



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu



JOYCE REISSLER

**ANÁLISE MULTICRITERIAL E MULTIVARIADA NA DEFINIÇÃO DE ÁREAS
PRIORITÁRIAS À RESTAURAÇÃO FLORESTAL VISANDO A CONSERVAÇÃO
DOS RECURSOS HÍDRICOS NA SUB-BACIA DO ALTO PARDO – SP**

Botucatu

2019

JOYCE REISSLER

**ANÁLISE MULTICRITERIAL E MULTIVARIADA NA DEFINIÇÃO DE ÁREAS
PRIORITÁRIAS À RESTAURAÇÃO FLORESTAL VISANDO A CONSERVAÇÃO
DOS RECURSOS HÍDRICOS NA SUB-BACIA DO ALTO PARDO – SP**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu,
para obtenção do título de Doutora em
Agronomia (Irrigação e Drenagem)

Orientador: Diego Augusto de Campos Moraes
Coorientadores: Anderson Antonio C. Sartori
Luis Gustavo Frediani Lessa

Botucatu

2019

R378a Reissler, Joyce
Análise multicriterial e multivariada na definição de áreas prioritárias à restauração florestal visando a conservação dos recursos hídricos na sub-bacia do Alto Pardo – SP / Joyce Reissler. -- Botucatu, 2019
114 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu
Orientador: Diego Augusto de Campos Moraes
Coorientador: Anderson Antonio Conceição Sartori

1. Segurança Hídrica. 2. Planejamento Ambiental. 3. Desenvolvimento Sustentável. 4. Cidades Resilientes. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: "ANÁLISE MULTICRITERIAL NA DEFINIÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS À RESTAURAÇÃO FLORESTAL VISANDO A CONSERVAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NA SUB-BACIA DO ALTO PARDO"


AUTORA: JOYCE REISSLER

ORIENTADOR: DIEGO AUGUSTO DE CAMPOS MORAES


COORIENTADOR: LUIS GUSTAVO FREDIANI LESSA


COORIENTADOR: ANDERSON ANTONIO DA CONCEIÇÃO SARTORI

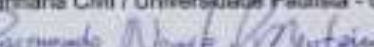
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. DIEGO AUGUSTO DE CAMPOS MORAES
Análise e Desenvolvimento de Sistemas / Faculdade Eduvale de Avaré


Prof. Dr. LUIZ CESAR RIBAS
Economia, Sociologia e Tecnologia / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu


Pós-Doutoranda BRUNA SOARES XAVIER DE BARROS
Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu


Prof. Dr. FABIO AVILA NOSSACK
Engenharia Civil / Universidade Paulista - Campus Assis


Prof. Dr. RAIMUNDO NONATO FARIAS MONTEIRO
Depto. de Engenharia / Faculdade de Tecnologia Paulista

Botucatu, 02 de agosto de 2019.

DEDICO

A todos aqueles que se dedicam ao meio ambiente sustentado pelo equilíbrio ambiental, social e econômico.

AGRADECIMENTOS

À minha família por sempre apoiar em minhas decisões, compreender minhas ausências e partilhar com admiração e carinho o caminho que escolhi trilhar.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu-SP pela estrutura de apoio científico-acadêmico, ao Programa de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem pela oportunidade da realização deste doutorado e à CAPES pelo apoio financeiro sem o qual a realização deste trabalho não seria possível.

Ao Departamento de Ciências do Solo, ao Laboratório de Geoprocessamento e aos integrantes do Grupo de Estudos e Pesquisas Agrárias Georreferenciadas – GEPAG, que me acolheram e muito me ensinaram. À Prof. Dra. Célia Zimback, que me concedeu sua orientação no início de meu doutorado, dando-me a oportunidade de ser sua aluna e aprender um tanto em momentos finais de sua atuação acadêmica. Ao amigo e orientador Prof. Dr. Diego Augusto Moraes que aceitou a transferência de orientação e o desafio de seguir até o fim do meu doutorado, por me apoiar e por todo aprendizado além do que já lhe admirava. Ao meu coorientador Prof. Dr. Anderson Sartori por contribuir de forma tão significativa na reta final deste doutorado e pelo início de uma parceria e amizade.

Aos colegas e amigos acadêmicos que ganhei de presente nessa jornada, que compartilharam e colaboraram com meu desenvolvimento acadêmico-científico-profissional. Dentre eles, meu agradecimento especial ao Donizeti Nicolete que foi mais que um companheiro de trabalho, mas também um grande orientador desse processo, que contribuiu de forma tão prestativa e sempre brilhante com minhas dúvidas, transformando em tão simples muitas coisas que não eram fáceis: você foi o grande responsável por muitos momentos de tranquilidade e equilíbrio, que tornou esse momento possível a mim. Agradeço também de forma afetuosa à Aira Nava por estar sempre disposta a me ajudar com a sua leveza, praticidade e sorrisos.

Aos professores doutores membros da banca de qualificação e defesa: Ribas, Zacarias, Lessa, Fabio Nossack, Rai Monteiro e Bruna Xavier Barros. Agradeço também as entidades que colaboraram prestativamente com informações para a realização deste trabalho: Prefeitura Municipal, SABESP e COMDEMA de Botucatu.

Aos amigos de Botucatu, que me deram força e discernimento, desempenhando, cada um, pouco de uma família para mim nesta cidade. A todos que me acompanharam nesse processo do doutorado, meu mais terno agradecimento.

“O grande rio tem seu trajeto, antes do mar imenso. Assim como a vida que percorre igualmente caminhos variados e etapas diversas, também recebe afluentes de conhecimentos, aqui e ali, avoluma-se em expressão e purifica-se em qualidade, antes de encontrar o oceano eterno da sabedoria”

Livro: Nosso Lar – André Luiz

RESUMO

Com a crise hídrica no estado de São Paulo em decorrência de uma forte estiagem em 2014, colocou-se mais uma vez em evidência a necessidade urgente de preservação dos recursos naturais para a manutenção econômica e da qualidade social, devendo-se proteger áreas de vegetação natural essenciais que afetam direta e indiretamente a produção de água. Nesse contexto, está em fase de licenciamento e construção um grande reservatório de água nos municípios de Botucatu e Pardinho, na sub-bacia do Alto Pardo, que visa a segurança hídrica no abastecimento público e ao desenvolvimento das atividades econômicas da região. Para garantir sucesso e perfeito funcionamento do empreendimento para o abastecimento hídrico eficiente a longo prazo, é necessário que sejam assegurados os serviços ecossistêmicos dos recursos naturais da região visando a produção de água em sua quantidade e qualidade para o suprimento do reservatório e de todos os cursos d'água da bacia. Assim, o objetivo deste trabalho foi mapear as características da bacia, o uso da terra e seus conflitos, com o auxílio de um Sistema de Informação Geográfica e utilizando uma abordagem multicritério juntamente com a análise multivariada, para a determinação de áreas prioritárias à implementação de um programa de conservação e restauração florestal. A análise multicritério se destacou como a mais coerente, com uma abordagem qualitativa, cujo mapa de áreas prioritárias apresentou 13% da bacia classificada como de muita alta prioridade para restauração florestal, com predominância em relevo e declividades acentuados, em solo característico de alta erodibilidade e sem cobertura vegetal necessária para proteção e estabilidade do solo, o que torna essas áreas extremamente suscetíveis à degradação se não tiverem o manejo e cuidados necessários, resultando em prejuízos aos recursos hídricos. Os resultados contribuem para uma base técnica de conhecimento que podem ser utilizados para substanciar processos de planejamento e gestão do uso do solo e conservação dos recursos hídricos na região.

Palavras-chave: Segurança Hídrica. Planejamento Ambiental. Desenvolvimento Sustentável. Cidades Resilientes. Políticas Públicas.

ABSTRACT

The water crisis in the State of São Paulo, due to the severe drought in 2014, evidenced the urgent need of preservation of natural resources, for economic maintenance and social quality. It is imperative the protection of areas of essential natural vegetation that directly and indirectly affect the production of water. In this context, it is in the licensing and construction phase of a large water reservoir in Botucatu and Pardinho cities, in the sub-basin of the Alto Pardo, which aims to secure public water provision and the development of economic activities in the region. However, the project alone does not guarantee the success and perfect operation of the enterprise, for an efficient water supply. It is also necessary to ensure the natural resources ecosystem services of the region, aiming the production of water in its quantity and quality, for the supply of the reservoir and all the watercourses of the basin. The objective of this work was to map the basin characteristics, land use and its conflicts, with the help of a Geographic Information System and using a multi-criteria approach along with the multivariate analysis, to determine priority areas for the implementation of a forest conservation and restoration program. The multicriteria analysis stood out as the most coherent, with a qualitative approach, whose map of priority areas presented 13% of the basin classified as very high priority for forest restoration, with predominance in relief and sharp slopes, in characteristic soil of high erodibility and without plant cover necessary for soil protection and stability, which makes these areas extremely susceptible to degradation if they don't have the necessary management and care, resulting in damages to the water resources. The results contribute to a technical knowledge base and that can be used to substantiate processes of planning and management of land use and conservation of water resources.

Keywords: Water Security. Environmental Planning. Sustainable Development. Resilient Cities. Public Policy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da sub-bacia do Alto Pardo nos municípios de Botucatu e Pardinho - SP.	44
Figura 2 - Área de inundação do projeto de reservatório de água no município de Botucatu na sub-bacia do Alto Pardo.	45
Figura 3 - Fluxograma das etapas do projeto.	51
Figura 4 - Escala contínua de nove pontos para a Avaliação Multicritério na comparação pareada entre fatores.	62
Figura 5 - Representação do processo de avaliação pelo método da Combinação Linear Ponderada (CLP).	63
Figura 6 - Rede de drenagem, nascentes, área de represamento e divisão intermunicipal de Botucatu e Pardinho na sub-bacia do Alto Pardo.	65
Figura 7 - Mapa de Profundidade do Lençol Freático na sub-bacia do Alto Pardo.	66
Figura 8 - Mapa de distância da rede de drenagem na sub-bacia do Alto Pardo.	68
Figura 9 - Mapa de declividade na sub-bacia do Alto Pardo.	69
Figura 10 - Mapa das classes de solos e respectivos valores fator K de erodibilidade presentes na sub-bacia do Alto Pardo.	71
Figura 11 - Mapa de Perda de Solo na sub-bacia do Alto Pardo.	73
Figura 12 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra na sub-bacia do Alto Pardo.	74
Figura 13 - Mapa de distância dos fragmentos florestais na sub-bacia do Alto Pardo.	78
Figura 14 - Mapas de fatores selecionados pela análise multivariada e multicritério.	82
Figura 15 - Mapa de áreas prioritárias à restauração florestal pela análise multicritério (AMC).	87
Figura 16 - Mapa de áreas prioritárias à restauração florestal pela análise multicritério+multivariada (AMC+MV).	89
Figura 17 - Mapa de áreas prioritárias à restauração florestal pela análise multivariada (MV).	91

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Articulações das cartas topográficas do IGC para os municípios de Botucatu e Pardinho.....	49
Quadro 2 - Sensibilidade espectral das bandas utilizadas do Sensor OLI a bordo do Landsat 8.....	50
Quadro 3 - Classes de declive e de relevo.....	55
Quadro 4 - Valores de erodibilidade (K) do solo do estado de São Paulo.....	56
Quadro 5 - Fator C para as classes de uso e cobertura da terra na sub-bacia do Alto Pardo.....	58
Quadro 6 - Fator P para as classes de declividade na sub-bacia do Alto Pardo.....	59
Quadro 7 - Classificação de perdas de solo de acordo com a RUSLE	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes de declividade e classes de relevo com suas respectivas áreas representativas (ha e %) na sub-bacia do Alto Pardo.	69
Tabela 2 - Classes de solo, seus valores de erodibilidade (fator K) e suas respectivas áreas (ha e %) na sub-bacia do Alto Pardo.....	71
Tabela 3 - Classes de Perda de Solo e suas respectivas áreas representativas (ha e %) na sub-bacia do Alto Pardo.....	73
Tabela 4 - Classes de uso e cobertura da terra e suas respectivas áreas representativas (ha e %) na sub-bacia do Alto Pardo	75
Tabela 5 - Classes de uso e cobertura da terra e suas respectivas áreas representativas (ha e %) em APP na sub-bacia do Alto Pardo.	77
Tabela 6 - Autovalores das Componentes Principais e variabilidade dos dados	79
Tabela 7 - Matriz de Correlação e autovetores das primeiras quatro componentes principais obtidas a partir da ACP.	80
Tabela 8 - Ordem de importância dos fatores selecionados, seus valores de correlação e de normalização.	80
Tabela 9 - Matriz de comparação pareada e pesos dos fatores da análise multicritério (AMC).....	84
Tabela 10 - Matriz de comparação pareada e pesos dos fatores da análise multicritério+multivariada (AMC+MV)	85
Tabela 11 - Nível de prioridade e suas respectivas áreas (ha e %) da AMC.....	87
Tabela 12 - Nível de prioridade e suas respectivas áreas (ha e %) da AMC+MV	89
Tabela 13 - Nível de prioridade e suas respectivas áreas (ha e %) da MV	91
Tabela 14 - Nível de prioridade e suas respectivas áreas (ha e %) da AMC, AMC+MV e MV.....	93
Tabela 15 - Áreas (ha) de intersecção dos níveis de muito alta prioridade das análises AMC, AMC+MV e MV.....	93
Tabela 16 - Uso e cobertura da terra, declividade, tipos de solo e erodibilidade em áreas de muito alta prioridade à restauração florestal da AMC na sub-bacia do Alto Pardo	94

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	23
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	26
2.1	O Uso da Terra e seus Impactos nos Recursos Hídricos....	26
2.2	Mudanças Climáticas, Escassez e Segurança Hídrica.....	28
2.3	Florestas e o Manejo Sustentável dos Recursos Hídricos...	31
2.4	Geotecnologias na Análise Ambiental: Utilização de Sistemas de Informação Geográfica.....	35
2.5	Análise Multivariada.....	36
2.5.1	Análise de Componentes Principais.....	38
2.6	Análise Multicriterial.....	40
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	43
3.1	Descrição da Área.....	43
3.1.1	Caracterização Geral: a Bacia do Rio Pardo.....	43
3.1.2	Área de Estudo: Sub-bacia do Alto Pardo.....	43
3.1.2.1	<i>A Nova Barragem do Rio Pardo.....</i>	<i>44</i>
3.1.3	Geologia.....	47
3.1.4	Relevo.....	47
3.1.5	Solos.....	48
3.1.6	Clima.....	48
3.1.7	Vegetação.....	48
3.2	Material.....	49
3.2.1	Base Cartográfica.....	49
3.2.2	Imagem Orbital.....	49
3.2.3	Programas Computacionais.....	50
3.3	Métodos.....	50
3.3.1	Organização e Sistematização do Banco de Dados.....	50
3.3.1.1	<i>Georreferenciamento das Cartas e Imagem.....</i>	<i>51</i>
3.3.1.2	<i>Delimitação da Bacia Hidrográfica e Rede de Drenagem.....</i>	<i>52</i>
3.3.2	Obtenção dos Mapas de Planos de Informação (PI).....	52
3.3.2.1	<i>Mapa de Uso e Cobertura da Terra.....</i>	<i>53</i>
3.3.2.2	<i>Proximidade da Rede de Drenagem e dos Fragmentos Florestais.....</i>	<i>54</i>
3.3.2.3	<i>Áreas de Preservação Permanente (APP).....</i>	<i>54</i>

3.3.2.4	<i>Declividade.....</i>	55
3.3.2.5	<i>Solos.....</i>	56
3.3.2.6	<i>Erodibilidade do Solo.....</i>	56
3.3.2.7	<i>Erosividade da Chuva.....</i>	57
3.3.2.8	<i>Perda de Solo.....</i>	57
3.3.2.9	<i>Profundidade do Lençol Freático.....</i>	59
3.3.3	<i>Análise Multivariada.....</i>	60
3.3.4	<i>Análise Multicritério.....</i>	61
3.3.4.1	<i>Processo Hierárquico Analítico.....</i>	61
3.3.4.2	<i>Padronização e Mapa dos Fatores.....</i>	62
3.3.4.3	<i>Mapa de Restrição.....</i>	63
3.3.4.4	<i>Combinação Linear Ponderada.....</i>	63
3.3.5	<i>Mapas de Áreas Prioritárias.....</i>	63
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	65
4.1	Planos de Informação (PIs).....	65
4.1.1	<i>Rede de Drenagem.....</i>	65
4.1.2	<i>Profundidade do Lençol Freático.....</i>	66
4.1.3	<i>Distância da Rede de Drenagem.....</i>	67
4.1.4	<i>Declividade.....</i>	69
4.1.5	<i>Erodibilidade do Solo.....</i>	70
4.1.6	<i>Perda de Solo.....</i>	72
4.1.7	<i>Uso e Cobertura da Terra.....</i>	74
4.1.7.1	<i>Em Área Total da Bacia.....</i>	74
4.1.7.2	<i>Uso em Área de Preservação Permanente (APP).....</i>	76
4.1.8	<i>Distância dos Fragmentos Florestais.....</i>	77
4.2	Definição dos Fatores: Análise Multivariada e Multicritério	79
4.2.1	Análise Multivariada.....	79
4.2.2	Análise Multicritério.....	81
4.2.2.1	<i>Mapas de Fatores e de Restrição.....</i>	81
4.2.2.2	<i>Matriz de Comparação Pareada e Pesos dos Critérios.....</i>	84
4.3	Mapas de Prioridade.....	86
4.4	Caracterização Ambiental das Áreas Prioritárias para Restauração Florestal.....	93
5	CONCLUSÕES.....	99
	REFERÊNCIAS	101

1 INTRODUÇÃO

Com a crise hídrica ocasionada por um evento climático severo e estiagem no Estado de São Paulo entre 2013 e 2015, colocou-se em evidência a necessidade urgente de preservação dos recursos naturais para a manutenção econômica e da qualidade social, devendo-se proteger áreas de vegetação natural essenciais que afetam direta e indiretamente a produção de água.

Para atender o crescimento populacional, é crescente a expansão da ocupação da terra por empreendimentos e intensificação do uso dos recursos naturais sem o devido planejamento, tendo como consequência, dentre outros, a supressão de importantes áreas de florestas de forma associada a processos de degradação da terra e impactos negativos na qualidade e quantidade dos recursos hídricos.

O uso do solo por culturas agrícolas, pecuária e silvicultura, aliadas a práticas de manejo inadequadas, alteram as relações entre escoamento superficial e infiltração da água das chuvas, o que pode resultar em erosão do solo e carreamento de grandes quantidades de sedimentos aos canais de drenagem, com a ocorrência de processos de assoreamento e alteração das características físicas e químicas da água pela presença dos sedimentos, material orgânico, nutrientes, dentre outros elementos, principalmente os químicos provenientes de defensivos agrícolas e fertilizantes utilizados nos cultivos, o que encarece os processos de captação e tratamento da água para o consumo.

Além do aspecto ambiental, o estresse hídrico surge também como um fator limitante para o desenvolvimento humano, pois a falta de abastecimento de água promove a ineficiência de diversas atividades e de seus usos múltiplos, causando perdas de produção e dificultando o processo de crescimento econômico. Assim, a crescente demanda por água para diversos fins pela sociedade constitui um desafio para o planejamento de recursos hídricos, seja no aspecto de sua disponibilidade física ou pela qualidade da água.

Neste cenário, em 2019 iniciou-se o licenciamento para a construção de um novo reservatório de água na região que envolve os municípios de Botucatu e Pardinho, sob a responsabilidade da Prefeitura de Botucatu e da Companhia de Saneamento Básico de São Paulo - SABESP, na sub-bacia do Alto Pardo. Este

projeto visa a segurança hídrica no abastecimento público e ao desenvolvimento das atividades econômicas da região. No entanto, o projeto por si só não é uma garantia de sucesso e de perfeito atendimento da necessidade e segurança hídrica do empreendimento. É necessário também que sejam assegurados os serviços ecossistêmicos dos recursos naturais da região, visando a produção de água em sua quantidade e qualidade para o suprimento do reservatório, através de um planejamento responsável do uso e cobertura da terra.

Proteger e recuperar mananciais são ações importantes para amenizar problemas futuros de abastecimento de água e garantir a segurança hídrica em situações de estresse sem o perigo de se chegar ao seu esgotamento se não forem preservados. Desta maneira, sabendo-se das fragilidades e aptidões de uma determinada área, é possível elaborar uma melhor política de uso da terra para o desenvolvimento sustentavelmente consciente da região, tornando-se este um instrumento valioso na elaboração de procedimentos e políticas públicas que adéquem à atividade humana com as características naturais do terreno e em favor da conservação dos recursos hídricos.

Ferramentas de geoprocessamento presentes nos Sistemas de Informação Geográfica permitem elaborar mapas e exibir cenários para facilitar a compreensão da cobertura terra para o seu melhor uso de forma responsável e estratégica.

Neste contexto, este trabalho teve como hipótese que as áreas prioritárias à recomposição florestal na sub-bacia do Alto Pardo fossem definidas e mapeadas, em Sistemas de Informações Geográficas, de forma qualitativa e quantitativa, por meio de uma abordagem multicriterial e multivariada a oferecer os resultados como subsídios às políticas públicas ambientais para a gestão hídrica regional.

O objetivo geral deste trabalho foi definir as áreas prioritárias para a recomposição florestal na sub-bacia do Alto Pardo, visando promover os serviços ecossistêmicos da região na produção de água em quantidade e qualidade, por meio da abordagem qualitativa multicriterial e quantitativa multivariada.

Os objetivos específicos foram:

- a) Mapear as características da bacia, da cobertura e o uso da terra e seus conflitos na sub-bacia do Alto Pardo;
- b) Definir os fatores e seus respectivos pesos, utilizando o Processo Analítico Hierárquico, para a avaliação da importância e a influência desses fatores

e pesos escolhidos, importantes na definição de áreas prioritárias para recomposição florestal;

- c) Definir a melhor metodologia de análise multivariada e sua aplicação para gerar um mapa final de áreas prioritárias à recomposição florestal, de forma quantitativa, na bacia em estudo;
- d) Propor a álgebra dos mapas resultantes das análises multicriterial (qualitativa) e multivariada (quantitativa) e/ou compará-los e discuti-los separadamente;
- e) Construir uma proposta de áreas prioritárias à recomposição florestal na sub-bacia do Alto Pardo como subsídio a políticas públicas de ordenamento territorial e para o processo de tomada de decisão na gestão dos recursos hídricos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 O Uso da Terra e seus Impactos nos Recursos Hídricos

Pelo motivo de criar e recriar seu espaço a todo momento, o homem muitas vezes modifica o ambiente natural sem pensar nas consequências de suas ações, influenciando diretamente na degradação ambiental em função da não preservação de áreas essenciais à manutenção da qualidade de vida. Tal fato ocorre pela apropriação da terra de forma incompatível ao adequado em relação à sua estrutura e localização, o que pode causar impactos não só de ordem ambiental, mas também social e econômica (REISSLER, 2014).

Dentre as várias definições existentes, o uso da terra está geralmente associado às atividades desenvolvidas pelo homem em uma extensão de terra ou exercida a um ecossistema para a obtenção de produtos e benefícios através dos recursos da terra (BIE; LEEUWEN; ZUIDEMA, 1996).

O aumento sem precedentes da população mundial, a rápida mudança nos padrões de consumo e o aumento das áreas irrigadas devido a uma demanda por alimentos, combustíveis e fibras em quantidades cada vez maiores, a ação antrópica pela expansão agrícola e pecuária promovem modificações no ambiente pela intensificação do uso dos recursos naturais e incrementam a necessidade por água a uma taxa elevada (MEKONNEN e HOEKSTRA, 2016). Essa ação, de forma desordenada, utiliza de grandes áreas para fins econômicos promovendo a supressão de florestas para implantação de empreendimentos agropecuários, sem que haja, muitas vezes, o mínimo de planejamento que considere a questão ambiental (CORREA, 2006), ocasionando processos de degradação da terra e impactos negativos na qualidade e quantidade dos recursos hídricos. A falta de ordenamento territorial adequado às potencialidades e fragilidades naturais da região afetam diretamente a qualidade de vida da população e o equilíbrio ambiental das bacias hidrográficas.

De acordo com Bezerra e Veiga (2000), o desmatamento e o manejo inadequado dos solos levam à degradação de sua estrutura física bem como processos de erosão. Os solos empobrecidos por processos erosivos exigem mais fertilizantes que, em sua maioria, não suprem de modo natural as necessidades nutricionais das plantas, tornando-as assim mais sensíveis aos ataques de pragas

e doenças, o que leva ao agricultor a associar o uso de fertilizantes com a aplicação de defensivos agrícolas.

Diversos fatores como as características estruturais do solo, tipo de cobertura, tipo de preparo do solo e manejo inadequado, vão interferir nos processos de infiltração e escoamento superficial da água (NICOLETE, 2015). O manejo incorreto do solo é uma das maiores ameaças à qualidade da água superficial e subterrânea em bacias hidrográficas e é causada principalmente pela substituição da cobertura original por culturas agrícolas sem práticas sustentáveis de manejo.

A intensificação da produção agrícola gera o aumento do uso dos recursos naturais e agrava muito os processos de degradação da terra (UNEP, 2000). Em áreas predominantemente agrícolas, as águas carregadas aos cursos d'água pelo aumento da erosão e do escoamento superficial frequentemente transportam partículas do solo com insumos agrícolas, que além de contaminar a água, podem provocar salinização, eutrofização e assoreamento, comprometendo a integridade dos recursos hídricos para o consumo e conseqüentemente gerar conflitos de interesse entre seus usuários (ASSAD et al., 1998; ANA, 2011, CAMPOS 2001).

No contexto de sustentabilidade hídrica, Vieira e Gondim Filho (2006) defenderam a necessidade de desenvolver mecanismos de convivência de produção econômica com a vulnerabilidade regional para que os objetivos gerais de uma política de água alcancem padrões desejáveis de sustentabilidade, ocorrendo a equivalência entre oferta e demanda de água, de forma quantitativa e qualitativa. Segundo esses autores, algumas das estratégias para a conservação dos recursos hídricos e preservação hidro-ambiental são: proteção dos ecossistemas e conservação da diversidade ecológica; proteção das nascentes e aquíferos; recuperação de áreas degradadas e diminuição de processos de desertificação; disciplinamento de uso e manejo adequado do solo, objetivando minimizar a erosão e seus impactos aos mananciais; educação ambiental para controle de perdas e desperdícios.

De acordo com Mota (1999), o planejamento territorial de uma bacia hidrográfica constitui o melhor método para evitar a degradação de seus recursos naturais, levando em consideração suas características ambientais. Planejar e gerenciar as formas de intensidade de uso em uma bacia refletem diretamente na qualidade e quantidade de recursos hídricos disponíveis para a população.

A bacia hidrográfica é um excelente referencial de gestão, pois constitui em um sistema natural definido geograficamente onde os fluxos de entrada e saída e suas respectivas interações podem ser integrados. Além disso, constitui-se uma unidade espacial de fácil caracterização e reconhecimento, estreitamente consonante ao seu manejo e manutenção da qualidade dos recursos hídricos (SANTOS, 2004). Para Guerra e Cunha (2000), a bacia hidrográfica é uma unidade integradora que permite a análise das dinâmicas e interações entre as variáveis ambientais e sociais que constitui a paisagem. Torna-se possível entender os processos nela desenvolvidos e suas alterações, permitindo ações de planejamento frente aos desequilíbrios antrópicos.

Tendo como unidade ideal de planejamento dos recursos hídricos as bacias hidrográficas, é necessário entender que os principais fatores que ameaçam os recursos hídricos são categorizados em níveis locais, regionais e globais (IPCC, 2014). Em escala local podem ser definidos pelos processos de poluição e ausência de saneamento adequado. Na escala regional, o uso e manejo inadequado do solo em extensas áreas podem provocar alterações nos processos ecológicos dos ecossistemas, alterando o ciclo hidrológico regional. Do ponto de vista global, as mudanças climáticas afetarão de forma significativa a provisão dos recursos hídricos (IPCC, 2014).

2.2 Mudanças Climáticas, Escassez e Segurança Hídrica

O Brasil possui a maior fonte de águas superficiais e subterrâneas do mundo, no entanto, a sua distribuição é espacialmente desigual e concentrada em algumas regiões. A região sudeste, recebe cerca de 7% da precipitação total enquanto concentra quase metade da população do país (GETIRANA, 2015). A variação da precipitação do ano hidrológico anual possui um caráter recorrente, com variabilidade média de 15% no Sudeste, mas com a intensificação das mudanças climáticas, possivelmente haverá mudanças significativas no regime de chuvas no país (NOBRE et al., 2016). Cientistas de diversas áreas têm apontado a ocorrência de fenômenos climáticos, como La Niña e El Niño, para explicar em parte os efeitos das mudanças abruptas nos padrões históricos (LOON et al., 2016) e os efeitos presentes e futuros das mudanças climáticas.

Clima e água não podem ser tratadas como assuntos independentes, uma vez que a água é o meio primário por onde os impactos das mudanças climáticas serão mais sentidos, que poderão afetar os padrões hidrológicos (sazonalidade), quantidade de recursos (secas e enchentes) e qualidade (adequação ao uso). As alterações mais prováveis estão relacionadas com o aumento na frequência, intensidade, localização e duração de eventos climáticos extremos, como secas, enchentes e ondas de calor (WISE et al., 2014; HILL, 2012).

Pode-se entender mudanças climáticas como alterações nas propriedades climáticas, persistentes ou não, por períodos extensos de tempo. Suas causas podem ser tanto de fatores naturais internos da dinâmica climática quanto por ações antropogênicas, através das alterações na atmosfera e no uso do solo (IPCC, 2014). O aumento da frequência e intensidade desses eventos climáticos extremos tem reforçado cada vez mais a necessidade de atenção em soluções mais eficazes e seguras, não só a curto como a longo prazo.

Cientistas mais céticos afirmam que talvez já tenha-se atingido algum ponto limite onde não será mais possível lidar com as questões climáticas de uma forma linear e previsível (HILL e NATHAN, 2013), o que poderá causar sérios prejuízos de ordem não só ambiental, mas também social e econômica.

A água é um recurso limitado e de valor econômico, ainda mais num país fundamentalmente agrícola, como o Brasil. Sua importância não se restringe apenas à sobrevivência humana, mas também para o desenvolvimento de todas as atividades produtivas e qualidade de vida, devendo para tanto, serem assegurados seus usos múltiplos, incluindo a manutenção das condições ecológicas e ambientais (ABAS, 2017). Sua escassez pode ocorrer, tanto por condições climáticas/ hidrológicas e hidrogeológicas, por demanda excessiva ou por desequilíbrio ecossistêmico. Além de impactar a atividade de outros usuários, o estresse hídrico surge também como um fator limitante para o próprio desenvolvimento agrícola e econômico (REISSLER, 2014).

Neste cenário, quando não existe atendimento às demandas por água em termos qualitativos e quantitativos e há insuficiência na manutenção das condições ambientais mínimas que garantam a sustentabilidade, tem-se a escassez hídrica. Muito mais do que uma questão de quantidade, a crise hídrica tem sido agravada pela degradação das bacias hidrográficas, pelo desmatamento das áreas de cabeceiras, uso e ocupação das terras e das práticas de manejo dos

solos adotadas pelos agricultores. A ausência de chuva, muitas vezes correlacionada às mudanças climáticas, é apenas mais um ingrediente da escassez, sendo tais fatos, por fim, agravados pela exploração sem controle das águas subterrâneas que abastecem o rio e sua rede de afluentes, os desflorestamentos e o desperdício.

Uma crise hídrica também é consequência, em primeiro lugar, da contaminação e, depois, da exploração insustentável e do uso inconsciente da água, visto o seu esbanjamento em face de uma equivocada mentalidade de abundância deste recurso e consequente falta de cuidado, cujos efeitos começam a ser sentidos potencialmente, e cada vez mais, pela população.

Em um relatório recente sobre riscos globais, o Fórum Econômico Mundial elenca a crise hídrica como o maior risco global potencial (WEF, 2015) corroborando com Srinivasan et al. (2012) que considera a escassez hídrica como a maior crise do século 21, sendo difícil mensurar a natureza desta crise em escala local.

Como a água distribui-se de modo irregular, no tempo e espaço, em função das condições geográficas, climáticas e meteorológicas, mesmo que vazão média de longo período sirva para a estimativa do potencial hídrico de uma bacia hidrográfica, as variações sazonais e multianuais são bastante significativas, de modo que o potencial economicamente explorável pode ser bem menor, tão menor quanto mais variável for o regime hidrológico. (BARTH e POMPEU, 1987).

Assim, é imprescindível o planejamento em tempos de abundância para os tempos de escassez. É necessário que a expansão agrícola, visando atender a demanda da população global por alimentos nos próximos séculos, seja orientada no sentido de se buscarem medidas conservacionistas deste recurso. A gestão com responsabilidade do uso da terra e atividades agrícolas conscientes contribuirá fortemente para a segurança dos recursos hídricos e da economia no futuro, já que sem água não se prospera nenhuma atividade econômica (REISSLER 2014).

Segurança Hídrica está dividida em 7 variáveis importantes: prover as necessidades básicas, assegurar a produção de alimentos, proteger ecossistemas, compartilhar recursos hídricos, gerir os riscos, valorizar a água e governar a água de forma inteligente (COOK e BAKKER, 2012).

O uso adequado da terra é o primeiro passo em direção ao desenvolvimento econômico sustentável das atividades agrícolas e segurança hídrica local. Para isso, deve-se empregar cada parcela de terra de acordo com a sua aptidão, capacidade de sustentação e produtividade econômica, de tal forma que os recursos naturais sejam colocados à disposição do homem para seu melhor uso e benefício e preservados para gerações futuras (LEPSCH et al, 1991). Tundisi e Matsumura-Tundisi (2008) acentuam a necessidade de estudos para a formação de uma base de dados consolidada e transformada em instrumento de gestão. Esta pode ser uma das formas mais eficazes de enfrentar o problema de escassez e estresse de água e deterioração de sua qualidade

Assim, as crescentes demandas por água para diversos fins pela sociedade constituem um desafio para o planejamento de recursos hídricos, seja no aspecto de sua disponibilidade, seja pela qualidade da água. Novos esforços deverão ser direcionados para a responsabilidade de se enfrentar tais mudanças com novas ações de governança dos recursos hídricos, de forma integradora, adaptativa e ecossistêmica. Sendo assim, faz-se necessário desenvolver métodos e práticas de gestão que sejam capazes de lidar com a incerteza de uma forma mais adaptativa, aumentando a resiliência de sistemas essenciais para a manutenção de um equilíbrio (FOLKE et al., 2005; OLSSON, FOLKE e HUGHES, 2008).

2.3 Florestas e o Manejo Sustentável dos Recursos Hídricos

A movimentação da água no ciclo hidrológico e sua disponibilidade estão intrinsicamente associadas aos recursos florestais bem como às alterações na cobertura e uso da terra, destacando a importância de estratégias harmoniosas entre recursos hídricos e ocupação territorial (BOGARDI, 2011). A correlação entre florestas e a água, e suas condições de equilíbrio natural, enfrentam diversas modificações antropogênicas com destaque para a expansão agrícola e pecuária e construção de estradas, pela mineração e pela progressiva urbanização, que acarretam em supressão da vegetação natural e alteram os ciclos biogeoquímicos da água.

A supressão de importantes áreas florestais para o desenvolvimento de diversas atividades frequentemente gera impactos negativos aos recursos naturais, como a perda de biodiversidade, erosão do solo, diminuição da

quantidade e da qualidade da água superficial e subterrânea. O atual cenário de agravamentos na disponibilidade da água de qualidade ressalta a necessidade de conservação e preservação de áreas florestais para a manutenção da integridade dos recursos hídricos, o que torna necessário o planejamento adequado do uso.

A manutenção desta integridade possui inseparável relação com a adequações das atividades econômicas e seus usos da terra com a conservação de áreas naturais essenciais, já que para a proteção das bacias hidrográficas é fundamental a manutenção de florestas como importantes provedoras de serviços ambientais, como: regulação do fluxo de água (controle de enchentes e aumento da vazão na época seca) e do lençol freático, manutenção da qualidade da água (controle de carga de sedimentos, nutrientes, químicos e da salinidade), contenção da erosão e manutenção do habitat aquático (LANDELL-MILLS e PORRAS, 2002) .

Existem áreas especiais dentro da paisagem que dependem de sua proteção para garantir processos ecológicos e hidrológicos que forneçam a estabilidade das bacias hidrográficas. É necessária a proteção das zonas ripárias e cabeceiras de drenagem dessas áreas com o planejamento adequado da diversidade biológica local para a manutenção de seus usos múltiplos, uma vez que o ecossistema ripário é um dos fatores-chave de resiliência de uma microbacia e com sua degradação o sistema torna-se mais vulnerável a perturbações (REISSLER, 2014)

As zonas ripárias, por vezes consideradas por lei como Áreas de Preservação Permanente (APPs), possuem funções essenciais à manutenção da vida, como a conservação dos solos, diminuição dos processos erosivos e o acúmulo de matéria orgânica, que é considerado um excelente agregador do solo por aumentar sua estabilidade e conservar os minerais. De acordo com Boin (2000), a chuva é uma das variáveis climáticas mais atuantes nos processos de erosão e, para o controle deste processo, as folhas das copas das árvores desempenham um amortecimento das gotas de chuva diminuindo o efeito *splash*. Este é só um exemplo de como as mudanças na cobertura vegetal influenciam em processos de erosão, podendo ser destacados também outras ações como a importante presença da vegetação na formação de húmus e fertilização da terra.

Assim, o tipo e a porcentagem da cobertura vegetal têm a capacidade de reduzir efeitos de processos erosivos naturais e antropogênicos e sua densidade

é apresentada como um importante elemento de retenção de sedimentos, do escoamento superficial e da perda de solo (GUERRA, 1996).

Para Gottle e Sene (1997), as florestas possuem primordialmente funções ambientais de proteção relacionadas à manutenção estável dos recursos hídricos e do solo, à conservação do habitat natural e da diversidade biológica, à influência sobre o microclima local, à redução dos impactos das emissões de gases e função social de lazer e turismo. Lima (2008), defende a importância da cobertura vegetal sob a ótica dos processos hidrológicos como interceptação, transpiração, infiltração, percolação, destacando este elemento um dos principais que afetam a produção de água nas microbacias. Este autor ainda destaca a zona ripária como essencial para a estabilidade da função hidrológica de determinada área ao desempenhar processos como: geração do escoamento direto em bacias, sua quantidade e qualidade de água, ciclagem de nutrientes e interação direta com o ecossistema aquático. Por estes motivos, é evidente a importância que essas áreas florestais estejam protegidas e manejadas de forma sustentável.

A degradação de áreas importantes como as zonas ripárias pode diminuir a capacidade de armazenamento de água na bacia e comprometer a vazão de água aos rios em períodos de seca e, além do aspecto hidrológico, também pode sofrer influência na qualidade da água disponível (ELMORE; BESCHTA, 1987).

Bertoni e Lombardi Neto (2005) relatam que a cobertura vegetal é a defesa natural de um território contra a erosão e Sousa Junior (2005) descreve que a supressão da cobertura florestal em áreas ciliares ocorre drástica redução na capacidade de retenção de água de chuva, comprometendo a infiltração da água no solo, promovendo o escoamento superficial das águas pluviais e formando grandes enxurradas, dificultando o abastecimento do lençol freático com consequente diminuição da água armazenada em subsolo.

Diversos trabalhos apontam uma estreita relação entre qualidade da água e cobertura florestal e, nesse contexto, Perry et al. (1999) em estudo sobre o impacto do manejo da floresta ripária na bacia sobre a qualidade da água, analisando a otimização de retenção dos sedimentos e nutrientes pela floresta ripária, avaliaram o impacto sobre a qualidade da água em diferentes cenários com em locais de desflorestamento gradual e em reflorestamento em zona ripária. Os resultados apontaram um aumento de cargas de nitrogênio e fósforo na saída da bacia em um cenário de desflorestamento de 50% da floresta ripária e

diminuição nas cargas desses elementos sob um cenário de reflorestamento de 50% da zona ripária. Outro estudo realizado em florestas tropicais na Índia investigou as repostas hidrológicas de bacias hidrográficas cobertas com floresta natural, floresta degradada e plantação de árvores exóticas e, como resultado, obteve-se um aumento da recarga de águas subterrâneas e manutenção constante das vazões dos rios durante os períodos de estiagem as bacias que apresentavam maior área de floresta natural (KRISHNASWAMY, 2013).

Ao considerar o aspecto essencial da vegetação florestal para os recursos hídricos, destaca-se sua relevância na função de corredor ecológico como fluxo de biodiversidade e equilíbrio do ecossistema, por aumentar a dispersão de animais e sementes e, portanto, estender a colonização das áreas degradadas por espécies de plantas e animais presentes em fragmentos florestais (SARTORI, 2010).

Desta forma, considera-se de fundamental necessidade a reversão de qualquer degradação ecossistema florestal para a conservação dos recursos hídricos e a promoção de sua restauração e conseqüente equilibrando suas funções em práticas sustentáveis de manejo e regeneração da vegetação em áreas mais suscetíveis e essenciais à conservação. Para Vettorazzi (2006), intervenções como o reflorestamento dirigido em bacias hidrográficas são destacadas como uma medida necessária e adequada para a produção de água de boa qualidade para os múltiplos consumos.

Os cenários de degradação, principalmente dos recursos hídricos, se mostram crescentes e são cumulativos, fato que requer especial atenção e planejamento do desenvolvimento econômico e social de uma maneira sustentável compatível com a manutenção e funcionamento dos ecossistemas. Ao considerar a gestão dos recursos hídricos como objeto particular, deve-se proporcionar a preservação, a conservação e o uso eficiente, além da equidade econômica e social na alocação dos recursos hídricos entre usuários. A isto também deve-se somar a melhoria no monitoramento da operação dos reservatórios de águas superficiais, bem como a melhoria da quantidade e da qualidade e da prospecção de águas subterrâneas (BRASIL, 2004).

2.4 Geotecnologias na Análise Ambiental: Utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

A utilização de geotecnologias é considerada imprescindível na tomada de decisão em questões de gestão ambiental estratégica (BATISTELLA e MORAN, 2008). Elas representam um conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e disponibilização de informações com referência geográfica para o conhecimento do espaço e do território, bem como sua representação, utilizadas para o desenvolvimento e minimização de possíveis impactos ambientais e sociais resultantes da atividade humana (SARTORI, 2010).

Em análises ambientais, nos dias atuais, é indispensável o uso de sistemas de alta capacidade para o tratamento e análise de informações sob variados temas, tais como as técnicas de sensoriamento remoto e de sistemas de informações geográficas (FILHO, 1995). O sensoriamento remoto, é considerado uma ferramenta eficaz no monitoramento ambiental, em escalas regionais e globais, devido à rapidez e periodicidade em se obter informações da superfície terrestre (SOARES et al., 2007); já os SIGs facilitam o gerenciamento de informações espaciais e permitem elaborar diagnósticos e prognósticos, oferecendo subsídios à tomada de decisão.

Imagens obtidas por sensoriamento remoto e utilizadas em conjunto com técnicas de geoprocessamento possibilitam uma visão sinóptica da paisagem e de suas transformações, bem como propõem cenários para planejamentos de intervenção. Elas possibilitam, além disso, observar os impactos provocados por fenômenos tanto naturais, como enchentes e erosões do solo (potencializado, muitas vezes, pela interferência do homem), quanto antrópicos, através de desmatamentos e queimadas, pela expansão urbana, ou outras alterações do uso e da ocupação da terra (FLORENZANO, 2002).

O SIG apresenta diferentes possibilidades de aplicações das quais, segundo Lang e Blaschke (2009), destacam-se: 1) descrição e análise da estrutura (quantificação da configuração espacial e diversidade do espaço); 2) detecção (delimitação de objetos, representação da realidade); 3) avaliação de paisagem e habitats e seus prejuízos; 4) planejamento de paisagens (preparo de planos, detecção da condição atual, desenvolvimento de cenários, sistemas de apoio a tomadas de decisão); 5) análise de uso da terra (detecção de tipos de uso e suas

mudanças), e; 6) modelagem da paisagem (avaliação de intervenções, avaliação de variáveis, avaliação de planejamento-modelagem).

Dentre as perspectivas mais importantes em estudos de bacias hidrográficas está um melhor conhecimento do uso da terra, o qual pode ser apurado com auxílio de técnicas de classificação de imagens produzidas por sensoriamento remoto e geoprocessamento de imagens, uma das principais ferramentas para o planejamento e manejo adequado dessas áreas. O planejamento ambiental, segundo Santos (2004), abrange em seu contexto a interação e a dinâmica do meio estudado e realiza avaliações de impactos ambientais focados nos riscos potenciais de ocorrência e as fragilidades do meio. Este processo culmina no manejo dos recursos naturais de forma a garantir o acesso da população presente e futura a recursos de qualidade e em quantidade satisfatória. Por fim, o planejamento ambiental assistido da identificação de riscos ambientais potenciais constitui um dos instrumentos fundamentais para a proteção das águas e dos recursos naturais presentes na bacia hidrográfica planejada.

2.5 Análise Multivariada

A identificação, localização e mapeamento de áreas prioritárias para a restauração florestal está estreitamente relacionada com a identificação de variáveis ambientais e ecológicas bem como das influências antrópicas atual e potencial exercidas neste meio. Diversos fatores condicionantes estão envolvidos no entendimento desta dinâmica e essa complexidade é facilitada quando o estudo é submetido a um enfoque quantitativo multidimensional.

A técnica de Análise Multivariada se define como um conjunto de métodos estatísticos utilizados quando mais de uma variável é medida e também correlacionada. Esta análise se refere a todas as técnicas estatísticas que analisam múltiplas medidas dos elementos sob investigação e, assim, qualquer análise simultânea de mais de duas variáveis pode ser considerada, a princípio, como multivariada. (HAIR et al., 2009).

A análise multivariada corresponde a um grande número de métodos e técnicas que utilizam, simultaneamente, todas as variáveis na interpretação teórica do conjunto de dados obtidos, de forma a conhecer a totalidade dessas informações fornecidas pelo conjunto das variáveis e suas relações (HAIR et al.,

2009; NETO, 2004; RENCHER, 2002). Para ser considerada uma análise multivariada, todas as variáveis devem ser aleatórias e inter-relacionadas de tal maneira que seus diferentes efeitos não podem ser significativamente interpretados em separado, cujo objetivo é medir, explicar e prever o grau de relação entre variáveis estatísticas (HAIR et al., 2009; TABACHNICK e FIDELL, 1996).

De acordo com Mingoti (2005), a análise multivariada se divide, basicamente, em dois grupos: 1) a que consiste em técnicas exploratórias de sintetização (ou simplificação) da sua estrutura de variabilidade 2) que consiste em técnicas de inferência estatística. No primeiro grupo são representativos os métodos de análise de componentes principais, análise fatorial, análise de correlações canônicas, análise de agrupamentos, análise discriminante e análise de correspondência, que, normalmente, não dependem do conhecimento da forma matemática da distribuição de probabilidades gerador dos dados amostrais. Já no segundo grupo, são representados pelos métodos de estimação de parâmetros, testes de hipóteses, análise de variância, de covariância e de regressão multivariadas.

Os métodos de estatística multivariada são utilizados na intenção de simplificar a interpretação do fenômeno a ser estudado pela construção de índices que sintetizem a informação original dos dados; elaborar grupos de elementos amostrais demonstrando as similaridades entre si a possibilitar a segmentação do conjunto de dados original; demonstrar as relações de dependência entre as variáveis associadas aos fatores (variáveis explicativas, muitas vezes, com objetivos de predição); comparar populações ou validar suposições através de testes de hipóteses (MINGOTI, 2005). Por fim, este método de análise objetiva reduzir um grande número de variáveis a poucas dimensões com o mínimo de perda de informação, permitindo a detecção dos principais padrões de similaridade, de associação e de correlação entre as variáveis.

Diversos são os estudos ambientais que se utilizam a análise multivariada para correlacionar variáveis ambientais, físicas, químicas, sociais e econômicas. Em seu estudo, Silva (2003) utilizou-se da análise multivariada e, relacionando um amplo conjunto de variáveis ambientais associada a um SIG, concluiu que esta metodologia tem o potencial de aprimorar e facilitar a execução de diagnósticos e elaboração de zoneamentos ambientais, subsidiando objetivamente a decisão em

planejamento ambiental. Afirma também que esta técnica permite analisar grande volume de dados, é essencialmente quantitativa, de fácil repetição, as etapas de análise são claramente explicitadas e ressalta assimilaridades ou dissimilaridades não perceptíveis a olho nu. Rivera (2007), ao desenvolver um estudo de ordenamento do território, através de análise multivariada e multicriterial em ambiente SIG, confirmou a eficácia da metodologia.

A principal vantagem de se utilizar análise multivariada diz respeito às sucessivas aproximações que podem ser feitas sobre o território e as inter-relações espaciais entre elementos que podem ser obtidas em cada caso (LEGENDRE et al., 1998).

Desta forma, pela análise multivariada é possível a utilização de técnicas de reconhecimentos de padrões de variáveis espaciais para que possam ser ordenadas as áreas mais propícias para projetos de recuperação florestal. No entanto, a pura utilização de técnicas estatísticas, hoje em dia bastante facilitado graças à vasta disposição de programas computacionais, não é condição suficiente se o estudo não for embasado num sólido conhecimento específico para a melhor escolha e utilização da técnica.

2.5.1 Análise de Componentes Principais

De acordo com Landim (2011), o método de ordenação de dados mais difundido e mais aplicado em geociências é a Análise de Componentes Principais (ACP), uma técnica utilizada para redução do número de variáveis e fornecer uma visão estatisticamente privilegiada de um conjunto de dados. A ACP fornece as ferramentas adequadas para analisar inter-relações entre um grande número de variáveis e explicá-las em suas dimensões inerentes, condensando a informação contida em várias variáveis originais em um conjunto menor de variáveis estatísticas (componentes) com uma perda mínima de informação, bem como identificando as variáveis mais importantes no espaço das componentes principais (PIELOU, 1984; MANLY, 1994).

Para Savi (2017), a ACP é um método exploratório e tem como objetivo identificar padrões nos dados e expressá-los de uma maneira na qual suas semelhanças e diferenças sejam destacadas. Uma vez que os padrões são

reconhecidos, é possível compactar o número de variáveis, reduzindo, então, o número de dimensões do estudo com a menor perda possível de informações.

A técnica se resume em descobrir componentes lineares de variáveis correlacionadas, calculando-se os autovalores e correspondentes autovetores de uma matriz de variâncias-covariâncias ou de uma matriz de coeficientes de correlação entre as variáveis (NOSSACK, 2016). O método da ACP, segundo Santi et al. (2012), resulta na redução dos números de variáveis a serem consideradas em um determinado estudo e auxiliam no processo de julgamento da importância das variáveis originais escolhidas. Assim, aquelas que tiverem maior importância do ponto de vista estatístico, apresentarão o maior peso (MOITA NETO; MOITA, 1998).

A ACP também consiste em reescrever as variáveis originais em novas variáveis denominadas componentes principais, através de uma transformação de coordenadas. A transformação de coordenadas é um processo trivial quando feito usando matrizes. Os componentes principais são as novas variáveis geradas através de uma transformação matemática especial realizada sobre as variáveis originais. Cada componente principal é uma combinação linear de todas as variáveis originais e o número de componentes principais se torna o número de variáveis consideradas na análise calculadas por ordem de importância decrescente, sendo geralmente as primeiras componentes as mais importantes, já que explicam a maior parte da variação total.

Na ACP, um novo conjunto de eixos é definido a partir de uma transformação dos dados, fazendo-se rotações dos eixos dos dados originais (WEBSTER, 2001). Os coeficientes dos eixos são calculados pelos autovetores da matriz de covariâncias ou de correlações entre as medidas (PIELOU, 1984; DILLON e GOLDSTEIN, 1984; MANLY 1994) e são extraídos de modo que o primeiro explique a maior parte da variância, o segundo explique a maior parte da variância residual, e assim, sucessivamente. Desta maneira, os eixos não são correlacionados, e podem ser interpretados como vetores independentes (DILLON e GOLDSTEIN, 1984; MANLY, 1994). Quanto maior a correlação entre as medidas originais, maior será a parcela de variação explicada pelos primeiros eixos. Os coeficientes das variáveis, ou seus pesos, são usados para interpretar os eixos. As variáveis mais importantes são as de maiores coeficientes e pesos, negativos

ou positivos. O sinal dos pesos indica se a correlação entre as medidas representadas pelo eixo é positiva ou negativa.

Ainda são comuns no Brasil trabalhos que se utilizam da ACP como um método apenas de ordenação, buscando estabelecer relações entre características químicas, físicas ou biológicas e o ambiente (GOMES et al., 2004; PISSARRA et al., 2004; BENEDUZI et al., 2008).

2.6 Análise Multicriterial

Para que haja uma gestão ambiental eficiente, são diversos os fatores que se inter-relacionam e que devem ser levados em consideração na tomada de decisão. Esses fatores, sejam eles biológicos, físicos, sociais e econômicos, quantificáveis ou não e, quando combinados, produzem diferentes opções de critérios para o planejamento. A análise multicritério (AMC) é uma ferramenta de análise que possibilita a junção destes diversos fatores, atribuindo-lhes pesos por avaliação de especialistas e elencar uma ordem de relevância ao adotar prioridades na tomada de decisão (FRANCISCO et al., 2007), para que o planejamento ocorra de forma mais responsável e consciente.

Para a determinação da ordem de importância entre os fatores analisados, um dos métodos utilizados é o Processo Hierárquico Analítico (AHP) que propicia atribuir pesos em uma comparação pareada dos fatores e estabelecer relações entre as variáveis analisadas a fim de representar uma situação final de inter-relação entre os fatores (SAATY 1987; MALCZEWSKI, 2004), possibilitando o agrupamento de diversos critérios em uma mesma análise (AGÁPITO et al., 2016). Este processo é realizado a partir da consulta a um grupo de especialistas tomadores de decisão que adotam critérios como base de seleção, de forma que possam ser medidas e avaliadas a importância das variáveis analisadas, divididas em fatores e restrições, considerando atributos individuais ou a um conjunto (EASTMAN, 2012). Os fatores estão relacionados às informações que priorizam ou diminuem a suscetibilidade de uma alternativa para um objetivo (EASTMAN, 2001). Já as restrições apresentam-se como categorias de limitação ou exclusão do processo de tomada de decisão (EASTMAN et al., 1993).

Dentre as aplicabilidades da AMC na área ambiental, podem citar os estudos de zoneamento e aptidão agrícola, como o de Barros (2017) que avaliou a forma

adequada de cada classe de uso da terra de modo que houvesse um maior aproveitamento na interação ambiente/planta. Em outro trabalho de zoneamento de risco de incêndios florestais, o método AHP se mostrou eficaz ao integrar os planos de informação somados com seus respectivos pesos por meio da aplicação da técnica participatória e a utilização de SIGs. (NICOLETE; ZIMBACK, 2013). Com a metodologia AHP, Pina (2017) utilizou os pesos dos fatores como custos e, ao relacionar esses valores à importância das condições de fragmentação vegetal nativa local, demonstrou que o fator uso e ocupação é o de maior relevância para a recuperação ecológica.

Vários métodos podem ser aplicados para a manipulação das informações na AMC. Ao avaliar a aplicação da AMC em ambiente SIG, Vettorazzi (2006) comparou os métodos de Combinação Linear Ponderada (CLP) e da Média Ponderada Ordenada (MPO) na elaboração de mapas de áreas prioritárias à restauração florestal com o objetivo da conservação de recursos hídricos, assim como Sartori (2010) e Bernardo (2017), com o objetivo de definir áreas prioritárias para conectividade de fragmentos florestais através da abordagem multicriterial, em ambiente SIG, adotando o método de CLP, concluíram que esta metodologia é adequada para determinar áreas de prioridade para recomposição florestal e considerada uma poderosa ferramenta no processo de tomada de decisão.

Na CLP, os critérios de avaliação (fatores) são padronizados para uma escala numérica comum eles, ao atribuir-lhes pesos e posteriormente combinados por meio de uma média ponderada (VOOGD, 1983). O ambiente SIG facilita esta ação por favorecer a modelagem cartográfica e viabilizar a álgebra dos mapas de fatores, promovendo a representação contínua da paisagem (CHEN et al., 2001; KANGAS et al., 1998; STORE e KANGAS, 2001).

Esta representação ocorre ao padronizar os fatores a uma escala numérica comum, baseada em lógica fuzzy (EASTMAN, 2001), com um conjunto de valores convertidos e mensurados em uma escala normalizada (MALCZEWSKI, 1996), cuja etapa é caracterizada como padronização dos fatores em ambiente da abordagem multicritério de normalização (EASTMAN, 2001; MALCZEWSKI, 1999). A lógica fuzzy promove a diminuição da subjetividade dos elementos analisados e permite aumentar o raciocínio para um processo de decisão (CALIJURI et al., 2002), compreendendo a precisão da matemática clássica e a imprecisão do mundo real (MALCZEWSKI, 1999).

Amorim et al. (2015) demonstrou que a AMC com a CLP possibilitou o ranqueamento de problemas socioambientais (fatores) a uma visão mais realista frente à gestão ambiental. Essa análise permite que o responsável pela gestão compreenda o critério mais importante para a tomada de decisão ao hierarquizar elementos de avaliação para um ordenamento territorial, incluindo áreas de vulnerabilidade ambiental, modelando a análise holística e sistêmica do método geossistêmico de análise da paisagem (DE PAULA e SOUZA, 2011).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição da Área

3.1.1 Caracterização Geral da Bacia do Rio Pardo

O Rio Pardo tem sua nascente no município de Pardinho – SP, a 1.007 metros de altitude, e sua foz no município de Salto Grande – SP, na altitude de 377 metros. É afluente do Rio Paranapanema, integrando a bacia hidrográfica do Rio Paraná e considerado o principal rio da bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema (VIEIRA, 2018) na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos – 17 (UGRHI – 17).

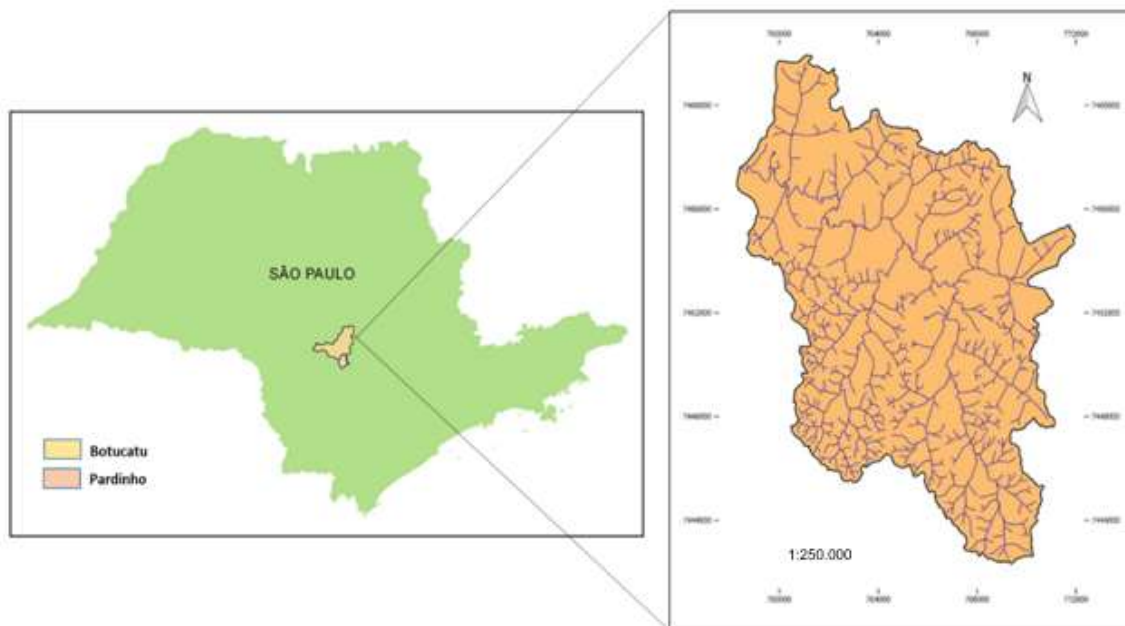
Seu percurso possui 264,25 km de extensão e é considerado um dos rios mais extensos do Estado de São Paulo, servindo como manancial de abastecimento para 15 municípios: Pardinho, Botucatu, Pratânia, Itatinga, Avaré, Cerqueira César, Iaras, Águas de Santa Bárbara, Óleo, Bernardino de Campos, Santa Cruz do Rio Pardo, Chavantes, Canitar, Ourinhos e Salto Grande (VIEIRA, 2018).

As águas do Rio Pardo estão intimamente ligadas ao desenvolvimento urbano, agropecuário e turístico regional. Nas principais nascentes da bacia predominam o uso das terras por pastagens e, na porção média e baixa da bacia, destacam-se as atividades agrícolas. O uso da terra é muitas vezes realizado em áreas destinadas à preservação permanente (APPs), o que pode comprometer a quantidade e qualidade da água disponível (PIROLI, 2013).

3.1.2 Área de Estudo: Sub-bacia do Alto Pardo

A sub-bacia do Alto Pardo está situada na região centro sul do Estado de São Paulo e abrange áreas dos municípios de Botucatu e Pardinho (Figura1), cujo eixo principal da bacia, o Rio Pardo, percorre um trecho de 26, 7 km (SARTORI, 2010) desde sua nascente no município de Pardinho até o município de Botucatu, tendo como limite de estudo o local de captação de água para abastecimento urbano desta cidade, realizado pela SABESP na represa Mandacaru, sendo assim, uma bacia de limites intermunicipais.

Figura 1 - Localização da sub-bacia do Alto Pardo nos municípios de Botucatu e Pardinho - SP.



Fonte: Mapa elaborado pela autora.

Está localizada geograficamente entre as coordenadas 23°06'14" e 22°56'07" de latitude sul e, 48°28'37" e 48°20'40" de longitude oeste de Greenwich, com altitudes que variam entre 840 e 1.000 m (IBGE, 1969; IBGE, 1982).

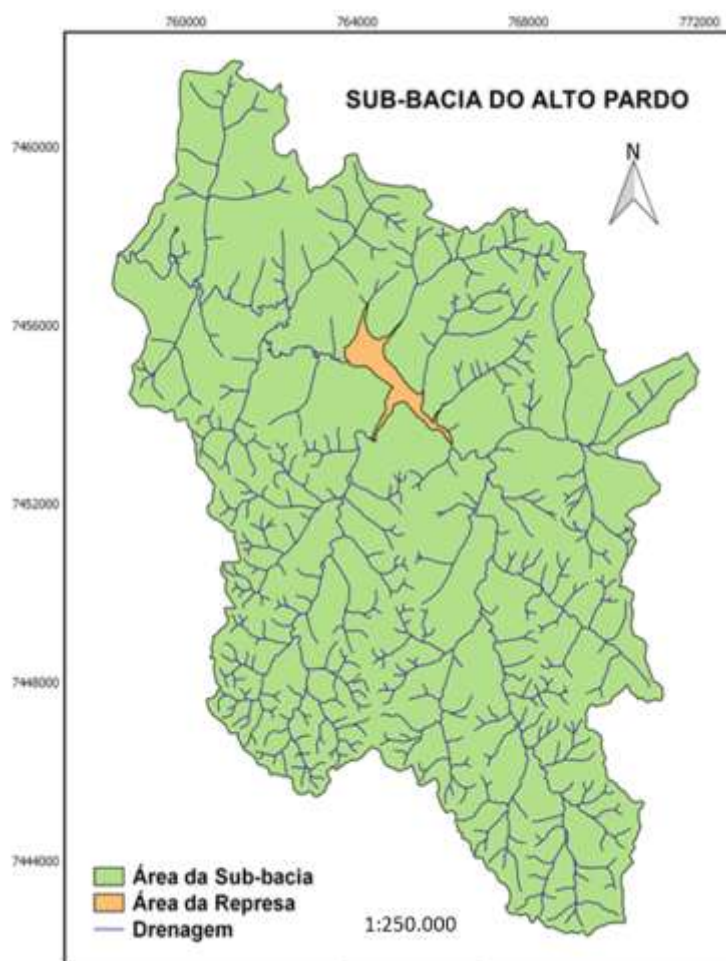
São diversos os usos da água na sub-bacia do Alto Pardo: abastecimento urbano, dessedentação de animais, irrigação, turismo e, também, por este rio ser um dos principais afluentes do rio Paranapanema, é de grande significância para o abastecimento de água à jusante. No trecho entre os municípios de Pardinho e Botucatu há 3 importantes represamentos artificiais: Cascata Vêu da Noiva, Mandacaru e Pinheirinho, este último executado em 2014 em virtude da crise hídrica neste período (BOTUCATU, 2015).

O Rio Pardo é considerado o maior manancial de abastecimento do município de Botucatu, cuja Represa do Mandacaru é a principal captação de água com área de drenagem da bacia de aproximadamente 145,07 km² e uma vazão $Q_{7,10} = 661$ L/s, (BOTUCATU, 2018).

3.1.2.1 A Nova Barragem do Rio Pardo

O município de Botucatu apresenta atualmente uma população de mais de 127.000 pessoas, com uma estimativa de crescimento de mais de 12% até o ano de 2030, com conseqüente aumento de demanda pela água (BOTUCATU, 2015), somado ao perceptível aumento da variabilidade climática frente às mudanças climáticas e imprevisibilidade de estiagem, torna evidente a importância de um planejamento consciente e medidas que garantam o abastecimento de água a longo prazo. Diante deste cenário, está em fase de licenciamento um projeto da SABESP, em parceria com a Prefeitura de Botucatu, para a construção de um reservatório na área de represamento da Cascata Vêu da Noiva (Figura 2).

Figura 2 - Área de inundação projetada para o reservatório de água no município de Botucatu, na sub-bacia do Alto Pardo.



Fonte: Mapa elaborado pela autora. Sistema de Projeção UTM 22S, Datum SIRGAS 2000.

A implantação da barragem no Rio Pardo tem como principal objetivo aumentar a disponibilidade hídrica no ponto de captação para o município de Botucatu com um reservatório de superfície estimada de 150,6 ha e cota de 850 m, cujo reservatório terá 84% de seu espelho d'água no município de Botucatu, e os 16% restantes no município de Pardinho (BOTUCATU, 2018). A implantação da barragem almeja o aumento da disponibilidade de água no ponto de captação da Represa do Mandacaru, a aproximadamente 8,5 km a jusante do reservatório, provendo 0,880 m³/s a 0,900 m³/s de vazão no ponto de captação (BOTUCATU, 2018).

A escolha do Rio Pardo para este empreendimento justifica-se tecnicamente pelo tamanho da sua área de drenagem, por evitar a possibilidade de afogamento da Cachoeira do Véu da Noiva e aproveitar a estrutura desta antiga barragem já existente, por possuir fácil acesso e também para minimizar outros possíveis impactos. De forma geral, o diagnóstico e identificação dos impactos decorrentes da implantação do Reservatório no Rio Pardo indicam que a sua implantação é viável, desde que adotadas todas as medidas mitigadoras, de controle, monitoramento e compensação ambiental descritas do Relatório Ambiental Preliminar – RAP (BOTUCATU, 2018). A qualidade das águas local é um dos principais indicadores da viabilidade do projeto, pois conforme a RAP, é boa a qualidade da água e dos sedimentos do local, podendo ser utilizada para abastecimento público após sua captação e tratamento. No entanto, estas condições podem ser alteradas a depender do uso e manejo da terra ou caso ocorram lançamentos de efluentes ou acidentes que contaminem as águas e comprometam a sua qualidade.

De acordo com o RAP, atualmente apenas 20% da Área de Preservação Permanente da área da represa está ocupada por vegetação natural e que, mesmo com o impacto de supressão destas áreas para a construção do reservatório, a região se beneficiará de um incremento de mata ciliar com a nova formação da APP com bordadura de 100 metros ao redor do reservatório, protegendo as áreas que atualmente encontram-se prejudicadas e ocupando uma área de 128,5 ha. O zoneamento municipal e o plano de manejo da APA Corumbataí – Botucatu – Tejuπά indicam que a área do empreendimento está destinada a proteção dos recursos hídricos para garantia da oferta de água para

abastecimento, que é o principal objetivo do empreendimento (BOTUCATU, 2018).

3.1.3 Geologia

De acordo com o Mapa Geológico do Estado de São Paulo (IPT, 1981), afloram nesta região duas formações geológicas: A) Grupo Bauru, Formação Marília, nas partes mais altas e acompanhando o divisor de águas da bacia, apresentam-se os arenitos mais resistentes ao intemperismo; Grupo São Bento, Formação Serra Geral, rochas basálticas nas partes inferiores do relevo, por uma faixa relativamente estreita que margeia os cursos d'água; B) feições geomorfológicas associadas, em sua maior parte, com o embasamento rochoso local.

3.1.4 Relevo

A área em estudo encontra-se no Planalto Ocidental Paulista, que é formado por um planalto extremamente festonado e variado e de relevo uniforme, com extensos espigões de perfis convexos e cimos ondulados e terminações laterais lobadas, constituindo baixas e amplas colinas que avançam em direção aos vales dos principais rios, interrompidos raramente pelo afloramento de camadas mais resistentes ao intemperismo, como a formação Marília, conforme Almeida (1964). Segundo o autor, o relevo termina frequentemente em escarpas abruptas e torna-se mais acidentado, apresentando vertentes de perfis côncavos e desníveis de até 100m, embora os cursos dos rios apresentem pequena declividade no seu leito. Ocorre a Formação Serra Geral nos locais onde os cursos d'água escavam o seu vale, de relevo mais acidentado, convexo e leitos dos rios mais declivosos, tornando-se as águas rápidas e aparecimento de saltos e cachoeiras.

Parte da área da sub-bacia do Alto Pardo encontra-se protegida pela Área de Proteção Ambiental (APA) de Botucatu, criada pelo Decreto Estadual nº 20.960 de 8 de junho de 1983 (SÃO PAULO, 1983), que visa proteger os recursos naturais de 3 regiões fisiográficas: Depressão Periférica, Front e Reverso da Cuesta de Botucatu (SOUZA et al., 1985), sendo que a área de estudo está localizada em área de transição entre a Frente e o Reverso da Cuesta.

3.1.5 Solos

São encontradas as seguintes unidades de solo na região: Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico, Latossolo Roxo Distrófico, Podzólico Vermelho-Amarelo Distrófico, Solos Litólicos Distrófico, Solos Hidromórficos Distrófico Indiscriminados e Solos Aluviais, todos distróficos e textura variando de média a muito argilosa (ZIMBACK, 1997). Estes mesmos solos foram reclassificados, segundo a Embrapa (2013) como: Latossolo Vermelho Distrófico, Latossolo Vermelho Distroférico, Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Neossolo Lítico Distrófico, Gleissolo Háptico Distrófico e Neossolo Flúvico Distrófico, respectivamente. Segundo Zimback (1997), os solos da bacia são pobres e não apropriados à prática agrícola convencional, sendo que a prática agrícola mais intensa se desenvolve próximas ao Rio Pardo, onde se encontram os solos mais férteis da região.

3.1.6 Clima

Tratando-se de clima, o da região é do tipo Cwa conforme classificação de Köppen com as seguintes características: tropical de altitude, com três meses mais secos e frios (junho/ julho/ agosto), chuvas predominantes no verão, temperatura média anual de 19,3°C e precipitação média anual de 1444,1 mm, com altitude de 900 m (CEPAGRI, 2018).

3.1.7 Vegetação

Ocorre a presença de matas de transição e atlântica, vegetação de cerrado, campo cerrado e espécies isoladas do Pinheiro-do-Paraná (*Araucária brasiliensis*), por apresentar um clima mais frio que, segundo Tornero (2008), caracteriza uma expressiva biodiversidade local. As formações vegetais de maior ocorrência são a Floresta Ombrófila Densa e a Floresta Estacional Semidecidual (IF, 2009).

A Área de Proteção Ambiental (APA) também prevê a proteção, além das Cuestas Basálticas, dos maciços vegetacionais formadores do ecótono Mata Estacional Semidecidual/Savana Brasileira (SÃO PAULO, 1983).

3.2 Material

3.2.1 Base Cartográfica

Foram utilizadas cartas topográficas do Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo – IGC, datadas de 1978, na escala 1:10.000, com equidistância de curva de nível de 5 metros, referentes aos municípios de Botucatu e Pardinho (Quadro 1), para a delimitação da sub-bacia hidrográfica do Alto Pardo, vetorização das curvas de nível e da rede de drenagem.

Quadro 1 - Articulações das cartas topográficas do IGC para os municípios de Botucatu e Pardinho.

IDENTIFICAÇÃO DA CARTA	NOME DA FOLHA
SF-22- Z-B-VI-3-SE-E	Fazenda Santa Rosa I
SF-22- Z-B-VI-3-SO-C	Aeroporto de Botucatu
SF-22- Z-B-VI-3-SO-D	Fazenda Albelina
SF-22- Z-B-VI-3-SO-E	Fazenda Segrede
SF-22- Z-D-III-I-NO-A	Fazenda Quatro Meninos
SF-22- Z-D-III-I-NO-C	Fazenda São José
SF-22- Z-B-VI-3-SE-E	Fazenda Santa Rosa I
SF-22- Z-B-VI-3-SO-F	Recanto Zodíaco
SF-22- Z-D-III-1-NE-A	Bairro Roseira da Serra
SF-22- Z-D-III-1-NE-C	Pardinho
SF-22- Z-D-III-1-NE-E	Bairro do Óleo
SF-22- Z-D-III-1-NO-B	Fazenda Monjolão
SF-22- Z-D-III-1-NO-D	Fazenda Três Barras
SF-22- Z-D-III-1-NO-F	Fazenda Santa Bárbara

3.2.2 Imagem Orbital

A imagem multiespectral utilizada foi captada pelo sensor OLI (*Operational Land Imager*) embarcado no satélite Landsat 8, com resolução de 30m. A aquisição da imagem foi de 06 de setembro de 2018, na órbita 220 e ponto 076, escolhida pelo critério de baixa incidência de nuvens, período de boa distinção entre os tipos de cobertura e uso da terra. Esta aquisição foi realizada de forma gratuita pela plataforma digital da USGS (*US Geological Survey*).

Utilizou-se as combinações falsa-cor RGB das bandas 06,05,04 do Landsat 8 (Quadro 2) para a composição da imagem e confecção do mapa de uso e cobertura da terra.

Quadro 2 - Sensibilidade espectral das bandas utilizadas do Sensor OLI a bordo do Landsat 8.

Resolução Espacial	Resolução Temporal	Número da Banda	Nome da Banda	Comprimento de Onda (μm)	Combinação de Bandas
30 metros	16 dias	B02	azul	0,45 - 0,51	<u>Cor verdadeira:</u> RGB 04/03/02 <u>Falsa Cor:</u> RGB 06/05/04
		B03	verde	0,53 - 0,59	
		B04	vermelho	0,64 - 0,67	
		B05	infravermelho próximo	0,85 - 0,88	
		B06	infravermelho médio	1,57 - 1,65	

Fonte: Adaptado de Roy et al. (2014)

3.2.3 Programas Computacionais

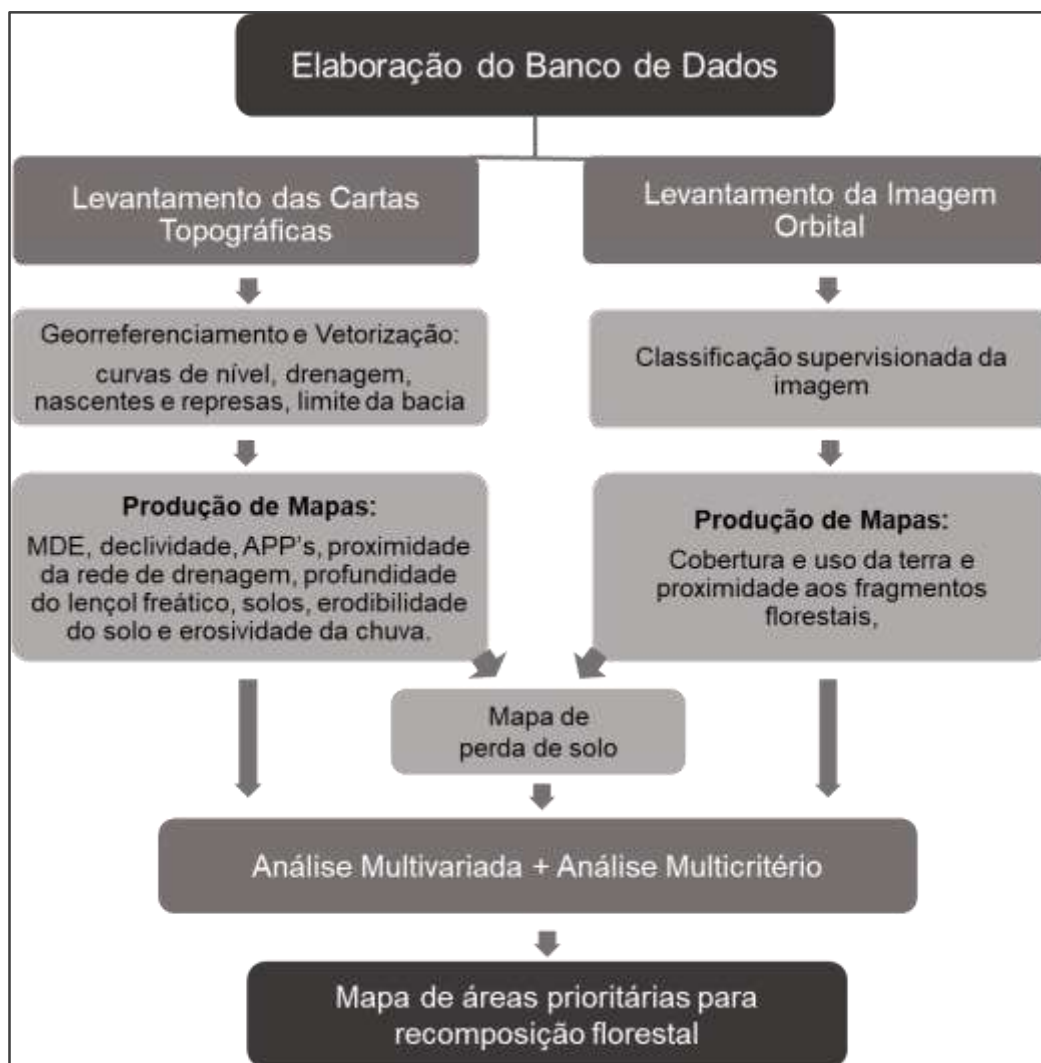
Para a elaboração da base de dados, processamento de imagem, análises e produção de mapas, foram utilizados os seguintes aplicativos computacionais: *System for Automated Geoscientific Analyses* – SAGA GIS (SAGA GIS DEVELOPMENT TEAM, 2014), QGIS (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2014) e IDRISI (EASTMAN, 2006). O IDRISI também foi utilizado para a tomada de decisão nas análises multicritério e, para a análise multivariada, foi utilizado o programa MINITAB 16 (MINITAB INC., 2018).

3.3 Métodos

3.3.1 Organização e Sistematização do Banco de Dados

O desenvolvimento do trabalho iniciou-se com a elaboração de uma base de dados georreferenciadas e o seu processamento em ambiente SIG, conforme apresentado no fluxograma (Figura 3).

Figura 3 - Fluxograma das etapas do projeto.



Fonte: elaborado pela autora.

3.3.1.1 Georreferenciamento das Cartas e Imagem

Para o início do processamento digital do material foi necessário o georreferenciamento das cartas utilizadas para posterior processamento no SIG. Para cada carta foram georreferenciados o mínimo de 30 pontos através da informação da intersecção de linhas referentes às coordenadas geográficas (latitude e longitude) projetadas no Sistema Universal Transversor de Mercator (UTM), zona 22 sul, em coordenadas planas e Datum Córrego Alegre. Posteriormente, o Datum Córrego Alegre foi reprojetoado para o Datum SIRGAS 2000. Assim, todos os produtos do geoprocessamento em ambiente SIG foram elaborados em Datum SIRGAS 2000, utilizado oficialmente no Brasil.

As imagens do satélite Landsat 8 são fornecidas com a correção geométrica, sem a necessidade de georreferenciamento.

3.3.1.2 *Delimitação da Bacia Hidrográfica e Rede de Drenagem*

Os traçados dos limites e da rede de drenagem da sub-bacia do Alto Pardo foram elaborados de forma manual, por meio de edição vetorial. Para tal, utilizou-se como referência a sobreposição de cartas digitais georreferenciadas. Como orientação de delimitação da bacia, foram utilizadas as curvas de nível e a rede de drenagem definitiva, desde a nascente da Bacia do Pardo, em Pardinho-SP, até o ponto de captação de água Mandacaru feito pela SABESP no município de Botucatu-SP.

3.3.2 Obtenção dos Mapas de Planos de Informação (PI)

Após a vetorização da rede de drenagem, curvas de nível e área da bacia, através do processamento digital da imagem orbital, mapas base foram produzidos para posterior análise multicritério e multivariada, sendo eles: uso e cobertura da terra, proximidade da rede de drenagem, proximidade de fragmentos florestais, áreas de preservação permanente, declividade do terreno, tipos de solos, erodibilidade do solo, erosividade da chuva, perda de solo e profundidade do lençol freático.

Trabalhos como os de Valente (2005), Vetorazzi (2006), Rivera (2007), Sartori (2010), Nossack (2012), Nicolete (2015), Lima (2018), também utilizaram das mesmas variáveis para definição de áreas prioritárias no contexto ambiental.

Para a análise multivariada, foram utilizadas informações contidas nos PIs. Para a análise multicritério, foi necessário normalizar os PIs em uma unidade comum entre eles para posterior junção desses fatores.

Com os PIs da rede de drenagem e suas nascentes, foi gerado o PI de Área de Preservação Permanente (APP), sendo essencial para definição das áreas de uso restrito. Juntamente com as áreas de fragmentos florestais e de áreas construídas, extraídos do PI de uso e cobertura da terra, foi elaborado o mapa de restrição. Este mapa serviu como área excludente para a definição das áreas prioritárias à restauração florestal por se tratarem de áreas já compostas por

florestas, por construções consolidadas e por área legalmente defendida como de preservação permanente.

3.3.2.1 Mapa de Uso e Cobertura da Terra

A confecção de mapas de cobertura e uso da terra foi feito a partir da classificação digital das imagens de satélite selecionadas. Este procedimento permite associar informações contidas em uma unidade de pixels ou regiões de pixels a um conjunto de classes determinadas, reconhecendo padrões homogêneos para a classificação de uma imagem.

Neste trabalho, efetuou-se a classificação supervisionada pelo *Semi-Automatic Classification (SCP)*, complemento disponível no QGIS. Foi utilizado o algoritmo de Máxima Verossimilhança (MAXVER), que é um classificador supervisionado por pixel, onde as amostras são previamente selecionadas considerando a ponderação das distâncias entre médias dos níveis de cinza das classes pré-determinadas (JENSEN, 2009). Para tanto, aplicou-se a etapa de treinamento, onde cada classe que se desejou diferenciar na imagem, apontou-se um conjunto de amostras para sua determinação. Essas amostras foram usadas para determinar os parâmetros estatísticos usados no processo de decisão sobre a que classe um pixel pertence e, todos os pixels, foram classificados entre uma das classes definidas no treinamento.

Para facilitar o procedimento de treinamento, foi necessária a segmentação automática das imagens. Neste processo, a imagem foi dividida em regiões de pixels contíguos e uniformes por um critério de similaridade.

A identificação das classes de uso foi realizada a partir da interpretação da imagem de satélite, considerando a resposta espectral imageada. Este recurso utiliza como parâmetros de identificação a tonalidade, textura fotográfica, o porte da vegetação, entre outros aspectos, como estrutura e forma das glebas, limites e outras evidências que fazem convergir para a melhor definição de cada classe. Para facilitar a interpretação dessas características, a composição colorida falsa-cor nas imagens foi utilizada para melhor discriminar os alvos analisados.

Para a classificação, foram definidas classes com os diferentes usos e cobertura da terra encontrados na bacia do estudo com base no Manual Técnico do Uso da Terra (IBGE, 2013). A classificação foi dividida em 9 classes: água,

várzea, pastagem, solo exposto, cultura anual, cultura perene, silvicultura, mata e área urbana.

Após o processo de classificação, é comum que a imagem apresente certa quantidade de pixels mal classificados (ruídos). Para tanto, é necessário o tratamento pós-classificação, para que seja feita a absorção destes pixels mal classificados e posterior obtenção resultados mais precisos. Toda a sub-bacia do Alto Pardo foi revisada e, quando necessário, foram feitas correções para o refinamento na classificação das diferentes classes.

Todo o processo de classificação foi realizado em tela e validado com a verificação em campo utilizando-se o receptor GPS.

3.3.2.2 Proximidade da Rede de Drenagem e dos Fragmentos Florestais

O mapa de proximidade aos corpos d'água foi elaborado a partir da definição da rede de drenagem da sub-bacia do Alto Pardo, considerando suas represas, incluindo a nova represa a ser construída.

Já o mapa de proximidade dos fragmentos florestais foi confeccionado através do mapa de cobertura e uso de terra que, ao destacar a classe representativa de vegetação nativa, calculou-se a distância dos fragmentos desta classe, respeitando os limites da bacia. Quanto mais próximo aos fragmentos, maior a importância (prioridade) de restauração florestal. Esse procedimento também foi adotado por Valente (2005) e Sartori (2010).

3.3.2.3 Áreas de Preservação Permanente (APP)

Para a delimitação das APPs, foi elaborado um buffer padrão de 30 metros marginal ao leito dos rios juntamente com um raio de 50 metros para as nascentes, conforme legislação florestal vigente. Para cada início do vetor da hidrografia foi considerado como nascente. Pela não delimitação e levantamento histórico do desenvolvimento de cada propriedade rural da bacia, não foi considerada uma menor área de preservação para as áreas ditas, por lei, como consolidadas.

Para a APP no entorno da área da represa a ser construída pela SABESP, foi considerada a faixa de 100 metros em seu entorno, concebida em projeto pela

prefeitura do município de Botucatu e de acordo com a Lei 12.651/2012 (BRASIL, 2012).

Este mapa auxiliou na discriminação de áreas onde o uso da terra é restrito, considerado no mapa de restrição e serviu como área excludente na priorização de áreas a serem florestadas por já serem exigidas por lei.

3.3.2.4 Declividade

Para a obtenção do mapa de declividade foi necessário primeiro a elaboração do modelo digital de elevação (MDE). Para o MDE foi utilizada as cotas planialtimétricas contidas nas cartas topográficas do IGC, na escala 1:10.000. Após o georreferenciamento das cartas, as curvas de nível foram vetorizadas, com seus respectivos valores de elevação. A determinação dos valores entre as curvas de nível é possível através do procedimento de interpolação para a obtenção de superfícies graduais e contínuas. O método de interpolação aplicado foi o Thin Plate Spline – TIN presente no programa SAGA GIS, utilizando uma grade de triângulos irregulares (Triangular Irregular Network - TIN). Através da triangulação, os valores das altitudes foram utilizados como vértices na geração de triângulos, para que em seguida fossem aplicadas funções de suavização (BERVEGLIERI et al., 2012). O resultado é uma superfície contínua, gradual e suavizada no formato matricial, contendo em cada pixel um valor de elevação.

Utilizando a ferramenta Slope do QGIS foi produzido o mapa de declividade com cálculos em porcentagem e agrupados em intervalos de seis classes (Quadro 3), de acordo com a Embrapa (2013).

Quadro 3 - Classes de declive e de relevo.

Classe de declive (%)	Classe de Relevo
0 - 3	Plano
3 - 8	Suave Ondulado
8 - 20	Ondulado
20 - 45	Forte Ondulado
45 - 75	Montanhoso
> 75	Escarpado

Fonte: Embrapa (2013).

3.3.2.5 Solos

O mapa referente aos solos da sub-bacia do Alto Pardo foi elaborado a partir da digitalização do mapa do Levantamento Pedológico Semidetalhado da Bacia do Rio Pardo, produzido por Zimback (1997), adaptado por Grossi (2003) e também proposto por Lessa (2011), onde foram reclassificados, em escala 1:10.000, segundo normas da Embrapa (2013).

3.3.2.6 Erodibilidade do Solo

O tipo de solo e sua relação textural afeta diretamente sua infiltração e permeabilidade, assim, é possível inferir que, quanto menor a infiltração e permeabilidade do solo, maior será seu processo erosivo (MANNIGEL et al., 2002). Assim, o mapa de erodibilidade foi construído por meio da reclassificação do mapa de solos e, para cada classe de solo, associou-se o valor correspondente do fator de erodibilidade (K), proposto por Mannigel et al. (2002) e Bertoni e Lombardi Neto (2012), utilizando-se o valor médio entre os horizontes A e B do solo (Quadro 4).

Quadro 4 - Valores de erodibilidade (K) do solo do Estado de São Paulo.

Classe de Solo	Fator de Erodibilidade (K) t.ha.h/ha.MJ.mm
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (PVAd)	0,0283
Gleissolo Háptico Distrófico (GXbd)	0,0155
Latossolo Vermelho Distrófico (LVdf)	0,0061
Latossolo Vermelho Distrófico (LVd)	0,0049
Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (LVAd)	0,0096

Fonte: Adaptado de Mannigel et al. (2002).

3.3.2.7 Erosividade da Chuva

Para a elaboração do mapa de erosividade foi utilizado como fonte o netErosividade (PRUSKI, 2009), que trata-se de uma rede neural artificial (RNA) desenvolvida por Moreira et al. (2008) que estima o valor de erosividade (R) para

qualquer localidade do estado de São Paulo. Cada município tem o seu valor R e o valor considerado para Botucatu foi de 7905 MJ mm h⁻¹ ha⁻¹ ano⁻¹ e para o município de Pardinho 6880 MJ mm h⁻¹ ha⁻¹ ano⁻¹.

Foram selecionados 30 pontos aleatórios na área da bacia, com seus respectivos valores de erosividade e posterior interpolação desses pontos, gerando um mapa final com superfície gradual e contínua.

Este fator está relacionado com a energia cinética total do evento e a intensidade máxima em 30 minutos da chuva (WISCHMEIER e SMITH, 1958) e sua estimativa é de fundamental importância para o planejamento conservacionista de uso e manejo do solo.

3.3.2.8 Perda de Solo

Para o cálculo da perda de solo e posterior confecção do mapa foi utilizado o modelo RUSLE - *Revised Universal Soil Loss Equation* (Equação Universal de Perda de Solo Revisada), conforme equação:

$$A = R.K.LS.C.P \quad (1)$$

Onde, A = representa a perda média anual de solo por erosão por unidade de área e de tempo em [t.ha⁻¹.ano⁻¹]; R = fator erosividade da chuva em [MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹]; K = fator erodibilidade do solo, expresso em [t.h.MJ⁻¹.mm⁻¹]; L = fator comprimento de rampa, adimensional; S = fator declividade, adimensional; C = fator uso e manejo do solo, adimensional e P = fator práticas conservacionistas, adimensional.

O fator R utilizado foi obtido por meio do software netErosividade/SP (MOREIRA et al., 2008) e o fator K foi elaborado de acordo com os tipos de solos presentes na região da sub-bacia do Alto Pardo, considerando os valores propostos por Mannigel et al. (2002) e Bertoni e Lombardi Neto (2012), utilizados no mapa de erodibilidade.

O fator LS foi calculado utilizando a ferramenta *LS factor* do SAGA GIS que opera com os dados utilizados na confecção do mapa de declividade, conforme a fórmula de Moore (1991):

$$LS = 0,00984.S^{1,18}.Lx^{0,63} \quad (2)$$

Sendo S = a declividade média da encosta em porcentagem e Lx = o comprimento de rampa em metros.

O fator C foi obtido através do mapa de cobertura e uso da terra, sendo que para cada classe de uso, foi atribuído um valor correspondente (Quadro 5), conforme proposto por Tagliarini (2017).

Quadro 5 - Fator C para as classes de uso e cobertura da terra na sub-bacia do Alto Pardo.

Uso e Cobertura	Fator C
Água	0,0001
Várzea	0,0004
Mata	0,0009
Silvicultura	0,0283
Cultura Perene	0,0951
Cultura Anual	0,1842
Solo Exposto	0,9900
Pastagem	0,0202
Área Urbana	0,0802

Fonte: Tagliarini (2017).

Os valores de P para práticas conservacionistas foram obtidos a partir das classes de declividade, conforme proposto por Pisani (2013) (Quadro 6), baseado no modelo de Wischmeier e Smith (1978) e Bertoni e Lombardi Neto (2012):

$$P = 0,69947 - 0,08991 * s + 0,01184 * s^2 - 0,000335 * s^3 \quad (3)$$

Em que s = Classes de declividade (%).

Quadro 6 - Fator P para as classes de declividade na sub-bacia do Alto Pardo.

Classes de Declividade (%)	Classes de Relevo	Fator P
0 - 3	Plano	0,24
3 - 8	Suave Ondulado	0,27
8 - 20	Ondulado	0,54
20 - 45	Forte Ondulado	0,62
45 - 75	Montanhoso	0,67
> 75	Escarpado	0,67

Fonte: Modificado de Pisani (2013)

Após o cálculo de cada fator, foi possível produzir os respectivos mapas (em formato shapefile e posterior transformação em formato raster) para o cálculo da equação RUSLE. O mapa final gerado foi reclassificado com a finalidade de facilitar a sua interpretação e discussão (Quadro 7).

Quadro 7 - Classificação de perdas de solo de acordo com a RUSLE.

Classes de perda de solo	Intervalo (t/ha/ano)
Nula	0-10
Moderada	10-25
Média	25-50
Media forte	50-75
Forte	>75

Fonte: Costa (2014).

3.3.2.9 Profundidade do Lençol Freático

Para estimar os valores das profundidades do lençol freático na sub-bacia do Alto Pardo foi utilizada a equação desenvolvida por Simões (2001) e também utilizada por Moraes (2012). Esta equação estima, especificamente nesta sub-bacia, a profundidade do lençol freático em relação à distância da rede de drenagem, conforme segue:

$$\text{prof} = 14,0722866e^{(-e(0,8702206 - 2,9972467 \times \text{dist}))} \quad (4)$$

Onde *prof* é a profundidade estimada do lençol freático em metros e *dist* é a distância do corpo d'água em relação à rede de drenagem em quilômetros.

Para cada pixel da imagem de satélite, respeitando-se o limite da sub-bacia, foi considerado como um ponto e calculado a sua distância em relação à rede de drenagem. Com a interpolação de cada valor de profundidade obtido foi produzido um mapa final de superfície contínua, gradual e suavizada em formato matricial.

3.3.3 Análise Multivariada

Para seguir com a análise multivariada, foi necessário transformar os arquivos raster dos PIs em pontos (*shape*) com seus respectivos valores. Considerando o limite da bacia, 90 mil pontos aleatórios foram selecionados, pela ferramenta *Grid Values to Point* e *Add Grid Values to Point* do SAGA GIS, para serem utilizados como base em todos os PIs e extraídos seus valores. Os valores coletados de cada fator foram transferidos para uma planilha em Excel e utilizados como banco de dados.

Todas as variáveis (fatores) envolvidas na análise são quantitativas e foram analisadas com técnicas da Análise de Componentes Principais (ACP).

Nesta análise, foram consideradas as porcentagens das variâncias dos fatores que, somadas, atingiram um valor mínimo de 70%, e descartadas as componentes a partir deste valor, de forma que o conjunto dos fatores explique uma variabilidade mínima de seu total (CRUZ et al., 2012; SAVI, 2017). Selecionado o grupo dos componentes principais, considerou-se os coeficientes com maiores valores para selecionar, em ordem decrescente, as variáveis ambientais de maior relevância.

Com as variáveis e suas ordens de relevância definidas, prosseguiu-se com a normalização dos valores de correlação desses fatores a serem utilizados como pesos na elaboração dos mapas de áreas prioritárias para restauração florestal.

Além deste mapa baseado na análise multivariada, também foi elaborado um outro mapa de áreas prioritárias utilizando a ordem de relevância desses fatores definidos pela técnica multivariada, porém seus valores e pesos foram definidos através de uma matriz de comparação pareada do método de análise multicriterial, mesclando assim, estas duas técnicas, uma de avaliação quantitativa com outra qualitativa.

Ademais, um terceiro mapa de avaliação qualitativa foi confeccionado seguindo métodos de análise multicritério.

3.3.4 Análise Multicritério

A análise multicritério (AMC) constitui-se basicamente por 4 etapas: 1) Análise Hierárquica Analítica; 2) Padronização e Mapa dos Fatores; 3) Mapa de Restrição e; 4) Combinação Linear Ponderada.

3.3.4.1 Processo Hierárquico Analítico


Nesta etapa, os fatores priorizados para a determinação de áreas prioritárias para a restauração florestal visando a conservação dos recursos hídricos, foram definidos por meio de uma consulta a especialistas da área de conservação do solo, florestas, recursos hídricos e geologia. Este procedimento é denominado Técnica Participatória (EASTMAN, 2001; MALCZEWSKI, 1999; CHEN et al., 2001; VALENTE, 2005; SARTORI, 2010; NOSSACK, 2012; NICOLETE, 2015; LIMA, 2018) e os fatores apresentados a essa comissão multidisciplinar foram os mesmos disponibilizados para análise multivariada, seguindo os PIs elaborados.

A partir da Técnica Participatória, foi definida a importância de cada fator pela quantificação e atribuição de pesos a esses elementos. A esta atribuição de pesos a cada fator para o processo de tomada de decisão denomina-se Processo Hierárquico Analítico (AHP) (SAATY, 1977). Valente (2005) defende que o método mais promissor de atribuição de pesos é dado pela Comparação Pareada, desenvolvido por Saaty (1977) e adaptado por Rao et al. (1991) na utilização dessa técnica em um SIG.

Na Comparação Pareada, os fatores foram organizados em uma matriz, por ordem de sua importância já definida pela Técnica Participatória, e analisados de forma pareada (CONINE et al., 2004; VALENTE e VETTORAZZI, 2005; TRAFICANTE, 2007). Nesta análise os valores para atribuição dos pesos derivaram-se de uma escala contínua de nove pontos (Figura 4). Na matriz de análise, foi necessário somente o preenchimento da metade triangular inferior pois as células são recíprocas das já preenchidas.

Figura 4 - Escala continua de nove pontos para a Avaliação Multicritério na comparação pareada entre fatores.

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extremamente	Muito fortemente	Fortemente	Moderadamente	Igualmente	Moderadamente	Fortemente	Muito fortemente	Extremamente



Fonte: Eastman (1999).

Após o preenchimento da matriz, foi necessária a avaliação do seu grau de consistência na atribuição dos pesos por meio da Taxa de Consistência (TC). De acordo com Saaty (1977), as matrizes com TC acima de 0,1 indicam que a matriz de comparação pareada está inconsistente e é necessário sua reavaliação; já os valores inferiores a 0,1 indicam que a matriz é consistente e os pesos poderão ser considerados.

3.3.4.2 Padronização e Mapa dos Fatores

Após a definição dos fatores pela Análise Hierárquica Analítica, por possuírem unidades temáticas diferentes, os referentes PIs passaram por uma padronização ao converter os valores originais dos mapas em escores de aptidão, uniformizando as unidades de todos os mapas e atribuindo-lhes uma escala comum para possibilitar sua união e, assim, gerar o mapa final de priorização. Ao transformar os valores dos fatores a uma única base de mensuração, ou seja, sua uniformização em escala comum, essa padronização hierarquiza internamente cada variável (SARTORI, 2010).

Assim, os valores de todos os fatores considerados foram padronizados em uma escala em intervalo de um byte, variando de 0 a 255 em ordem crescente ou decrescente, sendo o zero o valor de menor importância e o 255 o de maior importância dessa escala.

A padronização dos mapas em escala comum foi realizada utilizando a lógica FUZZY no programa IDRISI, permitindo reter a variabilidade dos dados de forma íntegra.

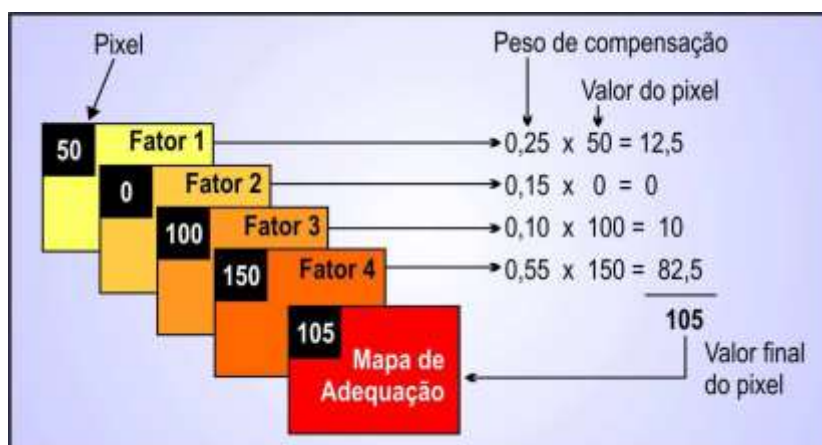
3.3.4.3 Mapa de Restrição

Foram considerados como elementos de restrição os limites da bacia, as APPs, as áreas de floresta nativa e as áreas urbanas extraídas do mapa de uso e cobertura da terra, que foram descontados na elaboração do mapa final de áreas prioritárias à restauração florestal.

3.3.4.4 Combinação Linear Ponderada

A Combinação Linear Ponderada (CLP) é um dos métodos mais utilizados na AMC (VOOGD, 1983). Assim que os mapas de fatores e de restrição foram gerados, multiplicou-se cada mapa de fator (cada célula ou pixel de cada mapa) pelo seu peso e, posteriormente, somaram-se os resultados (Figura 5). Por conta dos pesos, necessariamente, somarem 1, o mapa resultante apresentou variação de valores de acordo com os mapas de fatores padronizados anteriormente. Após isso, o mapa gerado foi multiplicado pelo mapa de restrição através do módulo MCE do IDRISI (SARTORI, 2010).

Figura 5 - Representação do processo de avaliação pelo método da Combinação Linear Ponderada (CLP).



Fonte: Sartori (2010).

3.3.5 Mapas de Áreas Prioritárias

Após a conclusão da análise multivariada e multicriterial, 3 mapas de áreas prioritárias foram gerados pelo IDRISI. Um deles foi elaborado a de dados

puramente quantitativos a partir da ordem de priorização da análise multivariada e os valores normalizados dos coeficientes das funções ACP foram utilizados como pesos para a definição das áreas prioritárias; o segundo foi elaborado a partir dos fatores selecionados quantitativamente pela análise multivariada porém sua ordem de importância e respectivos pesos foram atribuídos de forma qualitativa de acordo com a decisão da comissão científica; já o terceiro mapa foi confeccionado de acordo com a técnica qualitativa e puramente multicriterial.

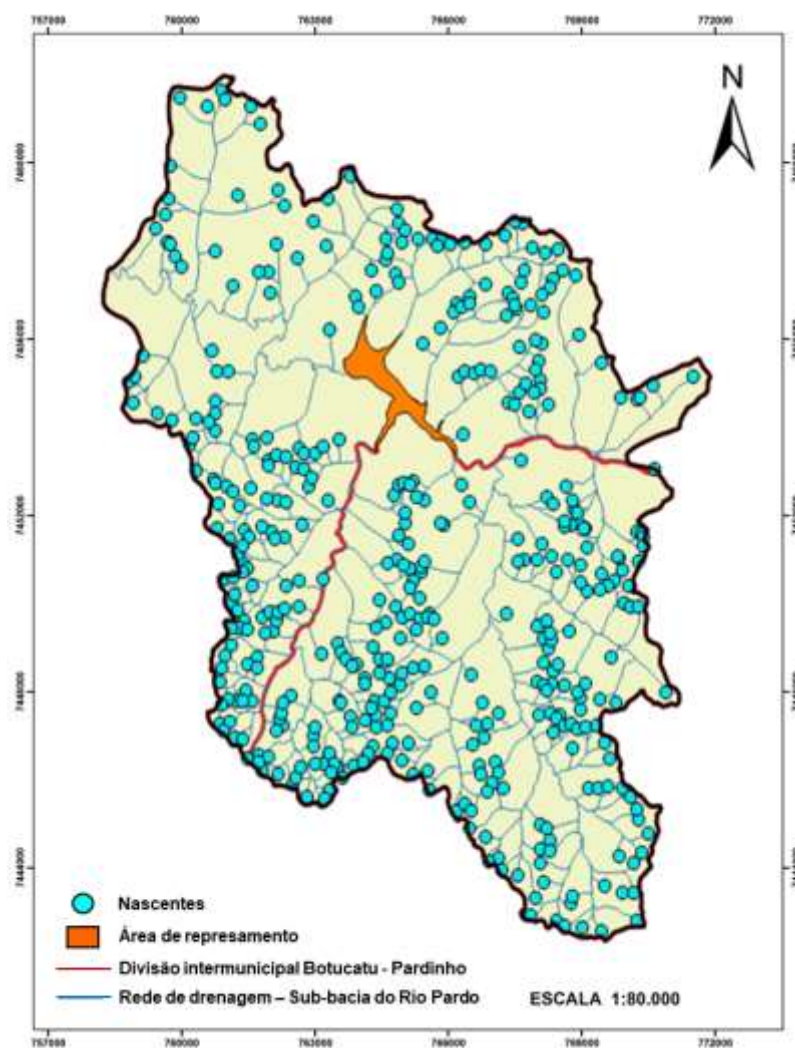
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Planos de Informação (PIs)

4.1.1 Rede de Drenagem

Esta rede de drenagem apresentou-se como uma bacia de 4ª ordem em padrão dendrítico (HORTON, 1945), com consideráveis ramificações e um grande número de nascentes. Essa característica revela grande incidência de segmentos hídricos de primeira ordem e indica um relevo significativamente recortado. Em total, são 442 nascentes, sendo 235 no município de Pardinho e 207 no município de Botucatu. Todas as 235 nascentes presentes em Pardinho e 146 nascentes em Botucatu contribuem para o abastecimento da represa da SABESP.

Figura 6 - Rede de drenagem, nascentes, área de represamento e divisão intermunicipal de Botucatu e Pardinho no Alto Pardo.

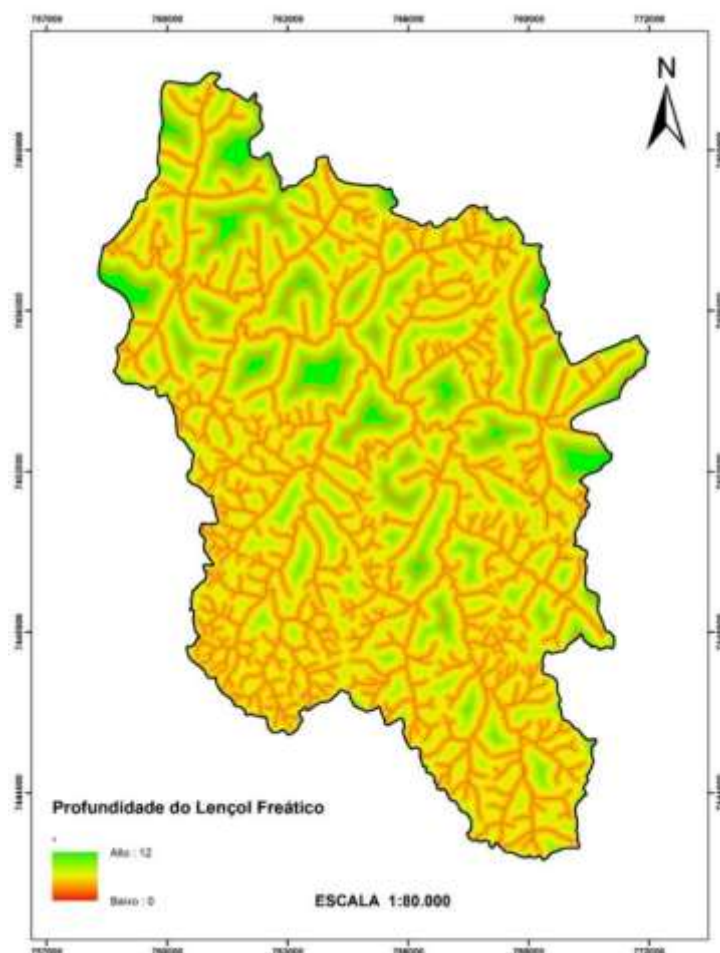


Fonte: Mapa elaborado pela autora.

4.1.2 Profundidade do Lençol Freático

Observa-se que os valores de profundidade do lençol freático na sub-bacia do Alto Pardo variam de 0 a 12 metros (Figura 7). Quanto mais próximo aos corpos d'água, mais baixo é o valor de profundidade do lençol freático e mais próximo da superfície este recurso subterrâneo está, o que aumenta a sua vulnerabilidade (NAVA, 2018; MORAES, 2012). Esta suscetibilidade ocorre principalmente à diminuição da água subterrânea por evapotranspiração e aumento do risco de contaminação pelo mau uso de defensivos agrícolas e descarte incorreto de resíduos, a depender do tipo de solo e uso da terra local. Moraes (2012) estimou a contaminação de águas subterrâneas por defensivos agrícolas considerando diferentes lâminas de irrigação na Bacia do Rio Pardo e constatou que as áreas com maior potencial de contaminação foram as mais próximas da rede drenagem.

Figura 7 - Mapa de Profundidade do Lençol Freático no Alto Pardo.



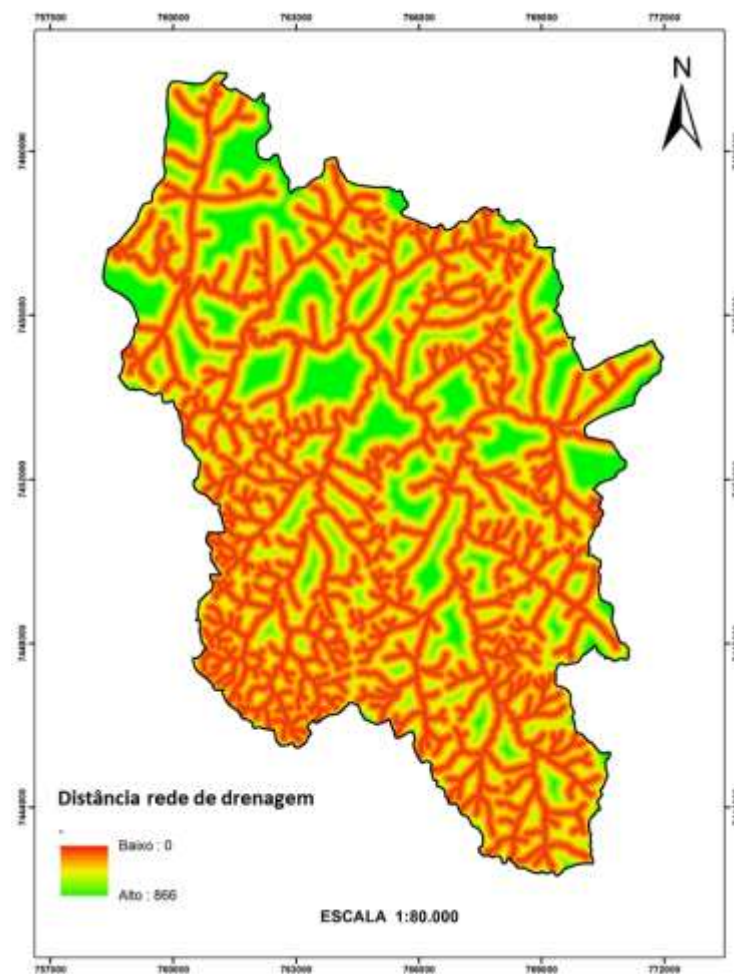
Fonte: Mapa elaborado pela autora.

A profundidade do lençol freático pode variar de acordo com as características do solo, do clima, da cobertura vegetal e da topografia local (NAVA, 2018). Conhecer a profundidade do lençol freático é conhecer parte da dinâmica das reservas de água subterrânea e seu comportamento hidrológico (GHARBIA et al., 2018).

O conhecimento e o cuidado das águas em subsolo são de fundamental importância para a resiliência dos recursos hídricos, já que é por meio do fluxo de base que ocorre o surgimento das nascentes e consequente manutenção da perenidade das águas superficiais, principalmente em períodos de estiagem. Esta perenidade, além de favorecer o fluxo de água, promove a sustentação da biota aquática e das margens dos rios, bem como assegura o fornecimento de água a plantas de grande porte em períodos de seca (MANOEL FILHO, 2008; KARMANN, 2003).

4.1.3 Distância da Rede de Drenagem

Para a sub-bacia do Alto Pardo, as áreas mais próximas à rede de drenagem foram consideradas as mais importantes à restauração florestal. A distância da rede de drenagem é um dos fatores importantes a ser analisado para a conservação dos recursos hídricos, pois a importância de uma floresta cresce conforme diminui a distância dela a uma nascente, lago ou rio, sendo fundamental para a função hidrológica e ecológica de uma bacia hidrográfica. Sendo assim, quanto mais baixa a distância da rede de drenagem, maior a importância da restauração florestal para proteção dos recursos hídricos. No mapa produzido (Figura 8) estas distâncias variam de 0 a 866 m.

Figura 8 - Mapa de distância da rede de drenagem no Alto Pardo.

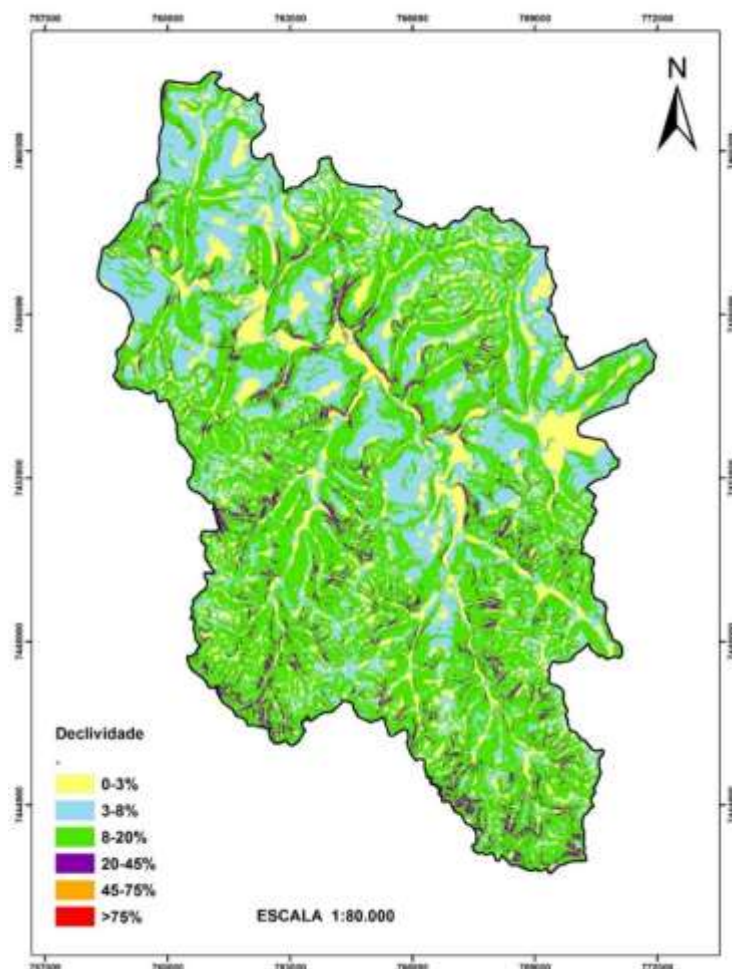
Fonte: Mapa elaborado pela autora.

Recompôr com florestas as áreas mais próximas aos cursos d'água é uma importante estratégia, assim como as matas ciliares, que protegem o solo e os recursos hídricos, conserva o habitat natural e forma corredores ecológicos, influencia o microclima local, e reduz as emissões de gases de efeito estufa (GOTTLE e SENE, 1997). Lima (1989) destaca que a mata ribeirinha desempenha uma importante função hidrológica ao fornecer água em qualidade e quantidade pela geração do escoamento direto nas bacias e ciclagem de nutrientes. Além disso, por ser considerada como uma região de ecótono, área de transição entre o ambiente terrestre e aquático, apresenta alta biodiversidade e caracterizada como uma das mais produtivas do mundo, de acordo com Kark et al (2006) e Junk (1989).

4.1.4 Declividade

O relevo da sub-bacia do Alto Pardo apresenta predomínio entre Suave Ondulado e Ondulado, com declividades de 3 a 20% (Figura 9 e Tabela 1).

Figura 9 - Mapa de declividade na sub-bacia do Alto Pardo.



Fonte: Mapa elaborado pela autora.

Tabela 1 - Classes de declividade e classes de relevo com suas respectivas áreas representativas (em ha e %) na sub-bacia do Alto Pardo.

Classes de Declividade (%)	Classes de Relevo	Área (ha)	Área (%)
0 - 3	Plano	2420,48	16,24
3 - 8	Suave Ondulado	4298,11	28,84
8 - 20	Ondulado	4396,41	29,50
20 - 45	Forte Ondulado	2664,40	17,88
45 - 75	Montanhoso	973,73	6,53
> 75	Escarpado	148,20	0,99

A classe de relevo mais representativa da bacia é o Ondulado, com declividade de 8 a 20%, ocupando 29,50% (4.396,41 ha) da área estudada e, em segundo lugar, está a classe de relevo Suave Ondulado, com declividade de 3 a 8%, e que ocupa 28,84% (4.298,11 ha). Juntas, essas duas classes representam 58,34% (8.694,52 ha) da área total da bacia.

Na sequência, está a classe de relevo Forte Ondulado com 20 a 45% de declividade, ocupando 17,88% (2.664,40 ha) da área; o relevo Plano com até 3% de declividade ocupando 16,24% (2.420,48 ha); o relevo Montanhoso com 45 a 75% de declividade e com 6,5% (973,73 ha) de ocupação. O relevo Escarpado, com declividade maior de 75%, ocupa menos de 1% da área total a bacia.

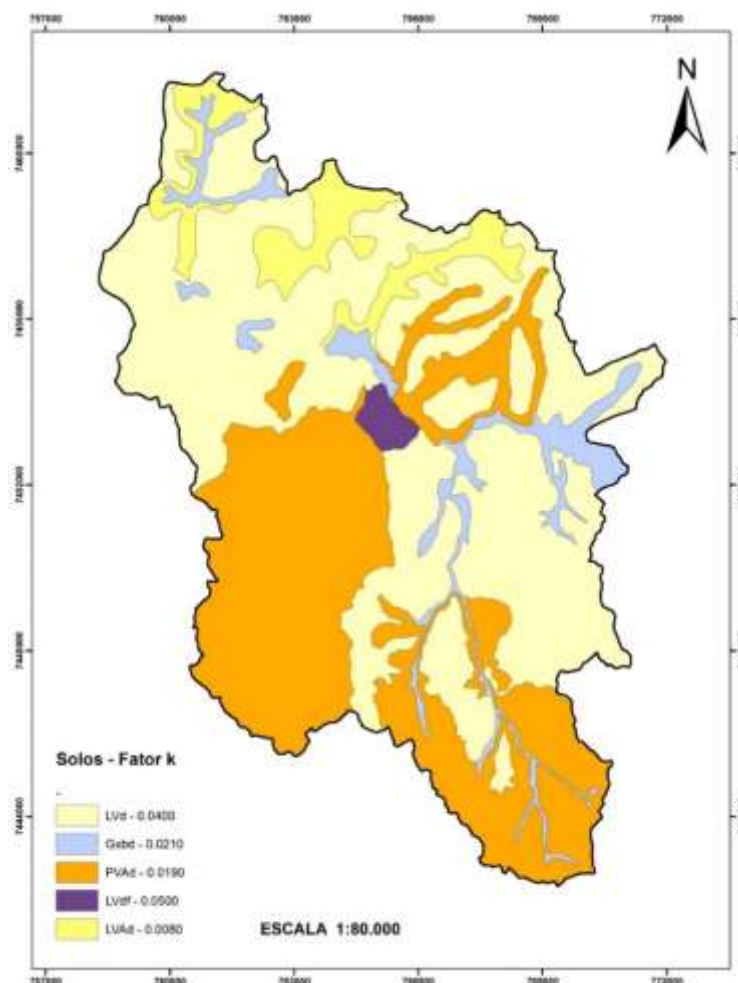
Em classes de relevo ondulado, o escoamento superficial da água pluvial ocorre em velocidade média e, nas classes de declividade maiores, esse escoamento é desde rápido a muito rápido, o que por vezes pode exigir desde práticas mais simples de controle da erosão, como terraceamento e faixas de retenção do fluxo da água, até práticas conservacionistas mais elaboradas ou até mesmo restrições de atividade agrícola a depender do comprimento de rampa (LEPSCH et al., 1991).

Para a conservação dos recursos hídricos e florestais, é importante se considerar suas relações com a declividade. Este fator está relacionado, dentre outros, com o potencial de erosão do ambiente a depender do tipo do solo. Solos mais erodíveis são aqueles com maiores porcentagens de areia em sua composição que, somados a terrenos mais declivosos, podem ser prejudiciais aos corpos d'água. Quanto maior a inclinação do terreno, mais elevado é o escoamento de água na superfície e o carreamento de partículas do solo, ocasionando possíveis contaminações, assoreamentos e diminuição do fluxo de água dos rios e da disponibilidade hídrica (PEREIRA et al., 2003; MERTEN et al., 2014; VANZELA et al., 2010).

4.1.5 Erodibilidade do Solo

A partir do mapa de solos levantado por Zimback (1997), adaptado por Grossi (2003) e reclassificado segundo normas da Embrapa (2006), obteve-se o mapa da erodibilidade do solo proposto por Mannigel et al. (2002), conforme Figura 10 e Tabela 2.

Figura 10 - Mapa das classes de solos e respectivos valores fator K de erodibilidade presentes na sub-bacia do Alto Pardo.



Fonte: Mapa elaborado pela autora.

Tabela 2 - Classes de solo, seus valores de erodibilidade (fator K) e suas respectivas áreas (em ha e %) na sub-bacia do Alto Pardo.

Classes de Solo	Fator K	Área (ha)	%
LVd	0,0049	7481,06	50,20
LVdf	0,0061	146,35	13,79
LVAd	0,0096	1061,31	7,12
PVAd	0,0283	5301,97	35,58
GXbd	0,0155	911,85	6,12

LVd: latossolo vermelho distrófico; LVdf: latossolo vermelho distroférrico; LVAd: latossolo vermelho-amarelo distrófico; PVAd: argissolo vermelho-amarelo distrófico; GXbd: gleissolo háplico distrófico. Valores de fator K expressos em t.ha.h/ha.MJ.mm.

De acordo com a Tabela 2, o tipo de solo com maior representatividade na sub-bacia foi o LVd, com 50,20% (7.481,06 ha) da área total, com o menor valor

de erodibilidade (fator $K = 0,0049$) dentre os solos da bacia. Em contraponto, o segundo lugar em representatividade foi o PVAd que apresenta o maior valor de erodibilidade (fator $K = 0,0283$) em uma área de 35,58% do total da sub-bacia. Na sequência, em ordem decrescente de representatividade na sub-bacia, foram o LVdf (fator $K = 0,0061$ e 146,35 ha) com 13,79%, o LVAd (fator $K = 0,0096$ e 1061,31 ha) com 7,12% e GXbd (fator $K = 0,0155$).

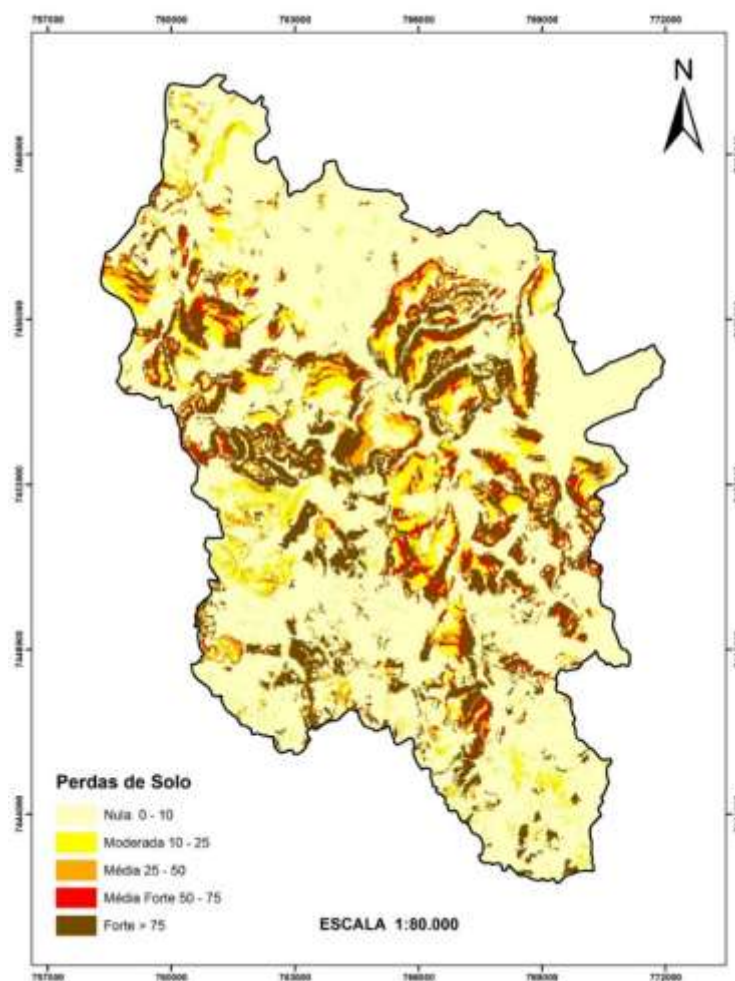
A erodibilidade é a susceptibilidade do solo à erosão superficial, de maneira que as partículas de solo são desprendidas e transportadas pela ação do fluxo hídrico superficial (FRAGASSI, 2001; MARIN, 2005). Certos solos possuem uma suscetibilidade maior ao desgaste em relação a outros, mesmo se os cenários de manejo, cobertura vegetal, declividades e clima forem iguais (LOMBARDI NETO e BERTONI, 1975). Assim, valores de erodibilidade são intrínsecos aos tipos de solo e a sua tendência à erosão cresce com o aumento do fator K de erodibilidade.

É possível constatar através do mapa de solos e erodibilidade que na região onde está localizada a nascente do Rio Pardo, parte alta da bacia, ocorre o predomínio do solo PVAd, que é altamente suscetível a processos erosivos e perdas de solo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2012), característica que merece especial atenção para que esta nascente não seja comprometida no futuro.

4.1.6 Perda de Solo

A estimativa de perda de solo através da RUSLE evidencia a erosão resultante da interação de fatores dos meios físico e antrópico, como declividade, tipos de solo, uso e manejo da terra e suas práticas conservacionistas (DEMARCHI, 2012).

Figura 11 - Mapa de Perda de Solo na sub-bacia do Alto Pardo.



Fonte: Mapa elaborado pela autora.

Tabela 3 - Classes de Perda de Solo e suas respectivas áreas representativas (em ha e %) na sub-bacia do Alto Pardo.

Classes de Perda de Solo	Intervalo (t/ha/ano)	Área (ha)	Área (%)
Nula	0 - 10	9717,94	65,52
Moderada	10 - 25	2186,23	14,74
Média	25 - 50	667,43	4,50
Média Forte	50 - 75	773,82	5,22
Forte	> 75	1487,48	10,03

A classe nula foi expressiva na sub-bacia, com área de 65,52% (9.717,94 ha), seguida, de forma menos significativa, a classe moderada com 14,74% (2.186,23 ha). No entanto, 10,03% (1.487,48 ha) apresenta-se com um potencial forte de erosão (Figura 11). Classes que indicam erosão média forte e média, respectivamente, ocupam 5,22% (773,82 ha) e 4,50% (667,43 ha) da área total.

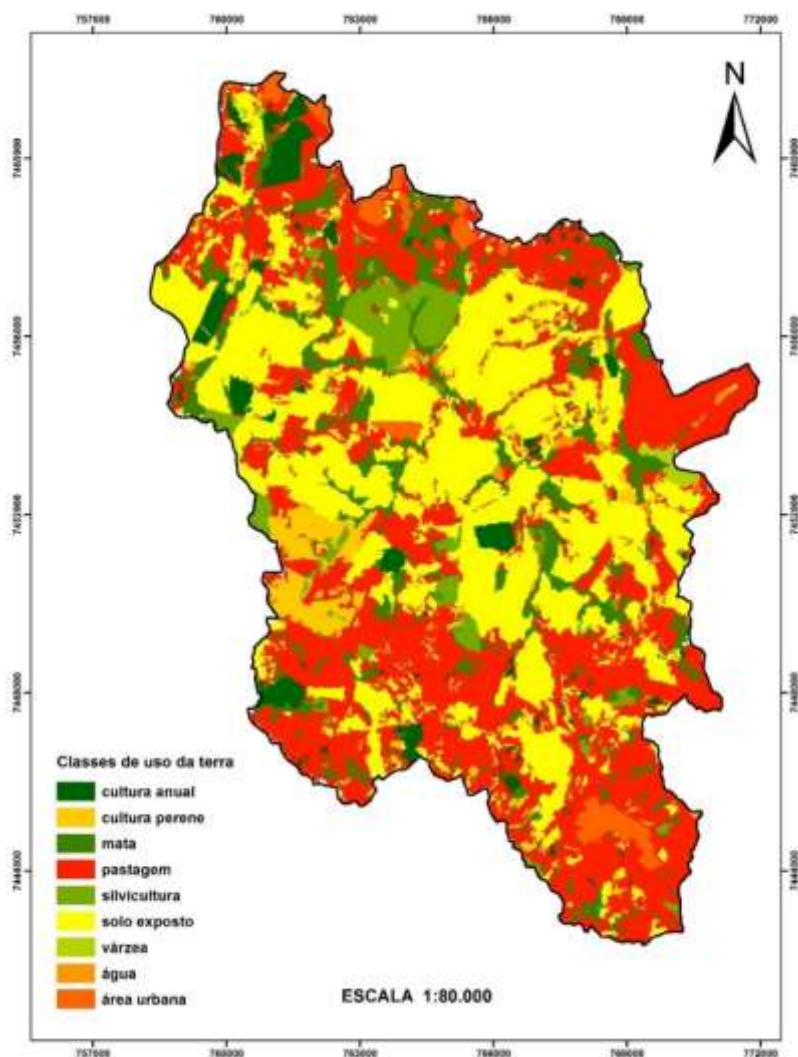
4.1.7 Uso e Cobertura da Terra

4.1.7.1 Em Área Total da Bacia

Com o mapeamento do uso e cobertura da terra foi possível instrumentalizar a observação da realidade, proporcionando a caracterização física da bacia hidrográfica, de forma padronizada e organizada.

A classificação supervisionada das imagens de satélite Landsat 8 de 2018, possibilitou a obtenção do mapa e os valores representativos do uso e cobertura da terra na sub-bacia do Alto Pardo (Figura 12 e Tabela 4).

Figura 12 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra na sub-bacia do Alto Pardo.



Fonte: Mapa elaborado pela autora.

Tabela 4 - Classes de uso e cobertura da terra e suas respectivas áreas representativas (em ha e %) na sub-bacia do Alto Pardo.

Uso e Cobertura	Área (ha)	Área (%)
Água	55,44	0,37
Várzea	85,74	0,58
Mata	1476,86	9,98
Silvicultura	615,79	4,16
Cultura Perene	377,50	2,55
Cultura Anual	606,24	4,10
Solo Exposto	5301,52	35,83
Pastagem	5939,07	40,14
Área Urbana	337,29	2,28

Pelos resultados apresentados na Tabela 4 é possível observar a representatividade das atividades antrópicas que, somadas, ocupam 89,06% de toda a bacia, em um total de 13.177,41 ha. Destas ocupações, a de maior área é a classe de pastagem, representada por 40,14% (5.939,07 ha), seguida pela classe de solo exposto que ocupa 35,83% da bacia (5.301,52 ha).

Considerando que solo exposto compreende a preparação do solo para o cultivo de uma cultura anual, somando essas duas classes, elas representam 39,93%, ficando ainda no segundo lugar no ranking de uso da terra na sub-bacia do Alto Pardo.

Estes índices demonstram que a sub-bacia do Alto Pardo se caracteriza por uma forte presença da atividade agrícola e pecuária, também destacados por Nicolete (2015), Lessa (2011) e Sartori (2010).

Áreas ocupadas com solo exposto ou por pastagens conferem um maior risco de erosão do solo e carreamento de sedimentos para o leito dos rios, podendo causar efeitos prejudiciais aos corpos d'água, como assoreamento e consequente diminuição do fluxo de água nos leitos dos rios, além da contaminação da água por poluentes que se aderem às partículas dos solos e que são carreados por lixiviação.

A atividade antrópica é o principal fator que ocasiona modificações nas bacias hidrográficas ao influenciar tanto quantitativamente quanto qualitativamente os processos hidrológicos. Na maioria dos casos, essas alterações são percebidas apenas quando ocorrem grandes eventos hidrológicos e suas consequências, como estiagens severas, inundações e destruições, transporte de sedimentos

para as bacias hidrográficas podendo aumentar a descarga de nutrientes nos mananciais e assim influenciar diretamente a qualidade da água (ANDRADE et al., 2013).

A classe que tipifica a mata natural ocupa o terceiro lugar em maior área, representando 9,98% (1.476,86 ha) da área total da bacia e se apresenta quase que totalmente a fragmentos que margeiam os cursos d'água. Essas áreas são responsáveis pela manutenção da integridade de corpos d'água, como as matas ciliares em áreas de preservação permanente, e os corredores ecológicos que são essenciais para a manutenção e fluxos de biodiversidade.

Na sequência, em ordem decrescente, estão as áreas de silvicultura com 4,16% (615,79 ha), cultura anual com 4,10% (606,24 ha), cultura perene com 2,55% (377,50 ha), área urbana com 2,28% (337,29 ha). Áreas úmidas de várzeas e corpos d'água (açudes e represas) foram as classes de menor representatividade, apresentando 0,58% (85,74 ha) e 0,37% (55,44 ha) da área total da sub-bacia.

Das culturas anuais presentes, destacam-se o cultivo de soja, milho e também a cana-de-açúcar; já da cultura perene, destaca-se o cultivo do café.

4.1.7.2 Uso em Área de Preservação Permanente (APP)

As APPs da sub-bacia do Alto Pardo compreendem uma área de 2.466,80 ha, representando 16,55% da área total da bacia. No entanto, apenas 24,35% dessa área está coberta por vegetação nativa e outros 72,77% ocupado por atividade antrópica.

Uma grande parte desta área está ocupada por Pastagem (39,86% e 980,82 ha), seguido de Solo Exposto (22,23% e 547,02 ha), Silvicultura (3,54% e 87,15 ha), Cultura Perene (3,54% e 87,15 ha), Cultura Anual (2,37% e 58,41 ha) e Área Construída (0,87% e 21,34).

Tabela 5 - Classes de uso e cobertura da terra e suas respectivas áreas representativas (em ha e %) em APP.

Uso e Cobertura em APP	Área (ha)	Área (%)
Água	47,05	1,91
Várzea	23,72	0,96
Mata	599,31	24,35
Silvicultura	96,01	3,90
Cultura Perene	87,15	3,54
Cultura Anual	58,41	2,37
Solo Exposto	547,02	22,23
Pastagem	980,82	39,86
Área Construída	21,34	0,87

O uso inapropriado da terra ocorre pode afetar a produção de água na bacia, tanto em sua quantidade como em sua qualidade ocorrendo, por vezes, em áreas que são destinadas à preservação permanente dos recursos naturais (PIROLI, 2013). O uso da terra por atividades agrícola e pecuária em áreas essenciais à preservação podem comprometer o comportamento hidrológico das bacias hidrográficas ao alterar os processos de infiltração da água no solo, promovendo o aumento do escoamento superficial da água pluvial e resultando em processos erosivos, ocorrência de assoreamentos dos corpos d'água e consequente diminuição do fluxo de água em qualidade e quantidade dentro da bacia (TUCCI e CLARCK, 1997). A supressão dessas importantes áreas pode afetar negativamente a capacidade de armazenamento de água na bacia e interferir na vazão em períodos de estiagem e estresse hídrico (ELMORE e BESCHTA, 1987).

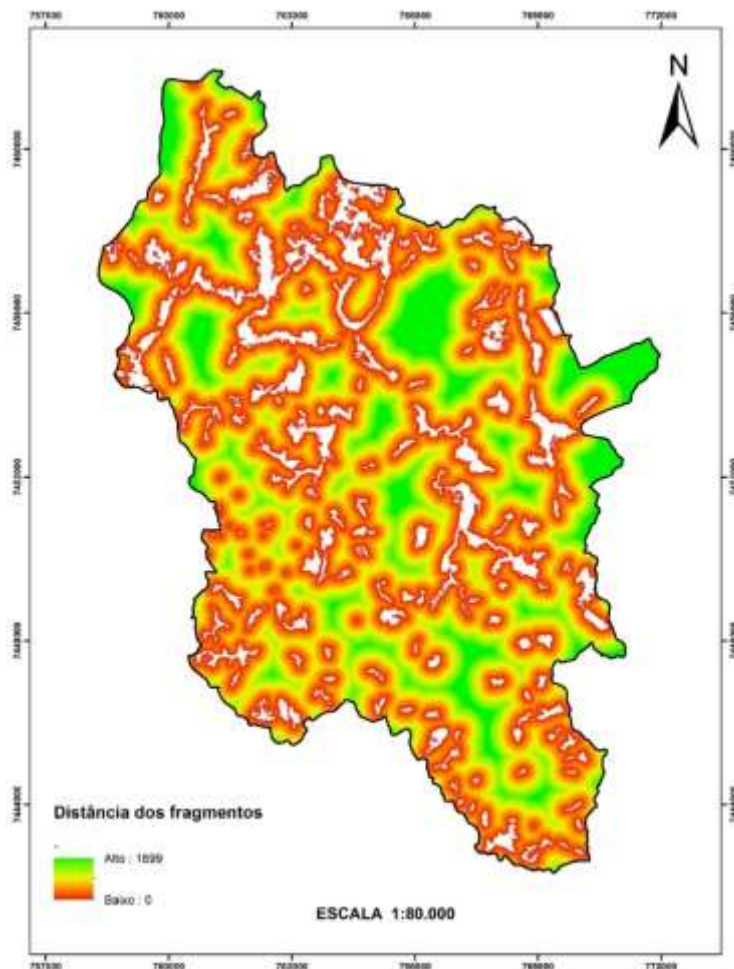
As APPs da sub-bacia do Alto Pardo foram consideradas como um elemento na confecção do mapa de restrição, utilizadas nas análises multicriterial e multivariada. Entende-se que estas são áreas onde o uso do solo é restrito e, portanto, altamente prioritária a restauração florestal e a conservação dos recursos hídricos, garantida sua preservação por legislação florestal vigente (BRASIL, 2012).

4.1.8 Distância dos Fragmentos Florestais

Para a sub-bacia do Alto Pardo, as áreas mais próximas aos fragmentos florestais foram consideradas as mais importantes para a restauração. Sendo

assim, quanto mais baixa a distância dos fragmentos florestais, maior a importância da restauração florestal para proteção dos recursos hídricos. No mapa produzido (Figura 13) observa-se que as extensões de florestas e seus fragmentos estão localizados quase que totalmente no entorno dos rios, e as distâncias desses fragmentos variam de 0 a 1.899 metros.

Figura 13 - Mapa de distância dos fragmentos florestais no Alto Pardo.



Fonte: Mapa elaborado pela autora.

A cobertura vegetal natural se apresenta como um dos elementos mais importantes na produção de água ao desempenhar processos como interceptação, infiltração, percolação e transpiração da água, influenciando assim nos processos hidrológicos de uma bacia hidrográfica (LIMA, 2008). A supressão de florestas naturais pelo desmatamento, pela expansão da agricultura e pecuária e construções como estradas afetam o desenvolvimento e o tipo de espécies

vegetais (MITCHELL et al., 2015). Sua fragmentação interfere negativamente nos serviços ecossistêmicos e processos ecológicos (LIMA, 2018), provoca a desconexão entre aglomerados florestais que executam papel como corredor de biodiversidade, impulsionando uma crise global de extinção (MATOS et al., 2017).

Assim, quanto mais próximos aos fragmentos florestais maiores, maior também é a importância de proteção e de prioridade na recuperação vegetal nativa, com o intuito de promover a extensão da vegetação em forma de corredores ecológicos, possibilitando a troca genética e condução de populações em áreas contínuas (SARTORI, 2010).

4.2 Definição dos Fatores para a Análise Multivariada e Multicriterial

4.2.1 Análise Multivariada

Para a Análise dos Componentes Principais (ACP), foram considerados 9 fatores: distância dos fragmentos florestais, distância da rede de drenagem, profundidade do lençol freático, erosividade da chuva, erodibilidade do solo, uso e cobertura da terra, modelo digital de elevação, declividade e perda de solo.

A ACP foi realizada a partir da Tabela de Autovalores (Tabela 6) e a Matriz de Correlação (Tabela 7).

Os resultados sugeriram a utilização de 4 componentes principais, que acumularam 74% da variabilidade total dos dados. As componentes principais e suas respectivas porcentagens de variância total apresentam-se na Tabela 7.

Tabela 6 - Autovalores das Componentes Principais e variabilidade.

Autoanálise	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
Autovalor	2,596	1,778	1,317	0,968	0,802	0,591	0,492	0,442	0,015
Proporção	0,288	0,198	0,146	0,108	0,089	0,066	0,055	0,049	0,002
Acumulado	0,288	0,486	0,632	0,740	0,829	0,895	0,949	0,998	1,000

A primeira componente principal explica 28,8% da variância total; a segunda componente captou 19,8%; a terceira 14,6% e quarta componente explica cerca de 10,8% da variabilidade total.

Tabela 7- Matriz de Correlação e autovetores das primeiras quatro componentes principais obtidas a partir da ACP.

Fatores	PC1	PC2	PC3	PC4
Distância de Floresta	-0,283	-0,339	0,059	0,177
Distância da Drenagem	-0,537	-0,259	0,005	-0,241
Profundidade do Lençol	-0,542	-0,244	0,012	-0,240
Erosividade da Chuva	0,309	-0,443	-0,237	0,050
Erodibilidade do Solo	0,369	-0,385	-0,130	0,036
Uso e Cobertura da Terra	-0,092	-0,258	0,385	0,728
Modelo Digital Elevação	0,083	-0,532	-0,332	-0,117
Declividade	0,271	-0,145	0,438	-0,543
Perda de Solo	0,133	-0,211	0,688	-0,103

A Tabela 7 apresenta o valor de correlação entre os fatores analisados, considerando as 4 componentes principais selecionadas. As variáveis de maior importância são aquelas com maior valor de coeficientes e pesos, negativos ou positivos. O sinal dos pesos indica se a correlação entre as medidas de um eixo é positiva ou negativa.

Assim, a partir das quatro componentes principais, foi possível selecionar as variáveis de maior representatividade. Para definir aquelas que melhor representaram a variabilidade dos dados, foram considerados os 5 maiores valores dos coeficientes das funções ACP. De acordo com a análise, selecionou-se os 5 fatores mais relevantes, em ordem crescente de importância (Tabela 8): 1) Uso e cobertura da terra (0,728); 2) Perda de solo (0,688); 3) Declividade (0,543); 4) Profundidade do lençol freático (0,542) e 5) Distância da rede de drenagem (0,537).

Assim, com a definição da ordem de importância, seus valores foram normalizados (Tabela 8) e utilizados como pesos na análise multicritério.

Tabela 8 - Ordem de importância dos fatores selecionados, seus valores de correlação e de normalização.

Ordem	Fatores	Correlação	Normalização
1	Uso e Cobertura da Terra	0,728	0,240
2	Perda de Solo	0,688	0,226
3	Declividade	0,543	0,179
4	Profundidade do Lençol	0,542	0,178
5	Distância da Drenagem	0,537	0,177

4.2.2 Análise Multicritério

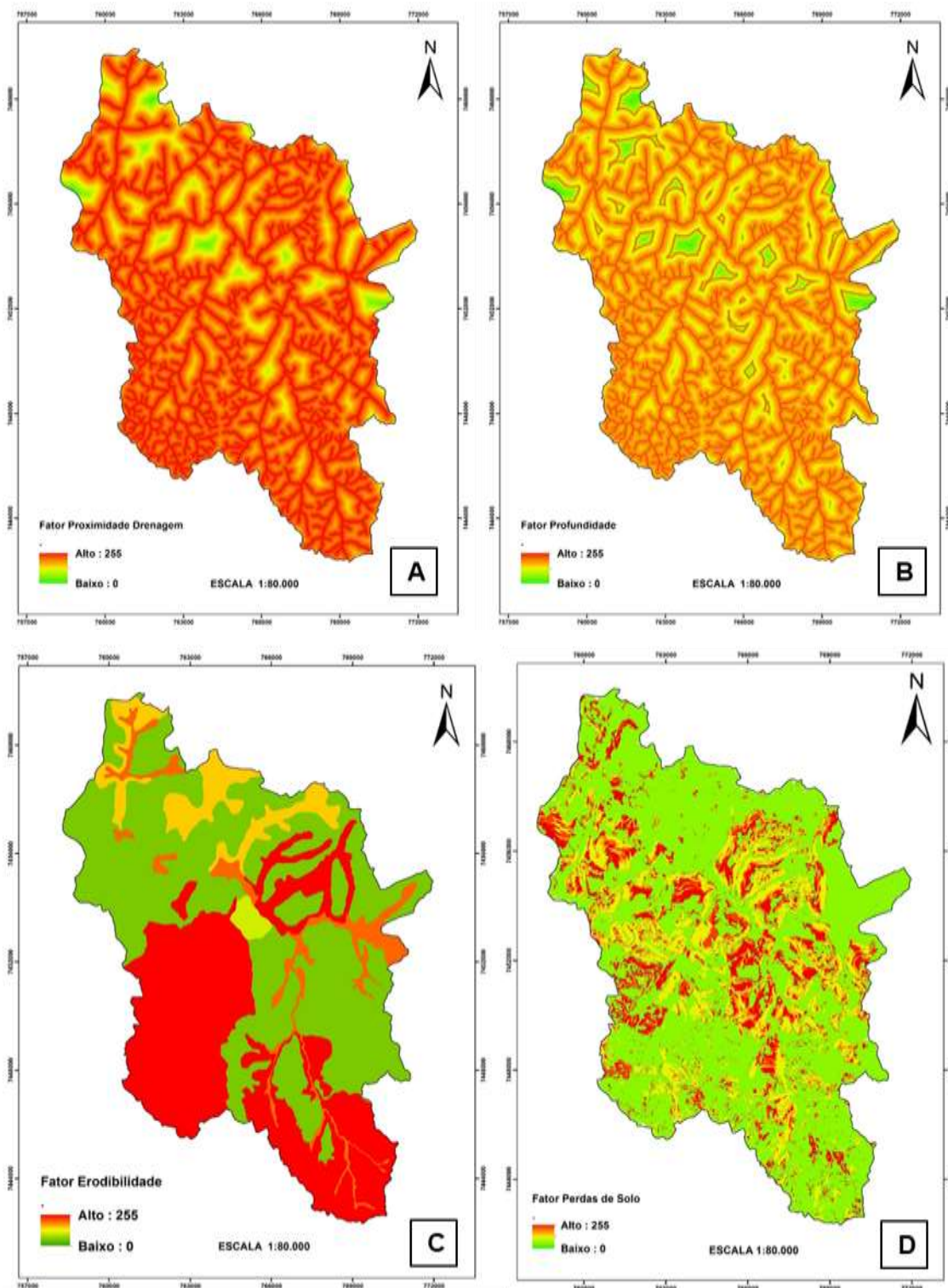
De acordo com a Técnica Participatória (EASTMAN, 2001), foi estabelecida uma ordem de importância para cada fator, conforme análise de uma comissão científica multidisciplinar. Esta ponderação esteve focada na definição de áreas prioritárias para a restauração florestal visando a conservação dos recursos hídricos.

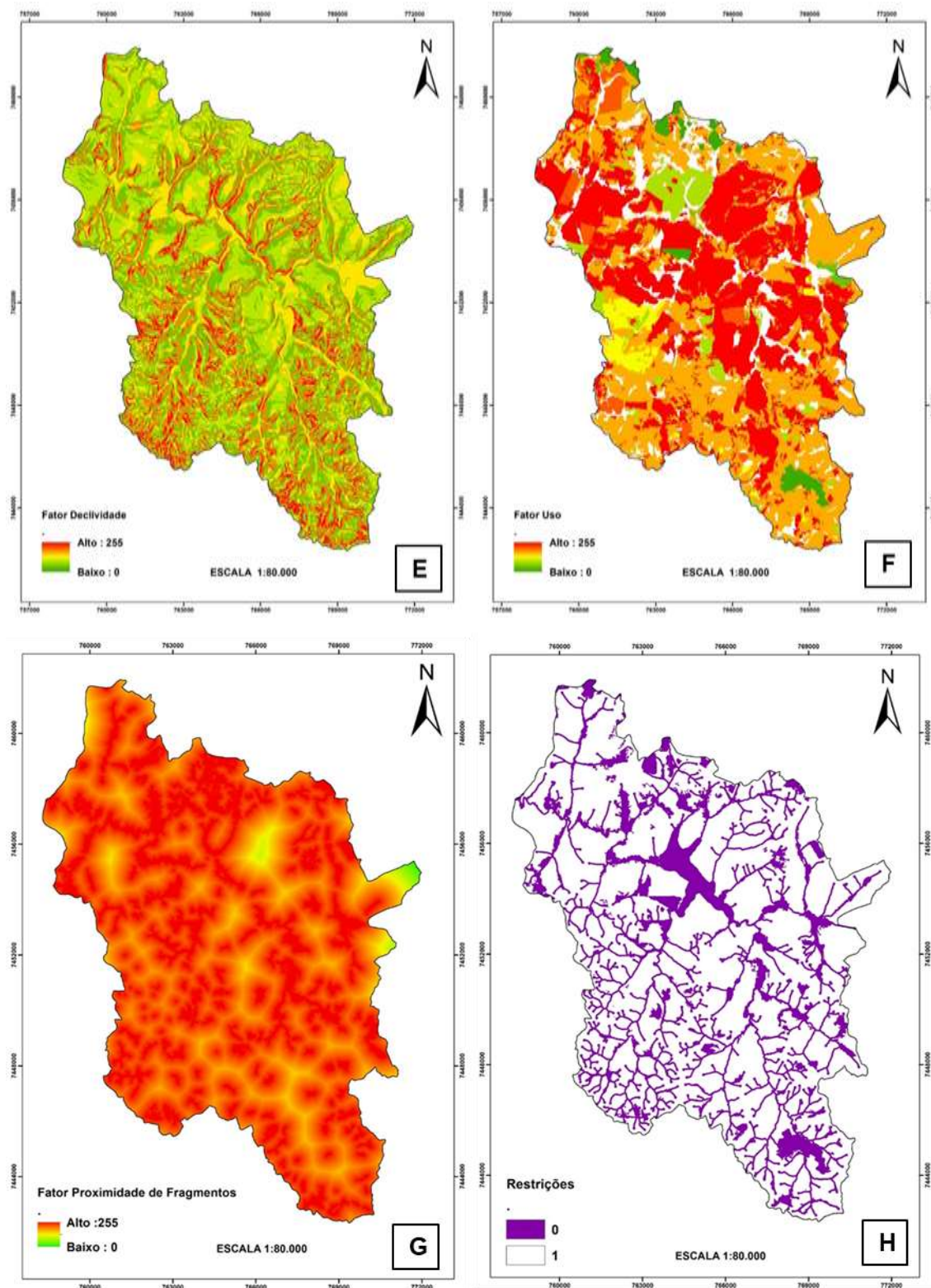
Dentre os 9 fatores analisados (os mesmos considerados na análise multivariada), foram eleitos 5 fatores e determinada a seguinte ordem de importância: 1) Distância da rede de drenagem; 2) Declividade; 3) Uso e cobertura da terra; 4) Erodibilidade do solo; 5) Distância de Floresta.

4.2.2.1 Mapas de Fatores e de Restrição

A partir da definição dos critérios a serem trabalhados nas análises multivariada e multicritério, foram elaborados os mapas de fatores (Figura 14). Para a elaboração destes mapas, foram utilizados seus respectivos planos de informação (PIs) uniformizando-os e padronizando-os em uma escala comum de valores, em bytes de 0 a 255, com o propósito de agregá-los e gerar um mapa de aptidão final.

Figura 14 - Mapas de fatores selecionados pela análise multivariada e multicritério.





Fatores: A) Proximidade da rede de drenagem (função linear decrescente); B) Profundidade do lençol freático (função linear decrescente); C) Erodibilidade (função linear crescente); D) Perdas de solo (função linear crescente); E) Declividade (função linear crescente); F) Uso e manejo da terra (função linear crescente); G) Proximidade de fragmentos florestais (função linear decrescente); H) Restrições (0= áreas de restrição e 1= áreas passíveis de restauração). **Fonte:** Mapas elaborados pela autora.

Os mapas de fatores elaborados em função linear crescente consideram os maiores valores do mapa original (PI) como prioridade de restauração, portanto, mais próximos ao valor máximo (255) do mapa de fatores. Conseqüentemente, os mapas de fatores que utilizaram a função linear decrescente consideram os menores valores do seu respectivo PI como prioridade.

Para elaboração do mapa de fator do Uso e Manejo da Terra foi analisada a suscetibilidade do solo a cada uso e, assim, quanto maior a suscetibilidade mais próximo do valor máximo no mapa de fatores. Pela análise, os usos com maior suscetibilidade foram: 1) Solo exposto; 2) Cultura anual; 3) Pasto; 4) Cultura Perene; 5) Silvicultura; 6) Área úmida.

Para o mapa de restrições, obteve-se uma imagem booleana com valor 0 (zero) para os pixels que correspondem áreas desconsideradas para a priorização à restauração florestal, sendo elas: áreas consolidadas (construídas/urbanas), vegetação nativa florestal e APP. Para o valor 1 (um) do mapa foi considerado como área passível à restauração (Figura 14 H). Entende-se que as APPs já são de alta prioridade de preservação e garantidas pelo Código Florestal, portanto, não foram incluídas como áreas para análise.

4.2.2.2 Matriz de Comparação Pareada e Pesos dos Critérios

Na sequência ao Processo Hierárquico Analítico da análise multicritério, elaborou-se uma matriz com os fatores selecionados e aplicado o método da Comparação Pareada (SAATY, 1977). Nesta matriz, considerou-se a ordem de importância dos fatores estabelecidos e, em comparação par a par, atribuído-lhes pesos (Tabela 9). Esta análise foi considerada como multicritério (AMC).

Tabela 9 - Matriz de comparação pareada e pesos dos fatores da análise multicritério (AMC).

	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5	Pesos
Fator 1	1					0,4573
Fator 2	1/3	1				0,2422
Fator 3	1/3	1/3	1			0,1673
Fator 4	1/5	1/3	1/3	1		0,0853
Fator 5	1/7	1/3	1/5	1/3	1	0,0478

Fator 1: Distância da rede de drenagem; Fator 2: Declividade; Fator 3: Uso e cobertura da terra; Fator 4: Erodibilidade do solo; Fator 5: Distância de Floresta. Taxa de Consistência (TC): 0,08.

O fator de maior peso foi a distância da rede de drenagem (0,4573), seguido de declividade (0,2422), uso e cobertura da terra (0,1673), erodibilidade do solo (0,0853) e distância de fragmentos florestais (0,0478).

Também foi elaborada outra matriz de comparação com os fatores determinados pela análise multivariada, porém adotando os critérios de análise multicritério, reordenando-os a importância e atribuindo-lhes pesos de acordo com os critérios estabelecidos pela comissão científica (Tabela 10). Esta análise foi denominada multicritério+multivariada (AMC+MV).

Tabela 10 - Matriz de comparação pareada e pesos dos fatores da análise multicritério+multivariada (AMC+MV).

	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5	Pesos
Fator 1	1					0,3477
Fator 2	1/2	1				0,2648
Fator 3	1/2	1/2	1			0,2016
Fator 4	1/3	1/3	1/3	1		0,1138
Fator 5	1/3	1/3	1/3	1/3	1	0,0722

Fator 1: Distância da rede de drenagem; Fator 2: Profundidade do lençol freático; Fator 3: Perda de solo; Fator 4: Declividade; Fator 5: Uso e cobertura da terra. Taxa de Consistência (TC): 0,06.

Nesta análise, o fator de maior peso foi a distância da rede de drenagem (0,3477), seguido de profundidade do lençol freático (0,2648), perda de solo (0,2016), declividade (0,1138) e uso e cobertura da terra (0,0722).

Por fim, também foram utilizados os valores de correlações dos fatores analisados na técnica multivariada e, seus valores normalizados, foram considerados como seus pesos, sem a necessidade de inseri-los em uma matriz. Assim, denominados como análise multivariada (MV), os valores normalizados apontaram que o fator de maior peso foi o uso e cobertura da terra (0,3477), seguido de perda de solo (0,2648), declividade (0,2016), profundidade do lençol freático (0,1138) e distância da rede de drenagem (0,0722).

Esses valores de pesos possuem direta influência na definição das áreas prioritárias à restauração florestal e mapas gerados.

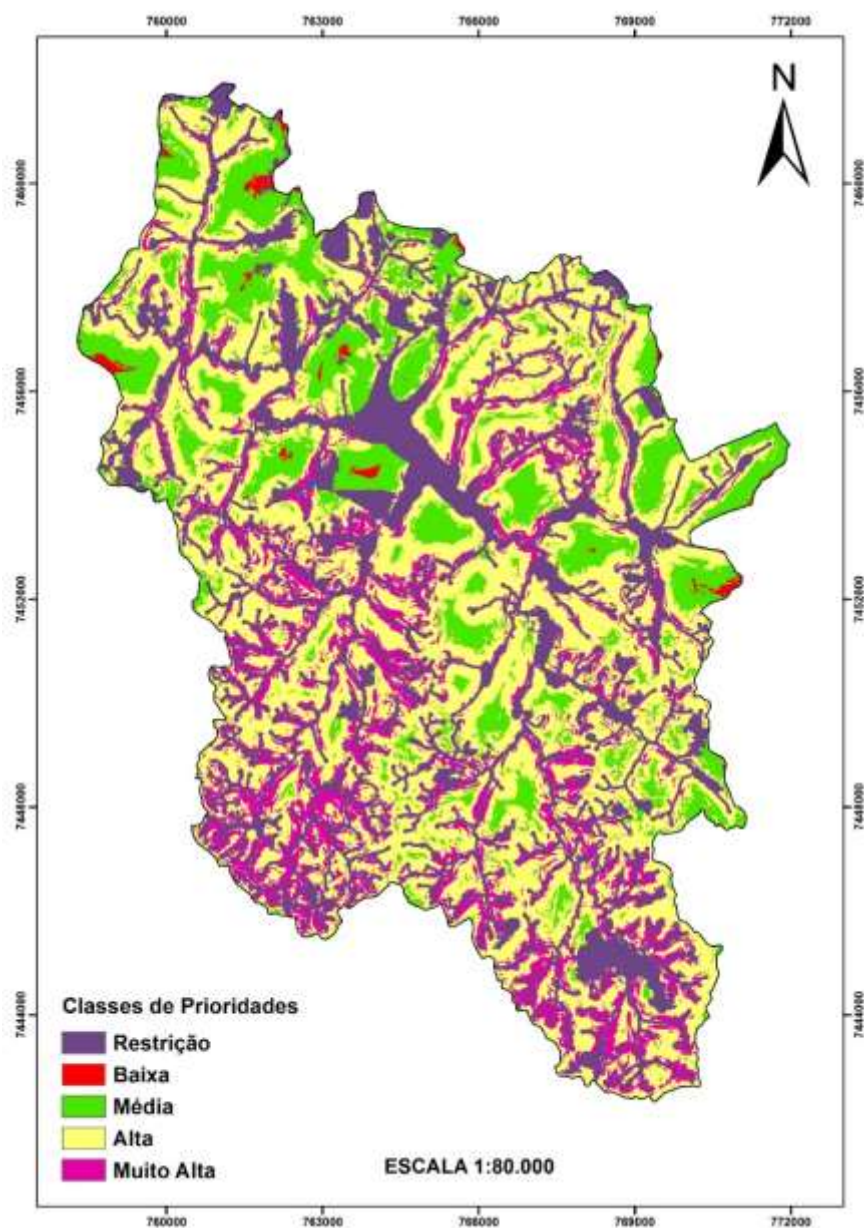
4.3 Mapas de Prioridade

De acordo com os critérios e pesos estabelecidos nas etapas anteriores, foi gerado um mapa para cada análise, consideradas como: multicritério (AMC), multicritério+multivariada (AMC+MV) e multivariada (MV).

Todos os mapas 3 mapas de prioridades foram gerados a partir da análise integrada e álgebra de todos os fatores e seus respectivos pesos pelo método da Combinação Linear Ponderada. Por ser uma metodologia de análise que reúne uma diversidade de variáveis, atribuindo-lhes pesos e valores a elas, priorizando e possibilitando diferentes alternativas, torna-se uma importante ferramenta para planejamento e tomada de decisão (FRANCISCO et al., 2007).

Foi gerado um mapa para cada análise e, de forma que apresentasse uma superfície de aptidão a áreas prioritárias com todos os pixels em escala de 0 (menos apto) a 255 (mais apto), em resultado dos critérios estabelecidos e aplicação da análise ponderada. Esses mapas foram reclassificados para melhor interpretação e avaliação das áreas prioritárias à restauração florestal na sub-bacia do Alto Rio Pardo para a conservação dos recursos hídricos local. Quatro classes (de mesma amplitude) de prioridades foram estabelecidas nesta reclassificação como: baixa, média, alta e muito alta (Figuras 15, 16 e 17).

Figura 15 - Mapa de áreas prioritárias à restauração florestal pela análise multicritério (AMC).



Fonte: Mapa elaborado pela autora.

Tabela 11 - Nível de prioridade e suas respectivas áreas (ha e %) da AMC.

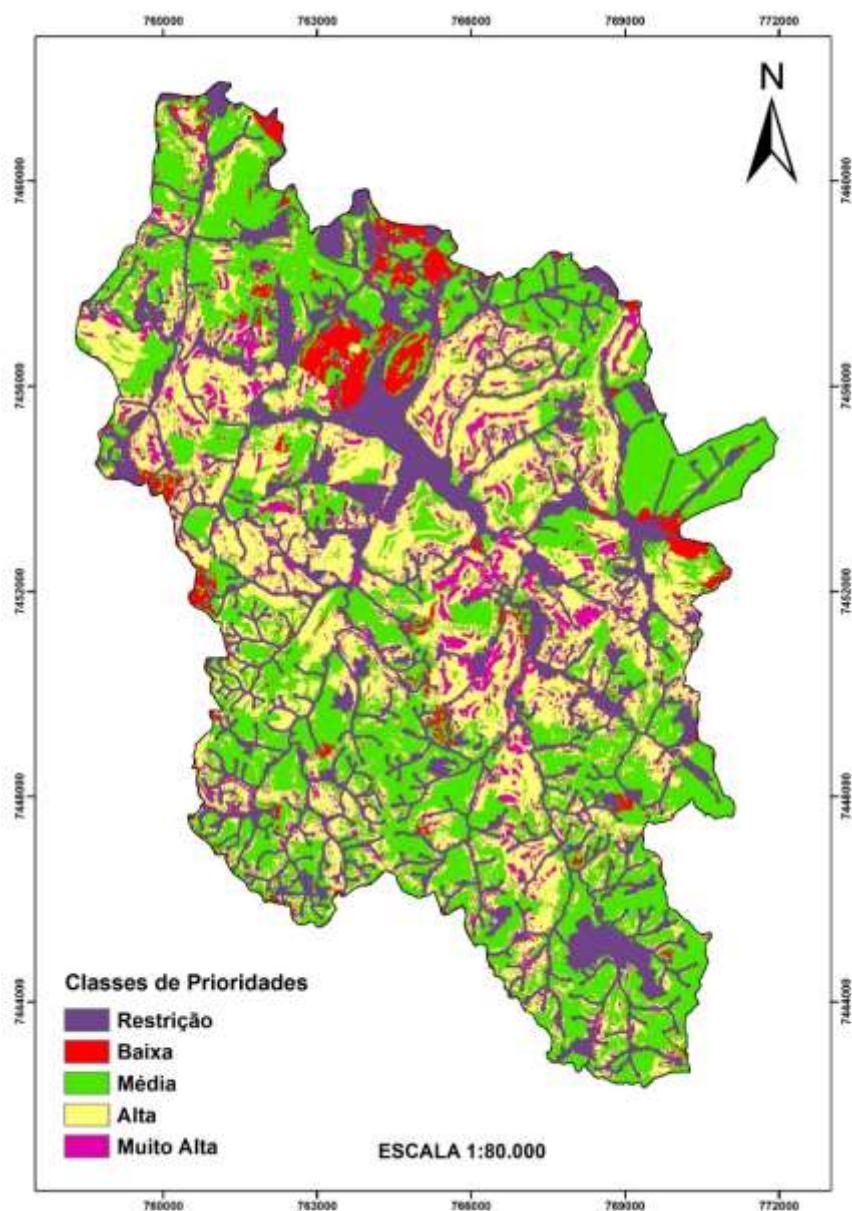
Nível de Prioridade	Área (ha)	Área (%)
Baixa	83,84	0,56
Média	2316,25	15,54
Alta	6929,45	46,50
Muito Alta	1969,82	13,22

Pela AMC, a maior parte da sub-bacia do Alto Pardo (46,50%) foi definida como de alta prioridade à restauração florestal, ocupando uma área de 6.929,45 ha. Em segundo lugar ficaram as áreas consideradas de média prioridade, ocupando 15,5% da área e 2.316,25 ha. Áreas consideradas de muito alta prioridade somaram 13,2% do território, ocupando 1.969,82 ha (Tabela 11).

Pelo mapa observa-se uma grande concentração de áreas de muito alta prioridade no município de Pardinho e em partes no município de Botucatu, nas microbacias sul e oeste do Alto Pardo, necessitando uma atenção especial nestas duas regiões. Estas são áreas que apresentam a maior quantidade de nascentes, demonstrando que a complexidade da rede de drenagem destas áreas é um fator determinante. No entorno da represa destaca-se o predomínio de média e alta prioridade à restauração florestal. As classes de média e baixa prioridade concentraram-se mais ao norte da sub-bacia, no município de Botucatu.

Além disso, ao defrontarmos o mapa da AMC com os mapas de fatores produzidos, observa-se que as classes de erodibilidade e declividade contribuíram fortemente para a definição de áreas de muito alta prioridade à restauração florestal. Essas áreas ocorreram de forma mais predominante em locais com presença de argissolos (de alto fator K de erodibilidade) em mesmo local onde ocorre relevo mais declivoso, o que oferece maior fragilidade a este local. Lima (2018) percebeu este mesmo padrão em sua análise multicritério para a identificação de áreas prioritárias para a recuperação florestal em Paranapanema-SP.

Figura 16 - Mapa de áreas prioritárias à restauração florestal pela análise multicritério+multivariada (AMC+MV).



Fonte: Mapa elaborado pela autora.

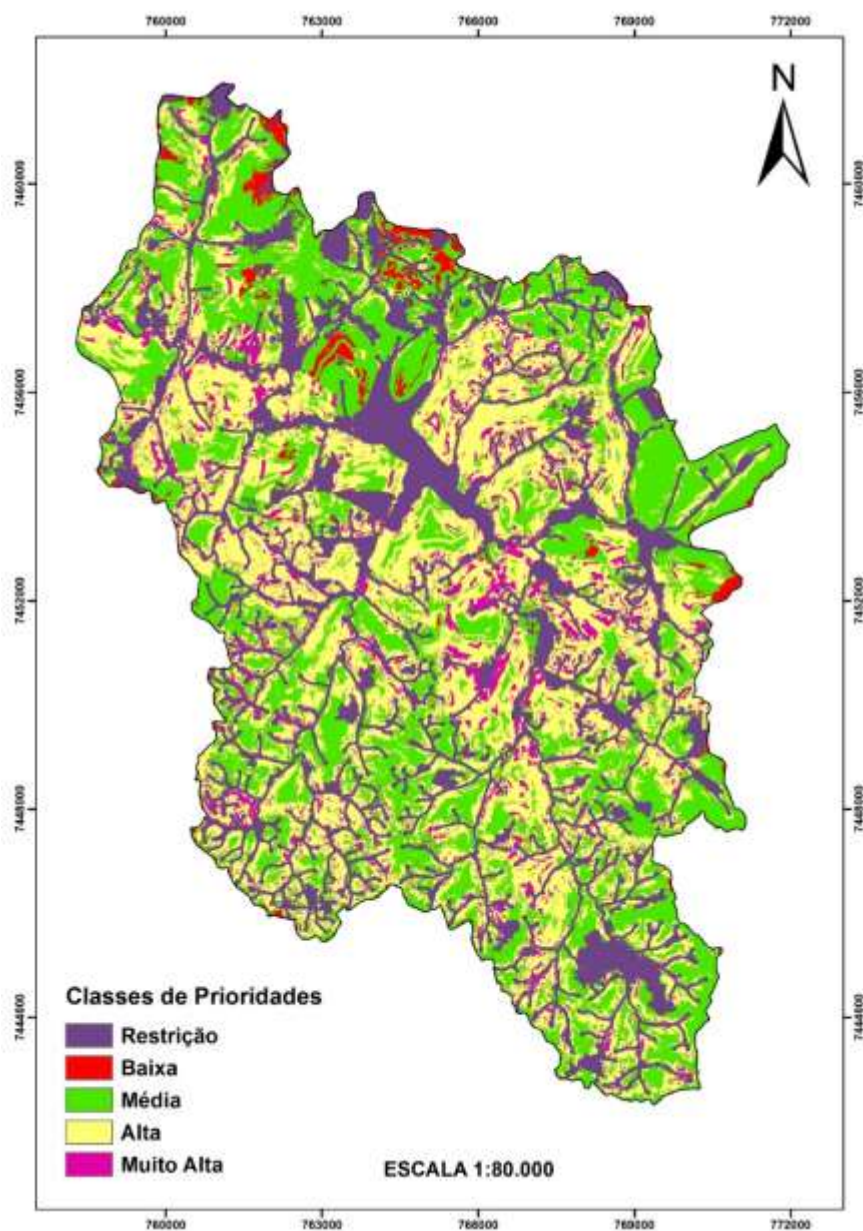
Tabela 12 - Nível de prioridade e suas respectivas áreas (ha e %) da AMC+MV.

Nível de Prioridade	Área (ha)	Área (%)
Baixa	609,95	4,09
Média	5268,63	35,35
Alta	4247,75	28,50
Muito Alta	1128,61	7,57

A AMC+MV apresentou a maior parte da sub-bacia como média prioridade de restauração florestal, representado por 35,35% de área em 5.268,63 ha. Em segundo lugar, a alta prioridade ocupou 28,50% de área em 4.247,75 ha. Na sequência ficou a muito alta prioridade, com 7,57% de área e 1.128,61 ha, seguido por último a baixa prioridade com 4,0,9% de área em 609,95 ha (Tabela 12).

Nesta análise, as áreas de muito alta prioridade ficaram concentradas, em menor escala, mais ao centro da sub-bacia do Alto Pardo, no município de Pardinho, desconcentrando-se da forma mais intensa como apresentada pela AMC. A alta prioridade também ficou mais concentrada ao centro da sub-bacia e as médias prioridades se apresentaram mais constantes nas bordas do limite da área de estudo. Ao norte da represa, no município de Botucatu foi onde ocorreu maior concentração das áreas de baixa prioridade à restauração florestal (Figura 16).

Figura 17 - Mapa de áreas prioritárias à restauração florestal pela análise multivariada (MV).



Fonte: Mapa elaborado pela autora.

Tabela 13 - Nível de prioridade e suas respectivas áreas (ha e %) da MV.

Nível de Prioridade	Área (ha)	Área (%)
Baixa	293,97	1,97
Média	4618,81	30,99
Alta	5401,65	36,25
Muito Alta	975,72	6,55

A MV apresentou-se mais distribuída entre as classes de prioridades média e alta, assim como as análises anteriores. A maior parte da sub-bacia foi definida como alta prioridade de restauração florestal, representado por 36,25% de área em 5.401,65 ha. Em segundo lugar, a média prioridade ocupou 30,99% de área em 4.618,81 ha. Na sequência ficou a muito alta prioridade, com 6,55% de área e 975,72 ha, seguido por último a baixa prioridade com 1,97% de área em 293,97 ha (Tabela 13).

O cenário da distribuição das classes de prioridade pela da sub-bacia, visualizadas pelo mapa, de forma geral, foi bem similar ao apresentado pela AMC+MV, ficando as áreas de muito alta prioridade e média prioridade concentradas mais ao centro da sub-bacia do Alto Pardo e as médias prioridades se apresentaram mais constantes nas bordas do limite da área de estudo, ocorrendo maior concentração das áreas de baixa prioridade à restauração florestal ao norte da represa e em pequena porção ao leste da bacia (Figura 17).

Quando comparadas separadamente as classes de prioridades entre as diferentes análises, é perceptível as diferenças dos valores das áreas representativas de cada uma delas. Percebe-se uma maior similaridade de áreas representativas em cada classe de prioridade nas AMC+MV e MV, podendo ser explicada por utilizarem os mesmos fatores de critérios, porém com pesos diferentes.

A maior diferenciação de áreas ocorre na AMC, demonstrando valores de áreas representativas significativamente mais elevados nas classes muito alta prioridade e alta prioridade, mas na prioridade média, quando comparado com as AMC+MV e MV, este valor cai pela metade. Esta ocorrência possivelmente pode ser explicada pela utilização de fatores de critérios diferentes das utilizadas na AMC+MV e MV.

Sendo assim, a metodologia de análise qualitativa da AMC considerou mais fortemente áreas de muito alta, alta e média prioridade, enquanto que a metodologia que utiliza análise quantitativa para determinação dos fatores ou pesos, como as AMC+MV e MV, concentra-se seus percentuais nas médias e altas prioridades, conforme resumido na Tabela 14.

Tabela 14 - Nível de prioridade e suas respectivas áreas (ha e %) da AMC, AMC+MV e MV.

Nível de Prioridade	AMC		AMC+MV		MV	
	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
Baixa	83,84	0,56	609,95	4,09	293,97	1,97
Média	2316,25	15,54	5268,63	35,35	4618,81	30,99
Alta	6929,45	46,50	4247,75	28,50	5401,65	36,25
Muito Alta	1969,82	13,22	1128,61	7,57	975,72	6,55

Ao cruzar os mapas e considerar apenas a classe de muito alta prioridade à restauração florestal, a maior intersecção ocorreu entre AMC+MV e MV, com 889 ha de área correspondente. Tal compatibilidade deve-se explicar pelo motivo de, mais uma vez, as análises envolverem os mesmos fatores selecionados pela técnica multivariada. A menor intersecção ocorreu entre a AMC e AMC+MV, com 350,70 ha, explicando que, mesmo as duas análises sucederem ao processo de Análise Hierárquica e pela Matriz de Correlação Pareada, apresentam fatores diferentes entre seus critérios, o que pode ter ocasionado essa diferença de similaridade entre as áreas. A relação entre AMC e MV apresentou 401,93 ha de compatibilidade de áreas de muito alta prioridade de restauração florestal (Tabela 15).

Tabela 15 - Áreas (em ha) de intersecção dos níveis de muito alta prioridade das análises AMC, AMC+MV e MV.

Muito Alta Prioridade	Área (ha)
AMC x AMC+MV	350,70
AMC x MV	401,93
AMC+MV x MV	889,16

4.4 Caracterização Ambiental das Áreas Prioritárias para Restauração Florestal

De acordo com os resultados, a AMC apresentou-se como a análise mais coerente para a priorização de áreas para a restauração florestal visando a conservação dos recursos hídricos pois ordena de forma qualitativa os fatores que contribuem mais fortemente para o objetivo, diferentemente da análise

multivariada que extrai, de forma quantitativa, os componentes principais por expressividade numérica de forma independente e mais subjetiva ao propósito de estudo. Sendo assim, a caracterização ambiental foi elaborada apenas na classe muito alta prioridade da AMC, por ter sido a análise que melhor contemplou as áreas prioritárias para a restauração florestal. Para esta análise, utilizou-se os mapas de declividade, uso e cobertura da terra, tipos de solo e erodibilidade e cruzou-se com as áreas representativas da classe muito alta prioridade da AMC, conforme Tabela 16.

Tabela 16 - Uso e cobertura da terra, declividade, tipos de solo e erodibilidade em áreas de muito alta prioridade à restauração florestal da AMC na sub-bacia do Alto Pardo.

Uso e Cobertura da Terra			Erodibilidade e Tipos de Solo			Declividade de Terreno		
Classes	ha	%	Classes	ha	%	Classes	ha	%
Silvicultura	35,27	1,79	LVd (K = 0,0044)	352,26	17,88	00 - 03	59,92	3,04
Cultura Perene	56,39	2,87	Gxbd (K = 0,0211)	89,37	4,54	03 - 08	118,04	5,99
Cultura Anual	68,33	3,47	LVAAd (K = 0,0089)	86,23	4,38	08 - 20	1112,98	56,50
Solo Exposto	914,54	46,48	PVAAd (K = 0,0192)	1.440,74	73,14	20 - 45	55,37	2,81
Pastagem	893,06	45,39	LVdf (K = 0,0057)	1,21	0,06	45 - 75	623,51	31,65

%. Declividade

Pela caracterização ambiental, foi possível observar o uso da terra em predomínio de solo exposto para a cultura anual (46,48%) e pastagem (45,39%) que juntas somam mais de 90% da área indicada como de muito alta prioridade para restauração. Em bem menor representatividade, apresentaram-se a cultura anual (3,47%), cultura perene (2,87%) e silvicultura (1,79%).

Quanto aos tipos solos, observou-se uma forte ocorrência de PVAAd (73,14%) cujo fator de erodibilidade é considerado elevado ($K = 0,0192$) e, na sequência, apresentaram-se o LVd (17,88%), Gxbd (4,54%), LVAAd (4,38%) e LVdf (0,06%) em área de muito alta prioridade da AMC.

Sobre a declividade do terreno, observou-se que 56,50% da área de muito alta prioridade da AMC é representada pela classe de relevo ondulado (8-20% de declividade) e 31,65% da área é composta pelo relevo montanhoso (45-75% de declividade). Na sequência e de forma menos expressiva apresentaram-se o relevo suave ondulado (3-8% de declividade), relevo plano (0-3% de declividade) e forte ondulado (20-45% de declividade).

A área caracterizada como muito alta prioridade da AMC ocupa uma área de 1969,82 ha, o que corresponde a 13,22% de toda a bacia. De forma geral, apresenta-se sob predomínio do uso da terra sem a cobertura vegetal necessária para proteção e estabilidade do solo que, somado a um relevo acentuado e elevadas declividades, juntamente com o tipo de solo característico a alta erodibilidade, torna essas áreas muito suscetíveis à degradação se não tiverem o manejo e cuidados necessários. Essa ameaça é compreendida ao considerar que solos desnudos ou com cobertura vegetal inadequada podem ocasionar em forte carreamento de sedimentos até o leito dos rios, pelo aumento do escoamento superficial e diminuição da infiltração da água no solo, provocando prejuízos ao afetar a qualidade da água, diminuir a profundidade dos rios e prejudicar o fluxo de água.

Os resultados apresentam um alto nível de prioridade à restauração em áreas que margeiam cursos d'água e é válido ressaltar que é assegurado por Lei a proteção e recuperação dessas margens que variam sua extensão pela largura do leito do rio (BRASIL, 2012). Mesmo que as APPs tenham sido consideradas como elemento do mapa de restrição, por justamente contemplar o Código Florestal, e portanto não estarem inclusas nessas áreas levantadas como de alta prioridade para restauração florestal, ficou claro através deste estudo que, por vezes, não é só o leito do rio que prediz o tamanho necessário para a conservação dos corpos d'águas e que outros elementos ambientais, neste caso a declividade e a erodibilidade do solo, também devem ser consideradas em um planejamento ambiental que visa proteção dos recursos hídricos.

É necessário que o uso da terra ocorra de forma consciente e responsável por meio da adequação e implantação de atividades compatíveis com a proteção dos recursos hídricos, promovendo o desenvolvimento socioeconômico baseado em sustentabilidade.

A proteção de áreas essenciais se depara com resistências em conjuntura social, política e ambiental da sociedade. Nossack (2012), em seu estudo sobre o planejamento de restauração florestal para a conservação dos recursos hídricos no município de Botucatu, defende que a conservação de florestas é interpretada, social e culturalmente, como perda de território com a redução de áreas produtivas, sem a compreensão dos benefícios que a conservação dessas áreas traz como retorno a curto e a longo prazo, agravada pela falta de sensibilização e

políticas públicas que incentivem a conservação e mitigação do impacto das atividades econômicas no ecossistema. É comum a visão dos recursos naturais como um elemento infinito e resiliente, no entanto, se o uso e conservação do solo prosseguirem com o cenário atual, níveis críticos dos recursos serão atingidos, o que torna necessário os estudos e otimização de metodologias de recuperação ambiental (NOSSACK, 2012).

Neste contexto, a Política Nacional de Irrigação (PNI) (BRASIL, 2013), que incentiva a ampliação da área irrigada e o aumento da produtividade em bases ambientalmente sustentáveis de uso e manejo do solo e dos recursos hídricos, bem como a Política Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (PROVEG) (BRASIL, 2017), que propõe soluções para ambientes degradados por meio de projetos diretos com o produtor rural para que ele tenha a visão dos ganhos com as áreas recuperadas e regularização das propriedades rurais, sustentam a necessidade do desenvolvimento econômico concomitante com a sustentabilidade dos recursos ecossistêmicos. Além destes instrumentos legais, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) (BRASIL, 1997) e o Código Florestal (BRASIL, 2012), apoiam o mercado de serviços ambientais baseados em conservação hídrica no país. A Política Estadual de Mudanças Climáticas (PEMC) (SÃO PAULO, 2009) legitima o programa de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) com o objetivo de incentivo aos produtores rurais na manutenção de sistemas produtivos sustentáveis, como os agroflorestais e silvopastoris, e manutenção de áreas essenciais com vegetação nativa.

O PSA é um sistema de intervenção positiva que garante a melhoria e a manutenção dos serviços ambientais, na qualidade e quantidade de água, por meio de melhorias na gestão da bacia hidrográfica focadas no uso do solo, nas práticas agrícolas, no saneamento ambiental, na cobertura vegetal e recuperação de áreas degradadas em prol da conservação dos recursos hídricos (REISSLER, 2014). Assim, com o conhecimento dos níveis de prioridade para a restauração florestal para a conservação dos recursos hídricos na sub-bacia do Alto Pardo, políticas públicas como o PSA devem ser incentivadas para que a integridade dos ecossistemas e sustentabilidade hídrica a longo prazo sejam asseguradas. Leal e Ribas (2014) propõem contribuições para uma política municipal de pagamento por serviços ambientais no município de Botucatu e destacam o Rio Pardo como uma área prioritária e estrategicamente importante para a região, sendo

necessárias ações conservacionistas para que se possa alcançar a condição ecológica adequada aos seus diversos usos e prevenir problemas futuros (CONTE e LEOPOLDO, 2001).

É necessário um novo olhar para a aprendizagem social e política com o cenário da crise hídrica frente aos efeitos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos e, assim, estabelecer ações com base no princípio da precaução, adotando um novo tipo de gestão traduzida em políticas públicas para se evitar futuras crises hídricas em um cenário moldado pela incerteza. As soluções devem ir além das ações imediatas de aumento da oferta hídrica por meio de infraestruturas de captação e distribuição, mas sim deve-se optar por uma gestão de gerenciamento de demandas, minimização das perdas d'água na distribuição e priorização na restauração de áreas essenciais para a manutenção de corpos hídricos e seus ecossistemas (PUGA, 2018). Em termos de governança, pouco se fala sobre a importância do uso adequado do solo, dos ecossistemas e das florestas na regulação e provisão dos recursos hídricos, e isso é o que dificulta atacar as reais causas da fragilidade hídrica, devendo se destacar a importância em investimentos para o saneamento, planejamento da ocupação do solo, recuperação de matas ciliares, de áreas suscetíveis à erosão e essenciais à conservação das águas.

Quando o objetivo está na garantia da continuidade da produção hídrica, o manejo da bacia hidrográfica deve priorizar a infiltração da água no solo e a redução do escoamento da água na superfície, assim, o planejamento do uso do solo deve garantir o predomínio do processo de infiltração (NICOLETE, 2015). A presença de vegetação nativa caracteriza-se como a melhor opção para evitar a degradação do ambiente, atuando como redutoras do impacto direto das gotas da chuva sobre o solo e, através da adição de matéria orgânica, favorece a estruturação do solo e atua como filtro do escoamento superficial originado nas partes mais altas da bacia (LIMA e ZAKIA, 2000).

Nesse caso, o uso do solo deve levar em consideração a fragilidade ambiental natural do terreno. A adoção de técnicas conservacionistas e a redução ou mesmo eliminação do uso de produtos químicos, como os defensivos agrícolas, são passíveis de serem transportados para os cursos d'água e devem ser levados em consideração no planejamento do uso das terras.

Como a dinâmica hídrica não se restringe a limites municipais e sim adota como unidade de gestão uma bacia hidrográfica (BRASIL, 1997), é necessária a gestão intermunicipal da sub-bacia do Alto Pardo entre os municípios de Botucatu e Pardinho para que haja um cuidado integrado da bacia de forma a garantir a sustentabilidade local e evitar conflitos de uso, uma vez que a maior parte das nascentes estão localizadas em território de Pardinho e, conseqüentemente, contribuindo de forma primordial para o abastecimento do município de Botucatu e da nova represa a ser construída.

Assim, o conhecimento desse cenário oferece subsídios para a tomada de decisão nos processos de planejamento e gestão ambiental visando a conservação dos recursos hídricos, com ações de controle e melhorias no manejo da terra e restauração de áreas importantes para equilíbrio ambiental da região.

5 CONCLUSÕES

A sub-bacia do Alto Pardo se apresentou fortemente ocupada por atividades antrópicas, que somadas compreendem 89% da bacia, com destaque às pastagens e ao solo exposto preparado para culturas anuais. É necessária especial atenção ao se identificar que cerca de 73% das áreas de preservação permanente também estão ocupadas por essas atividades que podem impactar negativamente os corpos d'água.

Os Sistemas de Informação Geográficas e as técnicas de análises multicritério e multivariada foram eficazes no mapeamento das áreas prioritárias à recomposição florestal visando a conservação dos recursos hídricos da área da bacia. A definição dos fatores, ordens e pesos dos elementos de ambas análises afeta diretamente os resultados produzidos, demonstrando ser crucial a escolha pelo melhor método de organização e manipulação dos dados para o processo de decisão.

A abordagem multicritério ordena de forma qualitativa os fatores que contribuem mais fortemente para a análise, diferentemente da técnica multivariada que extrai, de forma quantitativa, os componentes principais por expressividade numérica de forma independente e mais subjetiva ao propósito de estudo. Futuros trabalhos devem considerar a dependência espacial das variáveis da análise multivariada por meio da geoestatística multivariada para resultados mais refinados. O objetivo trabalho não foi contrapor os tipos de análises, qualitativas ou quantitativas, pois cada abordagem atende as suas idiossincrasias.

Pela abordagem multicritério, observou-se que 13% da bacia é caracterizada como de muita alta prioridade para restauração florestal. Esta área tem sua predominância em relevo acentuado e elevadas declividades, em solo característico de alta erodibilidade e sem cobertura vegetal necessária para proteção e estabilidade do solo que, somado a todos esses elementos, tornam essas áreas extremamente suscetíveis à degradação se não tiverem o manejo e cuidados necessários, acarretando prejuízos aos recursos hídricos.

Este trabalho contribui na viabilização na tomada de decisão e espera-se que os resultados contribuam para uma base técnica de conhecimento e que possam ser utilizados para substanciar processos de planejamento e gestão do uso do solo e conservação dos recursos hídricos.

REFERÊNCIAS

ABAS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. **Orientações para a utilização de águas subterrânea.** Disponível em: <<http://www.abas.org/arquivos/aguasf.pdf>>. Acesso em: 05 jan. 2017.

AGÁPITO, A. O.; et al. Utilização do método de análise hierárquica (AHP) como ferramenta de auxílio multicritério no processo de decisão de priorização de projetos de ciência, tecnologia e inovação na Amazônia azul. p. 474-483. **Anais... XVIII Simpósio de Pesquisa Operacional & Logística da Marinha** [Blucher Marine Engineering Proceedings, v. 2, n. 1, São Paulo: Blucher, 2016. Disponível em: <[http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/utilizacao-do-mtodo-de-anlise-hierrquica-ahp-como-Aerramenta-de-auxlio-multicritrio-no-processo-de-deciso-de-priorizacao-de-projetos-de-cincia-tecnologia-e-inovao-na-amaznia-azul-22716](http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/utilizacao-do-mtodo-de-analise-hierrquica-ahp-como-Aerramenta-de-auxlio-multicritrio-no-processo-de-deciso-de-priorizacao-de-projetos-de-cincia-tecnologia-e-inovao-na-amaznia-azul-22716)>. Acesso em: 04 mar. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Cuidando das águas: soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos.** Agência Nacional de Águas; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Brasília: ANA, 2011.

ALMEIDA, F. F. M. **Fundamentos geológicos do relevo paulista.** São Paulo: Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, 1964. 99p.

AMORIM, L. A.; et al. Agente de Suporte à Decisão Multicritério com Soma Ponderada-Auzzy em Gestão Pública Participativa: Um Estudo de Caso em Gestão Ambiental. iSys – **Revista Brasileira de Sistemas de Informação.** Rio de Janeiro, v. 8, n. 3, p. 28-41, 2015. Disponível em: <<http://www.seer.unirio.br/index.php/isys/article/view/5076/4916>>. Acesso em: 04 mar. 2018.

ANDRADE, M. A.; MELLO, C. R.; BESKOW, S. Simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica representativa dos latossolos na região do Alto Rio Grande, MG. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.17, n.1, p.69-76. 2013

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de Informações Geográficas:** aplicações na agricultura. Brasília: Embrapa, SPI; Embrapa, CPAC, 434 p., 1998.

BARROS, A. C. **Análise multicritério aplicada ao zoneamento agrícola do município de Itaberá-SP.** 2017. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2017, 89p.

BATISTELLA, M.; MORAN, E. F. **Geoinformação e monitoramento ambiental na América Latina.** 1. ed. São Paulo: SENAC, 2008. 288 p.

BARTH, F. T.; POMPEU, C. T. Fundamentos para gestão de recursos hídricos. In: **Modelos para gerenciamento de recursos hídricos.** São Paulo, Nobel: ABRH, 1987.

BENEDUZI, A.; et al. Evaluation of genetic diversity and plant growth promoting activities of nitrogen-fixing bacilli isolated from rice fields in South Brazil. **Applied Soil Ecology**, v. 39, n. 3, p. 311-320, 2008.

BERNARDO, P. M. **Recomposição florestal visando a infiltração de água: uma abordagem multicriterial. 2017.** Dissertação (Mestrado em Agronomia - Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2017.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo.** 8. ed. São Paulo: Ícone, 2012. 355 p.

BERVEGLIERI, A.; et al. Classificação fuzzy de vertentes por thin-plate spline e krigagem com comparação de resultados. **Revista Brasileira de Cartografia**, Brasília, DF, v. 1, n. 64, p. 69-82, 2012.

BEZERRA, M. C. L.; VEIGA, J. E. **Agricultura sustentável.** Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 190 p., 2000.

BIE, C. A. J. M.; LEEUWEN, J. A.; ZUIDEMA, P. A. **The land use database: a knowledge-based software program for structured storage and retrieval of userdefined land use data sets: user's reference manual.** Version 1.04 for MS-DOS. [Enschede, The Netherlands]: International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation: Food and Agriculture Organization: United Nations Environment Programme: Wageningen University, 1996. 41 p.

BOGARDI, J. J.; et al. **Water security for a planet under pressure: interconnected challenges of a changing world call for sustainable solutions.** Current Opinion in Environmental Sustainability, Amsterdam, v.4, p. 1–9, 2011.

BOIN, M. N. **Chuvas e erosões no oeste paulista: uma análise climatológica aplicada.** 2000. 264p.Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) Universidade Estadual Paulista – UNESP, Rio Claro, 2000.

BOTUCATU (Cidade). Prefeitura Municipal de Botucatu. **Barragem de acumulação no Rio Pardo, Botucatu – SP.** Relatório Técnico 9 (RT-9). Relatório Ambiental Preliminar n. 5097.RP.A4.501-0. Hidrostudio Engenharia. jan. 2018.

BOTUCATU (Cidade). Prefeitura Municipal de Botucatu. Levantamento cadastral e diagnóstico de áreas com potencial de implantação de pagamento por serviços ambientais e elaboração de projeto executivo de barragem de acumulação no rio pardo no município de Botucatu. Ver.8. julh. 2015.

BRASIL. **Decreto nº 8.972, de 23 de janeiro de 2017.** Institui a Política Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa. Diário Oficial da União, Brasília, DA, 23 jan. 2017. 2017. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/decreto/D8972.htm>. Acesso em: 10 abr. 2018.

BRASIL. **Lei nº 12.787, de 11 de janeiro de 2013.** Política Nacional de Irrigação. Legislação Federal. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Lei/L12787.htm> Acesso em: 25 mar. 2018.

BRASIL. **Lei Nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997, 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei Nº 8.001, de março de 1990, que modificou a Lei Nº 7.99 , de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm>. Acesso em: 17 out. 2017.

BRASIL. **Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 28 de maio de 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12651compilado.htm>. Acesso em: 15 jun. 2018.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. **Recursos hídricos:** conjunto de Normas Legais. Brasília, DF, 2004.

CALIJURI, M. L.; MELLO, A. L. O.; LORENTZ, J. F. Identificação de áreas para implantação de aterros sanitários com uso de análise estratégica de decisão. **Informática Pública**, Belo Horizonte, BH, v. 4, n. 2, p. 231-250, 2002.

CAMPOS, N.; STUDART, T. M. C. **A cobrança pelo uso da água.** In: _____ (Org.). Gestão de águas: princípios e práticas. Porto Alegre: ABRH, 2001. cap. 7, p. 99-110. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/mestre_andressa_macedo.pdf>. Acesso em: 24 mai 2017.

CEPAGRI - CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA. **Clima dos municípios paulistas - Botucatu.** Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_608.html>. Acesso em: 10 ago. 2018.

CHEN, K. P.; BLONG, R.; JACOBSON, C. MCE-RISK: integrating multicriteria evaluation and GIS for risk decision-making in natural hazards. **Environmental Modeling e Software**, v.16, n.4, p.387-397, 2001.

CONINE, A.; et al. Planning for multipurpose greenways in Concord, North Carolina. **Landscape Urban Planning**. n. 68, p. 271–287, 2004.

CONTE, M. L.; LEOPOLDO, P. R. **Avaliação de recursos hídricos:** Rio Pardo, um exemplo. São Paulo: UNESP, 2001. 141 p.

COOK, C.; BAKKER, K. **Water security:** Debating an emerging paradigm. *Global Environmental Change*, v. 22, n. 1, p. 94–102, 2012.

CORREA, J. B. L. **Quantificação das áreas de preservação permanente e reserva legal e de seus impactos econômicos na bacia do rio Pomba em Minas Gerais**. 2006. 79p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

COSTA, B. O. **Perda de solo na bacia hidrográfica do Córrego Rico - SP, utilizando de técnicas de geoprocessamento**. 2014. 85 p. Tese (Doutorado em Agronomia em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2014.

CRUZ, C. D.; et al. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4 ed. Viçosa: Editora UFV, 2012. 514 p.

DE PAULA, E. M. S.; SOUZA, J. N. Sistemas de informação geográficas na análise da vulnerabilidade ambiental da bacia do rio Ceará-CE. **Revista Brasileira de Cartografia**. v. 63, n. 4, p. 515-525, 2011.

DEMARCHI, J. C. **Geotecnologias aplicadas à estimativa de perdas de solo por erosão hídrica na Sub-Bacia do Ribeirão das Perobas, município de Santa Cruz do Rio Pardo-SP**. 2012. 150 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) -Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2012.

DILLON, W.R.; GOLDSTEIN, M. **Multivariate analysis**. Methods and applications. New York, John Wiley & Sons, 1984.

EASTMAN, J. R. Decision support: decision strategy analysis. In: EASTMAN, J. R. **Idrisi Selva Manual**, Worcester: Clark Labs, ClarkUniversity, 222 p., 2012.

EASTMAN, J.R. **Idrisi 15: The Andes Edition**.Worcester, MA: Clark University, 2006.

EASTMAN, J. R. Decision support: decision strategy analysis. In: **Idrisi 32 release 2: guide to GIS and image processing**. Worcester: Clark University, Clark Labs. p. 1-22, 2001.

EASTMAN, J.R. **IDRISI 32 for Windows: guide to GIS and image processing**. Massachusettes: Clark University, 2v. 1999.

EASTMAN, J. R.; KYEM, P. A. K.; TOLEDANO, J. **GIS and decision making**. Genebra: UNITAR, 1993. 112 p.

ELMORE, W.; BESCHTA, R. L. **Riparian areas: perceptions in management**. Rangelands, p. 260-265, 1987.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: 2013, 353 p.

FILHO, V. M. Gerenciamento de bacias hidrográficas com aplicação de técnicas de geoprocessamento. In.: TAU-K-TORNISIELD, S. M. et al. **Análise ambiental: estratégias e ações**. Rio Claro: CEA-UNESP, 1995. p.135-139.

FLORENZANO, T. G. Geotecnologias na geografia aplicada: Difusão e acesso. **Revista do Departamento de Geografia**, v.17, p. 24-29, 2002.

FOLKE, C.; et al. **Adaptive Governance of Social-Ecological Systems**. Annual Review of Environment and Resources, v. 30, n. 1, p. 441–473, 2005.

FRAGASSI, P.F.M. **Estudo da Erodibilidade dos Solos Residuais de Gnaiss da Serra de São Geraldo e de Viçosa**. Dissertação de Mestrado em Geotecnia, UFV, Viçosa, MG. 2001.

FRANCISCO, C. E. S.; et al. **Espacialização de análise multicriterial em SIG: prioridades para recuperação de Áreas de Preservação Permanente**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 2643-2650.

GETIRANA, A. C. V. Extreme water deficit in Brazil detected from space. **Journal of Hydrometeorology**. 2015.

GHARBIA, S. S.; et al. Spatially distributed potential evapotranspiration modeling and climate projections. **Science of The Total Environment**, v. 633, p. 571 – 592, 2018.

GOMES, J. B. V.; et al. Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do bioma cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.137-153, 2004.

GOTTLE, A.; SENE, E. H. **Forest functions related to protection and environmental conservation**. In: Unasylva Journal. Eleventh World Forestry Congress. 1997. Antalya. FAO, vol. 48/3-4.p 190-191. 1997. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/w6251e/w6251e06.htm>>. Acesso em: 03 julh. 2017.

GROSSI, C. H. **Sistema de informação geográfica – BASINS 3.0 na modelagem hidrológica da Bacia Experimental do Rio Pardo, SP**. 2003. 101 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia e meio ambiente**, Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000.

HAIR, J. F.; et al. **Análise Multivariada de Dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 688 p.

Hill, M. **Climate change and water governance: adaptive capacity in Chile and Switzerland**. Springer, Heidelberg, 2012.

HILL, M.; NATHAN, C. **Adaptive capacity of water governance arrangements: a comparative study of barriers and opportunities in Swiss and US states.** Regional Environmental Change, 2013.

HORTON, R. E. **Erosional development of streams and their drainage basin: hydrophysical approach to quantitative morphology.** Geological Society of America Bulletin. v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **Carta do Brasil.** Mapa color, 55,3x51,4cm (folha SF – 22 – R – W – IV – 3 Botucatu). Escala 1:50.000, 1969.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **Carta do Brasil.** Mapa color, 55,3x51,4cm (folha SF – 22 – Z – D – III – 1 Pardinho). Escala 1:50.000, 1982.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability.** Part A: global and sectoral aspects. *In:* FIELD, C. B., BARROS, V. R., DOKKEN, D. J., MACH, K. J., MASTRANDREA, M. D., BILIR, T. E., CHATTERJEE, M., EBI, K. L., ESTRADA, Y. O., GENOVA, R. C., GIRMA, B., KISSEL, E. S., LEVY, A. N., MACCRACKEN, S., MASTRANDREA, P. R., WHITE, L.C.L. (Eds.), Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental, 2014.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS. **Mapa geológico do Estado de São Paulo.** Sao Paulo, Escala 1:500.000, 1981.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.** 1ª edição. São José dos Campos: Parênteses, 2009, 672 p.

JUNK, W. J.; BAYLEY, P. B.; SPARKS, R. E. **The flood pulse concept in river – floodplain systems.** Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences, Ottawa, v. 106, p. 110, 1989.

KANGAS, J.; et al. Analyzing consistency of expert judgments – case of forest biodiversity. **Forest Science**, v.44, p.603-609, 1998.

KARK, S.; VAN RENSBURG, B. J. Ecotones: Marginal or central areas of transition? Israel **Journal of Ecology and Evolution**, Jerusalem, v. 52, p. 29 – 53, 2006.

KARMANN, I. Ciclo da água: água subterrânea e sua ação geológica. *In:* TEIXEIRA, W. et al. (org). **Decifrando a Terra.** São Paulo. Oficina de Textos, 2003. 556 p.

KRISHNASWAMY, J. The groundwater recharge response and hydrologic services of tropical humid forest ecosystems to use and reforestation: Support for the “infiltration-evapotranspiration trade-off hypothesis”. **Journal of Hydrology.** Amsterdam, v. 498, p. 191–209, 2013.

LANDELL-MILLS, N.; PORRAS, T. I. **Silver bullet or fools' gold? A global review of markets for forest environmental services and their impact on the poor.** Instruments for sustainable private sector forestry series. Londres: International Institute for Environment and Development, 2002. p. 127.

LANDIM, P. M. B. **Análise Estatística de Dados Geológicos Multivariados.** São Paulo. Oficina de Textos, 208 p. 2011.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da Paisagem com SIG.** 1. ed. Oficina de Textos. 2009, p. 424.

LEAL, M. S; RIBAS, L. C. **Contribuições para a proposta de uma política municipal de pagamento por serviços ambientais: o caso de Botucatu/SP.** Curitiba, PR, v. 44, n. 3, p. 411 –420, jul./set. 2014.

LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. **Numerical ecology.** 2.ed. Amsterdam: Elsevier Science B.V., 1998. 853 p.

LEPSCH, I. F.; et al. **Manual para Levantamento Utilitário do Meio Físico e Classificação de Terras no Sistema de Capacidade de Uso.** 5ª Aproximação. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175p.

LESSA, L. G. F. **Simulação da produção de sedimentos na bacia hidrográfica do Rio Pardo - Botucatu / SP, por modelagem hidrológica.** 2011. 141 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

LIMA, A. A. **Identificação de áreas prioritárias para a recuperação florestal no município de Paranapanema-SP.** 2018. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu-SP, 2018, 92 p.

LIMA, W. P. **Função hidrológica da mata ciliar.** In: Simpósio sobre mata ciliar. Fundação Cargill, 1989. p 25-42.

LIMA, W. P.; ZAKIA, M. J. B. Hidrologia de matas ciliares. *In:* RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H.F. **Matas ciliares: conservação e recuperação.** São Paulo: EDUSP/ Fapesp, 2000. p.33-44.

LIMA, W. P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas.** 2. ed. Piracicaba: USP, 2008, 245 p.

LOMBARDI NETO, F., BERTONI, J. **Erodibilidade de solos paulistas.** Campinas: IAC,1975. 12p.

LOON, A. F. VAN; et al. **Drought in the Anthropocene.** Nature Publishing Group, v. 9, n. 2, p. 89–91, 2016.

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

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

MALCZEWSKI, J. A GIS-based approach to multiple criteria group decision-making. **International Journal of Geographical Information Systems**. Abigdon, v. 10, n. 8, p. 955-971, 1996.

MANLY, B. F. J. **Multivariate statistical methods: a primer**. 2nd ed., London, Chapman & Hall, 1994.

MANNIGEL, A. R.; et al. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002.

MANOEL FILHO, J. Ocorrência das águas subterrâneas. In: FEITOSA et al. (org). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Rio de Janeiro. CPRM: LABHID, 2008. 812 p.

MARÍN, M. **Hidrologia Práctica**. Segunda edição. Editora Rugarte puerto de Arlabán, 33-28053 Madrid. 2005.

MATOS, F. A. R.; et al. Effects of landscape configuration and composition on phylogenetic diversity of trees in a highly fragmented tropical forest. **Journal of Ecology**. v. 105, p. 265-276, 2017. Disponível em: <<https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1365-2745.12661>>. Acesso em: 15 jun. 2018.

MERTEN, G. H.; CAPEL, P. D.; MINELLA, J. P. G. Effects of suspended sediment concentration and grain size on three optical turbidity sensors. **Journal of Soils and Sediments**, Cham, v.14, n.7, p. 1235-1241, 2014.

MEKONNEN, M. M; HOEKSTRA, A. Y. Four billion people facing severe water scarcity. **Science Advances** (February):1-7.2016.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte. UFMG, 20005. 295p.

MINITAB INC. **Minitab 16**. State College: Minitab Inc, 2018.

MITCHELL, M. G. E.; et al. **Reframing landscape fragmentation's effects on ecosystem services**. Trends in Ecology & Evolution. 2015, 33 p.

MOITA NETO, J. M.; MOITA, G. C. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. **Química Nova**, v.21, p.467-469, 1998.

MOORE, I. D.; GRAYSON, R. B. & LADSON, A. R. **Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological and biological applications**. Hydrol. Proc., 5:3-30, 1991.

MOREIRA, M. C.; et al. NetErosividade MG: Erosividade da chuva em Minas Gerais. **R. Bras. Ci. Solo**, v.32, p. 1349-1353. 2008.

MORAES, D. A. C. **Espacialização das estimativas de contaminação de água subterrânea por defensivos agrícolas**. 2012. 101 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Programa Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrárias – UNESP, Botucatu.

MOTA, S. **Urbanização e meio ambiente**. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

NAVA, A. **Variabilidade espacial de níveis freáticos do Sistema Aquífero Bauru por meio de modelo híbrido multivariado**. 2018. Tese (Doutorado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu-SP, 2018, 112 p.

NETO, M. M. J. Estatística multivariada. **Revista de Filosofia e Ensino**. 2004. Disponível em: http://www.criticanarede.com/cien_estadistica.html. Acesso em: 9 mar. 2018.

NICOLETE, D. A. P. **Áreas hidrologicamente homogêneas como subsídio ao manejo de bacias hidrográficas**. 2015. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2015, 76 p.

NICOLETE, D. A. P.; ZIMBACK, C. R. L. Zoneamento de risco de incêndios florestais para a fazenda experimental Edgardia – Botucatu (SP), através de sistemas de informações geográficas. **Agrogeoambiental**. v. 5, n. 3, p. 55-62, 2013.

NOBRE, C. A.; et al. Some characteristics and impacts of the drought and water crisis in southeastern Brazil during 2014 and 2015 **Journal of Water Resource and Protection**, v. 8, n. February, p. 252–262, 2016.

NOSSACK, F. A. **Planejamento da recomposição florestal pela análise multicriterial na sub-bacia do córrego do descaldado visando a conservação de recursos hídricos**. 2012. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu-SP, 2012, 83 p.

NOSSACK, F. A. **Simulação da condutividade hidráulica dos solos da sub-bacia do Rio Pardo – SP por meio de geoestatística multivariada**. 2016. Tese (Doutorado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu-SP, 2016, 82 p.

OLSSON, P., FOLKE, C., BERKES, F. **Adaptive Co-management for Building Resilience in Social-Ecological Systems**. *Environmental Management* 34, 1: 75-90, 2004.

PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; MATOS, A. T. Desprendimento e arraste do solo pelo escoamento superficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.3, p.423-429, 2003.

PERRY, C. D.; et al. Watershed-scale water quality impacts of riparian forest management. **Journal of Water Resources Planning and Management**. New York, v.125, n.3, p. 117-125, 1999.

PIELOU, E. C. **The interpretation of ecological data; a primer on classification and ordination**. New York, Wiley, 1984.

PINA, G. A. **Análise multicritério na identificação de áreas para a recuperação ecológica no plano de manejo ambiental municipal**. 2017. 65 A. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Júlio Mesquita Filho, Jaboticabal, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/152440>>. Acesso em: 15 jan. 2018.

PIROLI, E. L. **Geoprocessamento aplicado ao estudo do uso da terra das áreas de preservação permanente dos corpos d'água da bacia hidrográfica do rio pardo**. 2013. 123 p. Tese de Livre-Docência (Livre-Docência em Sensoriamento remoto e Geoprocessamento), UNESP, 2013.

PISANI, R. J. **Modelagem espacial dinâmica para o monitoramento do aporte de sedimentos na sub-bacia do Rio Capivara, município de Botucatu - SP**. 2013. 162 f. Tese - (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2013.

PISSARRA, T. C. T.; POLITANO, W.; FERRAUDO, A. S. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico, Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 2, 2004.

PRUSKI, F. F. Modelos computacionais desenvolvidos pelo grupo de pesquisa em recursos hídricos visando o controle da erosão. p.260-277. 2009. In: PRUSKI, F. F. **Conservação de solo e água: Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Editora UFV. 279p. 2009.

PUGA, B. P. **Governança dos recursos hídricos e eventos climáticos extremos: a crise hídrica de São Paulo**. Tese (doutorado). Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, 2018.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS**. Versão 2.2. 2014. Disponível em <http://qgis.org/>. Acesso em: 29 set. 2014.

RAO, M. S. V. C.; et al. **A weighted index model for urban suitability assessment – a GIS approach**. Bombay: Metropolitan Regional Development Authority, 1991. 134p.

REISSLER, J. **Fisiografia e uso da terra de uma bacia hidrográfica em área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani (SAG): o caso do Ribeirão do Jacú, Tejupá/SP** (UGRHI-14). 2014. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014, 116 p.

RENCHER, A. C. **Methods of multivariate analysis**. 2.ed. New York: Wiley Interscience, 2002. 738p.

RIVERA, H. **Ordenamento territorial de áreas florestais utilizando avaliação multicritério apoiada por geoprocessamento, fitossociologia e análise multivariada**. 2007. 240 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestal – Manejo Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

ROY, D. P. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam, v. 144, p. 154-172, 2014.

SAATY, T. The analytic hierarchy process: what is and how it is used. **Pergamon Journals Ltd**, USA, Pittsburgh, v. 9, n. 3-5, p. 161-176, 1987.

SAATY, L. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, San Diego, v 15, p. 234-281, 1977.

SAGA GIS DEVELOPMENT TEAM. **System for Automated Geoscientific Analyses – SAGA GIS**. Versão 2.1.2. 2014. Disponível em: <http://www.saga-gis.org/>. Acesso em: 27 ago. 2014.

SANTI, A. L.; et al. Infiltração de água no solo, determinada por diferentes métodos, como indicador do potencial produtivo em dois Latossolos manejados com agricultura de precisão. **Interciencia**, v.37, p.204-208, 2012.

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

SÃO PAULO (Estado). Decreto Estadual nº 20.960, de 8 de junho de 1983. **Declara área de proteção ambiental regiões situadas em diversos municípios, dentre os quais Corumbataí, Botucatu e Tejupá**. São Paulo, 1983. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/norma/57437>>. Acesso em: 19 de jul 2018.

SÃO PAULO (Estado). Lei nº. 13.798, de 9 de novembro de 2009. Institui a Política Estadual de Mudanças Climáticas – PEMC. São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/pemc/index.php>>. Acesso em: 16 mai 2018.

SARTORI, A. A. C. **Análise multicritérios na definição de áreas prioritárias à conectividade entre fragmentos florestais**. 2010. 98 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

SAVI, E. L. **Avaliação do nível de oxidação do biodiesel e quantificação do biodiesel em blends via métodos espectroscópicos**. 115 f. 2017. Tese (Doutorado em Física) – Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2017.

SILVA, J. S. V. **Análise multivariada em zoneamento para planejamento ambiental; estudo de caso: bacia hidrográfica do alto rio Taquari MS/MT**. 2003. 307 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

SIMÕES, L. B. **Integração entre um modelo de simulação hidrológica e sistema de informação geográfica na delimitação de zonas tampão ripárias**. 2001. 168 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

SOARES, C. B. S. S.; et al. **Geotecnologia aplicada ao estudo da dinâmica do uso e cobertura da terra na Área de Proteção Ambiental (APA) Encontro das Aguas - Iranduba (AM)**. In: Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 3163-3170.

SOUSA JUNIOR, G. A. de. **Zoneamento da faixa tampão do reservatório da UHE Camargos e avaliação de sua regeneração natural**. 2005. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

SOUZA, A. J.; et al. Aspectos físicos do município de Botucatu. In: **Botucatu: Pólo de Desenvolvimento Regional**. 1985. 34p.

SRINIVASAN, V. et al. The nature and causes of the global water crisis: Syndromes from a meta-analysis of coupled human-water studies. **Water Resources Research**, v. 48, n. 10, p. n/a-n/a, 2012.

STORE, R.; KANGAS, J. **Integrating spatial multi-criteria evaluation and expert knowledge for GIS-based habit suitability modeling**. *Landscape and Urban Planning*. V.55, p.79-93, 2001.

TABACHNICK, B. G.; FIDELL, L. S. **Using multivariate statistics**. 3rded. New York: Harper Collins, 1996.

TAGLIARINI, F. D. S. **Técnicas de Geoprocessamento Aplicadas na Quantificação de Perdas de Solo em Bacia Hidrográfica**. 2017. 121 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2017.

TORNERO, M. T. **Fotointerpretação da Cobertura Vegetal e da Rede de Drenagem da Bacia Experimental do Rio Pardo, no período de 15 anos**. 1996. 129p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1996.

TRAFICANTE, C. **Ecologia da paisagem para avaliação da idoneidade de redes ecológicas, como subsídio para o planejamento territorial**. 2007. 136 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

TUCCI, C. E. M.; CLARCK, R. T. Impacto das mudanças na cobertura vegetal no escoamento: revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 2, n. 1, p. 135-152, 1997.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 631 p., 2008.

UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **GEO Latin America and the Caribbean environment outlook**. Mexico City. Regional Office for Latin America and the Caribbean, 2000.

VALENTE, R. O. A. **Definição de áreas prioritárias para conservação e preservação florestal por meio da abordagem multicriterial em ambiente SIG**. 2005. 121 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, Piracicaba, 2005.

VALENTE, R. O. A.; VETTORAZZI, C. A abordagem multicriterial na definição de áreas prioritárias para conservação e preservação florestal. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 12, 2005 Goiania. Anais...Goiania: INPE, 2005.

VANZELA, L.S.; HERNANDEZ, F.B.T.; FRANCO, R.A.M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.1, p.55-64, 2010.

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

VIEIRA, V. P. P. B.; GONDIM FILHO, J. G. C. Água no semi-árido. In: REBOUÇAS, A. da C; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras Editora, 3.ed. p. 481-540, 2006.

VIEIRA, G. B. **Santa Cruz do Rio Pardo: histórico do Rio Pardo**. Disponível em: <<http://www.riopardosantacruz.com.br/historia.php>>. Acesso em: 20 mar. 2018.

VOOGD, H. **Multicriteria evaluation for urban and regional planning**. London: Pion, 1983. 370 p.

WEBSTER, R. Statistics to support soil research and their presentation. **European Journal of Soil Science**, v. 52, p. 331-340, 2001.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses**: a guide to conservation planning. Agriculture Handbook n.537. Washington: US Department of Agriculture, 1978.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. In: **Transactions American Geophysical Union**. v. 39. p. 285-291. 1958.

WEF - WORLD ECONOMIC FORUM. **Global Risks 2015**. 10th edition. World Economic Forum, Geneva, Switzerland, 2015.

WISE, R. M.; et al. Reconceptualising adaptation to climate change as part of pathways of change and response. **Global Environmental Change**, v.28, p.325-36, 2014.

ZIMBACK, C. R. L. **Levantamento semidetalhado dos solos da bacia do Rio Pardo no Municípios de Pardinho e Botucatu**. Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 1997. 55p.