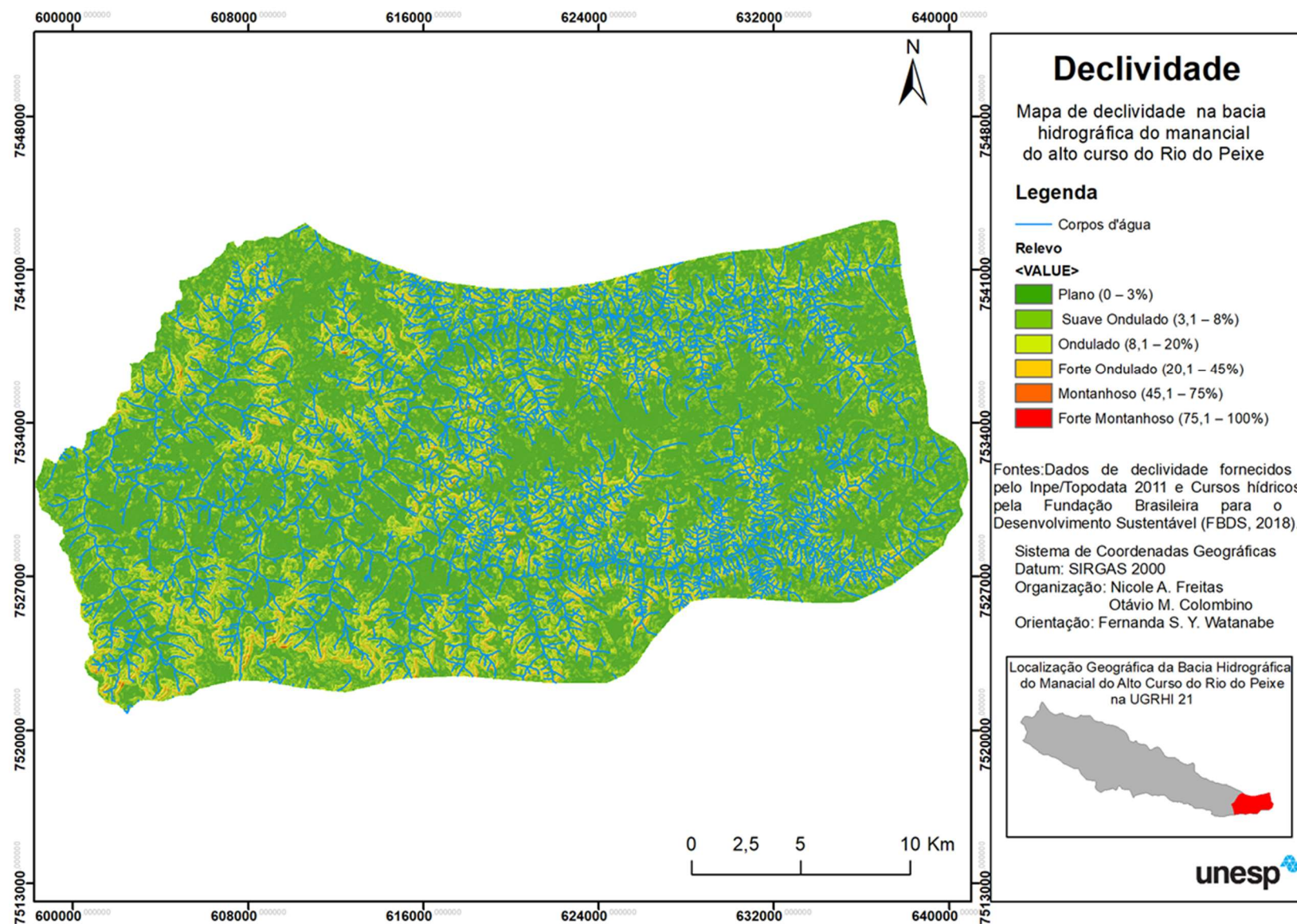
1. **Colinas amplas:** predominam interflúvios com área superior a 4 km², topos extensos e aplainados, vertentes com perfis retilíneos a convexos. Drenagem de baixa densidade, padrão subdendrítico, vales abertos, planícies aluviais interiores restritas, presença eventual de lagoas perenes ou intermitentes. É o sistema de relevo característico do Planalto Ocidental. Acha-se desenvolvido sobre arenitos do Grupo Bauru;
2. **Morrotes alongados e espigões:** predominam interflúvios sem orientação preferencial, topos angulosos, vertentes ravinadas com perfis retilíneos. Drenagem de média a alta densidade, padrão dendrítico, vales fechados.

Ocorre em áreas relativamente grandes nas cabeceiras do Rio do Peixe, sobre substrato arenoso das Formações Marília e Adamantina; e

- 3. Planícies aluviais:** terrenos baixos e relativamente planos, junto às margens dos rios, sujeitos periodicamente a inundações. Ocupa áreas pequenas e estão restritas às calhas do Rio do Peixe.

De acordo com Etchebehere, Saad e Casado (2005), as altitudes na bacia situam-se entre 250 e 550 metros, e seu relevo é majoritariamente plano e suave ondulado. Relevos ondulados e fortemente ondulados também podem ser encontrados na porção oeste da bacia. A distribuição das classes de declividade para a área de estudo pode ser observada na Figura 2.

Figura 2: Mapa de declividade da bacia hidrográfica do manancial do Alto Curso do Rio do Peixe.



4.4 Solos

Os solos definem as quantidades de água que se infiltram ou que excedem para escoar na superfície do terreno, sendo de fundamental importância na compreensão dos processos erosivos (COELHO NETTO, 1995). A bacia do Alto Peixe tem aproximadamente 66% de sua área ocupada com Argissolos Vermelho-Amarelos; 14,5% com Neossolos Litólicos; 6,7% com Latossolos Vermelhos; e 1,74% com Gleissolos Háplicos. As principais características desses tipos de solos estão descritas na Tabela 3, e a distribuição desses solos pode ser observada na Figura 3.

Tabela 3: Características dos solos da bacia hidrográfica do Alto Peixe.

ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS
Solos, constituídos por material mineral, que apresentam horizonte de acumulação de argila, B textural (Bt), com cores vermelho-amareladas devido à presença da mistura dos óxidos de ferro hematita e goethita. São solos profundos e muito profundos; bem estruturados e bem drenados; com sequência de horizontes A, Bt; A, BA, Bt; A, E, Bt; etc. Há predominância do horizonte superficial A do tipo moderado e proeminente, apresentam principalmente a textura média/argilosa, podendo apresentar em menor frequência a textura média/média e média/muito argilosa. Apresentam também baixa a muito baixa fertilidade natural, com reação fortemente ácida e argilas de atividade baixa.
NEOSSOLOS LITÓLICOS
Solos constituídos por material mineral ou por material orgânico pouco espesso que não apresenta alterações expressivas em relação ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos, ou seja, são solos rasos, onde geralmente a soma dos horizontes sobre a rocha não ultrapassa 50 cm, estando associados normalmente a relevos mais declivosos. As limitações ao uso estão relacionadas à pouca profundidade, presença da rocha e aos declives acentuados associados às áreas de ocorrência destes solos. Estes fatores limitam o crescimento radicular, o uso de máquinas e elevam o risco de erosão. Sua fertilidade está condicionada à soma de bases e à presença de alumínio, e os teores de fósforo são baixos em condições naturais.
LATOSSOLOS VERMELHOS
Solos constituídos por material mineral, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte diagnóstico superficial, exceto hístico. São solos em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos como resultado de energéticas transformações no material constitutivo. Os solos são virtualmente destituídos de minerais primários ou secundários menos resistentes ao intemperismo e têm capacidade de troca de cátions da fração argila baixa. Apresentam cores vermelhas acentuadas, devido aos teores mais altos e à natureza

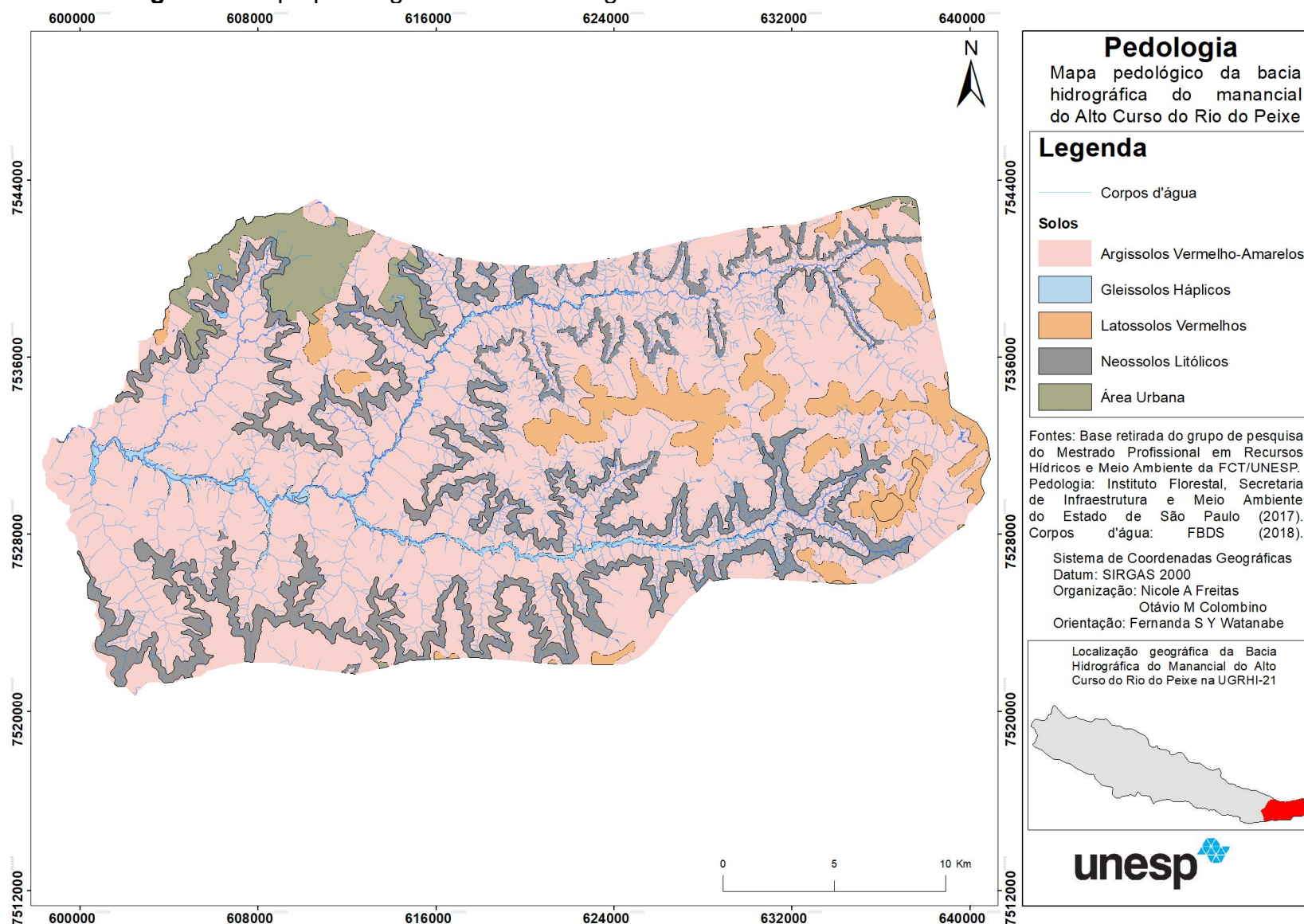
dos óxidos de ferro presentes no material originário em ambientes bem drenados; e características de cor, textura e estrutura uniformes em profundidade. Por serem profundos e porosos ou muito porosos, apresentam condições adequadas para um bom desenvolvimento radicular em profundidade.

GLEISSOLOS HÁPLICOS

Solos de natureza mineral ou organo-mineral, caracterizados por gleização devido ao lençol freático elevado por um longo período e/ou presença de camada permeável no perfil. São mal a muito mal drenados, com horizonte glei subjacente a um horizonte A, que pode ser turfoso, proeminente ou moderado, derivado de sedimentos aluviais ou colúvio-aluviais de natureza variáveis, em geral arenosos. Estes solos ocorrem em relevo plano e apresentam baixa atividade das argilas nos horizontes A e C, podendo ser álicos, distróficos ou eutróficos. Dada a natureza do material de origem, os solos possuem uma variação muito grande na sequência de horizontes e camadas, alternando-se a textura arenosa e média, podendo ainda ocorrer camada orgânica entre os minerais, característica importante que interfere no comportamento do solo e que deve ser considerada no uso e manejo desses solos. A fração mineral grosseira é constituída, predominantemente, por quartzo. Apresenta condições de alagamento permanente. Por estar em área de preservação e proteção ambiental (área sujeita à inundação), o uso destes solos, deve ser restrito à preservação e à reintrodução da vegetação nativa.

Fonte: Embrapa, 2018.

Figura 3: Mapa pedológico da bacia hidrográfica do manancial do Alto Curso do Rio do Peixe.



4.5 Uso e cobertura

Com base nos estudos de Troppmair (1969), é possível inferir que a UGRHI-21 era originalmente coberta por florestas e cerrados. De acordo com Etchebehere, Saad e Casado (2005), a ocupação territorial da bacia deu-se a partir da década de 1920, com rápido desmatamento; subsequentes plantios de café, algodão, amendoim, milho e cana-de-açúcar; e, após o esgotamento dos solos, formação de pastagens para a pecuária bovina extensiva.

Essa ocupação acelerada foi consequência dos planos desenvolvimentistas dos governos do início do século XX, os quais incentivaram a substituição da cobertura vegetal original por sucessivas lavouras e pastagens, proposta essa levada aos limites. Em dissonância com essa prática, os conhecimentos técnico-científicos sobre as interações decorrentes dessas transformações radicais no ambiente somente vieram à tona anos mais tarde. Portanto, o processo de ocupação foi feito de modo descuidado, priorizando os ganhos financeiros de curto prazo em detrimento da capacidade do meio físico, que passou a sofrer processos de erosão acelerada e o consequente assoreamento da rede de drenagem. Na atualidade, os campos e pastagens começam a ser substituídos por plantações intensivas de cana-de-açúcar, em virtude da indústria sucroalcooleira, que floresce no interior paulista (ETCHEBEHERE; SAAD; CASADO, 2005).

O CBH-AP (2016) cita que, na UGRHI-21, são encontrados 797,18 km² de vegetação natural remanescente, representando aproximadamente 8% do total do seu território. São quatro os tipos de vegetação remanescente encontrados: florestas estacionais semidecíduais; formação arbórea/arbustiva em região de várzea; vegetação secundária da floresta estacional semidecidual e savana florestada. Já na bacia hidrográfica do manancial do alto curso do Rio do Peixe, são encontrados três tipos de vegetação (não há presença de savana florestada), que somados representam 130,85 km² de vegetação natural remanescente e constituem aproximadamente 17,5% do total do seu território. As informações estão sintetizadas na tabela a seguir:

Tabela 4: Quantificação dos remanescentes de vegetação na bacia do Alto Peixe.

Tipologia de vegetação	Alto Peixe	
	Área (km ²)	% de área de vegetação remanescente em relação à área total da bacia do Alto Peixe
Floresta estacional semidecidual	56,93	7,67
Formação arbórea/arbustiva em região de várzea	14,18	1,91
Savana florestada	0	0
Vegetação secundária da floresta estacional semidecidual	59,74	8,04
Total	130,85	17,62

Fonte: Adaptado de CBH-AP (2016).

Para a definição de áreas prioritárias para restauração ecológica e conservação do solo, os usos e ocupação da terra na bacia hidrográfica do Alto Curso do Rio do Peixe foram divididos em cinco classes:

- 1. Área edificada:** metrópoles e cidades, incluindo áreas residenciais, comerciais e de serviços;
- 2. Área antropizada:** áreas modificadas pelo homem e desprovidas de cobertura nativa. Inclui pastagens, culturas temporárias e culturas permanentes, com exceção da silvicultura;
- 3. Silvicultura:** cultivos de *Eucalyptus* sp. ou *Pinus* sp.;
- 4. Formação florestal:** vegetação arbórea nativa com dossel contínuo;
- 5. Água:** espelho d'água contínuo.

As Tabelas 5 e 6 a seguir apresentam as áreas, em km², e as respectivas porcentagens dos cinco tipos de uso da terra presentes na bacia hidrográfica, segmentados por município. As informações são da FBDS – Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (2018).

Tabela 5: Áreas, em quilômetros quadrados, de uso e cobertura da terra por município na bacia hidrográfica do manancial do Alto Curso do Rio do Peixe.

Município	Água	Área antropizada	Área edificada	Formação florestal	Silvicultura
Gália	–	0,44	–	0,03	–
Garça	0,88	184,20	1,13	31,43	8,98
Lupércio	0,02	30,18	–	14,55	2,08
Marília	1,91	134,34	21,65	47,13	0,37
Ocaçu	0,12	62,72	–	21,46	0,16
Vera Cruz	0,80	101,10	–	20,52	0,55
Total por uso	3,73	512,98	22,78	135,12	12,14

Fonte: FBDS (2018).

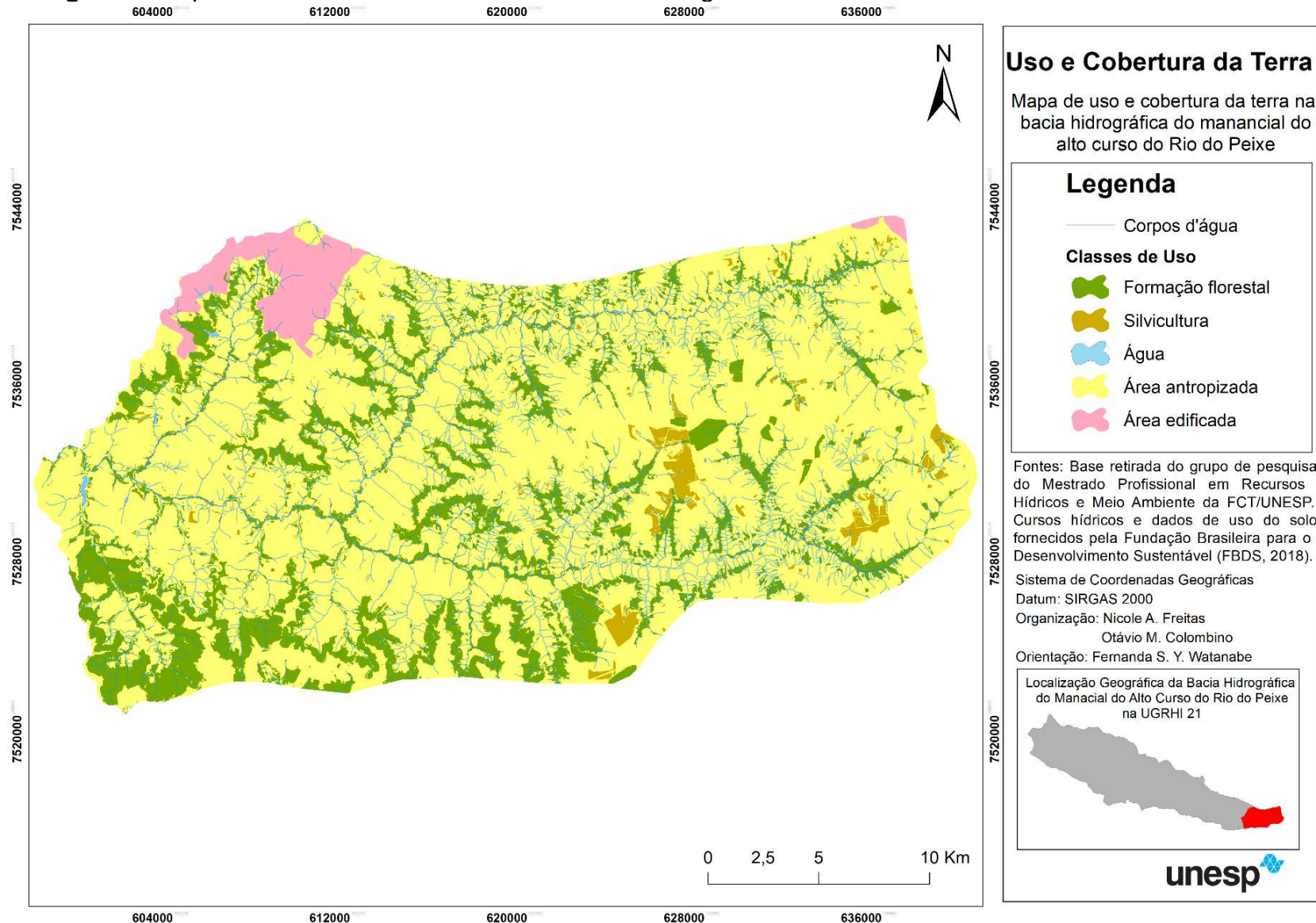
Tabela 6: Porcentagens de uso e cobertura da terra por município na bacia hidrográfica do manancial do Alto Curso do Rio do Peixe.

Município	Água	Área antropizada	Área edificada	Formação florestal	Silvicultura	Total
Gália	0	0,064	0	0,004	0	0,068
Garça	0,128	26,823	0,164	4,576	1,308	32,999
Lupércio	0,003	4,395	0	2,118	0,303	6,819
Marília	0,278	19,562	3,152	6,863	0,054	29,909
Ocaçu	0,017	9,134	0	3,125	0,023	12,299
Vera Cruz	0,116	14,721	0	2,988	0,081	17,906
Total por uso	0,542	74,699	3,316	19,674	1,769	100

Fonte: FBDS (2018).

O mapa de uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Alto Peixe pode ser observado na Figura 4 a seguir:

Figura 4: Mapa de uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do manancial do Alto Curso do Rio do Peixe.

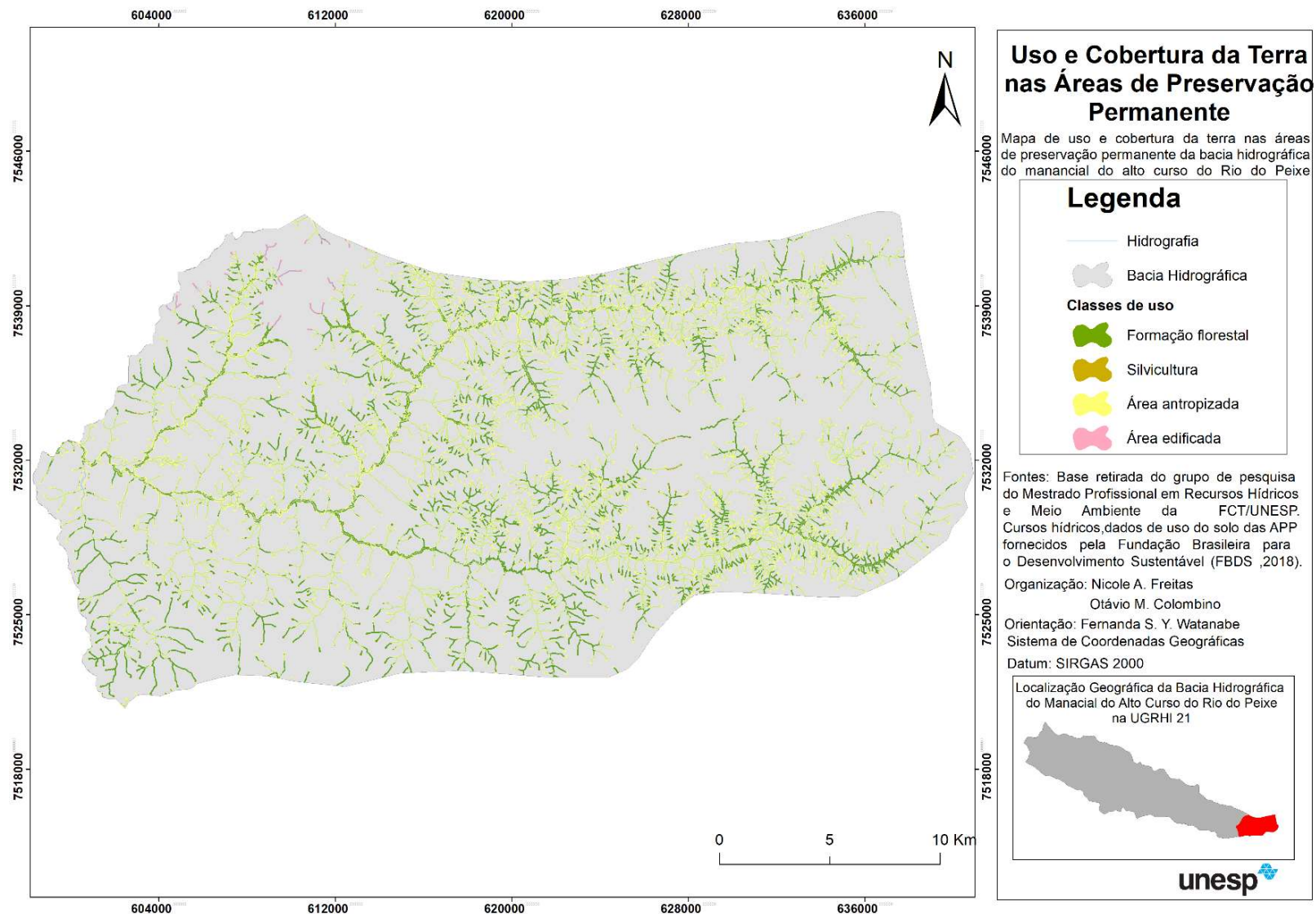


É possível observar, de acordo com as Tabelas 5 e 6 e a Figura 4, que a bacia hidrográfica apresenta, predominantemente, áreas antropizadas. As áreas edificadas representam partes das cidades de Garça, a nordeste da bacia, e Marília, a noroeste. As formações florestais são um pouco mais expressivas nesses dois municípios, e são encontradas em quantias menores nos municípios de Lupércio, Ocaçu e Vera Cruz. As áreas de silvicultura são muito pequenas em todos os municípios, com exceção de Garça e Lupércio.

No que tange às áreas de preservação permanente, a bacia hidrográfica do Alto Peixe conta com apenas 32,52% de suas APPs com vegetação arbórea nativa, o que corresponde a 36,95 km² de um total de 113,64 km². Esse fato justifica, em grande parte, os processos erosivos e o assoreamento observado nos cursos hídricos da bacia.

As áreas de preservação permanente nessa bacia hidrográfica são destinadas, em sua maioria, a pastagens e culturas agrícolas, além de uma pequena área, no município de Marília, onde a APP contém edificações. O mapa de uso e cobertura da terra nas áreas de preservação permanente na bacia hidrográfica do Alto Curso do Rio do Peixe pode ser observado na Figura 5

Figura 5: Uso e cobertura da terra nas áreas de preservação permanente na bacia hidrográfica do manancial do Alto Curso do Rio do Peixe.



4.6 Propriedades rurais

Segundo o Incra (2020b), imóvel rural (ou propriedade rural) é toda área formada por uma ou mais matrículas de terras contínuas, do mesmo titular (seja ele proprietário ou posseiro), localizada tanto na zona rural quanto urbana do município. O que caracteriza o imóvel rural, conforme a Lei Federal nº 8.629/93, Art. 4º, inciso I, é a sua destinação “à exploração agrícola, pecuária, extrativa vegetal, florestal ou agroindustrial”.

O termo “terras contínuas” refere-se a áreas confrontantes da mesma pessoa (física ou jurídica). Isso quer dizer que duas ou mais áreas podem estar em diferentes situações jurídicas (propriedade ou posse); podem ter vários documentos diferentes (registros, matrículas, escrituras ou outros tipos de documentação); podem estar separadas por interrupções físicas (como estradas, rios e córregos) ou administrativas (áreas em municípios ou estados diferentes, por exemplo), e ainda assim, serão consideradas um único imóvel rural, desde que o tipo de exploração seja o mesmo.

O Incra (2020a) também estabelece que os imóveis rurais podem ser:

- Minifúndios: imóveis rurais com área inferior a 1 (um) módulo fiscal;
- Pequenas propriedades: imóveis rurais com área entre 1 (um) e 4 (quatro) módulos fiscais;
- Médias propriedades: imóveis rurais com área entre 4 (quatro) e 15 (quinze) módulos fiscais;
- Grandes propriedades: imóveis rurais com área superior a 15 (quinze) módulos fiscais.

Módulo fiscal é uma unidade de medida agrária utilizada no Brasil, instituída pela Lei nº 6.746/79. É expressa em hectares e seu valor é determinado pelo Incra para cada município, levando-se em conta:

- o tipo de exploração predominante no município;
- a renda obtida no tipo de exploração predominante;
- outras explorações existentes no município que, embora não predominantes, sejam expressivas em função da renda ou da área utilizada;
- o conceito de "propriedade familiar", ou seja, o imóvel rural que, direta e pessoalmente explorado pelo agricultor e sua família, lhes absorva toda a força de trabalho, garantindo-lhes a subsistência e o progresso social e econômico,

com área máxima fixada para cada região e tipo de exploração, e eventualmente trabalho com a ajuda de terceiros.

O módulo fiscal corresponde à área mínima necessária a uma propriedade rural para que sua exploração seja economicamente viável. No Brasil, o valor do módulo fiscal varia de 5 a 110 hectares. Nos seis municípios que compõem a bacia hidrográfica do Alto Peixe, o valor do módulo fiscal é de 14 hectares (INCRA, 2013). De acordo com o que é estabelecido nas leis supracitadas, as propriedades rurais da bacia hidrográfica do manancial do Alto Curso do Rio do Peixe são, em sua maioria, minifúndios.

No total, são 654 propriedades rurais, das quais 226 apresentam tamanho menor ou igual a um módulo fiscal, o que corresponde a aproximadamente 35% do total de propriedades. Ademais, 122 propriedades ($\approx 18\%$) possuem tamanho maior do que um e menor ou igual a dois módulos fiscais; 92 propriedades ($\approx 14\%$) possuem tamanho maior do que dois e menor ou igual a quatro módulos fiscais; 92 propriedades ($\approx 14\%$) possuem tamanho maior do que quatro e menor ou igual a dez módulos fiscais; e 122 propriedades ($\approx 18\%$) possuem tamanho maior do que dez módulos fiscais, como pode ser observado na Tabela 7:

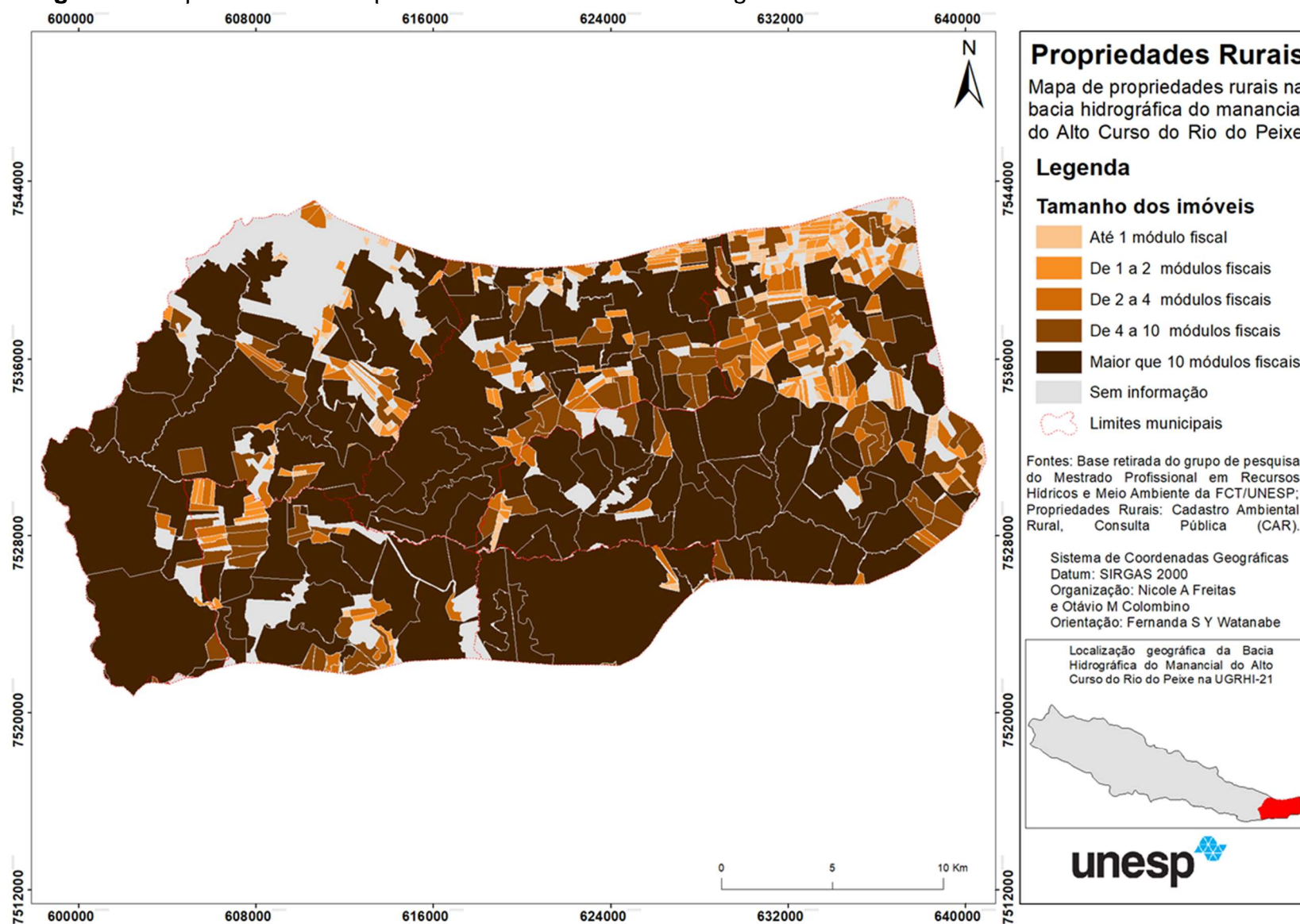
Tabela 7: Número de propriedades rurais por MF em cada cidade.

Município	Número de propriedades por módulo fiscal (MF)					Total
	MF ≤ 1	1 < MF ≤ 2	2 < MF ≤ 4	4 < MF ≤ 10	MF > 10	
Gália	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Garça	145	62	38	42	47	334
Lupércio	2	1	1	2	5	11
Marília	33	21	17	14	27	112
Ocaçu	11	14	13	16	20	74
Vera Cruz	35	24	23	18	23	123
Total	226	122	92	92	122	654

Fonte: Portal do CAR.

A figura 6 que se segue mostra o mapa das propriedades rurais da bacia hidrográfica do manancial do Alto Curso do Rio do Peixe, classificadas por seus respectivos tamanhos:

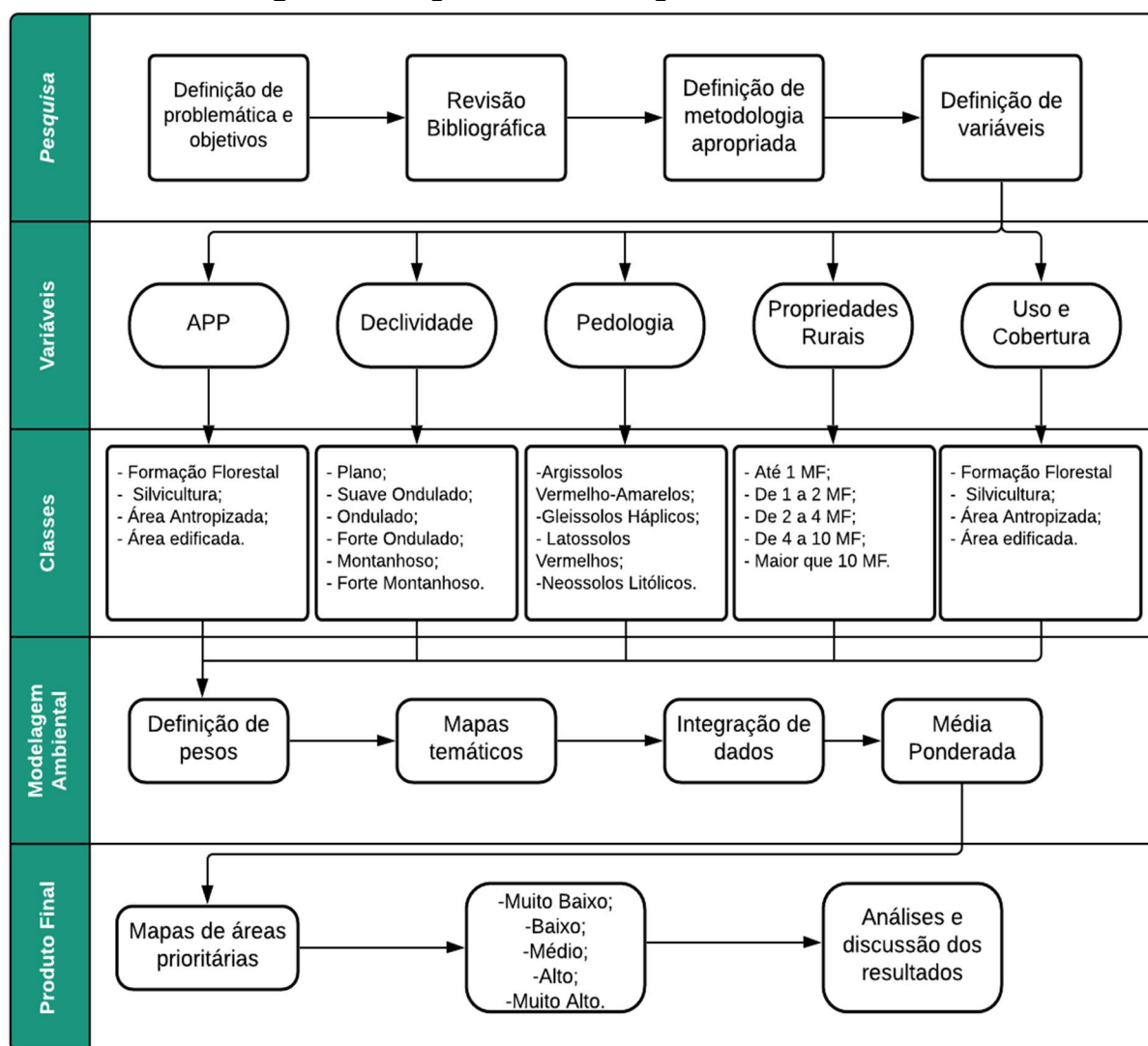
Figura 6: Propriedades rurais por módulo fiscal na bacia hidrográfica do manancial do Alto Curso do Rio Peixe.



5 MATERIAIS E MÉTODOS

O procedimento metodológico para a elaboração do estudo de áreas prioritárias para restauração ecológica e conservação do solo no manancial do Alto Curso do Rio do Peixe baseou-se nas seguintes etapas de trabalho:

Figura 7: Diagrama metodológico deste trabalho.



5.1 Software e dados utilizados

Para a definição de áreas prioritárias para restauração ecológica, foram selecionados 5 temas (APPs; declividade; pedologia; propriedades rurais; e uso e cobertura do solo). Essa seleção de planos de informação foi feita com base nos conhecimentos adquiridos ao longo da graduação, especialmente nas disciplinas de Projeto de Recuperação Áreas Degradadas; Gerenciamento de Recursos Hídricos;

Hidrologia; e Sistema de Informação Geográfica em Aplicações Ambientais, e também com base em outros estudos acadêmicos do curso de engenharia ambiental da FCT/UNESP (FREIRE, 2017; OKADO, 2018). Já para a determinação de áreas prioritárias para conservação do solo, foram selecionados 3 dentre os 5 temas citados previamente (declividade; pedologia; e uso e cobertura). Essa escolha foi feita com base no artigo de Leal *et al.* (2019).

O limite da bacia hidrográfica do manancial do Alto Curso do Rio do Peixe foi obtido através da disponibilização do grupo de pesquisa de mestrado profissional em Geografia - Área de concentração: Recursos Hídricos e Meio Ambiente. Já os vetores dos cursos hídricos, uso e cobertura e área de preservação permanente foram obtidos por meio do portal eletrônico da Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável, derivado do Projeto de Mapeamento em Alta Resolução dos Biomas Brasileiros, que produz dados primários em uma resolução inédita para os biomas brasileiros (5 metros).

A matriz de declividade foi extraída do banco de dados do INPE, especificamente do Topodata (2011), o tipo de matriz escolhido foi Modelo Digital de Elevação (MDE), na escala 1:250.000. Para o processamento das informações, foi utilizado o software ArcMap® 10.3, no qual, após a digitalização das curvas de nível, gerou-se uma malha triangular (*Create TIN*).

Os vetores de propriedades rurais foram obtidos por meio do portal do Cadastro Ambiental Rural (CAR), na aba de consulta pública. Vale ressaltar que por ser um cadastro autodeclaratório, as feições de cada propriedade podem ser delimitadas pelo proprietário de forma imprecisa. Os vetores de pedologia foram retirados do site da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo na aba do instituto florestal.

Tabela 8: Dados utilizados, com suas respectivas origens e escalas originais.

Dado	Origem	Escala original
Limite da bacia hidrográfica	Grupo de pesquisa de mestrado profissional em Geografia	1:100.000
Pedologia	Instituto Florestal de SP	-
Hidrografia	FBDS - Fundação Brasileira de Desenvolvimento Sustentável	1:25.000
Uso e cobertura	FBDS - Fundação Brasileira de	1:25.000

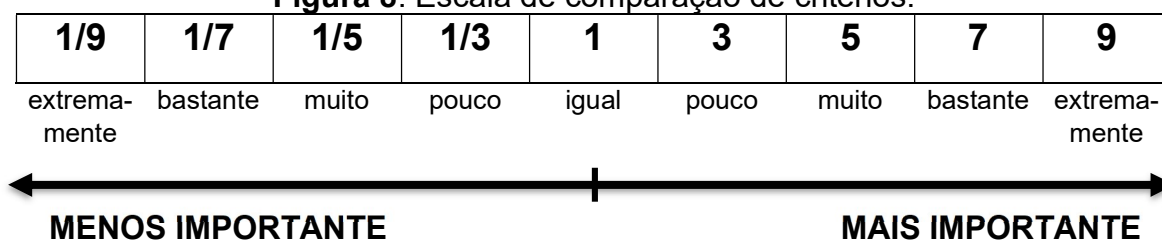
	Desenvolvimento Sustentável	
Propriedades Rurais	Portal do CAR	-
APPs	FBDS - Fundação Brasileira de Desenvolvimento Sustentável	1:25.000
Declividade	Topodata	1:250.000

5.2 Definição de critérios e pesos

Primeiramente, utilizou-se o método AHP para definir o grau de significância de cada um dos 5 temas (APPs; declividade; pedologia; propriedades rurais; e uso e cobertura) para restauração ecológica, e também para definir o grau de significância de cada um dos 3 temas (declividade; pedologia; e uso e cobertura) para conservação do solo. A hierarquização foi desenvolvida com base nos conhecimentos prévios dos autores e as comparações pareadas foram feitas utilizando-se o Microsoft Excel e a Escala Fundamental de Saaty, apresentada a seguir (Tabela 9 e Figura 8):

Tabela 9: Escala Fundamental de Saaty.

Valor	Definição	Explicação
1	Igual importância	Os dois critérios contribuem de forma idêntica para o objetivo.
3	Pouco mais importante	A análise e a experiência mostram que um critério é um pouco mais importante que o outro.
5	Muito mais importante	A análise e a experiência mostram que um critério é claramente mais importante que o outro.
7	Bastante mais importante	A análise e a experiência mostram que um dos critérios é predominante para o objetivo.
9	Extremamente mais importante	Sem qualquer dúvida um dos critérios é absolutamente predominante para o objetivo.
2; 4; 6; 8	Valores intermediários	Podem ser utilizados quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.

Figura 8: Escala de comparação de critérios.

Como já mencionado anteriormente, podem ser aplicadas diversas ferramentas matemáticas para se calcular o vetor de pesos da matriz dominante. No presente trabalho, utilizou-se a média geométrica. A média geométrica é utilizada para encontrar o autovetor, que indica a ordem de prioridade. De acordo com as simulações de Bajwa *et al.* (2008), essa técnica é a melhor para se obter as prioridades em uma matriz. A média geométrica é obtida através do produto de todos os números do conjunto elevado ao inverso da quantidade de membros desse conjunto. A média geométrica de um vetor é dada pela Equação 3. Os graus de significância obtidos representam o quanto cada tema influencia na definição de áreas prioritárias para restauração ecológica e conservação do solo.

$$w_i = \prod_{j=1}^n a_{ij}^{1/n} \quad (3)$$

Onde:

w_i = Média geométrica do vetor de critério i

n = Número de colunas ou elementos do vetor

a_{ij} = O valor do vetor na linha i e coluna j

Uma vez concluída essa etapa, cada tema foi analisado individualmente. Então, as classes de cada tema receberam pesos através de duas metodologias: AHP e Lógica *Fuzzy*. Na AHP, os pesos foram atribuídos de acordo com os conhecimentos teóricos e científicos dos autores, de modo que a RC fosse sempre inferior ou igual a 10% para que a matriz dominante fosse considerada consistente. As tabelas de Excel podem ser encontradas no Apêndice 1. Já na Lógica *Fuzzy*, os pesos foram atribuídos empiricamente, conforme sua influência no evento estimado, de modo que formassem uma função linear. Os gráficos dessas funções podem ser observados no Apêndice 2.

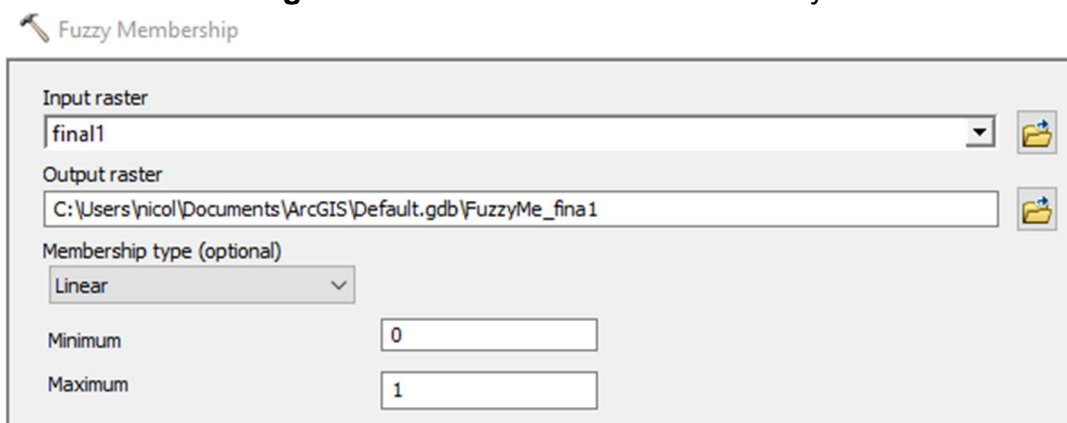
5.3 Padronização

Para que seja possível a comparação entre dados que seguem diferentes escalas de valores ou até mesmo que sejam nominais, é necessário que todos os fatores sejam reescalados, ou seja, padronizados, para uma mesma escala, para que a comparação seja possível. Duas abordagens de ponderação foram testadas para padronização dos dados: a AHP e a Lógica *Fuzzy*.

Na abordagem por AHP, os pesos foram definidos somando-se todos os autovetores e, então, dividindo cada autovetor pela soma. Dessa forma, os pesos variam de 0 a 1, sendo que a soma dos autovetores normalizados é sempre igual a 1. As tabelas de Excel contendo os autovetores normalizados e os cálculos de $\lambda_{\max}$, IC e RC podem ser encontradas no Apêndice 1.

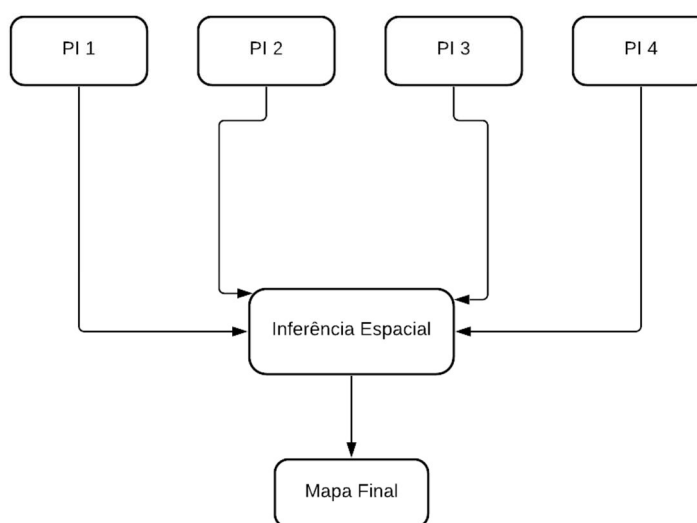
Por sua vez, na abordagem usando Lógica *Fuzzy*, os pesos foram padronizados através de funções de pertinência. Uma função de pertinência é uma curva que define como cada valor de entrada se transforma em um valor de saída (valor de pertinência) entre 0 e 1. Essa curva é arbitrária, e seu formato pode ser definido com base na simplicidade, conveniência ou eficiência (AL-NAJJAR e ALSYOUF, 2003). Existem vários tipos básicos de função de pertinência: linear, gaussiana, sigmoidal, polinomial, etc. No presente trabalho, utilizou-se a função de pertinência linear.

Depois de definir os pesos utilizando gráficos no Excel, empregou-se uma ferramenta do ArcMap® 10.3 denominada Pertinência *Fuzzy* (do inglês, *Fuzzy Membership*), como mostra a Figura 9. Essa ferramenta de geoprocessamento normaliza uma camada do tipo *raster* (dado de entrada) em uma escala de 0 a 1, indicando a “força” de uma associação em um conjunto, ou seja, seu pertencimento, com base em um algoritmo de *fuzzificação* especificado. O valor máximo 1 indica pertencimento total ao conjunto e o valor mínimo 0 indica dissociação total do conjunto.

Figura 9: Ferramenta Pertinência Fuzzy.

5.4 Inferência espacial

Na esfera das modelagens para tomada de decisão em ambiente SIG, a inferência espacial é de grande utilidade para que se possa obter um produto final abrangente. As técnicas de inferência espacial (ou inferência geográfica) consistem em ferramentas para a integração de dados espaciais advindos de diversas fontes; sendo possível, a partir de tais técnicas, a análise integrada de dados e a criação de modelos de informação extremamente valiosos para os processos decisórios. A Figura 10 ilustra, de maneira geral, o funcionamento das técnicas de inferência espacial.

Figura 10: Diagrama de funcionamento das técnicas de inferência espacial.

Ao final da padronização dos dados (AHP e Lógica *Fuzzy*), a técnica de inferência espacial utilizada para a geração dos mapas finais de áreas prioritárias para restauração ecológica e conservação do solo foi a soma ponderada. Para isso, empregou-se a ferramenta *Weighted Sum* (soma ponderada), presente na aba *Overlay* do *ArcToolBox*. Nessa etapa, foram feitas 4 somas ponderadas:

1. Para gerar o mapa final de áreas prioritárias para restauração ecológica pela metodologia AHP;
2. Para gerar o mapa final de áreas prioritárias para conservação do solo pela metodologia AHP;
3. Para gerar o mapa final de áreas prioritárias para restauração ecológica pela Lógica *Fuzzy*;
4. Para gerar o mapa final de áreas prioritárias para conservação do solo pela Lógica *Fuzzy*.

Para gerar os mapas referentes à restauração ecológica, é efetuada a soma ponderada com todos os 5 mapas (APPs; declividade; pedologia; propriedades rurais; e uso e cobertura) em formato *raster* e com suas classes devidamente ponderadas e normalizadas. Por sua vez, para gerar os mapas referentes à conservação do solo, a soma ponderada é feita com 3 mapas (declividade; pedologia; e uso e cobertura).

Os valores de ponderação nessas 4 somas são os graus de significância de cada tema (calculados através do método AHP no início do tópico 5.2 e apresentados nas Tabelas 10 e 11), com a soma total dos pesos sendo igual a 1. As Figuras 11 e 12 mostram a janela da ferramenta de soma ponderada no ArcMap® 10.3, com os mapas utilizados e seus pesos, para restauração ecológica e conservação do solo, respectivamente:

Figura 11: Ferramenta *Weighted Sum* com os temas e suas respectivas significâncias (restauração ecológica).

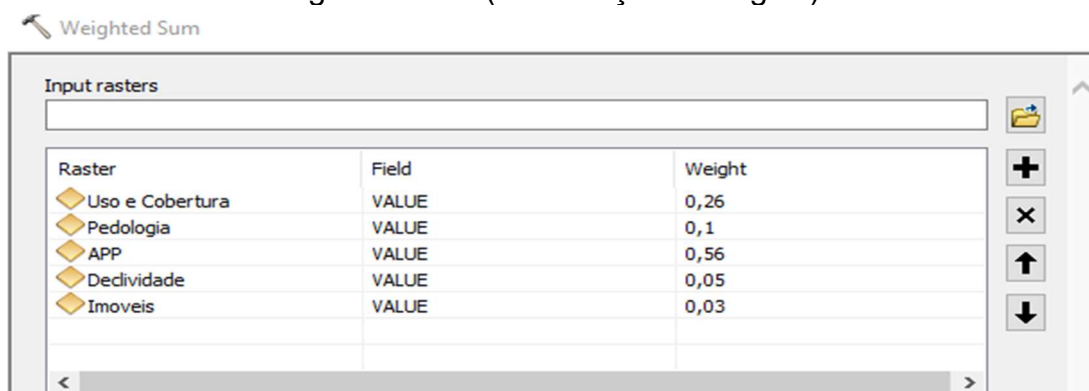
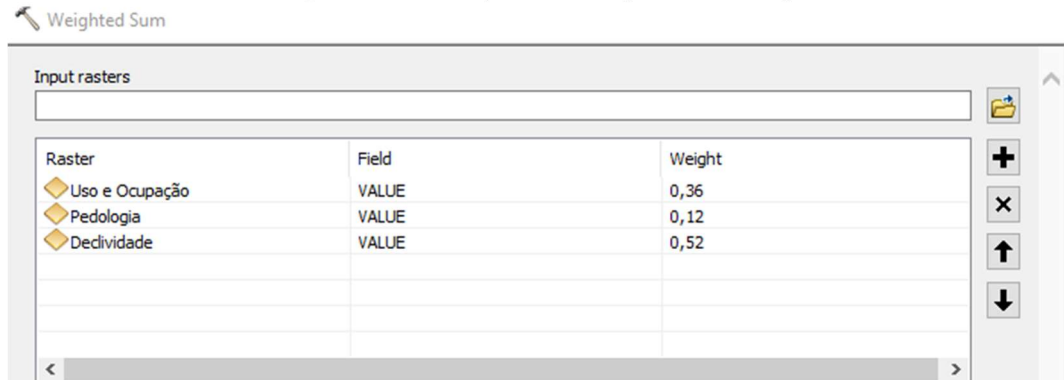


Figura 12: Ferramenta Weighted Sum com os temas e suas respectivas significâncias (conservação do solo).



A ferramenta de soma ponderada representada acima realiza a definição de áreas prioritárias para restauração ecológica e para conservação do solo de acordo com as equações 4 e 5 a seguir:

$$MFre = \omega_{APP} * APP + \omega_{Uso} * Uso + \omega_{Pedo} * Pedo + \omega_{Decliv} * Decliv + \omega_{Prop} * Prop \quad (4)$$

$$MFcs = \omega_{Decliv} * Decliv + \omega_{Uso} * Uso + \omega_{Pedo} * Pedo \quad (5)$$

Nas equações acima,

- *MFre* representa o mapa final de restauração ecológica;
- *MFcs* representa o mapa final de conservação de solo;
- ω_{tema} representa o grau de significância de cada tema;
- *Decliv* representa a declividade;
- *Pedo* representa pedologia;
- *Uso* representa uso e cobertura da terra;
- *APP* representa as áreas de preservação permanente;
- *Prop* representa as propriedades rurais.

Após a realização das operações de somas ponderadas, os *pixels* da imagem foram classificados em cinco intervalos de distribuição. Os cinco intervalos correspondem aos cinco graus de prioridade para restauração ecológica e conservação do solo: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta. Baseada na distribuição de frequência com que cada valor de *pixel* aparece na imagem, essa

classificação em intervalos foi feita através do método de Quebras Naturais (do inglês, *Natural Breaks*).

Nessa técnica, também conhecida como método de Jenks, os limites são configurados onde existem diferenças relativamente grandes nos valores de dados, ou seja, os intervalos são definidos quando há uma diferença abrupta na distribuição. Desse modo, há uma variância interna mínima em cada classe, e uma variância grande entre as classes. Pelo fato da classificação por Quebras Naturais agrupar elementos que são mais semelhantes entre si, esse método serve para mapeamento dos valores de dados que não estão uniformemente distribuídos, que é o caso do presente trabalho.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As matrizes AHP elaboradas para definir o grau de significância de cada tema em relação à restauração ecológica e a conservação do solo podem ser observadas nas Tabelas 10 e 11. Essas tabelas contêm as comparações par a par; o cálculo dos autovetores pela média geométrica; a normalização dos autovetores e a verificação do grau de consistência.

Tabela 10: Matriz AHP elaborada para definir o grau de significância de cada tema para restauração ecológica.

Matriz AHP referente a restauração ecológica							
Crítérios	Declividade	Pedologia	Uso e cobertura	APPs	Prop. Rurais	Auto vetor (V)	V normalizado
Declividade	1	0,3333	0,1667	0,11111	2	0,41524	0,05
Pedologia	3	1	0,2	0,14286	5	0,84412	0,10
Uso e cobertura	6	5	1	0,25	7	2,20817	0,26
APPs	9	7	4	1	9	4,68952	0,56
Prop. Rurais	0,5	0,2	0,1429	0,11111	1	0,27551	0,03
Soma	19,5	13,53	5,51	1,62	24	8,43256	1
					λ -max	IC	RC
					5,43999	0,109998452	9,82%

Tabela 11: Matriz AHP elaborada para definir o grau de significância de cada tema para conservação do solo.

Matriz AHP referente a conservação do solo					
Crítérios	Declividade	Pedologia	Uso e cobertura	Auto vetor (V)	V normalizado
Declividade	1	3	2	1,8171206	0,52
Pedologia	0,33	1	0,25	0,4367902	0,12
Uso e cobertura	0,50	4	1	1,259921	0,36
Soma	1,833333333	8	3,25	3,5138319	1
			λ -max	IC	RC
			3,107847334	0,0539237	9,30%

As tabelas 12 e 13 sintetizam os resultados da metodologia AHP, mostrando os graus de significância de cada tema e os pesos de cada classe:

Tabela 12: Graus de significância dos temas e pesos das classes para restauração ecológica.

TEMA	GRAU DE INFLUÊNCIA	CLASSE	PESO
Áreas de Proteção Permanente (APPs)	0,56	Área antropizada	0,76
		Silvicultura	0,18
		Formação florestal	0,06
		Água	Restrição
		Área edificada	Restrição
Declividade	0,05	Plano	0,04
		Suave ondulado	0,08
		Ondulado	0,13
		Forte ondulado	0,24
		Montanhoso	0,51
Pedologia	0,10	Neossolos Litólicos	0,58
		Latossolos Vermelhos	0,29
		Argissolos Vermelho-Amarelos	0,08
		Gleissolos Háplicos	0,05
Propriedades Rurais	0,03	≤ 1 módulo fiscal	0,08
		>1 até 2 módulos fiscais	0,11
		>2 até 4 módulos fiscais	0,18
		>4 até 10 módulos fiscais	0,23
		>10 módulos fiscais	0,40
Uso e Cobertura	0,26	Área antropizada	0,76
		Silvicultura	0,18
		Formação florestal	0,06
		Água	Restrição
		Área edificada	Restrição

Tabela 13: Graus de significância dos temas e pesos das classes para conservação do solo.

TEMA	GRAU DE INFLUÊNCIA	CLASSE	PESO
Declividade	0,52	Plano	0,04
		Suave ondulado	0,08
		Ondulado	0,13
		Forte ondulado	0,24
		Montanhoso	0,51
Pedologia	0,12	Neossolos Litólicos	0,58
		Latossolos Vermelhos	0,29
		Argissolos Vermelho-Amarelos	0,08
		Gleissolos Háplicos	0,05
Uso e Cobertura	0,36	Área antropizada	0,76
		Silvicultura	0,18
		Formação florestal	0,06
		Água	Restrição
		Área edificada	Restrição

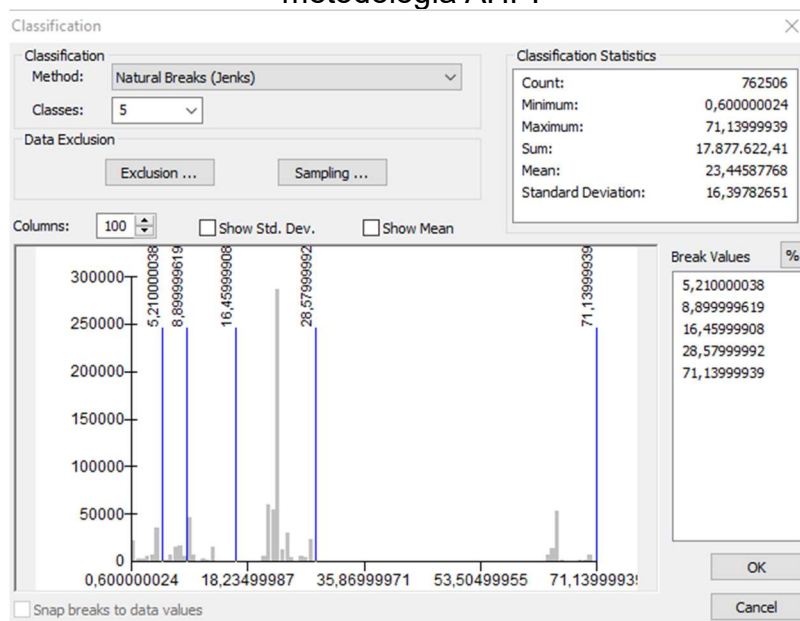
As equações 6 e 7 demonstram a soma ponderada, metodologia de inferência espacial utilizada para integrar os planos de informação e gerar os mapas de áreas prioritárias:

$$MFre = 0,56 * APP + 0,26 * Uso + 0,1 * Pedo + 0,05 * Decliv + 0,03 * Prop \quad (6)$$

$$MFcs = 0,52 * Decliv + 0,36 * Uso + 0,12 * Pedo \quad (7)$$

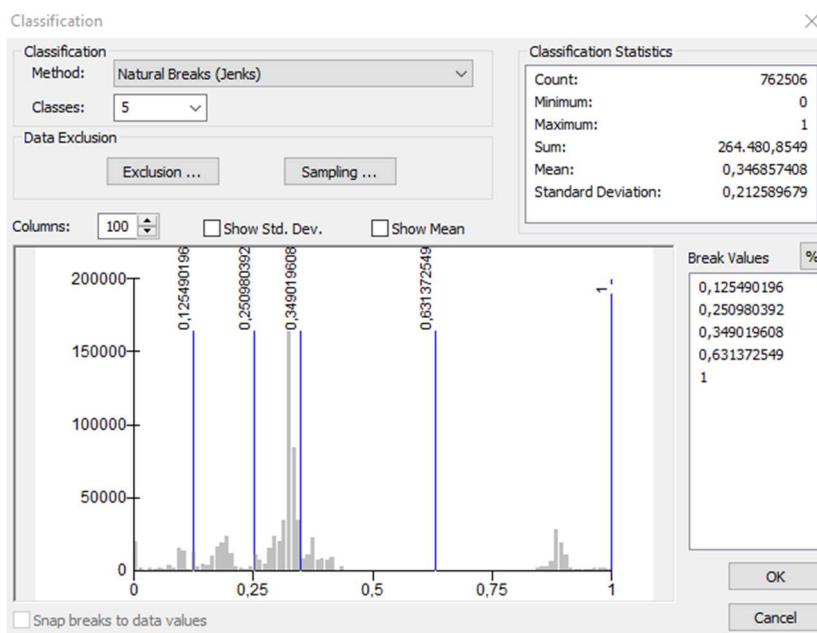
As Figuras 13, 14, 15 e 16 mostram os histogramas de distribuição dos valores de *pixel*, no qual a base dos gráficos mostra os valores de *pixel* e o eixo das ordenadas, as suas respectivas frequências.

Figura 13: Histograma da soma ponderada para restauração ecológica pela metodologia AHP.



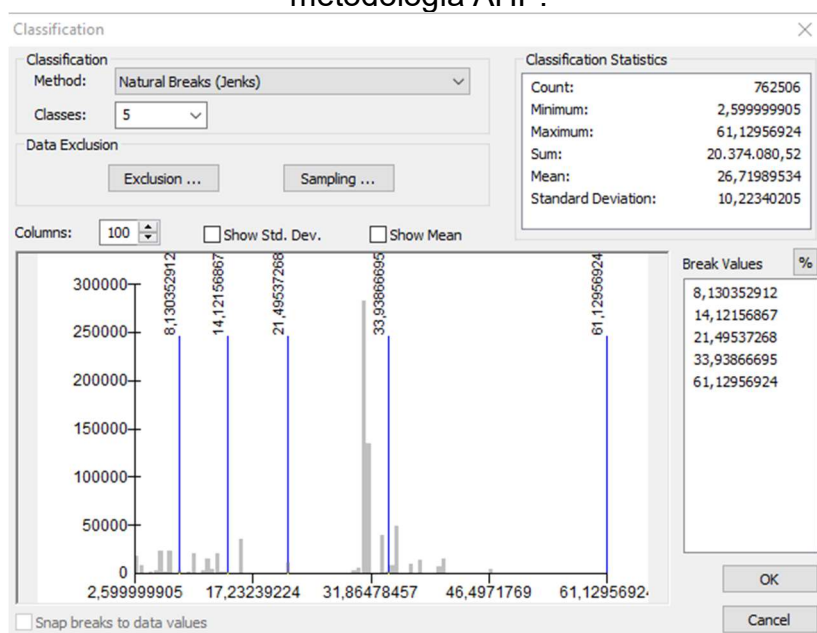
No histograma acima, é possível observar que os valores que dividem o gráfico (barras azuis) representam os graus de prioridade. Assim, quando realizada a operação descrita pela Equação 6, se o resultado da soma ponderada for menor ou igual a 5,21, essas áreas serão classificadas como de prioridade muito baixa. Se o resultado for maior que 5,21 e menor ou igual a 8,89, essas áreas serão classificadas como de prioridade baixa. Com valores maiores que 8,89 e menores ou iguais a 16,45, a prioridade é média. Quando o resultado é maior que 16,45 e menor ou igual 28,57, a prioridade é considerada alta. Para valores acima de 28,57 até 71,13, a prioridade para restauração ecológica é muito alta. Os histogramas seguintes seguem o mesmo princípio.

Figura 14: Histograma da soma ponderada para restauração ecológica pela Lógica Fuzzy.



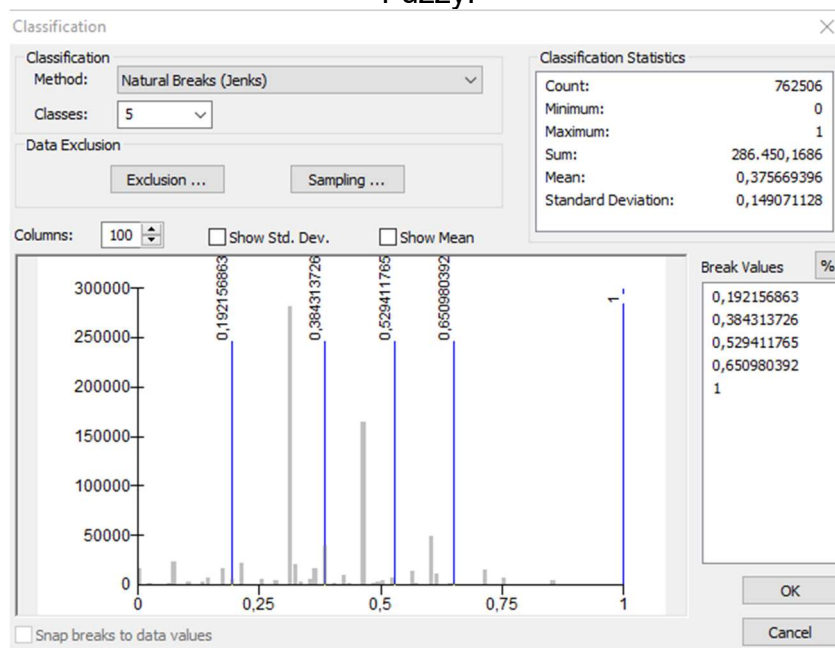
De 0 a 0,125, a prioridade é muito baixa. Se o resultado for maior que 0,125 e menor ou igual a 0,250, a prioridade é baixa. Com valores maiores que 0,250 e menores ou iguais a 0,349, a prioridade é média. Quando o resultado é maior que 0,349 e menor ou igual 0,631, a prioridade é considerada alta. Para valores acima de 0,631 até 1, a prioridade para restauração ecológica é muito alta.

Figura 15: Histograma da soma ponderada para conservação do solo pela metodologia AHP.



Se o resultado da soma ponderada for menor ou igual a 8,13, a prioridade é muito baixa. Se o resultado for maior que 8,13 e menor ou igual a 14,12, a prioridade é baixa. Com valores maiores que 14,12 e menores ou iguais a 21,49, a prioridade é média. Quando o resultado é maior que 21,49 e menor ou igual 33,93, a prioridade é considerada alta. Para valores acima de 33,93 até 61,12, a prioridade para conservação do solo é muito alta.

Figura 16: Histograma da soma ponderada para conservação do solo pela Lógica Fuzzy.



De 0 a 0,192, a prioridade é muito baixa. Se o resultado for maior que 0,192 e menor ou igual a 0,384, a prioridade é baixa. Com valores maiores que 0,384 e menores ou iguais a 0,529, a prioridade é média. Quando o resultado é maior que 0,529 e menor ou igual 0,650, a prioridade é considerada alta. Para valores acima de 0,650 até 1, a prioridade para conservação do solo é muito alta.

A partir dos histogramas acima, é possível observar que pela Lógica *Fuzzy* os intervalos possuem uma maior equidade, os *pixels* estão mais bem distribuídos e a padronização foi mais efetiva, uma vez que todos os valores estão entre 0 e 1. Por sua vez, no método AHP, mesmo realizando-se a normalização de forma que a soma total dos autovetores normalizados fosse sempre igual a 1, percebe-se que a padronização não foi tão efetiva, pois no histograma referente à restauração ecológica os valores estão entre 0,6 e 71,13; e no histograma referente à conservação do solo os valores encontram-se entre 2,59 e 61,12.

O resultado das classificações supracitadas pode ser observado nos mapas de Áreas Prioritárias para Restauração Ecológica e Conservação do Solo na Bacia Hidrográfica do Manancial do Alto Curso do Rio do Peixe (Figuras 17, 18, 19 e 20).

Figura 17: Áreas prioritárias para restauração ecológica usando a metodologia de AHP na bacia hidrográfica do manancial do Alto Curso do Rio do Peixe.

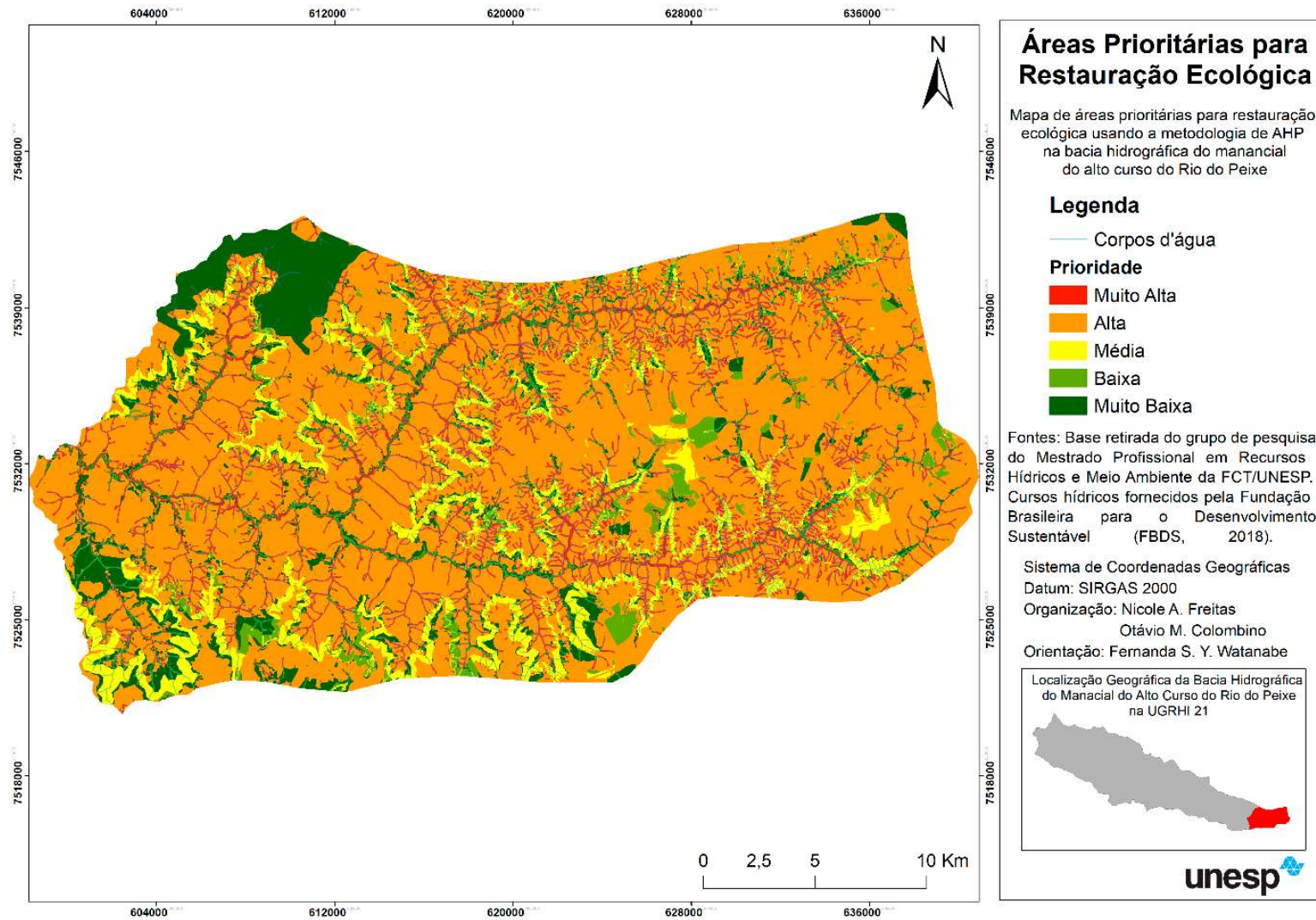


Figura 18: Áreas prioritárias para restauração ecológica usando a metodologia de Lógica *Fuzzy* na bacia hidrográfica do manancial do Alto Curso do Rio do Peixe.

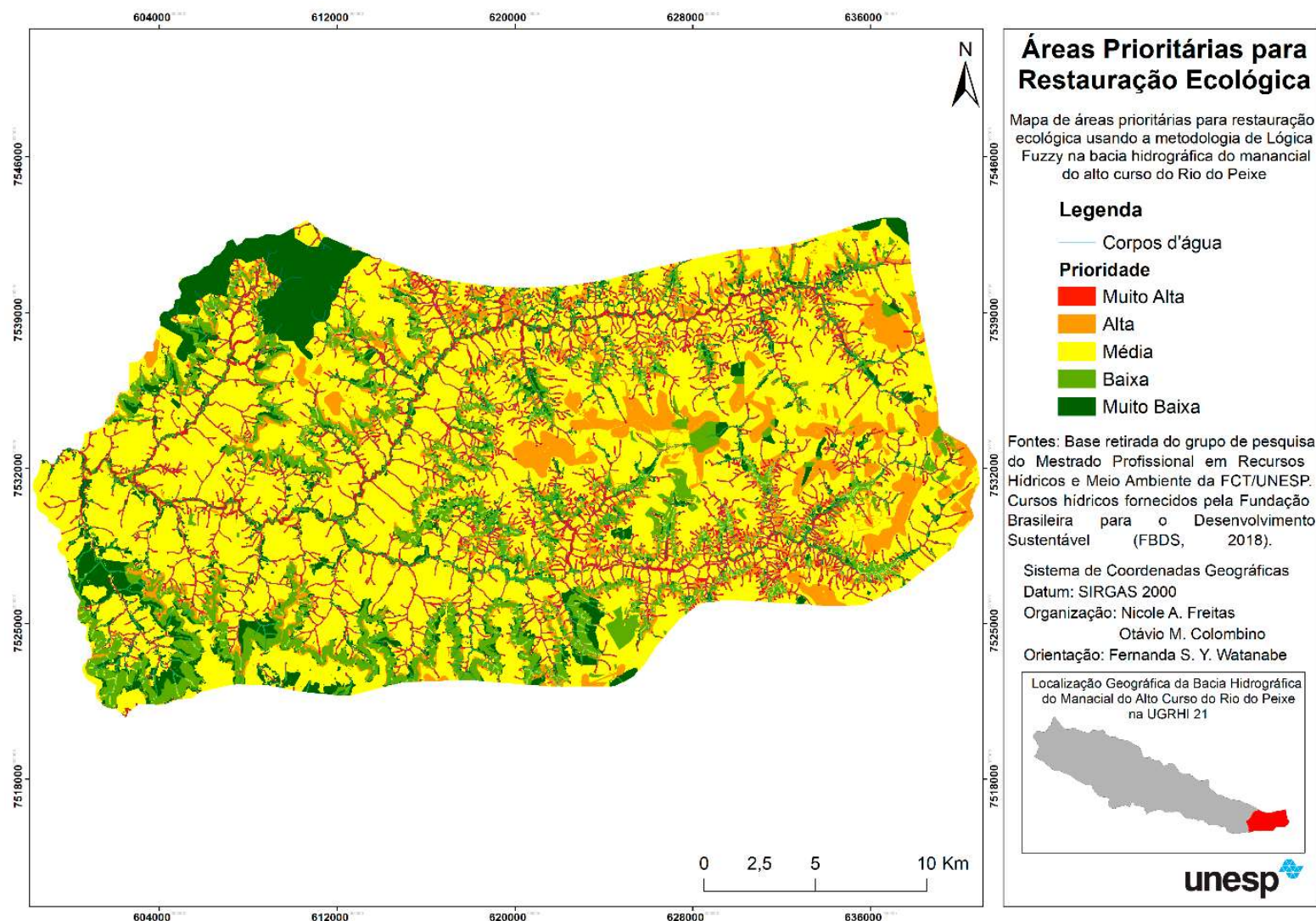


Figura 19: Áreas prioritárias para conservação do solo usando a metodologia de AHP na bacia hidrográfica do manancial do Alto Curso do Rio do Peixe.

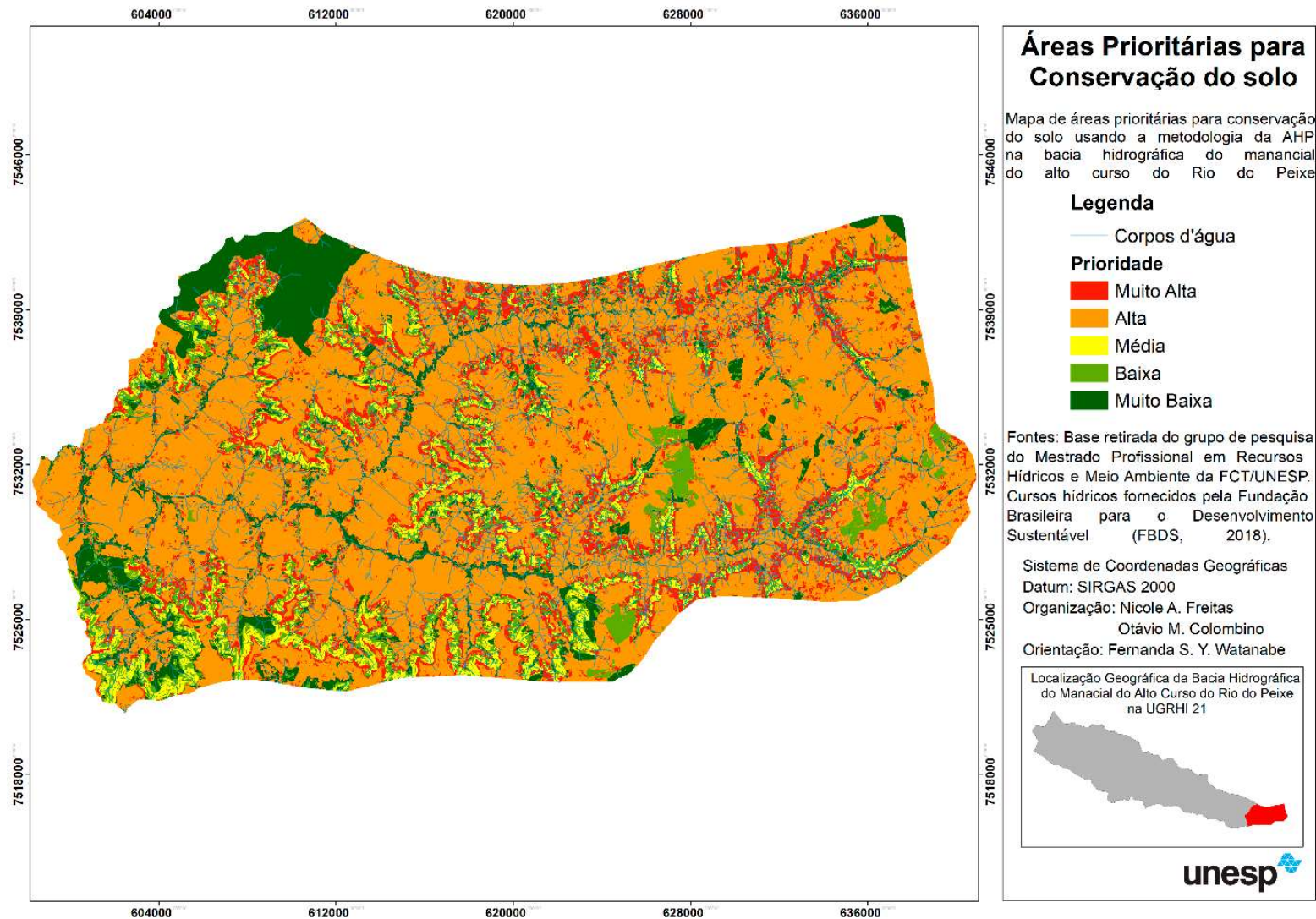
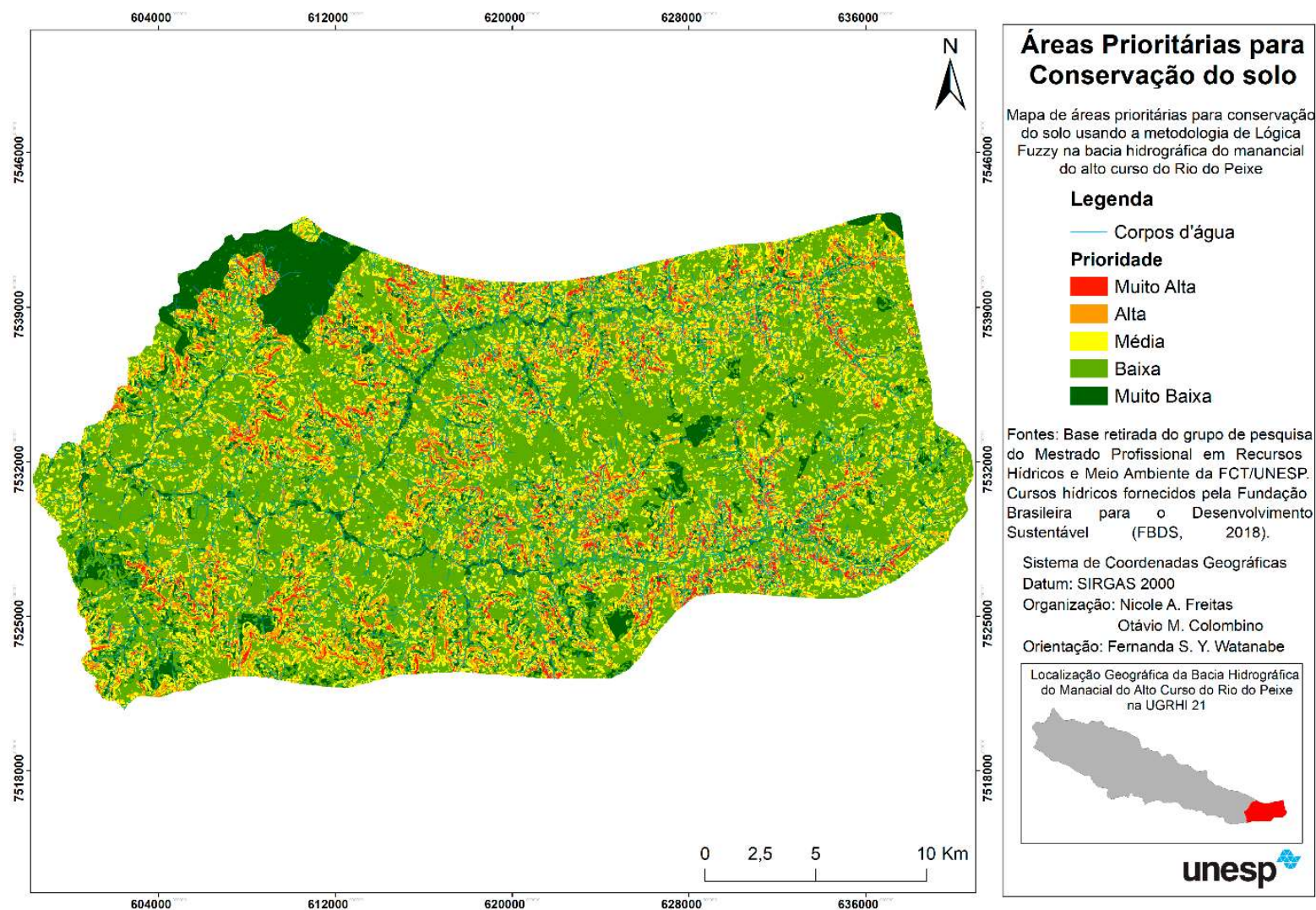


Figura 20: Áreas prioritárias para conservação do solo usando a metodologia de Lógica *Fuzzy* na bacia hidrográfica do manancial do Alto Curso do Rio do Peixe.



Na Figura 17, é possível observar a priorização de áreas para restauração ecológica através da metodologia AHP. Pode-se perceber que a maioria das áreas foi classificada com prioridade alta e que essas áreas coincidem com as áreas antropizadas do mapa de uso e cobertura do solo. Isso ocorreu devido à alta significância atribuída a este tema. Ao analisar os mapas de pedologia e de uso e cobertura, é possível identificar a influência deles no processo de inferência espacial. Por exemplo, nas áreas cobertas por formação florestal, a prioridade deveria ser muito baixa ou baixa, entretanto, grande parte dessas áreas estão classificadas com prioridade média, pois coincidem com as áreas onde há Neossolos Litólicos, que foi a classe de pedologia ponderada com o maior peso (0,58) devido a suas características (solos rasos e que normalmente estão associados a relevos mais declivosos, elevando o risco de erosão).

Na Figura 18, é possível observar a priorização de áreas para restauração ecológica através da Lógica *Fuzzy*. Nesse mapa, a maioria das áreas foi classificada com prioridade média e ainda nota-se a forte influência dos temas de pedologia e uso e cobertura, porém dessa vez a priorização ocorreu de forma mais sutil, devido à melhor distribuição dos pesos das classes de cada tema. Como esperado, as áreas cobertas por formação florestal foram classificadas, em sua maioria, com prioridade baixa.

Na Figura 19, é possível observar a priorização de áreas para conservação do solo através do método AHP. Percebe-se a clara influência do tema de declividade, pois as áreas classificadas com prioridade muito alta coincidem com os relevos forte ondulados e montanhosos. Assim como na Figura 17, a maioria das áreas foi classificada com prioridade alta, mostrando mais uma vez o domínio do tema de uso e cobertura.

Na Figura 20, é possível observar a priorização de áreas para conservação do solo através da Lógica *Fuzzy*. Aqui, mesmo utilizando-se os mesmos graus de significância para os temas de declividade, uso e cobertura do solo e pedologia (como visto no tópico 5.2), nota-se que esse mapa não foi tão dominado pelo tema de uso e cobertura, visto que a maioria das áreas foi classificada com prioridade baixa; e as prioridades maiores coincidiram com as maiores declividades.

Ao fazer uma análise comparativa entre as duas metodologias, verifica-se que a Lógica *Fuzzy* fornece melhores resultados, pois seu modelo de ponderação representa de forma mais adequada o comportamento de distribuição espacial dos

atributos e traz informações mais próximas da realidade encontrada no ambiente. Além disso, essa técnica permite uma integração mais flexível dos mapas ponderados e foi facilmente encontrada no software utilizado.

O método AHP também foi útil, pois viabilizou que os graus de significância para a soma ponderada fossem calculados com consistência e que as atribuições de pesos necessárias para a definição de áreas prioritárias fossem feitas. Entretanto, nesse último caso, a AHP apresentou algumas desvantagens, por exemplo: as várias comparações pareadas são extensas e podem, às vezes, gerar boas pontuações para alguns critérios e más pontuações para outros, desvalorizando ou perdendo informações importantes; além do fato de que a AHP limita os valores dos pesos, pois após a etapa de padronização, a soma dos pesos das classes, obrigatoriamente, deve ser igual a 1, o que não permite que duas ou mais classes tenham pesos altos.

Ao confrontar os dois mapas gerados através de Lógica *Fuzzy* com os dois mapas gerados através da AHP, fica nítido que a AHP gerou resultados mais extremos, pois ambos os mapas resultantes da AHP apresentaram extensas áreas alaranjadas, ou seja, com prioridade alta. Esse tipo de resultado aparentemente não condiz com a realidade e dificulta o exercício da priorização, uma vez que, se muitas áreas possuem prioridade alta, não fica claro por onde deve-se iniciar as ações de restauração ecológica/conservação do solo.

A Lógica *Fuzzy*, por outro lado, resultou em mapas com áreas prioritárias mais brandas e mais condizentes com a realidade, no qual a maior parte das áreas são representadas em verde-claro (prioridade baixa) ou amarelo (prioridade média). No mapa de restauração ecológica, as áreas vermelhas (prioridade muito alta) coincidiram com as APPs, cuja cobertura era área antropizada, ou seja, áreas que realmente devem ser priorizadas ao se planejar ações de restauração ecológica. O mesmo aconteceu no mapa de conservação do solo: as áreas vermelhas coincidiram com as áreas de maior declividade. A seguir é apresentada a Tabela 14, que sintetiza as dimensões das áreas em km² separadas por prioridade, e a Tabela 15, que mostra essas mesmas áreas de modo percentual:

Tabela 14: Dimensões das áreas separadas por prioridade.

Prioridade	Restauração ecológica (km ²)		Conservação do solo (km ²)	
	AHP	<i>Fuzzy</i>	AHP	<i>Fuzzy</i>
Muito Baixa	66,811	63,760	71,657	67,114
Baixa	39,586	93,738	58,078	359,732
Média	66,072	385,586	42,568	169,424
Alta	438,468	67,425	421,870	67,097
Muito Alta	75,311	75,696	92,032	22,837

Tabela 15: Áreas, separadas por prioridade, de modo percentual.

Prioridade	Restauração ecológica		Conservação do solo	
	AHP	<i>Fuzzy</i>	AHP	<i>Fuzzy</i>
Muito Baixa	9,74%	9,29%	10,44%	9,78%
Baixa	5,77%	13,66%	8,46%	52,42%
Média	9,63%	56,19%	6,20%	24,69%
Alta	63,89%	9,83%	61,48%	9,78%
Muito Alta	10,97%	11,03%	13,41%	3,33%

Com base nesses resultados, pode-se constatar que ambas as metodologias forneceram ferramentas propícias para se definir áreas prioritárias para restauração ecológica e conservação do solo na bacia hidrográfica do manancial do Alto Curso do Rio do Peixe, ou seja, ambos os modelos possuem um bom poder de predição; entretanto, o modelo de Lógica *Fuzzy* obteve um desempenho superior e mais acurado quando comparado com o modelo AHP. Vale ressaltar que a AHP deixou a desejar somente na ponderação das classes de cada tema, e não na ponderação dos temas em si.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Ao adotar a bacia hidrográfica como unidade territorial de gestão e de estudo e caracterizá-la, foi possível averiguar os diversos elementos que a compõem e as correlações entre eles, através de uma perspectiva holística. Nesse sentido, os SIGs se adequaram perfeitamente à gestão e ao estudo da bacia hidrográfica, pois por meio deles pode-se fazer um diagnóstico da situação do manancial do Alto Curso do Rio do Peixe, observando e integrando diversos elementos, de forma a contribuir para o cruzamento de informações e tomada de decisões.

Para a seleção dos critérios que influenciaram no processo de tomada de decisão, foram analisadas as necessidades da área de acordo com o diagnóstico, e os pesos foram atribuídos de acordo com as metodologias escolhidas. Nos mapas finais, ficou nítida a influência dos pesos de cada critério, principalmente quando foi analisada a qualidade de cada resultado.

A definição de áreas prioritárias para restauração ecológica e conservação do solo permite ordenar os recursos disponíveis de forma pragmática e assertiva, para que as áreas com maior potencial degradador dos cursos d'água do manancial em questão sejam restauradas com mais urgência.

Desta forma, o presente trabalho conseguiu definir áreas prioritárias de duas maneiras diferentes e comparar a efetividade de uma em relação a outra, além de poder contribuir com o Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Aguapeí e Peixe (CBH-AP), assim como órgãos ambientais, empresas, organizações não governamentais e outras entidades, de modo que sirva de subsídio para a elaboração de futuros projetos de restauração ecológica e conservação do solo em tais áreas.

Com relação aos desafios, por se tratar de uma área com muitas propriedades rurais, a restauração total das áreas de preservação permanente pode ocasionar “perdas” de áreas de pastagem e agricultura. Dessa forma, faz-se necessário o diálogo com os proprietários, para que eles possam compreender a importância das ações de restauração ecológica e conservação do solo, e como essas ações influenciam diretamente na disponibilidade e qualidade da água.

No decorrer do presente trabalho, surgiram alguns aspectos que se revelaram interessantes para uma abordagem mais detalhada. Apresentam-se, a seguir, aqueles que poderão vir a ser objeto de futura investigação:

- a. Na etapa de obtenção do autovetor (ou vetor de pesos) do método AHP, aplicar outro tipo de ferramenta matemática, que não a média geométrica, para verificar os efeitos dessa mudança nos mapas finais de áreas prioritárias;
- b. Na etapa de padronização da Lógica *Fuzzy*, utilizar outro tipo de função de pertinência, que não a linear, para verificar os efeitos dessa mudança nos mapas finais de áreas prioritárias;
- c. Em ambas as metodologias, inserir mais critérios/planos de informação (como, por exemplo, geomorfologia e outorgas de direito de uso da água) para que a análise seja ainda mais completa e holística;
- d. Utilizar a ferramenta *Stretch* (estender) nos histogramas resultantes da metodologia AHP, para que os *pixels* sejam distribuídos de maneira mais uniforme;
- e. Na etapa de caracterização da área de estudo, realizar trabalhos de campo para visualizar as feições da paisagem pessoalmente. Isso pode trazer informações valiosas, principalmente para validar/atualizar as informações encontradas na bibliografia e nos planos de informação.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA FILHO, G. S.; HELLMEISTER JUNIOR, Z. **Erosão hídrica na bacia hidrográfica do Rio do Peixe, São Paulo, Brasil**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 16. 2018. São Paulo. Anais... São Paulo: ABGE, 2018.

AL-NAJJAR, B.; ALSYOUF, I. Selecting the most efficient maintenance approach using fuzzy multiple criteria decision making. **International Journal of Production Economics**, v. 84, n. 1, p. 85-100, 2003.

ARAÚJO, M. M.; ROCHA, R. M. P.; SILVA, B. G. **Gestão Ambiental Participativa: O Planejamento Urbano-Ambiental Sustentável a partir das Bacias Hidrográficas**. Publicado na revista: Fórum de Direito Urbano e Ambiental, de março/abril de 2007. v. 32, pg. 34-43.

BAJWA, G.; CHOO, E. U.; WEDLEY, W. C. Effectiveness analysis of deriving priority vectors from reciprocal pairwise comparison matrices. **Asia-Pacific Journal of Operational Research**, v. 25, n. 03, p. 279–299, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1142/S0217595908001754>>. Acesso em: 24 de setembro de 2020.

BERNARDI, E. C. S.; PANZIERA, A. G.; BURIOL, G. A.; SWAROWSKY, A. **Bacia hidrográfica como unidade de gestão ambiental**. *Disciplinarum Scientia. Série: Ciências Naturais e Tecnológicas*, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 159-168, 2012.

BERTOL, I. **Conservação do solo no Brasil: histórico, situação atual e o que esperar para o futuro**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 2016. Disponível em: <<http://www.sbcs.org.br/wp-content/uploads/2016/04/Conserva%C3%A7%C3%A3o-do-solo-no-Brasil-.pdf>>. Acesso em: 18 de maio de 2020.

BORGONOV, M. **A gênese da conservação do solo no Brasil**. Fundação Agrisus – Agricultura Sustentável, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://www.agrisus.org.br/arquivos/artigo_mario_Borgonovi_julho_2014.pdf>. Acesso em: 19 de maio de 2020.

BRASIL. **Decreto nº 55.891, de 31 de março de 1965**. Regulamenta o Capítulo I do Título I e a Seção III do Capítulo IV do Título II da Lei nº 4.504, de 30 de novembro de 1964 - Estatuto da Terra. Brasília. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1950-1969/D55891.htm>. Acesso em: 23 de maio de 2020.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: [//www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm). Acesso em: 23 de maio de 2020.

BRASIL. **Lei nº 6.746, de 10 de dezembro de 1979.** Altera o disposto nos arts. 49 e 50 da Lei nº 4.504, de 30 de novembro de 1964 (Estatuto da Terra), e dá outras providências. Brasília. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1970-1979/l6746.htm. Acesso em: 4 de setembro de 2020.

BRASIL. **Lei nº 8.629, de 25 de fevereiro de 1993.** Dispõe sobre a regulamentação dos dispositivos constitucionais relativos à reforma agrária, previstos no Capítulo III, Título VII, da Constituição Federal. Brasília. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8629.htm. Acesso em: 2 de setembro de 2020.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm. Acesso em: 13 de maio de 2020.

CAMPOS, H. C. N. S. **Caracterização e cartografia das províncias hidrogeológicas do Estado de São Paulo.** São Paulo, Tese (Doutorado), IGc - USP. 177p. 1993.

CBH-AP – COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS AGUAPEÍ E PEIXE. **Plano de Bacia das Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos dos Rios Aguapeí e Peixe (UGRHs 20 e 21).** Marília, SP, 2016. Disponível em: <http://cbhap.org/publicacoes/pbh>. Acesso em: 10 de junho de 2020.

CECÍLIO, R. A.; REIS, E. F. **Apostila didática:** manejo de bacias hidrográfica. Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Rural, 2006. 10p.

CHEN, J., ZHU, Q. Uncertainty and decision strategy analysis of GIS-based ordered weighted averaging method. In: **International Conference on Information, Networking and Automation (ICINA)**, 2010.

COELHO NETTO, A. L. **Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia.** In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (org) *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. 2ª.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995, p. 93 - 144.

COWEN, D. J. GIS versus CAD versus DBMS: what are the differences. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v. 54, p. 1551-1554, 1988.

DIBIESO, E. P. **Planejamento ambiental e gestão dos recursos hídricos: estudo aplicado à bacia hidrográfica do manancial do Alto Curso do Rio Santo Anastácio - São Paulo/Brasil**. 2013. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Presidente Prudente, 2013.

EASTMAN, R.; JIN, W.; KYEM, P. A. K.; TOLEDANO, J. Rasters procedures for multicriteria/multi-objective decisions. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 61, n. 5, p. 539-547, 1995.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2018. 356 p.

ENGEL, V. L.; PARROTA, J. A. **Definindo a restauração ecológica: Tendências e perspectivas mundiais**. In: Kageyama, P. Y.; Oliveira, R.E. de; Moraes, L.F. D. de; Engel, V.L.; Gandara, F.B.(Org.) Restauração ecológica de ecossistemas naturais. Botucatu: FEPAF, 2003. cap.1, p. 1-26.

ESTADO DE SÃO PAULO. **Decreto nº 41.719, de 16 de abril de 1997**. Regulamenta a Lei 6.171, de 04/07/1988, alterada pela Lei 8.421, de 23/11/1993, que dispõe sobre o uso, conservação e preservação do solo agrícola. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1997/decreto-41719-16.04.1997.html>>. Acesso em: 23 de maio de 2020.

ESTADO DE SÃO PAULO. **Lei nº 9866, de 28 de novembro de 1997**. Dispõe sobre diretrizes e normas para a proteção e recuperação das bacias hidrográficas dos mananciais de interesse regional do Estado de São Paulo e dá outras providências. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/norma/?id=5976>>. Acesso em: 23 de maio de 2020.

ETCHEBEHERE, M. L. C.; SAAD, A. R.; CASADO, F. **Análise morfoestrutural aplicada no vale do Rio do Peixe (SP): uma contribuição ao estudo da neotectônica e da morfogênese do Planalto Ocidental Paulista**. Revista Universidade Guarulhos, Geociências, n. 6, p. 45-62, 2005.

FBDS – FUNDAÇÃO BRASILEIRA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Repositório público de mapas e shapefiles para download**. 2018. Disponível em: <https://www.fbds.org.br/article.php3?id_article=594>. Acesso em: 25 de agosto de 2020.

FREIRE, R. B. **Priorização de áreas para restauração ecológica na UGRHI 22 - Pontal do Paranapanema, São Paulo, Brasil.** 2017. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNESP, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Presidente Prudente, 2017.

INCRA – INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. **Módulo Fiscal.** 2020a. Disponível em: <<http://www.incra.gov.br/pt/modulo-fiscal.html>>. Acesso em: 2 de setembro de 2020.

INCRA – INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. **Perguntas Frequentes.** 2020b. Disponível em: <<http://www.incra.gov.br/pt/perguntas-frequentes.html>>. Acesso em: 2 de setembro de 2020.

INCRA – INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. **Tabela de Índices Básicos do Sistema Nacional de Cadastro Rural.** 2013. Disponível em: <http://www.incra.gov.br/media/docs/indices_basicos_2013_por_municipio.pdf>. Acesso em: 4 de setembro de 2020.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Divisão de processamento de imagens (DPI). **Introdução ao Geoprocessamento.** Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_geo.html>. Acesso em: 2 de junho de 2020.

INSTITUTO FLORESTAL. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: *shapefiles* de ArcGIS.** Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2017. Disponível em: <<https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutoflorestal/2017/09/mapa-pedologico-do-estado-de-sao-paulo-revisado-e-ampliado>>. Acesso em: 22 de agosto de 2020.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo, 1:1.000.000.** São Paulo, 1981.

KANGAS, J.; STORE, R.; LESKINEN, P.; MEHTÄTALO, L. Improving the quality of landscape ecological forest planning by utilising advanced decision-support tools. **Forest Ecology and Management**, v. 132, p.157-171, 2000.

LEAL, A. C. **Gestão das águas no pontal do paranapanema - São Paulo.** 2000. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

LEAL, M. S.; DIAS, H. C. T.; MINGOTI, R.; FERREIRA, M. P.; TONELLO, K. C. **Definition of priority areas for soil and water conservation in the Itanguá watershed, Capão Bonito, SP state, Brazil.** CIÊNCIA FLORESTAL, v. 29, p. 531-544, 2019.

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

MARRO, A. A.; SOUZA, A. M. C.; CAVALCANTE, E. R. S.; BEZERRA, G. S.; NUNES, R. O. **Lógica Fuzzy: Conceitos e aplicações.** Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2000. Aquiles Burlamaqui. Disponível em: <http://aquilesburlamaqui.wdfiles.com/local--files/logica-aplicada-acomputacao/texto_fuzzy.pdf>. Acesso em: 8 de dezembro de 2020.

MARTINS, S. V. **Recuperação de matas ciliares.** 2ª edição. Viçosa: Aprenda Fácil, 2007.

MEIRELLES, M. S. P. **Análise integrada do ambiente através de geoprocessamento – uma proposta metodológica para elaboração de zoneamentos.** Rio de Janeiro: IGEO/UFRJ, 1997. 192p. Tese Doutorado.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. 2020. **Mananciais.** Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/informma/item/8047-mananciais.html>>. Acesso em: 22 de junho de 2020.

OKADO, M. N. A. **Definição de áreas prioritárias para restauração ecológica na bacia hidrográfica do manancial do Alto Curso do Rio Santo Anastácio.** Monografia de Conclusão de Curso (Bacharelado) em Engenharia Ambiental. FCT/UNESP. Presidente Prudente, 2018.

OLIVEIRA, C. A.; BELDERRAIN, M. C. N. **Considerações sobre a obtenção de vetores de prioridade no AHP.** In: Encontro Nacional de Docentes, 2008, Posadas. Anales do EPIO, 2008. v. 1.

OLIVEIRA, F. B. **Utilização de Lógica Fuzzy na geração de zonas de manejo.** 2014. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2014.

PASSOS, A. C. **Definição de um índice de qualidade para distribuidoras de energia elétrica utilizando o apoio multicritério à decisão e análise de séries temporais.** 2010. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

PES, L. Z., GIACOMINI, D. A. **Conservação do solo**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico; Rede e-Tec Brasil, 2017.

RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P.H.S.; ISERNHAGEN, I. **Pacto pela restauração da mata atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal – São Paulo**: LERF/ESALQ: Instituto BioAtlântica, 2009.

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, New York, v. 15, n. 3, p. 234-281, 1977.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**, v. 1, p. 83–98, 2008.

SAATY, T. L. **Método de Análise Hierárquica**. 1991, São Paulo: McGraw-Hill, Makron Books (Versão ampliada e revisada por Wainer da Silveira e Silva, do original em inglês *The Analytic Hierarchy Process: planning, priority setting, resource allocation*, Pittsburg, USA: RWS Publications, 1980).

SANTANA, D. P. **Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 63p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 30).

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SARTORI, A. A. C. **Análise multicritérios na definição de áreas prioritárias à conectividade entre fragmentos florestais**. 2010. 112 fls. Mestrado em Agronomia. Faculdade de Ciências Agronômicas. UNESP – Campus de Botucatu.

SER – SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION INTERNATIONAL. **Grupo de Trabalho sobre Ciência e Política: Princípios da SER International sobre a restauração ecológica**. 2004. Disponível em: <https://www.ser.org/resource/resmgr/custompages/publications/SER_Primer/ser-primer-portuguese.pdf>. Acesso em: 19 de maio de 2020.

SILVA, D. D. **Práticas conservacionistas do solo e da água**. In: II SEMINÁRIO AMBIENTAL "SOLO E ÁGUA: MANEJO E CONSERVAÇÃO", 2015, Belo Horizonte. Anais eletrônicos... Belo Horizonte: Sistema FAEMG, 2015. Disponível em: <<http://www.sistemaafaemg.org.br/Conteudo.aspx?Code=74&Portal=2>>. Acesso em: 13 de maio de 2020.

SILVA, M. S. L. et al. **Água e Saneamento: contribuições da Embrapa**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2018.

SILVA, R. A. C. Inteligência Artificial Aplicada a Ambientes de Engenharia de Software: Uma Visão Geral. **INFOCOMP**, v. 4, n. 4, p. 27-37, 2005.

SMA – SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE (Estado). **Resolução SMA nº 32, de 3 de abril de 2014**. Estabelece as orientações, diretrizes e critérios sobre restauração ecológica no Estado de São Paulo, e dá providências correlatas. Disponível em: <http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/legislacao/2016/12/Resolu%C3%A7%C3%A3o-SMA-032-2014-a.pdf>. Acesso em: 18 de maio de 2020.

SOUZA, L. S.; BORGES, A. L. **Preparo e conservação do solo**. 2012. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Livro_Banana_Cap_2ID-9MJwEok5GE.pdf. Acesso em: 13 de maio de 2020.

TROPMAIR, H. **A cobertura vegetal primitiva do estado de São Paulo**. Biogeografia, (1), 1969.

TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia – Ciência e Aplicação**. Editora da UFRGS/Coleção ABRH, vol. 4, 3ª edição, 2004. 943 p.

VETORAZZI, C. A. **Avaliação multicritérios, em ambiente SIG, na definição de áreas prioritárias à restauração florestal visando à conservação de recursos hídricos**. 2006. 151 págs. Tese (Livre Docência). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo. Piracicaba-SP, 2006.

VILAÇA, M. F. et al. **Bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão: o estudo de caso do ribeirão Conquista no município de Itaguara – MG**. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA. Anais..., Viçosa, MG, 2009. Disponível em: http://www.geomorfologia.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo3/070.pdf. Acesso em: 13 de maio de 2020.

WADT, P. G. S. (ed.) **Práticas de conservação do solo e recuperação de áreas degradadas**. Rio Branco: EMBRAPA, 2003.

WOLF, A. M. **Avaliação do processo produtivo de uma empresa de comercialização de produtos ecológicos visando identificar oportunidades para seu aperfeiçoamento**. 2002. 108 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/83204/225133.pdf>. Acesso em: 15 de setembro de 2020.

ZAKIA J. M.; PINTO G. F. L. **Guia para aplicação da nova lei em propriedades rurais**. Piracicaba, SP: Imaflora, 2013. 32p. Disponível em:

<https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4149172/mod_resource/content/1/Guia_Aplicacao_Nova_Lei_Florestal.pdf>. Acesso em: 23 de maio de 2020.

APÊNDICES

Apêndice 1: Pesos atribuídos às classes de cada tema, normalização dos autovetores e verificação do grau de consistência das matrizes AHP.

Tabela A1: Comparações par a par das classes dos temas de APPs e uso e cobertura.

APPs/Uso e Cobertura					
Critérios	F. Florestal	Silvicultura	A. Antropizada	A. Edificada	Água
F. Florestal	1	0,25	1/9	Restrição	Restrição
Silvicultura	4	1	1/6	Restrição	Restrição
A. Antropizada	9	6	1	Restrição	Restrição
A. Edificada	Restrição	Restrição	Restrição	Restrição	Restrição
Água	Restrição	Restrição	Restrição	Restrição	Restrição

Tabela B1: Cálculo e normalização dos autovetores, e verificação do grau de consistência para os pesos atribuídos às classes dos temas de APPs e ao uso e cobertura.

APPs/Uso e Cobertura			
Critérios	Soma	Autovetor (V)	V normalizado
F. Florestal	14	0,30285	0,06
Silvicultura	7,25	0,87358	0,18
A. Antropizada	1,278	3,77976	0,76
	λ -max	IC	RC
	3,107847	0,053923667	9,30%

Tabela A2: Comparações par a par das classes do tema de declividade.

Declividade					
Critérios	Plano	S. Ondulado	Ondulado	F. Ondulado	Montanhoso
Plano	1	0,333	0,2	0,2	0,143
S. Ondulado	3	1	0,5	0,333	0,143
Ondulado	5	2	1	0,333	0,2
F. Ondulado	5	3	3	1	0,333
Montanhoso	7	7	5	3	1

Tabela B2: Cálculo e normalização dos autovetores, e verificação do grau de consistência para os pesos atribuídos às classes do tema de declividade.

Declividade			
Crítérios	Soma	Autovetor (V)	V normalizado
Plano	21	0,285738	0,04
S. Ondulado	13,33	0,589895	0,08
Ondulado	9,7	0,922108	0,13
F. Ondulado	4,87	1,718772	0,24
Montanhoso	1,82	3,743324	0,51
	λ -max	IC	RC
	5,23	0,05802	4,68%

Tabela A3: Comparações par a par das classes do tema de pedologia.

Pedologia					
Crítérios	Arg. Verm-Amarelos	Gleissolos Háplicos	Latosolos Vermelhos	Neossolos Litólicos	A. Urbana
Arg. Verm-Amarelos	1	2	0,2	1/7	Restrição
Gleissolos Háplicos	0,5	1	1/6	1/8	Restrição
Latosolos Vermelhos	5	6	1	1/3	Restrição
Neossolos Litólicos	7	8	3	1	Restrição
A. Urbana	Restrição	Restrição	Restrição	Restrição	Restrição

Tabela B3: Cálculo e normalização dos autovetores, e verificação do grau de consistência para os pesos atribuídos às classes do tema de pedologia.

Pedologia			
Crítérios	Soma	Autovetor (V)	V normalizado
Arg. Verm-Amarelos	13,5	0,48892	0,08
Gleissolos Háplicos	17	0,31947	0,05
Latosolos Vermelhos	4,37	1,77828	0,29
Neossolos Litólicos	1,60	3,60021	0,58
	λ -max	IC	RC
	4,13	0,04384	4,87%

Tabela A4: Comparações par a par das classes do tema de propriedades rurais.

Propriedades Rurais					
Critérios	≤ 1 m.f	>1 até 2 m.f	>2 até 4 m.f	> 4 até 10	> 10 m.f
≤ 1 m.f	1	0,5	0,5	1/3	0,2
>1 até 2 m.f	2	1	0,5	1/3	0,2
>2 até 4 m.f	2	2	1	0,5	1/3
>4 até 10	3	3	2	1	0,5
> 10 m.f	5	5	3	2	1

Tabela B4: Cálculo e normalização dos autovetores, e verificação do grau de consistência para os pesos atribuídos às classes do tema de propriedades rurais.

Propriedades Rurais			
Critérios	Soma	Autovetor (V)	V normalizado
≤ 1 m.f	13	0,53728	0,08
>1 até 2 m.f	11,5	0,75984	0,11
>2 até 4 m.f	7	1,18921	0,18
>4 até 10	4,17	1,55185	0,23
> 10 m.f	2,23	2,72407	0,40
	λ-max	IC	RC
	5,412	0,1029920	9,20%

Apêndice 2: Pesos atribuídos às classes de cada tema através da Lógica Fuzzy.

Gráfico A1: Pesos atribuídos às classes do tema de APPs através da função de pertinência linear.

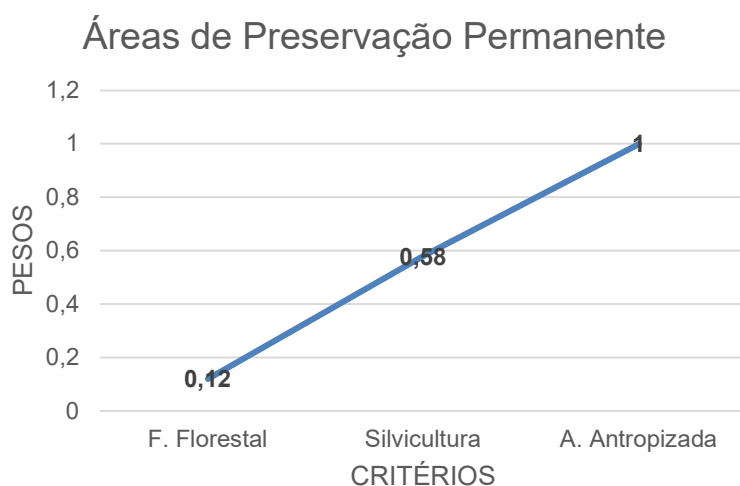


Gráfico A2: Pesos atribuídos às classes do tema de declividade através da função de pertinência linear.

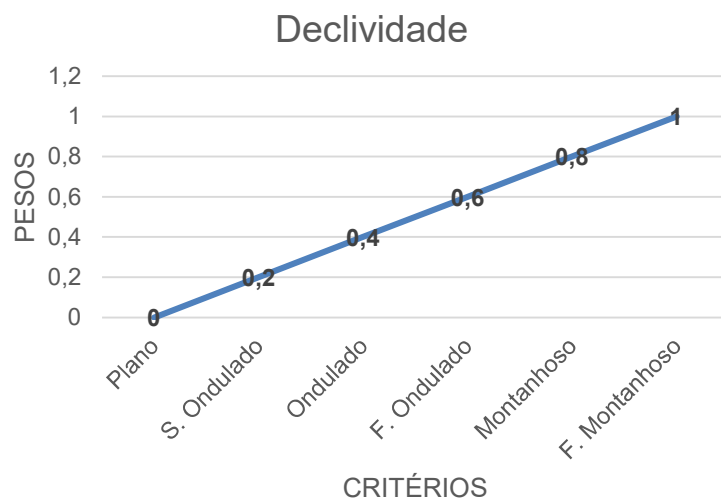


Gráfico A3: Pesos atribuídos às classes do tema de pedologia através da função de pertinência linear.

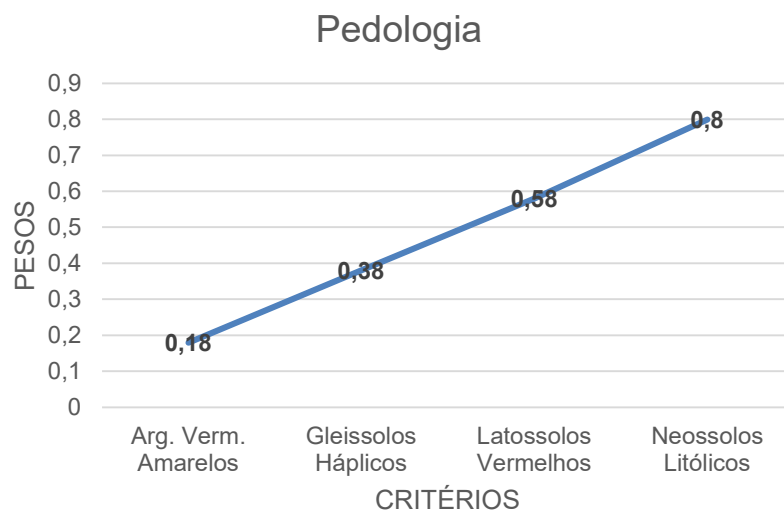


Gráfico A4: Pesos atribuídos às classes do tema de propriedades rurais através da função de pertinência linear.

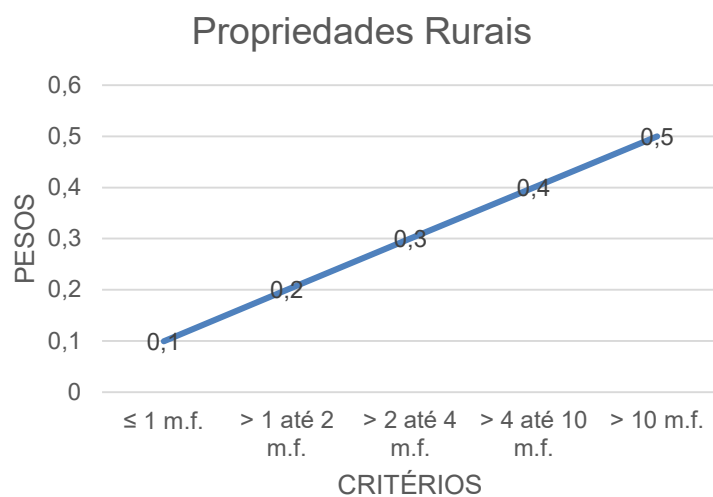


Gráfico A5: Pesos atribuídos às classes do tema de uso e cobertura do solo através da função de pertinência linear.

