

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS RESULTANTES DA
EXPLORAÇÃO MINERAL DE AREIA QUARTZÍTICA NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO SOBRADINHO**

RAYSSA KLEFTAKIS DE CARVALHO

ORIENTADOR: DSc. WAGNER SANTOS DE ALMEIDA

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ENGENHARIA
AMBIENTAL**

BRASÍLIA/DF: JULHO/2019

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL

AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS RESULTANTES DA
EXPLORAÇÃO MINERAL DE AREIA QUARTZÍTICA NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO SOBRADINHO

RAYSSA KLEFTAKIS DE CARVALHO

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA AMBIENTAL.

APROVADA POR:

PROF. WAGNER SANTOS DE ALMEIDA

(ORIENTADOR)

PROF. ANDRÉ LUIS BRASIL CAVALCANTE

(EXAMINADOR INTERNO)

PROF. RICARDO TEZINI MINOTI

(EXAMINADOR INTERNO)

DATA: BRASÍLIA/DF, 15 de julho de 2019.

FICHA CATALOGRÁFICA

CARVALHO, RAYSSA KLEFTAKIS

Avaliação de impactos resultantes da exploração mineral de areia quartzítica na Região Administrativa de Sobradinho. [Distrito Federal] 2019.

ix, 93 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Ambiental, 2019) Monografia de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

- | | |
|------------------------------|-----------------------|
| 1. Impactos ambientais | 2. Exploração mineral |
| 3. Vulnerabilidade ambiental | 4. Geoprocessamento |

I.ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CARVALHO, R.K. Avaliação de impactos resultantes da exploração mineral de areia quartzítica na bacia hidrográfica do Ribeirão Sobradinho. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2019, 103 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Rayssa Kleftakis de Carvalho

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Avaliação de impactos resultantes da exploração mineral de areia quartzítica na bacia hidrográfica do Ribeirão Sobradinho.

GRAU: Bacharel em Engenharia Ambiental ANO: 2019

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Rayssa Kleftakis de Carvalho

rayssa.kleftakis@gmail.com

AGRADECIMENTOS

Sou grata, primeiramente, àqueles que proveram auxílio imensurável para minha formação acadêmica: Mãe, Tio e Irmão.

À Universidade de Brasília, pela oportunidade de fazer parte do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Tecnologia, onde passei os melhores anos da minha vida.

Ao meu orientador, Prof. Wagner, pelo acolhimento e por tantas oportunidades proporcionadas e, principalmente, por toda a confiança durante a execução do trabalho, além de todos os ensinamentos dados. Muito grata, sobretudo, pela sua amizade.

À todos os professores do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Tecnologia, os quais fizeram parte da minha caminhada ao longo do curso.

E, finalmente, aos amigos que conheci no decorrer do curso, que me ajudaram com muito empenho e boa vontade durante a execução da pesquisa e nos momentos difíceis, meus sinceros agradecimentos, em especial ao Rodrigo, Tainá, Rebeca, Júlia, Vitor, Marcus, Gabriel, Atman, Mário, Mateus e Bernardo.

Ao CNPq e a FAP-DF (processo n°. 0193-001.362/2016).

RESUMO

O crescimento populacional e a urbanização do DF reflete em pressões antrópicas cada vez mais degradantes para o meio ambiente, em que a matéria prima muitas vezes usada para gerar bens de consumo são recursos não renováveis da natureza e que para sua obtenção, causam impactos ambientais, tanto positivos, como negativos. Uma demanda crescente no Distrito Federal que reflete diversos impactos é o aumento da demanda por matéria-prima utilizada diretamente no uso da construção civil, pois exige a extração de certos minérios. Este projeto final de graduação em Engenharia Ambiental tem por objetivo avaliar os impactos ambientais associados a vulnerabilidade ambiental agravada pelas atividades de mineração de areia quartzítica da Brasil Calcário na Região Administrativa de Sobradinho, inserida na Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio São Bartolomeu. A metodologia aplicada envolveu a produção de mapas de uso e cobertura do solo para os anos de 2005, 2011, 2018 na área de estudo, a partir do uso de algoritmos de geoprocessamento. Envolveu a produção de mapas intermediários e de um mapa final de vulnerabilidade ambiental voltado para os impactos causados por esta mineração para o ano de 2018, que foi obtido por meio da aplicação de análise hierárquica de processos (AHP). Por fim, identificou-se que há um alto grau de vulnerabilidade ambiental na área no qual há exploração mineral, verificando-se impactos negativos significativos, que devem ser fiscalizados. Com isso, avaliou-se que as medidas mitigadoras que vem sendo realizadas em áreas já exploradas na bacia do Ribeirão Sobradinho não garantem a sustentabilidade ambiental da APA do Rio São Bartolomeu, além disso, coloca-se em risco as APP adjacentes, essenciais para o equilíbrio do sistema como um todo.

Palavras-chaves: impacto ambiental negativo, exploração mineral, vulnerabilidade ambiental, geoprocessamento, erosão.

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	1
2.OBJETIVOS	6
2.1.Objetivo geral.....	6
2.2.Objetivos Específicos.....	6
3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	7
3.1. Exploração mineral em Unidades de Conservação (UC).....	7
3.1.1.Caracterização da APA do Rio São Bartolomeu	8
3.1.2. Áreas de Preservação Permanente	11
3.2.Licenciamento ambiental no setor de mineração	12
3.3.Impactos e estudos ambientais	14
3.4.Identificação e previsão de impactos ambientais.....	15
3.5.Medidas mitigadoras e compensatórias.....	17
3.6.Vulnerabilidade Ambiental	19
3.6.1.Uso e Cobertura do Solo.....	21
3.6.2.Processos erosivos	21
3.6.3.Profundidade do lençol freático.....	24
3.6.4.Recarga do aquífero.....	25
3.6.5.Áreas inundáveis	25
3.7.Sensoriamento Remoto (SR).....	27
3.7.1.Imagem digital de sensores remotos.....	28
3.7.2.ALOS.....	29
3.7.Geoprocessamento de imagens	29
3.7.1.Análise Multicritério em SIG	30
4.MATERIAIS E METODOLOGIA.....	34
4.1.Materiais.....	34
4.1.1.Softwares	34
4.1.2.Estruturação da base de dados	34
4.2.Metodologia.....	36
4.2.1 Mapas temáticos de uso e cobertura do solo	37

4.2.2.Mapa de vulnerabilidade ambiental.....	40
4.2.3.Mapa de uso e cobertura do solo da BRACAL em 2019 e visita técnica.....	60
5.RESULTADOS E DISCUSSÕES	61
5.1.Análise sobre a bacia do Ribeirão Sobradinho.....	61
5.1.1.Mapas temáticos de uso e cobertura do solo	61
5.1.2.Mapas intermediários de vulnerabilidade ambiental	63
5.1.3.Mapa final de vulnerabilidade ambiental à mineração.....	75
5.2.Análise sobre a BRACAL	78
6.CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	84
7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1:Área de Estudo: Localização da exploração mineral de areia Quartzítica.....	14
Figura 3.2:Localização da APA do Rio São Bartolomeu no DF e localização da BRACAL nas zonas do Plano de Manejo.....	20
Figura 3.3:Fatores que afetam a vulnerabilidade ambiental.....	30
Figura 3.4:Passos simplificados para aplicação do método da AHP.....	43
Figura 4.1:Produtos cartográficos utilizados.....	45
Figura 4.2:Representação esquemática da metodologia geral utilizada.....	47
Figura 4.3:Procedimentos adotados para produção dos mapas de uso e ocupação do solo.....	50
Figura 4.4:Procedimentos para a produção do mapa de vulnerabilidade.....	51
Figura 4.5:Metodologia aplicada para obtenção do fator LS.....	58
Figura 4.6:Passos metodológicos para obtenção da mancha de inundação.....	70
Figura 5.1:Mapas produzidos de uso e cobertura do solo para os anos de 2005, 2011 e 2018.....	72
Figura 5.2:Mapas dos fatores da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS).....	75
Figura 5.3:Mapa de suscetibilidade à Erosão Laminar.....	76
Figura 5.4:Mapa de suscetibilidade à Erosão Linear.....	78
Figura 5.5:Mapas intermediários de suscetibilidade à recarga do aquífero, à profundidade do nível da água do lençol freático e às ações antrópicas.....	79
Figura 5.6:Traçados da geometria no HEC-HAS.....	82
Figura 5.7:Mapa de suscetibilidade à inundação.....	83
Figura 5.8:Áreas inundadas de acordo com a simulação no HEC-HAS.....	84
Figura 5.9:Mapa final de vulnerabilidade ambiental.....	87
Figura 5.10:Mapa de uso e cobertura do solo da BRACAL (2019).....	89
Figura 5.11:Área à noroeste da BRACAL em processo de recuperação.....	90
Figura 5.12:Área separada para deposição do <i>top soil</i>	90
Figura 5.13:Em (a) área localizada na área da exploração mineral com sulcos e ravinas e em (b) vicinais de acesso à BRACAL sem processos erosivos.....	91
Figura 5.14:Área fora da poligonal licenciada utilizada para reservatório de água.....	92
Figura 5.15:Área de tráfego com acúmulo de água.....	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Escala fundamental. Fonte: Saaty (1991).....	41
Tabela 2: Graus de vulnerabilidade adotados.	51
Tabela 3: Índices Randômicos elaborados por Saaty (1987).	53
Tabela 4: Valores de vulnerabilidade aplicado às ações antrópicas.	55
Tabela 5: Valores de K atribuídos de acordo com Wischmeier et al. (1971).....	56
Tabela 6: Valores atribuídos para os fatores CP.	58
Tabela 7: Valores de vulnerabilidade aplicado à erosão laminar.	59
Tabela 8: Valores de vulnerabilidade aplicado à pedologia.	60
Tabela 9: Valores de vulnerabilidade aplicado à geologia.	61
Tabela 10: Valores de vulnerabilidade aplicado à declividade.	61
Tabela 11: Valores de vulnerabilidade aplicado à erosão linear.	62
Tabela 12: Valor de vulnerabilidade aplicado à profundidade do nível da água.....	63
Tabela 13: Valor de vulnerabilidade aplicado à recarga do aquífero.....	64
Tabela 14. Fator de Redução do Tempo do Pico de Vazão.....	68
Tabela 15: Valores para a computação do coeficiente de Manning.....	69
Tabela 16: Área total (em km ²) ocupada por cada classe temática.....	71
Tabela 17: Informações sobre as estações pluviométricas utilizadas.....	74
Tabela 18: Médias mensais dos índices de erosão (EI) e fator R.....	74
Tabela 19: Valores calculados pelo método de Ven Te Chow (1987)	81
Tabela 20: Interface de comparação entre os mapas intermediários, dois a dois.....	85
Tabela 21: Matriz de comparação e elementos da matriz.....	86
Tabela 22: Pesos obtidos para os mapas intermediários de suscetibilidade.	86

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

AHP	Análise Hierárquica de Processos
APA	Área de Proteção Ambiental
APP	Área de Preservação
BRACAL	Brasil Calcário e Areia LTDA
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DER	Departamento de Estradas de Rodagem do Distrito Federal
DETRAN	Departamento de Trânsito do Distrito Federal
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MDE	Modelo Digital de Elevação
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
ERDAS	Earth Resources Data Analysis System
IVDN	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
ZUA	Zona de Uso Agropecuário
ZOEIA	Zona de Ocupação Especial de Interesse Ambiental
ZCVS	Zona de Conservação da Vida Silvestre
DF	Distrito Federal
DNPM	Departamento Nacional da Produção Mineral
EIA	Estudos de Impactos Ambientais
ESRI	Environmental Systems Research Institute
EUPS	Equação Universal da Perda de Solo
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis
IBRAM	Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
MMA	Ministério do Meio Ambiente
PCA	Plano de Controle Ambiental
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PRAD	Plano de Recuperação de Área Degradada
RCA	Relatório de Controle Ambiental
RIMA	Relatório De Impacto Ambiental

SIG	Sistema de Informação Geográfica
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza
SR	Sensoriamento Remoto
UC	Unidade de Conservação
UTM	Universal Transversa de Mercator

1.INTRODUÇÃO

De acordo com Santos et al. (2014), a exploração de recursos naturais na mineração no Brasil “é historicamente favorecida pela sua formação geológica e pela extensão territorial, tendo inúmeros minerais de interesse econômico no rol de minérios extraídos provenientes de embasamento cristalino e bacias sedimentares”. A mineração é considerada um dos setores básicos da economia no Brasil, fornecendo matéria-prima para uso regional e internacional; entre os produtos mais minerados no País, em volume, estão a areia e a pedra britada (VIEIRA e REZENDE, 2015).

De acordo com o documento “Diretrizes Ambientais para o Setor Mineral” do Ministério do Meio Ambiente (1997), a atividade de extração mineral definida como "mineração" engloba as atividades de pesquisa, lavra e beneficiamento de minerais, e se caracteriza pela existência de um plano de aproveitamento econômico de um corpo mineral conhecido. Essa atividade compreende três etapas, que correspondem a implantação, operação e desativação, configurando-se como uma forma de “uso temporário do solo”.

Na Região Administrativa de Sobradinho V, localizada no Distrito Federal (DF), a empresa BRACAL – Brasil Calcário e Areia LTDA realiza a extração e comercialização de areia e agregados, resultante da decomposição de quartzitos, para uso direto na construção civil, a céu aberto, em um local que dista aproximadamente 20 quilômetros (km) do centro de Brasília, por meio de licenciamento ambiental, e possui licença de operação vigente até março de 2021, concedida pelo Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal (IBRAM), órgão ambiental responsável pelos processos de licenciamento ambiental no DF. As atividades de extração de areia possuem importância para a Capital Federal, devido à demanda da construção civil com ritmo acelerado de desenvolvimento e urbanização.

O quartzito é uma rocha ornamental metamórfica com estrutura coesa e cristalina densa e organizada, de modo que a força do cimento entre as partículas propicia uma resistência interna elevada. Graças a essa estrutura de rocha metamórfica, o quartzito pode proporcionar características favoráveis para o seu uso como rocha ornamental, bem como, eventualmente, componente estrutural de construção civil (SANTOS et al., 2014).

A BRACAL realiza sua exploração de areia dentro da Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio São Bartolomeu, e próximo à área licenciada, existem Áreas de Proteção Permanente (APP) que se inserem em torno de nascentes d’água, bem como em faixas de mata ciliar a partir das margens dos cursos d’água, que deveriam ser preservadas durante a exploração

mineral ora em curso. O Ribeirão Sobradinho, que se encontra próximo à exploração, encontra-se em processo de revitalização. Assim, a gestão ambiental dessa atividade mineral deve ser avaliada, principalmente devido à proximidade de áreas de crescente urbanização e de Áreas de Preservação Permanente.

A exploração de areia pode vir a causar impactos ambientais significativos e irreversíveis na água, no ar e no solo e alteram a configuração original do meio ambiente, além de impactar as comunidades locais. Os impactos relacionados à essa exploração podem ser identificados principalmente com relação ao solo, como a perda de cobertura vegetal, o que intensifica os processos erosivos e de lixiviação, a compactação dos solos devido à presença de maquinário pesado para o transporte do material, entre outros. De forma geral, essas alterações se associam às diversas fases de exploração dos bens minerais, desde a abertura da cava até o transporte e beneficiamento do minério (SANTOS, 2013). Tais impactos podem aumentar a vulnerabilidade ambiental associada, que tem se tornado um enfoque de análise importante. A vulnerabilidade ambiental pode ser definida, então, como o grau em que um sistema natural é suscetível ou incapaz de lidar com os efeitos das interações externas. Pode ser decorrente de efeitos ambientais naturais ou de pressões antrópicas; ou ainda de sistemas frágeis de baixa resiliência (AQUINO et al., 2017).

No contexto de elaboração de mapas que representem a vulnerabilidade ambiental em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), com base em dados ou documentos cartográficos já existentes, há diversas técnicas disponíveis que permitem a soma dos elementos (que podem ser características ambientais) ou ir além, integrando as evidências e proporcionando qualidade no mapa resultante (FUSHIMI e NUNES, 2016).

A elaboração de um mapa de vulnerabilidade ambiental, que consiste no zoneamento do território em diferentes níveis hierárquicos, que representam os diferentes graus de fragilidade, permite definir quais áreas são mais frágeis e quais podem ser mais afetadas por futuras mudanças na dinâmica existente, tendo assim um grande elevado potencial para ser utilizado em estudos de impacto ambiental. Para gerar o mapa de vulnerabilidade final são necessários mapas geotécnicos intermediários que avaliem a suscetibilidade da área para diferentes processos que possam ocorrer. A integração desses mapas pode ser realizada por técnicas de análise multicritério, como a Análise Hierárquica de Processos (AHP), garantindo-se consistência em todas as ponderações realizadas (GIMENES e FILHO, 2013). O acelerado processo de urbanização no DF, associada à falta de estrutura urbana em novos loteamentos e conjuntos habitacionais, somado à suscetibilidade dos terrenos, favorece uma situação de degradação ambiental e dos recursos hídricos, gerando problemas graves com

consequências sociais e econômicas que oneram o poder público e a sociedade como um todo. Estes problemas, na maioria das vezes, decorrem do desconhecimento e/ou a não consideração dos fatores do meio físico que regulam sua dinâmica.

Nesse sentido, o presente estudo tem como objetivo central geral contribuir com subsídios para a avaliação de impactos ambientais advindos da atividade de extração de areia quartzítica realizada pela BRACAL, abordando aspectos relacionados ao conceito de vulnerabilidade ambiental. As análises serão realizadas empregando algoritmos de geoprocessamento inseridos em ambiente computacional de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) e também será utilizado o método de análise multicritério como a Análise Hierárquica de Processos (AHP), proposto por Thomas Saaty (1991), com vistas a reduzir a subjetividade das análises.

CONTEXTUALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo do presente trabalho consiste na bacia hidrográfica do Ribeirão Sobradinho, onde a exploração mineral realizada pela BRACAL está situada. Essa atividade se insere mais precisamente em uma área de 50 hectares situada na Região Administrativa de Sobradinho, na margem esquerda do Ribeirão Sobradinho, na Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu e está localizada entre as coordenadas geográficas 15°42' e 15°44' de latitude sul e 47°42' e 47°45' de longitude oeste, como pode ser observado na Figura 3.1.

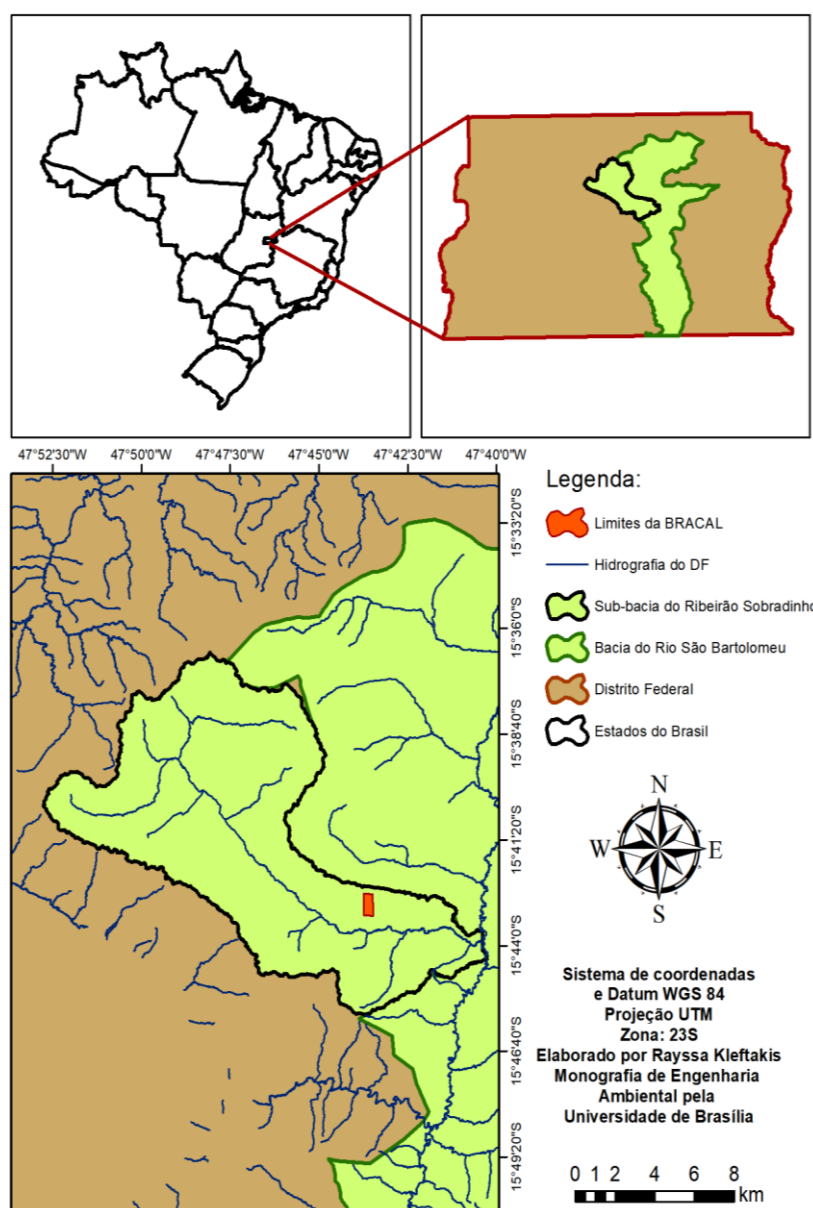


Figura 3.6: Localização da área de estudo e da exploração mineral de areia quartzítica.

O Ribeirão Sobradinho localiza-se na porção centro-norte do Distrito Federal e possui uma área de drenagem de 144 km². Diversas nascentes contribuem para o aumento da vazão na sua calha principal, que contorna a Região Administrativa de Sobradinho. Ao longo de seu caminho, até encontrar o Rio São Bartolomeu, o Ribeirão sofre diversos tipos de impactos ambientais, devido às ações antrópicas. O Ribeirão nasce próximo ao condomínio Alto da Boa Vista e tem 28 quilômetros de extensão até chegar ao rio São Bartolomeu, percorre chácaras, propriedades rurais e áreas públicas, sofrendo há mais de 20 anos com a ocupação irregular ao longo de suas margens. O crescimento rápido e desordenado desmatou a vegetação e impermeabilizou o solo, fazendo com que as águas pluviais se misturassem ao esgoto clandestino e aos resíduos sólidos urbanos desaguando no ribeirão, além de centenas de quilos de entulho e lixo que ali são diariamente despejados (ADASA, 2019).

A exploração de areia realizada pela BRACAL se insere também na Área de Proteção Ambiental do Rio São Bartolomeu, criada para assegurar a capacidade e a qualidade dos recursos hídricos dos ecossistemas ao redor da capital federal, com vistas à garantir o abastecimento da região.

A porção leste da exploração apresenta uma declividade representativa com a presença de alguns cursos d'água e encontra-se coberta por vegetação do tipo Campo Cerrado, composto predominantemente por espécies arbóreas de pequeno porte. A sudeste, existem Áreas de Proteção Permanente, que apresentam mata ciliar, as quais devem ser conservadas.

Dessa forma, a escolha desta área de estudo se deve por estar inserida em Área de Proteção Ambiental e possuir proximidade com Áreas de Preservação Permanente, além de áreas de crescimento urbano que vem se dando de forma desordenada e que tem influência na impermeabilização do solo.

2.OBJETIVOS

2.1.Objetivo geral

O objetivo geral é contribuir com subsídios para a avaliação de impactos ambientais advindos pela contínua exploração mineral de areia quartzítica realizada pela empresa Brasil Calcário e Areia - BRACAL, na Região Administrativa de Sobradinho, por meio da análise da vulnerabilidade ambiental da área de estudo, abordando os aspectos físicos da área.

2.2.Objetivos Específicos

- Avaliar os processos de uso e ocupação do solo na bacia do Ribeirão Sobradinho, para os anos de 2005, 2011 e 2018;
- Mapear a bacia do Ribeirão Sobradinho para identificação de áreas suscetíveis a processos erosivos;
- Determinar áreas de maior susceptibilidade à inundação por meio de modelagem hidrológica com o software HEC-RAS.

3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Exploração mineral em Unidades de Conservação (UC)

As Unidades de Conservação (UC) são espaços territoriais definidos pela Lei Nº 9.985, de julho de 2000, incluindo seus recursos ambientais, com características naturais relevantes, que têm a função de assegurar a representatividade de amostras significativas e ecologicamente viáveis das diferentes populações, habitats e ecossistemas do território nacional e das águas jurisdicionais, preservando o patrimônio biológico existente. As UC asseguram às populações tradicionais o uso sustentável dos recursos naturais de forma racional e ainda propiciam às comunidades do entorno o desenvolvimento de atividades econômicas sustentáveis. Estas áreas estão sujeitas às normas e regras especiais. São legalmente criadas pelos Governos a nível Federal, Estadual e Municipal, após a realização de estudos técnicos dos espaços propostos e, quando necessário, consulta à população (MMA, 2018).

As UC dividem-se em dois grupos principais. O primeiro grupo são as Unidades de Proteção Integral, onde a proteção da natureza é o principal objetivo e as regras e normas são mais restritivas. Nesse grupo é permitido apenas o uso indireto dos recursos naturais; ou seja, aquele que não envolve consumo, coleta ou danos aos recursos naturais. A exemplos dessas atividades de uso indireto dos recursos naturais estão a recreação em contato com a natureza, turismo ecológico, pesquisa científica e educação e interpretação ambiental. As categorias de proteção integral são as Estações Ecológicas, Reservas Biológicas, Parques, monumentos naturais e refúgio de vida silvestre. Já o segundo grupo são as Unidades de Uso Sustentável, áreas que visam conciliar a conservação da natureza com o uso sustentável dos recursos naturais. Nesse grupo, atividades que envolvem coleta e uso dos recursos naturais são permitidas, mas desde que praticadas de uma forma que a perenidade dos recursos ambientais renováveis e dos processos ecológicos esteja assegurada. As categorias de uso sustentável são as Áreas de Relevante Interesse Ecológico, Floresta Nacional, Reserva de Fauna, Reserva de Desenvolvimento Sustentável, Reserva Extrativista, Área de Proteção Ambiental (APA) e Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) (MMA, 2018).

A exploração mineral de areia quartzítica acontece na Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio São Bartolomeu, Unidade de Conservação de uso sustentável, que tem como objetivo proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a

sustentabilidade do uso dos recursos naturais. Dentro das APA podem existir Áreas de Preservação Permanente (APP), definidas pelas condições geográficas do terreno tais como faixas marginais dos rios e proximidades de nascentes.

A exploração dos recursos minerais na região da APA do Rio São Bartolomeu iniciou-se com a construção de Brasília, quando a construção civil passou a consumir grandes quantidades de minerais como areia, cascalho, pedra, terra e argila (CÂMARA, 1993). A exploração desses minerais deixa o solo exposto por causa da retirada da cobertura vegetal, podendo ocorrer processos erosivos, principalmente pela incidência da chuva, além da degradação causada pela instalação e operação do próprio empreendimento, através de desmonte hidráulico, abertura de vias de acesso e poluição por óleos, resíduos sólidos, lubrificantes e combustíveis usados nos equipamentos.

3.1.1. Caracterização da APA do Rio São Bartolomeu

A APA da Bacia do Rio São Bartolomeu se localiza no centro-leste do Distrito Federal entre as coordenadas geográficas de 15°30' S e 16°00' de latitude Sul e 47°30' O e 47°52' de longitude Oeste e abrange uma área de aproximadamente 2.670 km² no Distrito Federal e 2.810 km² no Estado de Goiás, totalizando uma área de drenagem de 5.480 km². A bacia hidrográfica faz parte dos municípios goianos de Formosa, de Planaltina de Goiás, de Valparaíso de Goiás, de Cidade Ocidental, de Luziânia e de Cristalina e envolve cidades satélites do Distrito Federal, como Planaltina, Sobradinho, São Sebastião e Paranoá, além do Plano Piloto.

O Rio São Bartolomeu é formado pelos rios Pípiripau e Mestre d'Armas, nas proximidades de Planaltina, DF. A drenagem principal percorre aproximadamente 180 km predominantemente na direção N-S até desaguar no Rio Corumbá, onde divide os municípios de Luziânia e Cristalina, GO.

Segundo o Decreto nº 88.940 de 1983, a APA da Bacia do Rio São Bartolomeu foi criada com o “objetivo principal de proporcionar o bem-estar futuro das populações do Distrito Federal e de parte do Estado de Goiás, bem como assegurar condições ecológicas satisfatórias às represas da região”. Essa APA tem importância fundamental na conservação do meio ambiente e foi criada para assegurar a capacidade e a qualidade dos recursos hídricos dos ecossistemas no DF e no seu entorno, de forma a garantir o abastecimento de água da região.

Para se fazer uma análise espacial da microbacia do Ribeirão Sobradinho que se insere dentro da APA do Rio São Bartolomeu é fundamental analisar questões relacionadas às drenagens, ao relevo, à geologia, à pedologia e ao uso e cobertura do solo, para se compreender a sua dinâmica ambiental.

A evolução geomorfológica das formas de relevo do DF possui características típicas da região do Planalto Central - áreas elevadas do Centro-Oeste à qual está inserido. Predominam as chapadas associadas às unidades geológicas mais antigas. A topografia apresenta altitudes que variam entre 950m a 1400m aproximadamente, predominando formas de relevo evoluídas por processo de erosão, caracterizadas pelas chapadas e chapadões. Estão presentes outras formas de relevo como vales, colinas, na área da bacia dos rios São Bartolomeu, Preto e Descoberto e serras presentes na área da bacia do rio Maranhão (CODEPLAN, 2017).

A geologia do DF onde se insere a área de estudo é composta de rochas dos grupos Canastra Paranoá, Araxá e Bambuí. Esses grupos estão associados à idade geológica mais antiga – Período Pré-cambriano, que se subdivide em mesoproterozóico e neoproterozóico. Estes apresentam rochas como xistos, quartzito, biotita, ardósias, filitos, metacalcários, metassiltitos e outras. Existem também áreas que passaram por processos de evolução estrutural, onde estão presentes falhas como ocorrem a noroeste do Distrito Federal (CODEPLAN, 2017).

O DF apresenta uma rede de cursos d'água, perenes na sua maioria, que fazem parte de sete bacias hidrográficas principais. Estas bacias contribuem para abastecer as três principais bacias hidrográficas do Brasil: Tocantins e Araguaia para a qual contribui a bacia do rio Maranhão, a do São Francisco cujo contribuinte é a bacia do rio Preto e as demais bacias do Distrito federal contribuem com a bacia do rio Paraná. A bacia do Rio São Bartolomeu se destaca por apresentar uma área significativa, onde ocorre a proteção de mananciais.

Predomina nesta área a Formação Savânica, caracterizada pelo Cerrado *stricto sensu*, vegetação típica do Brasil Central, com árvores de troncos e galhos retorcidos, casca grossa e folhas grandes. Nessa Formação Savânica há basicamente dois tipos de estratos: o superior, onde estão presentes árvores e arbustos; e o estrato inferior, formado por uma vegetação rasteira como gramíneas. Esta vegetação está associada às condições climáticas e pedológicas desta região (CODEPLAN, 2017).

De acordo com dados da Embrapa (1978), na APA predominam os Latossolos, seguidos dos Cambissolos. Os primeiros são solos porosos, permeáveis e bem drenados associados à vegetação de cerrado e cerradão. Os cambissolos são pouco desenvolvidos, associados à

vegetação de campo limpo e ocorrem em vertentes das bacias dos rios Maranhão, Descoberto e São Bartolomeu e encostas com declividade mais acentuada como na depressão do Paranoá e bacia do rio Preto (CODEPLAN, 2017).

A Lei N° 5.344, de 19 de maio de 2014 dispõe sobre o Rezoneamento Ambiental e o Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental da Bacia do Rio São Bartolomeu, e divide a APA em quatro zonas de manejo: I – Zona de Preservação da Vida Silvestre – ZPVS; II – Zona de Conservação da Vida Silvestre – ZCVS; III – Zona de Ocupação Especial de Interesse Ambiental – ZOEIA; IV – Zona de Ocupação Especial de Qualificação – ZOEQ.

O empreendimento realizado pela BRACAL está inserido na divisa da Zona de Conservação da Vida Silvestre – ZCVS e a Zona de Ocupação Especial de Interesse Ambiental – ZOEIA, como pode ser observado na Figura 3.2.

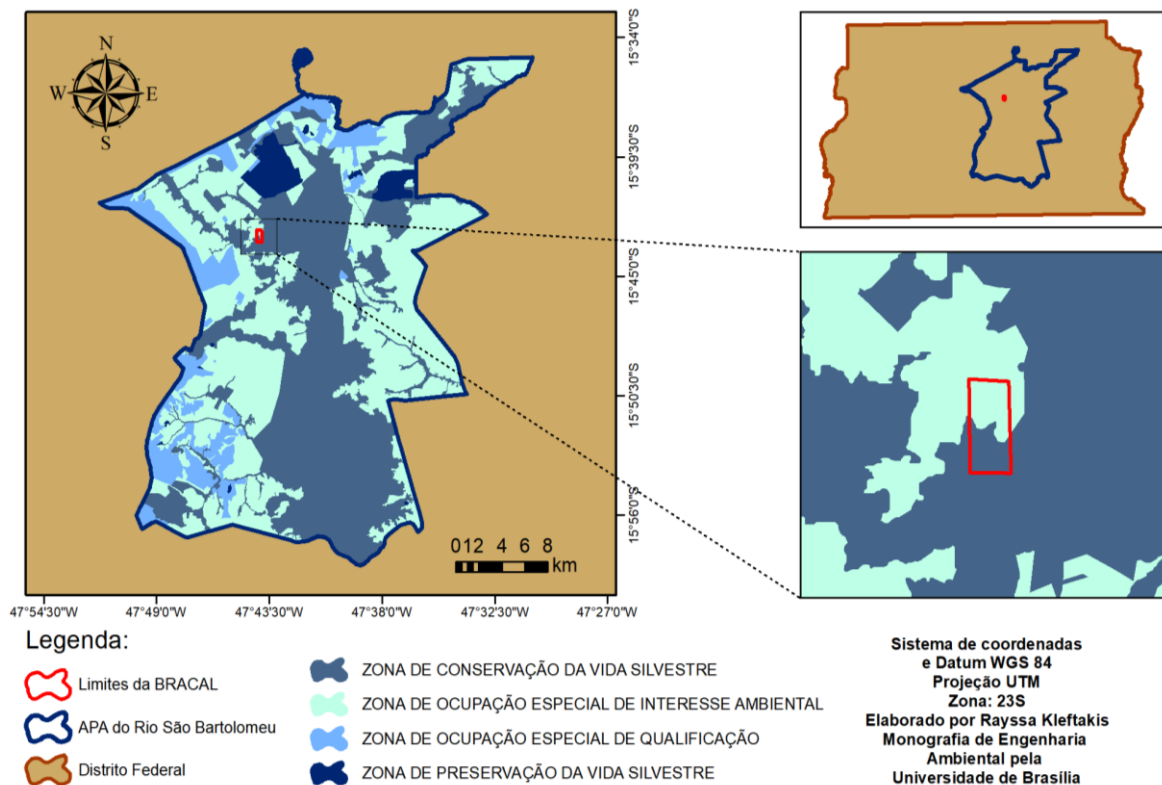


Figura 3.7: Localização da APA do Rio São Bartolomeu no DF e localização da BRACAL nas zonas do Plano de Manejo.

De acordo com o plano de manejo da APA, no artigo 11, que trata das limitações da ZCVS, é proibido a disposição de resíduos de qualquer natureza e a supressão de vegetação nativa, em qualquer estágio de regeneração, sem autorização do órgão ambiental.

Já na ZOEIA, tratada no artigo 13, as atividades e empreendimentos urbanos devem

favorecer a recarga natural e artificial de aquíferos; no licenciamento ambiental, deve ser avaliada a solicitação de exigências adicionais de mitigação e monitoramento de impactos compatíveis com as fragilidades específicas da área de interesse; as atividades e empreendimentos urbanos devem executar projetos de contenção de encostas, drenagem de águas pluviais, sistema de coleta e tratamento de águas servidas, sistema de coleta e tratamento de esgoto sanitário, recomposição da cobertura vegetal nativa, pavimentação dos acessos, coleta de lixo e destinação adequada dos resíduos sólidos.

Dessa forma, o IBRAM fica responsável por autorizar as atividades de mineração na ZCVS, que implica na supressão da vegetação e também pela solicitação das exigências da ZOEIA no licenciamento ambiental da exploração mineral.

É imprescindível que haja, por parte do empreendimento, o atendimento às condicionantes e minimização dos efeitos dos impactos ambientais negativos, e por parte do IBRAM, a fiscalização das atividades realizadas pela BRACAL, para que a preservação dos ecossistemas e dos demais recursos naturais possa ser garantida.

3.1.2. Áreas de Preservação Permanente

As Áreas de Preservação Permanente incluídas na APA da Bacia do Rio São Bartolomeu têm um relevante interesse ecológico. O inciso III, § 1º, do artigo 225 da Constituição Federal, prevê sua definição em todas as unidades da Federação, como espaços territoriais “a serem especialmente protegidos, sendo a alteração e a supressão permitidas somente através de lei, vedada qualquer utilização que comprometa a integridade dos atributos que justifiquem sua proteção”.

De acordo com o art. 3º, II, da Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012, uma Área de Preservação Permanente (APP) é uma “área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas”. Assim, pela definição legal, as Áreas de Preservação Permanente poderão ou não ser cobertas por vegetação nativa, e devem ser mantidas por questões ambientais e também para preservarem e assegurar o bem-estar das populações humanas (MMA, 2011).

O Código Florestal prevê faixas e parâmetros diferenciados para as distintas tipologias de APP, de acordo com a característica de cada área a ser protegida. Para as nascentes (perenes

ou intermitentes), por exemplo, a lei estabelece um raio mínimo de 50 metros no seu entorno independentemente da localização, seja em um Estado no Sul ou em um Estado no Norte, seja na pequena ou na grande propriedade, em área rural ou urbana. Tal faixa é o mínimo necessário para garantir a proteção e integridade do local onde nasce a água e para manter a sua quantidade e qualidade. As nascentes, ainda que intermitentes, são absolutamente essenciais para a garantia do sistema hídrico, e a manutenção de sua integridade mostra estreita relação com a proteção conferida pela cobertura vegetal nativa adjacente (MMA, 2011). Dessa forma, os impactos da atividade de mineração de areia da área de estudo deve ser monitorada, devido à proximidade de áreas com mata ciliar e cursos d'água, que garantem a dinâmica ambiental.

3.2.Licenciamento ambiental no setor de mineração

A Política Nacional do Meio Ambiente define os mecanismos e instrumentos de proteção do meio ambiente no Brasil. O texto que dispõe acerca da Política Nacional do Meio Ambiente é a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 e dentre os objetivos principais estão a preservação, a melhoria e a recuperação da qualidade ambiental, no qual o meio ambiente é considerado patrimônio público a ser assegurado e protegido para o uso coletivo. É citado também o princípio de racionalização do uso do solo, o planejamento e fiscalização do uso dos recursos, a proteção dos ecossistemas e o controle das atividades poluidoras.

Na Política Nacional do Meio Ambiente, a responsabilidade pela proteção e melhoria da qualidade ambiental é da União, dos estados e dos municípios, que constituem o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA). São responsáveis pelas políticas ambientais brasileiras o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), o Ministério do Meio Ambiente (MMA), o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis (IBAMA) e o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio).

Um dos instrumentos normativos de proteção ao meio ambiente é o licenciamento ambiental, que é um procedimento administrativo destinado a licenciar atividades ou empreendimentos utilizadores de recursos ambientais, que sejam potencialmente poluidores ou capazes de causar degradação ambiental. Assim, as licenças ambientais são exigidas para empresas e atividades que ou utilizam recursos naturais ou são capazes de causar impacto ambiental, como é o caso da exploração mineral em questão.

O licenciamento ambiental torna-se indispensável para combater ameaças de danos ao meio

ambiente. É estruturado em vários processos, para cada processo é necessário à licença adequada, tais como: licença prévia (LP), no planejamento de um empreendimento ou de uma atividade; licença de instalação (LI) na construção da obra e a licença de operação (LO), na qual o empreendimento consegue a liberação para funcionar e operar.

LICENCIAMENTO DAS ATIVIDADES EXPLORATÓRIAS DA BRACAL

Sob denominação social Bracal - Brasil Calcário Agrícola Ltda., esta empresa iniciou suas atividades em 1991, com objetivo de indústria, comércio e representação de mármore, granitos e demais substâncias minerais para decoração e revestimento; comércio e representação de vidros e materiais de construção; a industrialização de cristal de rocha da fabricação de cristal cultivado; a prestação de serviços na área técnica de mineração e de produtos elaborados em rochas ornamentais e exploração e aproveitamento de substâncias minerais (BRACAL, 2003).

Em 5 de dezembro de 2003, foi solicitada a expedição da Licença Prévia para a atividade de extração mineral na área de estudo, juntada de documentação do Relatório de Controle Ambiental – RCA e Plano de Controle Ambiental – PCA, foi apresentado também um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas – PRAD para a referida área de exploração. A BRACAL começou a operar na área de estudo no ano de 2005 com a Licença de Operação nº 080/2005.

De acordo com a Licença de Operação nº 080/2005, cedida pelo IBRAM na época, a poligonal da área licenciada é de forma retangular com dimensões de 50 hectares. A profundidade máxima para exploração de areia quartzítica não deve ultrapassar a cota limite de 1072,5 metros, não sendo permitida a exploração além desses limites. A porção leste da área apresenta declividade média com a presença de alguns cursos d'água, não sendo permitida a exploração mineral em virtude da fragilidade ambiental da região e a área encontra-se coberta por vegetação do tipo Campo Cerrado, composto predominantemente por espécies arbóreas de pequeno porte. No sentido sul-sudeste, em direção ao vale do Ribeirão Sobradinho, o terreno é irregular com declividade baixa. A sudeste da poligonal retificada, existem Áreas de Proteção Permanente, que deveriam ser conservadas. Tratam-se de áreas próximas a córregos e rios, com raio de 50 metros em torno de nascentes de água, bem como faixas de mata ciliar a partir das margens do curso d'água observados.

3.3. Impactos e estudos ambientais

De acordo com Sánchez (2013), a locução “impacto ambiental” é associada a algum dano à natureza e ao meio ambiente em geral. Por sua vez, na literatura técnica, há várias definições, quase todas elas largamente concordantes quanto aos seus elementos básicos, embora formuladas de diferentes maneiras. Na Norma Técnica NBR ISO 14.001 (2004), define-se: “qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, das atividades, produtos ou serviços de uma organização”. Ou seja, impacto ambiental é uma consequência, uma mudança no meio ambiente, independentemente de sua importância.

Ainda segundo Sánchez (2013), é oportuno apontar o conceito de impacto ambiental quando comparado ao de poluição ambiental. O impacto ambiental é um conceito mais amplo e distinto de poluição, pois, enquanto poluição tem uma conotação negativa, o de impacto ambiental pode ser benéfico (positivo) ou adverso (negativo). O de poluição refere-se a matéria ou energia (grandezas físicas) que podem ser medidas e para as quais se estabelecem padrões. Toda poluição causa impacto ambiental, mas nem todo impacto ambiental tem a poluição como causa. A precisão de um impacto ambiental não é possível de ser feita pois o meio ambiente é um sistema complexo, sendo possível fazer apenas algumas estimativas, utilizando-se de estudos ambientais.

A exemplo de estudos ambientais temos o Estudo de Impacto Ambiental - EIA, o Relatório de Impacto Ambiental - RIMA, o Relatório Ambiental Prévio - RAP, o Relatório Ambiental Simplificado - RAS, o Relatório de Controle Ambiental - RCA, o Plano de Controle Ambiental - PCA, o Estudo de Viabilidade Ambiental - EVA, entre outros.

A Constituição Federal Brasileira de 1988 determina que é obrigatório o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) para o processo de licenciamento ambiental. O artigo 225, § 1º determina que cabe ao poder público, no caso o IBRAM, “exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente degradadora do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade”. Como o licenciamento ambiental somente cabe quando o empreendimento é potencialmente degradador do meio ambiente, todo licenciamento ambiental deve, constitucionalmente, ser realizado por meio de um EIA e a não observância da exigência do EIA no processo de licenciamento ambiental de empreendimentos de menor porte, numa tentativa de simplificação do processo, pode trazer impactos ambientais negativos e irreversíveis. No caso de empreendimentos de extração mineral, por menor que seja o empreendimento, sempre haverá o potencial de degradação

do meio ambiente. Este fato é caracterizado na CF que se determina que "Aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei", ou seja, a extração mineral degrada o meio ambiente, sendo possível sua realização mediante a posterior recuperação do meio ambiente (MMA, 2001).

A mineração é o único empreendimento ao qual foi dado formalmente o direito constitucional de degradar áreas, desde que seja feita sua reabilitação posterior, por isso, para toda e qualquer exploração mineral é exigido a apresentação do PRAD - Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (MMA, 2001).

O RCA é exigido pela Resolução CONAMA nº 10 de 6 de dezembro de 1990, na hipótese da dispensa do EIA/RIMA, para obtenção de licença prévia de atividade de extração mineral da Classe II, no qual se enquadra a areia, a argila e o cascalho, como é o caso da atividade de exploração mineral na área de estudo. O Plano de Controle Ambiental é outra modalidade de estudo ambiental exigido como requisito para a solicitação da licença de instalação de empreendimentos de mineração e deve conter os projetos executivos de minimização dos impactos ambientais avaliados na fase de licença prévia. Após isso, o empreendedor deverá apresentar documento ao Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), junto com a Licença de Instalação, para obtenção do Registro de Licenciamento e posteriormente a Licença de Operação. Os planos e programas ambientais da atividade deverão estar em consonância com o zoneamento e o plano de manejo da APA na qual está inserida.

3.4. Identificação e previsão de impactos ambientais

O entendimento das atividades de mineração e de operações que compõem o projeto, e de suas alternativas, ao lado do reconhecimento das características básicas do ambiente potencialmente afetado, são os pontos de partida para a identificação preliminar dos impactos prováveis no estudo de sua vulnerabilidade ambiental.

Na maioria das vezes, os estudos de impacto ambiental são realizados quando há perspectiva de se encontrar impactos significativos. Estes, por sua vez, são geralmente originados de ações ou atividades de caráter tecnológico, como a extração de minerais. Estabelece-se, assim, uma relação de causa e efeito, na qual as ações são a causa de alterações de processos ambientais que, por sua vez, modificam a qualidade do ambiente - ou, em outras palavras, induzem a impactos ambientais (SÁNCHEZ, 2013).

O tipo de informação necessária para lograr um bom entendimento da atividade é muito diferente para cada etapa do seu ciclo de vida. Enquanto o licenciamento ambiental convencional de atividades poluidoras focaliza essencialmente a etapa de operação, a avaliação de impacto ambiental deve abordar o projeto “do berço ao túmulo”. Avaliar os impactos é uma forma de classificá-los, de separar os mais importantes dos demais e deve ser reconhecida a inevitabilidade da subjetividade nas avaliações (SÁNCHEZ, 2013).

Em 2003, a BRACAL apresentou um estudo de impacto ambiental em forma de um Relatório de Controle Ambiental e um Plano de Controle Ambiental, que de acordo com o próprio documento, visava conseguir a licença prévia para o empreendimento. A literatura traz diversas sugestões para a escolha de critérios de avaliação da importância dos impactos, mas não há receitas universais em avaliação de impactos. A forma mais simples de classificar impactos consiste em (i) definir os atributos que serão utilizados para caracterizar o impacto e que podem ser usados para descrevê-lo, (ii) estabelecer uma escala para cada um deles e (iii) combiná-los mediante um conjunto de regras lógicas (o critério de avaliação) (SÁNCHEZ, 2013). Os critérios de impactos apresentados no RCA/PCA (2003) foram classificados em forma de atributos, citados a seguir, em termos de natureza, área de influência, tempo de ocorrência, reversibilidade, intensidade, abrangência e duração.

- A. Natureza: positivo ou negativo
- B. Influência: direto ou indireto
- C. Extensão: local ou regional
- D. Tempo de ocorrência: imediato (curto prazo) ou longo prazo
- E. Duração: temporário ou permanente
- F. Reversibilidade: reversível ou irreversível
- G. Intensidade: baixa, média ou alta

Alguns dos impactos negativos citados no RCA foram selecionados como os mais relevantes para o presente estudo. Os impactos positivos não serão abordados. Os negativos que foram selecionados estão transcritos a seguir.

1. Alteração da paisagem: a alteração da paisagem é o impacto de maior visibilidade na área. Na paisagem, antes ocupada pelos morros, ocorrerá desmatamento, remoção de solo e de rocha e áreas degradadas associadas (pátio de estocagem, área de manobra, vias de acesso), que serão gradativamente expandidos. Este é um impacto negativo direto, local, imediato, permanente, irreversível e de alta intensidade.

2. Alteração dos resultados dos processos geológicos: trata-se dos processos de erosão linear e laminar, formando sulcos e ravinas, e assoreando cursos d'água, que podem agir sobre a

região, uma vez que a movimentação de terra expôs uma grande área. Há ainda, os processos de mudanças na dinâmica de infiltração e armazenamento das águas de subsuperfície. Este é um impacto negativo, indireto, local, em médio prazo, permanente, irreversível e de média intensidade.

3. Alteração das feições geomorfológicas e das encostas: trata-se dos processos de alteração do maciço, que no caso da lavra de areia, são modificados pelas técnicas de extração. A disposição caótica dos rejeitos pode causar instabilidade nas encostas. Este é um impacto negativo, direto, local, a longo prazo, permanente, irreversível e de média intensidade.

4. Alteração dos recursos hídricos: devido à localização da frente de lavra, alguns problemas de impacto serão registrados, como o assoreamento da borda do morro. Será construída uma barragem de pedras, que funcionará como uma espécie de filtro, que deixa passar apenas a água. Trata-se de um impacto negativo, indireto, local, imediato, temporário, reversível e de baixa intensidade.

5. Alteração do meio atmosférico: trata-se de ruídos excessivos e geração de poeiras pelo tráfego de caminhões por estradas não pavimentadas. No caso do areal em estudo, este impacto é negativo, direto, local, imediato, temporário, reversível e de baixa intensidade.

6. Alteração na fauna e na flora: devido ao desmatamento (retirada da vegetação atual) para a abertura da lavra de areia, das vias de acesso, área de estocagem e manobra, tanto o estrato herbáceo quanto o estrato arbustivo serão retirados. Na fase de operação, a fauna pode ser atingida pelo excesso de ruído de alguns equipamentos. Este é um impacto negativo, direto, local, imediato, permanente, irreversível e de baixa intensidade.

Dessa forma, é possível notar como a exploração mineral de areia que está sendo realizada na área de estudo é um empreendimento com potencial de impacto. De um modo geral, a exploração pode causar impacto significativo ao meio ambiente, pois implica supressão de vegetação, alteração das feições geomorfológicas e das encostas, exposição do solo aos processos erosivos, compactação do solo e mudança na infiltração das águas da chuva, alteração na qualidade dos recursos hídricos, além de causar poluição do ar, entre outros aspectos.

3.5. Medidas mitigadoras e compensatórias

De acordo com Sánchez (2013), costuma-se abrigar o termo genérico de “medidas mitigadoras” a designação do conjunto de ações a serem executadas visando a reduzir os

impactos negativos de um empreendimento. Dentro da perspectiva preventiva que norteia a avaliação de impacto ambiental, trata-se de antever quais serão os principais impactos negativos e buscar medidas para evitar que ocorram, ou para reduzir sua magnitude ou sua importância.

As medidas mitigadoras podem ser medidas mitigadoras preventivas, que têm como objetivo minimizar ou eliminar eventos adversos que se apresentam com potencial para causar prejuízos ao meio natural. As medidas mitigadoras corretivas devem restabelecer a situação anterior à ocorrência de algum dano; as medidas compensatórias, por sua vez, consistem naquelas que procuram repor bens socioambientais perdidos em decorrência de ações diretas ou indiretas do empreendimento, e; as medidas de atenuação visam otimizar e maximizar o efeito de um impacto positivo decorrente direta ou indiretamente da implantação do empreendimento.

A mineração é uma atividade que modifica o meio ambiente e pode acelerar ou retardar processos e alterações do meio ambiente que podem ser significativos, necessitando, assim, da implementação de medidas de mitigação e também monitoramento durante a vida útil do empreendimento.

MITIGAÇÃO E COMPENSAÇÃO NO LICENCIAMENTO DAS ATIVIDADES DA BRACAL

No Relatório de Controle Ambiental apresentado pela BRACAL, em 2003, está descrito uma série de medidas que visam minimizar e mitigar os impactos decorrentes da exploração. Dentre as medidas estão: a) o cumprimento rigoroso do Plano de Lavra, de modo a proceder uma escavação ordenada, armazenando as terras de cobertura em pilhas para sua posterior utilização; b) modelagem dos terrenos afetados pela escavação para aplicação do Plano de Recuperação Paisagística; c) construção de uma bacia de retenção de óleos e posterior encaminhamento para empresa credenciada para o tratamento destes resíduos; d) preservação da vegetação natural nas áreas não afetadas com a constituição de uma cortina arbórea no perímetro da área afetada constituídos por vegetação de grande porte e de folhas persistentes; e) criação de um sistema de drenagem artificial com a canalização de todas as águas pluviais para reservatórios; f) redução dos taludes de escavação e do “bota fora” para reduzir a velocidade e a capacidade erosiva das águas pluviais; g) captação e canalização das águas contaminadas para locais de tratamento (tanques de decantação); h) umedecimento por aspersão controlada de água nas vias de tráfego; entre outras.

Na segunda etapa do estudo é apresentado o Plano de Controle Ambiental, que visa assegurar o cumprimento das medidas propostas, tanto para a conservação da vegetação nativa como para a revegetação das áreas degradadas, ou seja, das áreas de passivo ambiental e das áreas às quais será inevitável a supressão da vegetação em decorrência da lavra mineral. Nesse PCA, a BRACAL garante que as medidas de controle ambiental, adotadas para o empreendimento, como a recuperação das áreas já degradadas à qual pertence a fazenda Rafaela e as medidas de minimização dos impactos causados pela exploração promoverão uma exploração completamente segura do ponto de vista ambiental. (RCA/PCA, 2003).

3.6. Vulnerabilidade Ambiental

Segundo Sánchez (2013), muitos dos impactos negativos considerados na avaliação de impacto ambiental somente se manifestam em caso de funcionamento anormal do empreendimento. As consequências do mau funcionamento do empreendimento podem ser mais significativas do que os impactos decorrentes de seu funcionamento normal. São situações que tipificam risco ambiental. O risco é conceituado como a contextualização de uma situação de perigo, ou seja, a possibilidade de materialização de um evento indesejado ocorrer e é uma atividade correlata à avaliação de impacto ambiental. A exemplo de possíveis riscos para as atividades de mineração, está o risco de desabamento e quedas de blocos, dependendo do método da lavra.

As ciências do comportamento têm se interessado pelo campo da percepção dos riscos, que estuda como as pessoas encaram situações perigosas. Geralmente, aqueles que se beneficiam com o empreendimento não são aqueles que deverão suportar os riscos (principalmente comunidades vizinhas), estabelecendo-se, então, um potencial de conflito. A percepção do risco pode até determinar a aceitação ou não do projeto, que modo que o envolvimento do público desde as fases iniciais pode facilitar a comunicação e a eventual aceitação do empreendimento. Compreender a percepção representa uma melhor visão do todo, com menos subjetividade e com mais eficácia na hora de controlar e monitorar os riscos ambientais a quais estão sujeitos o empreendimento ou a atividade em questão (SÁNCHEZ, 2013).

Os conceitos de risco têm sido utilizados em diversas ciências e ramos do conhecimento e em diversas situações o termo risco é substituído ou associa-se a vulnerabilidade. Dessa forma, é necessário conceituar e diferenciar os termos. Neste trabalho, considera-se o risco

ambiental como a “contextualização de uma situação de perigo ou de um evento indesejado ocorrer” (SÁNCHEZ, 2013), e este pode afetar a vulnerabilidade do meio, a depender da sua frequência de ocorrência.

No presente estudo, a vulnerabilidade ambiental será definida de acordo com Aquino et al. (2017), que a define como o grau em que um sistema natural é suscetível ou incapaz de lidar com os efeitos das interações externas. Pode ser decorrente de características ambientais naturais e/ou de pressão causada por atividade antrópica, ou ainda de sistemas frágeis de baixa resiliência, isto é, a capacidade concreta do meio ambiente em retornar ao estado natural de excelência, superando uma situação crítica. Será priorizado o termo vulnerabilidade ambiental, pois entende-se que as situações de risco não estão desligadas do que ocorre no meio ambiente, seja o ambiente natural ou seja o ocupado pelo homem. A vulnerabilidade ambiental é um termo sintético que abriga os riscos naturais e os riscos decorrentes de processos naturais agravados pela atividade humana e pelo uso da terra.

Portanto, para a análise da vulnerabilidade ambiental, serão considerados fatores naturais ao meio ambiente, como a geologia, a pedologia e a declividade do terreno, entre outros, e será englobado a esses fatores outros aspectos como os de uso e cobertura do solo, que se refere às interferências antrópicas no meio, que agravam os aspectos naturais. Essa relação pode ser observada na Figura 3.3.

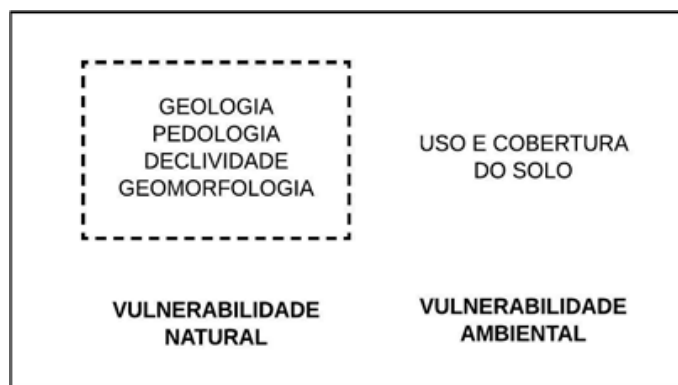


Figura 8.3: Fatores que afetam a vulnerabilidade ambiental.

Adaptado de Costa (2006).

De acordo com Ross (1994), a ecodinâmica corresponde à avaliação integrada de unidades territoriais. Dessa maneira, as propriedades dos solos, a supressão da vegetação, o manejo inadequado do ambiente pelo homem, aliados a outros diversos fatores, conduzem a desequilíbrios, que levam o meio ambiente ao aumento dos seus graus de instabilidade.

Dessa forma, a classificação do meio quanto aos seus níveis de instabilidade será obtida pela integralização dos mapas de suscetibilidade de fatores como geologia, declividade, pedologia do terreno, processos erosivos, recarga do aquífero, profundidade do nível da água e áreas inundáveis, além de mapas de uso e cobertura do solo. Essa integração dos mapas possibilitará o melhor diagnóstico das áreas mais sensíveis aos problemas ambientais.

3.6.1. Uso e Cobertura do Solo

O conhecimento sobre o uso e a cobertura do solo ganha destaque pela necessidade de garantir a sustentabilidade diante das dimensões ambientais, sociais e econômicas.

Os conceitos atribuídos à cobertura e ao uso da terra guardam íntima relação entre si e costumam ser aplicados alternativamente. Geralmente as atividades humanas estão diretamente relacionadas com o tipo de revestimento do solo, seja ele florestal, agrícola, residencial ou industrial. Dados de sensoriamento remoto, como fotografias aéreas e imagens de satélite, podem ser correlacionados com a cobertura da terra e usados para mapear o tema. Entretanto, como o sensor remoto não registra a atividade diretamente, mas características da superfície da terra que retratam o revestimento do solo, as atividades de uso da terra correlacionadas à cobertura, precisam ser interpretadas a partir de modelos, tonalidades, texturas, formas, arranjos espaciais das atividades e localização no terreno (IBGE, 2013).

Essa interpretação e classificação das atividades é fundamental para entender a dinâmica de ocupação do espaço e uma avaliação multitemporal permite uma melhor análise dos processos de ocupação antrópica.

3.6.2. Processos erosivos

De acordo com Camapum de Carvalho et al. (2006), a erosão compreende um conjunto de fenômenos naturais envolvendo a formação de materiais detríticos provenientes da decomposição e desagregação das rochas e dos solos. Ela age continuamente na superfície da Terra e representa um dos principais agentes naturais de transformação fisiográfica do planeta, governado por agentes tais como o clima, ação das águas e vento, características do relevo, atividade biológica nos solos e, por último, e não menos importante, pela ação antrópica. Os processos erosivos, sejam de causas naturais ou antrópicas, podem ser entendidos a partir de fatores condicionantes aos terrenos, como os geológicos,

geomorfológicos e pedológicos. A variação desses parâmetros imprimirá aos terrenos a maior ou menor suscetibilidade à erosão. Os impactos relacionados à exploração mineral ora em curso podem ser identificados principalmente com relação ao solo, como a perda de cobertura vegetal, o que acelera os processos erosivos e de lixiviação. A destruição da cobertura vegetal provoca alterações na velocidade do escoamento superficial e diminui a infiltração da água no solo. Dessa forma, a cobertura vegetal representa a proteção do solo contra os efeitos dos processos modificadores das formas de relevo e sua retirada para práticas de mineração coloca a erosão em estágios avançados de degradação, quando há a ausência de sistemas de drenagem.

A princípio, a erosão pode ser classificada de acordo com o tipo de agente que influencia na sua gênese, podendo ser eólica, glacial ou hídrica. A erosão hídrica é um tipo muito comum e bastante abordado pela literatura e pode ser subdividida em pluvial, fluvial e marinha. A erosão hídrica pluvial pode se manifestar de forma linear ou laminar (SILVA, 2009).

De acordo com Bertoni et al., (2008), essa classificação está dentro dos estádios correspondentes à progressiva concentração de enxurrada na superfície do solo. A erosão laminar é a lavagem da superfície do solo nos terrenos, causada pelo impacto da chuva; em seguida, a erosão se dá em sulcos, que é a concentração de água escorrendo em pequenos sulcos, e depois a erosão em voçorocas, quando os sulcos foram bastante erodidos em largura e profundidade.

Ainda do mesmo autor, apresenta-se as formas clássicas de erosão:

(a) Erosão linear: Os danos causados pelas gotas da chuva que golpeiam o solo a uma alta velocidade constituem o primeiro processo da erosão. As gotas podem ser consideradas como bombas em miniatura que golpeiam a superfície do solo. Uma gota golpeando um solo úmido forma uma cratera, compactando a área imediatamente sob o centro da gota, movimentando as partículas soltas para fora em um círculo em volta da sua área. Quando a intensidade da chuva é maior que a capacidade de infiltração do solo, as depressões nas superfícies se enchem de água e causam a enxurrada, que rompe as partículas do solo e ficam em suspensão na água. Essas partículas mais finas, que são as de maior valor, causam uma compactação na superfície do terreno, reduzindo a capacidade do solo de absorver a água e aumentando a enxurrada na superfície.

(b) Erosão laminar: A remoção de camadas delgadas de solo sobre uma área é a forma de erosão menos notada, e por isso a mais perigosa. A erosão laminar arrasta primeiro as partículas mais leves do solo e considerando que a parte mais

ativa do solo é a de maior valor é integrada por essas partículas menores, julga-se seus efeitos sobre a fertilidade do solo. A erosão laminar é um processo de remoção de camada do solo superficial, provocada por fluxo hídrico não concentrado, ao contrário da erosão linear. Cada pequena porção de água toma caminho de menor resistência e ganha velocidade à medida que a lâmina de água e a declividade do terreno aumentam.

Na modelagem do processo de erosão dos solos pode-se ter uma estimativa da perda de solo, podendo prever onde e quando ocorre o processo de erosão, auxiliando nos planejamentos de conservação.

3.6.2.1 Suscetibilidade à erosão linear

No estudo dos processos de erosão linear são consideradas características fisiográficas do terreno quanto a sua geomorfologia e a sua pedologia, correspondendo à avaliação integrada de unidades territoriais como a pedologia, a geologia e a declividade do terreno.

Para sua estimativa leva-se em conta geoindicadores, conforme apresentado por Almeida et al. 2017. No estudo dos processos de erosão linear são consideradas características fisiográficas do terreno quanto a sua geomorfologia e a sua pedologia, correspondendo à avaliação integrada de unidades territoriais como a pedologia, a geologia e a declividade do terreno.

3.6.2.2 Suscetibilidade à erosão laminar

De acordo com Almeida et al. (2012), o emprego de modelos empíricos, como a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) ou USLE (Universal Soil Loss Equation), permite, por meio da produção de cartas geotécnicas, avaliar a erosão laminar potencial e realizar sua representação cartográfica. Dentre os produtos intermediários dessas cartas geotécnicas está o mapa de uso e cobertura do solo. Este mapa traduz, por sua vez, as interferências antrópicas na paisagem, que são as de maior peso na gênese de processos erosivos laminares. A EUPS foi desenvolvida em 1954, pelo National Runoff and Soil Loss Data Center e pela Agricultural Research Service em colaboração com a Universidade de Perdue (USA) e revisada por Wischmeier & Smith (1965 e 1978), incorporando os novos dados tais como: (a) índice de erosão de chuva; (b) um método para avaliar os efeitos do manejo de uma

cultura levando em consideração as condições climáticas; (c) um fator quantitativo de erodibilidade do solo e (d) um método que leva em consideração os efeitos a associação de certas variáveis, tais como nível de produtividade, sequência de culturas e manejo dos resíduos (Bertoni et al., 2008).

A Equação Universal de Perdas de Solo é o modelo empírico de estimativa da perda de solo mais difundida em nível mundial e serve como uma importante ferramenta no mapeamento em SIG da suscetibilidade à erosão laminar.

A EUPS apresenta a seguinte formulação:

$$A = R * K * L * S * C * P \quad \text{Equação 1}$$

Onde “A” é a perda de solo, em ton/ha.ano; “R” é o fator de erosividade das chuvas, em Mj.mm/ha.h.ano; “K” é o fator de erodibilidade do solo, em ton.h/Mj.mm; “L” é o fator comprimento de rampa (m); “S” é a declividade (%); “C” é o fator uso e manejo (adimensional) e “P” é o fator práticas conservacionistas (adimensional).

Dessa forma, para avaliar as perdas de solos, devem ser considerados fatores como a erosividade causada pela chuva por intermédio da precipitação pluviométrica, a erodibilidade dos tipos de solos, a declividade e o comprimento de rampa, o uso do solo e práticas conservacionistas complementares.

A erodibilidade do solo e a erosividade da chuva são dois importantes fatores físicos que afetam a magnitude da erosão do solo. Mesmo que a chuva, a declividade do terreno e a cobertura vegetal sejam as mesmas, alguns solos são mais susceptíveis ao destacamento e ao transporte, pelos agentes de erosão, que outros. Essa diferença, devida às propriedades do solo, é conhecida como erodibilidade do solo (LIMA, 2003).

3.6.3. Profundidade do lençol freático

Para execução de qualquer atividade de mineração, independente de suas dimensões, é necessário o conhecimento do solo onde ela será realizada, a fim de evitar problemas futuros. Nesse contexto, um dos principais aspectos a se considerar é a profundidade do lençol freático no local. O posicionamento do nível d’água subterrânea em um lençol freático em relação à superfície é uma informação importante durante a execução das atividades, pois sendo comprovado que ele irá interferir na etapa de escavações do terreno, por exemplo,

pode-se fazer necessário o rebaixamento do lençol freático. Essa importância também se deve ao fato de que, caso haja a contaminação do solo na fase de operação das atividades, a profundidade do nível da água em um lençol freático determina a profundidade do material através do qual um contaminante se propaga antes de atingir o lençol freático.

3.6.4. Recarga do aquífero

Embora haja o consenso da importância dos recursos hídricos subterrâneos, principalmente, no que tange ao abastecimento urbano, industrial e agrícola, ainda existem atividades antrópicas que causam impactos negativos sobre eles. Essas atividades causam a impermeabilização das áreas naturais de recarga e concentram o fluxo superficial da água gerando problemas como enchentes e inundações. Associado a falta de recarga de um aquífero, causada pela impermeabilização, encontramos a sobre-exploração da água subterrânea que pode causar o esgotamento do recurso inviabilizando-o para posterior utilização (Barbosa e Mattos, 2008). A recarga de um aquífero é a quantidade total de água (lâmina d'água) que percola a superfície do solo. Como nas atividades de mineração há a retirada da cobertura vegetal, há interferências no processo de infiltração da água da chuva, o que muda a dinâmica de recarregamento daquele aquífero.

3.6.5. Áreas inundáveis

De acordo com Camapum et al. (2018), a impermeabilização excessiva de áreas urbanas e periurbanas, geralmente, tem por consequência a ampliação do volume de água de chuva não infiltrado, acarretando dois problemas: o sistema de drenagem de águas pluviais não consegue responder à demanda, e a água não infiltrada ou não drenada dá lugar a alagamentos, inundações e erosões. Muitas vezes a ampliação da rede de drenagem de águas pluviais não resolve o problema; aliás, pode dar origem ao fenômeno da inundação propriamente dita quando a calha receptora não suporta o volume de água aportado por tais sistemas de drenagem. A solução do problema recorrente, assim como a ação preventiva em relação a novos espaços a serem ocupados passam por adoções de medidas estruturais e não estruturais. Como medidas estruturais, a solução ideal aponta para a necessidade de criar condições para infiltração da água de chuva próxima ao local onde é gerado o volume excedente. Essas condições podem ser geradas, dentre outras medidas, por meio da

construção de reservatórios de armazenamento, bacias de retenção, bacias de detenção, poços, trincheiras, valas de infiltração, revegetação. Podem ainda ser adotadas soluções construtivas que reduzam o volume de água a ser drenado por esses sistemas, como a captação da água da chuva para uso próprio e a adoção de pavimentos drenantes. A preservação de áreas verdes no que concerne aos alagamentos e às inundações é importante por reduzir o volume de águas pluviais excedente, sem que, no entanto, resolva de modo isolado o problema gerado pelas impermeabilizações excessivas. Ela tem função mitigadora e contribui para a recarga do aquífero. As medidas não estruturais incluem, por exemplo, as normas e os regulamentos que disciplinam a ocupação e uso do solo e a conscientização da população por meio da educação formal e não formal. As ações não estruturais são muito menos onerosas, surtem efeito ao longo do tempo e, geralmente, contribuem para a redução de custos das ações estruturais. A infiltração concentrada da água da chuva, além de comumente proporcionar a perda de resistência do solo quando este se encontra inicialmente em estado não saturado, pode ainda dar origem ao fenômeno da erosão interna, desencadeando ou ampliando processos erosivos ou gerando subsidências na superfície do terreno.

Dessa forma, a análise da vulnerabilidade ambiental, devido à suscetibilidade à inundações, mostra-se relevante, pois, com a intensificação dos processos de impermeabilização e erosão crescente do solo que podem ser gerados pela exploração mineral e pelas ocupações antrópicas, há alterações no fluxo dos rios e dos reservatórios, em razão de assoreamentos, tornando a área mais suscetível a processos de inundações.

Segundo Tucci (2005), quando a precipitação é intensa, a quantidade de água que chega simultaneamente no córrego pode ser superior ao que este comporta, ou seja, o volume gerado pelo escoamento superficial supera a capacidade normal de drenagem da sua calha, ocasionando em transbordamentos e inundações das áreas ribeirinhas. Os problemas resultantes das inundações dependem do grau de ocupação das várzeas (margens dos rios) pela população e da frequência com a qual as inundações ocorrem.

Dessa forma, a necessidade da predição do alcance da faixa de inundações tem crescido e se tornado uma tarefa fundamental para os engenheiros e gestores e para isso, o HEC-RAS, um software desenvolvido pela Hydrologic Engineering Center (HEC) do United States Army Corps of Engineers (USACE), realiza cálculos hidráulicos para rede de canais naturais ou construídos, em 1D e 2D, e tem sido um dos programas de modelagem hidráulica mais utilizados para tal finalidade, com aplicação bem sucedida em inúmeros estudos associados à análise de escoamento de rios. Aliado a isso, a falta de dados fluviométricos consistentes

e representativos vem sendo um dos maiores problemas enfrentados durante a análise e avaliação do regime hidrológico de bacias hidrográficas brasileiras. Desta forma, modelos de transformação de chuvas em vazões, como o método proposto por Ven te Chow – Soil Conservation Service (SCS), tornam-se fundamentais para um país que possui poucos dados fluviométricos.

O método proposto por Ven Te Chow tem sido utilizado em estimativas de vazões máximas, ou seja, das vazões de projeto para previsão de enchentes. A estimativa das vazões de projeto é feita com base nos dados de chuvas intensas que ocorrem na respectiva bacia em estudo. De acordo com Nunes e Fiori (2007), o método utiliza as hipóteses de hidrograma unitário, considerando que o fenômeno de transformação da chuva em vazão é regido por equações lineares. Dessa forma, as chuvas efetivas são proporcionais às vazões máximas e são as maiores responsáveis pelas vazões de cheias, principalmente em bacias como a bacia do Ribeirão Sobradinho, que são urbanizadas. A impermeabilização do solo, que normalmente é acompanhada pelo processo de urbanização, é a principal geradora da alteração da parcela da chuva que escoar superficialmente.

3.7.Sensoriamento Remoto (SR)

A necessidade crescente de representação do espaço geográfico e dos fenômenos possibilitou o surgimento de avanços tecnológicos como a cartografia digital, o sensoriamento remoto (SR) e o geoprocessamento (SIG).

Segundo Moraes (2002), o Sensoriamento Remoto pode ser entendido como um conjunto de atividades que permite a obtenção de informações dos objetos que compõem a superfície terrestre sem a necessidade de contato direto com os mesmos. Estas atividades envolvem a detecção, aquisição e análise (interpretação e extração de informações) da energia eletromagnética emitida ou refletida pelos objetos terrestres e registradas por sensores remotos. A energia eletromagnética utilizada na obtenção dos dados por sensoriamento remoto é também denominada de radiação eletromagnética.

Ainda de acordo com Moraes (2002), a quantidade e qualidade da energia eletromagnética refletida e emitida pelos objetos terrestres resulta das interações entre a energia eletromagnética e estes objetos. Essas interações são determinadas pelas propriedades físico-químicas e biológicas desses objetos e podem ser identificadas nas imagens e nos dados de sensores remotos. Portanto, a energia eletromagnética refletida e emitida pelos objetos

terrestres é a base de dados para todo o processo de sua identificação, pois ela permite quantificar a energia espectral refletida e/ou emitida por estes, e assim avaliar suas principais características. Logo, os sensores remotos são ferramentas indispensáveis para a realização de inventários, de mapeamento e de monitoramento de recursos naturais.

3.7.1. Imagem digital de sensores remotos

Segunda a EMBRAPA (2018), a série Landsat (Land Remote Sensing Satellite), iniciou em 1972 com o lançamento do satélite ERTS-1. Ela teve sequência com os Landsat 2, 3, 4 e sobretudo com o Landsat 5, 7 e 8. O principal objetivo do sistema de satélites Landsat foi o mapeamento multispectral em alta resolução da superfície da Terra. É o sistema orbital mais utilizado na Embrapa no Monitoramento por Satélite para mapeamento da dinâmica do uso das terras e em todas as suas aplicações decorrentes.

O programa Landsat foi desenvolvido pela NASA (National Aeronautics and Space Administration) com o objetivo de coletar dados sobre os recursos naturais renováveis e não-renováveis da superfície terrestre. Lançado em 1º de março de 1984 e tendo suas coletas finalizadas em 2011, o Landsat 5 apresentava uma resolução temporal de 16 dias. Existiam dois sensores a bordo do satélite Landsat 5, o MSS (Multispectral Scanner Subsystem) e o TM (Thematic Mapper) (EMBRAPA, 2018). No Brasil, quase que a totalidade dos trabalhos desenvolvidos na área de recursos naturais, utiliza dados coletados destes sensores. O sensor TM possui uma resolução espacial de 30m nas bandas localizadas no visível (V), infravermelho próximo (IVP) e médio (IVM), e uma resolução de 120m na banda do infravermelho termal (IVT).

O Landsat 7 foi lançado em 15 de abril de 1999. A bordo deste satélite está o sensor ETM+(Enhanced Thematic Mapper Plus) que possui bandas no visível (V), infravermelho próximo (IVP) e médio (IVM) com uma resolução de 30m, além destas possui uma banda pancromática de 15m e outra no infravermelho termal (IVT) de 60m. O Landsat 7 operou corretamente até maio de 2003, quando passou a apresentar problemas de recepção.

O Landsat 8 é o oitavo da série e envia imagens com mais detalhes, cores mais reais e apresenta melhor definição, além de tirar duas vezes mais fotografias diárias que o Landsat 1. Foi lançado em 11 de fevereiro de 2013 e está em operação. A bordo do Landsat 8 está o sensor OLI (Operational Terra Imager) e TIRS (Thermal Infrared Sensor), de 15 a 30 metros de resolução espacial em de seus dados multiespectrais.

3.7.2.ALOS

O satélite ALOS foi lançado em 24 de janeiro de 2006 pela Japan Aerospace Exploration Agency – JAXA, no centro espacial de Tanegashima (Japão) e entrou na fase operacional e fornecimento de dados ao público em 24 de outubro de 2006. A ele foram incorporadas características necessárias aos satélites modernos de alta resolução: a grande velocidade e capacidade de tratamento dos dados e a precisão avançada na determinação de seu posicionamento espacial, já que possui sistema de controle de órbita e altitude baseados em GPS de dupla frequência e rastreador de estrelas (EMBRAPA). O satélite ALOS adquiriu dados de altimetria da área de estudo e é indispensável para o presente trabalho por permitir a produção de um Modelo Digital de Elevação (MDE).

Para a representação de uma superfície real no computador é indispensável a criação de um MDE, podendo ser por equações analíticas ou por uma rede de pontos na forma de uma grade de pontos regulares e ou irregulares. A partir dos modelos pode-se calcular volumes, áreas, desenhar perfis e seções transversais, gerar imagens sombreadas ou em níveis de cinza, gerar mapas de declividade e exposição, gerar fatiamentos em intervalos desejados e perspectivas tridimensionais.

No processo de modelagem numérica de terreno podemos distinguir três fases: aquisição dos dados, geração de grades e elaboração de produtos representando as informações obtidas.

3.7.Geoprocessamento de imagens

Para realizar análises com dados espaciais e oferecer meios para o entendimento da ocupação do espaço físico usualmente são utilizados produtos do sensoriamento remoto e algoritmos de geoprocessamento inseridos em SIG.

O SIG integra numa única base de dados informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno, entre outros. Oferece mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, para consultar, recuperar e visualizar o conteúdo da base de dados e gerar mapas. Assim, o SIG é uma ferramenta para produção de mapas, que oferece subsídios e suporte para a análise espacial de fenômenos, apresentando banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de

informação espacial. (INPE, 2018)

As técnicas voltadas para a análise de dados multidimensionais, adquiridos por diversos tipos de sensores recebem o nome de processamento digital de imagens, ou seja é a manipulação por meio de algoritmos de pré-processamento de imagens de sensoriamento remoto. O uso de imagens multiespectrais registradas por satélites tais como Landsat, RapidEye ou similares é uma valiosa técnica para a extração dos dados destinados às várias aplicações de pesquisa de recursos naturais. A obtenção das informações espectrais registradas pelos sistemas nas diferentes partes do espectro eletromagnético, visando a identificação e discriminação dos alvos de interesse, depende principalmente da qualidade da representação dos dados contidos nas imagens.

O processamento de imagens pode se dividir em pré-processamento, realce e classificação temática. O Pré-processamento refere-se ao processamento inicial de dados brutos para calibração radiométrica da imagem, correção de distorções geométricas e remoção de ruído. O Realce visa melhorar a qualidade da imagem, permitindo uma melhor discriminação dos objetos presentes na imagem. Na classificação temática são atribuídas classes aos objetos presentes na imagem (INPE, 2018).

Os sistemas de informações geográficas (SIG) como o ARCGIS e o SPRING são instrumentos computacionais do geoprocessamento, que possibilitam a realização de diversas análises espaciais, com custos relativamente mais baixo do que pesquisas e levantamentos de campo. Além disso, os dados históricos de sensoriamento remoto (SR) têm sido cada vez mais utilizados e explorados em ambiente computacional de um SIG para a visualização histórica do processo de uso e cobertura do solo, da análise da vulnerabilidade ambiental, da quantificação das perdas de solo e da determinação de áreas mais suscetíveis a processos erosivos.

3.7.1. Análise Multicritério em SIG

Com o passar do tempo, percebeu-se a necessidade de identificar e considerar simultaneamente muitos objetivos na análise e na solução dos problemas que envolvem à gestão de um território. A análise multicritério surge nesse contexto como instrumento de apoio à decisão no estudo de uma situação complexa, onde integra diferentes opções nas suas ações. A avaliação multicritério pode ser organizada com objetivo de produzir uma conclusão sintética simples no final da análise e isso tem considerável influência na

integração dos mapas e representa um grande avanço para a observação da vulnerabilidade ambiental.

Dentre os métodos de análise multicritério está a AHP – Analytic Hierarchy Process – metodologia proposta por Saaty (1991) para a tomada de decisão baseada na priorização de diversos critérios de escolha entre si, fundamentadas em uma coerência lógica. Essa metodologia é uma ferramenta de integralização utilizada em sistemas de geoprocessamento e se baseia na lógica fuzzy.

A lógica fuzzy não se restringe entre a escolha do verdadeiro e falso, do zero ou do 1, mas sim em vários níveis entre o verdadeiro e falso ou entre 0 e o 1. Este conceito é útil para a categorização de dados, ao contrário da lógica booleana que produz resultados com respostas rígidas. Os valores de diferentes critérios, normalmente, não são compatíveis, sendo necessário padronizar os fatores para uma mesma escala de valores, tornando possível sua integração. Possibilita ainda a construção de várias regras, que facilitam a modelagem dos problemas, tornando-os assim, menos complexos. Tal lógica atrai pesquisadores da área e diversos profissionais de tecnologia da informação, pelo fato dela tornar mais simples as soluções dos diversos problemas complexos existentes atualmente (RIGNEL et al., 2011). Os sistemas que utilizam essa lógica possibilitam um conhecimento amplo e integrado da área, por se aproximarem do “modelo cognitivo” utilizado na análise de problemas. Nesse sentido, a aquisição de informações ocorre de maneira mais simples, confiável e com menor proporção de erros não identificados (Almeida et al. 2017).

Para a aplicação da AHP, é preciso que sejam inicialmente definidas variáveis de entrada que serão consideradas na combinação final. Essa etapa é importante, pois é necessário que o problema seja analisado minuciosamente, para que os principais fatores que ocasionam os impactos estudados sejam considerados. Posteriormente, com as variáveis previamente definidas, é realizada uma combinação pareada; desse modo, é feito um julgamento de valor entre elas (Almeida et al. 2017). A escala comparativa de valores é proposta por Saaty (1991) e estão apresentados na Tabela 1.

De acordo com Almeida et al. (2017), a definição das prioridades, ou hierarquias, é a parte mais importante do processo. Para a sua realização, é necessário o conhecimento de cada um dos critérios e de sua importância na composição do mapa final.

O segundo passo é provavelmente ainda mais fundamental que o primeiro e refere-se ao poder real das hierarquias na natureza. Consiste em separar as coisas em grandes grupamentos ou agregados e, então, subdividir cada um desses, em grupamentos ainda menores e assim por diante. O propósito seria, então, obter as prioridades de todos os

elementos através de seus grupamentos. Este é um processo muito mais eficiente do que aqueles em que tentamos tratar todos os elementos juntos. Portanto, seria difícil decidirmos se pensamos em hierarquia por natureza, como alguns autores têm dito, ou se simplesmente as usamos porque nossa capacidade de processar informações é limitada. Em qualquer caso, representam modos eficientes de analisar problemas complexos (SAATY, 1991).

Tabela 1: Escala fundamental. Fonte: Saaty (1991).

Índice	Definição	Descrição
1	Igual importância	Os dois elementos contribuem igualmente para o Objetivo
3	Importância fraca	A experiência do avaliador diz que um elemento possui importância pouco maior que o outro para o objetivo
5	Importância forte	A experiência do avaliador diz que um elemento possui importância maior que o outro para o objetivo
7	Importância muito forte	A experiência do avaliador diz com alto grau de certeza que um elemento possui importância maior que o outro para o objetivo
9	Importância extrema	A experiência do avaliador diz com alto grau de certeza que um elemento possui importância maior que o outro para o objetivo
2,4,6,8	Valores intermediários	Utilizados na necessidade de um índice intermediário de importância

De posse da hierarquização, que são subjetivas, serão construídas as matrizes de decisão, que resultarão no peso de cada elemento. Por fim, deve-se verificar a consistência lógica das comparações realizadas, para o que o método propõe o cálculo da Razão de Consistência (RC), que possui um limiar superior de aceitação de 10%. Desse modo, caso a RC seja superior a 10%, é necessário refazer as comparações pareadas, pois não estão apresentando coerência lógica entre si e podem indicar a probabilidade de os valores da matriz terem sido gerados ao acaso (Almeida et al. 2017). Esses passos são resumidos a seguir na Figura 3.4.

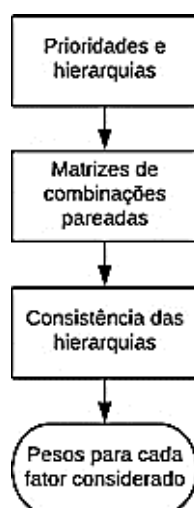


Figura 3.4: Passos simplificados para aplicação do método da AHP.

Elaboração própria.

As operações cartográficas de mapas de suscetibilidade, baseados na lógica fuzzy, podem ser feitas por meio de pesos diferenciados proporcionados pela AHP, que são combinados pelo método da Combinação Linear Ponderada, apresentado por Corseuil (2006), em ambiente SIG. De acordo com Almeida et al. 2017, na Combinação Linear Ponderada, os fatores baseiam-se em uma escala numérica comum, recebendo pesos e sendo combinados por meio de uma média ponderada. É um método que tem propriedade de possibilitar a compensação entre os fatores por meio da aplicação de pesos ponderados, o que significa que para uma qualidade ruim é atribuído um determinado critério, que pode ser compensado por um outro conjunto de boas qualidades. No contexto de álgebra de mapas, as junções de todos esses métodos permitem uma integração lógica e consistente dos fatores que interferem na vulnerabilidade ambiental do meio.

De posse dos pesos dos fatores, proporcionado pelo método AHP, é possível, por meio de um sistema de informações geográficas, que cada mapa de fator seja multiplicado (isto é, cada pixel de cada mapa) pelo seu peso, e então somados os resultados ao final do processo será gerado um mapa de vulnerabilidade ambiental da área de estudo, que indicará as áreas mais vulneráveis.

4.MATERIAIS E METODOLOGIA

4.1.Materiais

4.1.1.Software

Foram utilizados no presente trabalho os algoritmos de geoprocessamento constantes nos SIG ArcGis 10.5.1 e SPRING 5.4.3 para a classificação temática e produção de mapas de suscetibilidade à mineração, com auxílio do Google Earth Pro. Além destes, no que se refere a parte hidrológica, contou-se com a utilização do software HEC-RAS 5.0.7 para realizar a modelagem hidrológica e geração do mapa de suscetibilidade à inundação.

4.1.2.Estruturação da base de dados

A partir do catálogo de imagens de satélite LANDSAT, disponível para download no site do INPE, é possível escolher imagens multiespectrais a serem utilizadas na análise temporal do uso e da cobertura do solo para os anos de 2005, 2011 e 2018, correspondentes ao período de seca. O ano de 2005 se refere a data de início das atividades de exploração, o ano de 2011 seria uma data intermediária e o ano de 2018 seria de data mais recente. Estas imagens foram adquiridas gratuitamente no Departamento de Geração de Imagens – DGI e para todos os anos foram adquiridas imagens referentes ao mês de agosto, período de seca no Distrito Federal.

As bases cartográficas utilizadas para confecção do mapa de vulnerabilidade natural à mineração, em formato raster, correspondem ao mapa pedológico do DF (1:100.000), fornecido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, o mapa geológico do DF (1:250.000), fornecido pela empresa governamental brasileira Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM, aos planos de informações (1:100.000) correspondentes à profundidade do nível d'água no DF, desenvolvidos por Aguiar (1997) em sua tese de doutorado, e ao risco de recarga do aquífero, obtidos pelo novo Zoneamento Ecológico-Econômico do DF (2019), além do MDE obtido pelo satélite ALOS.

As características de cada um desses produtos cartográficos listados podem ser vistos conforme a Figura 4.1 a seguir.

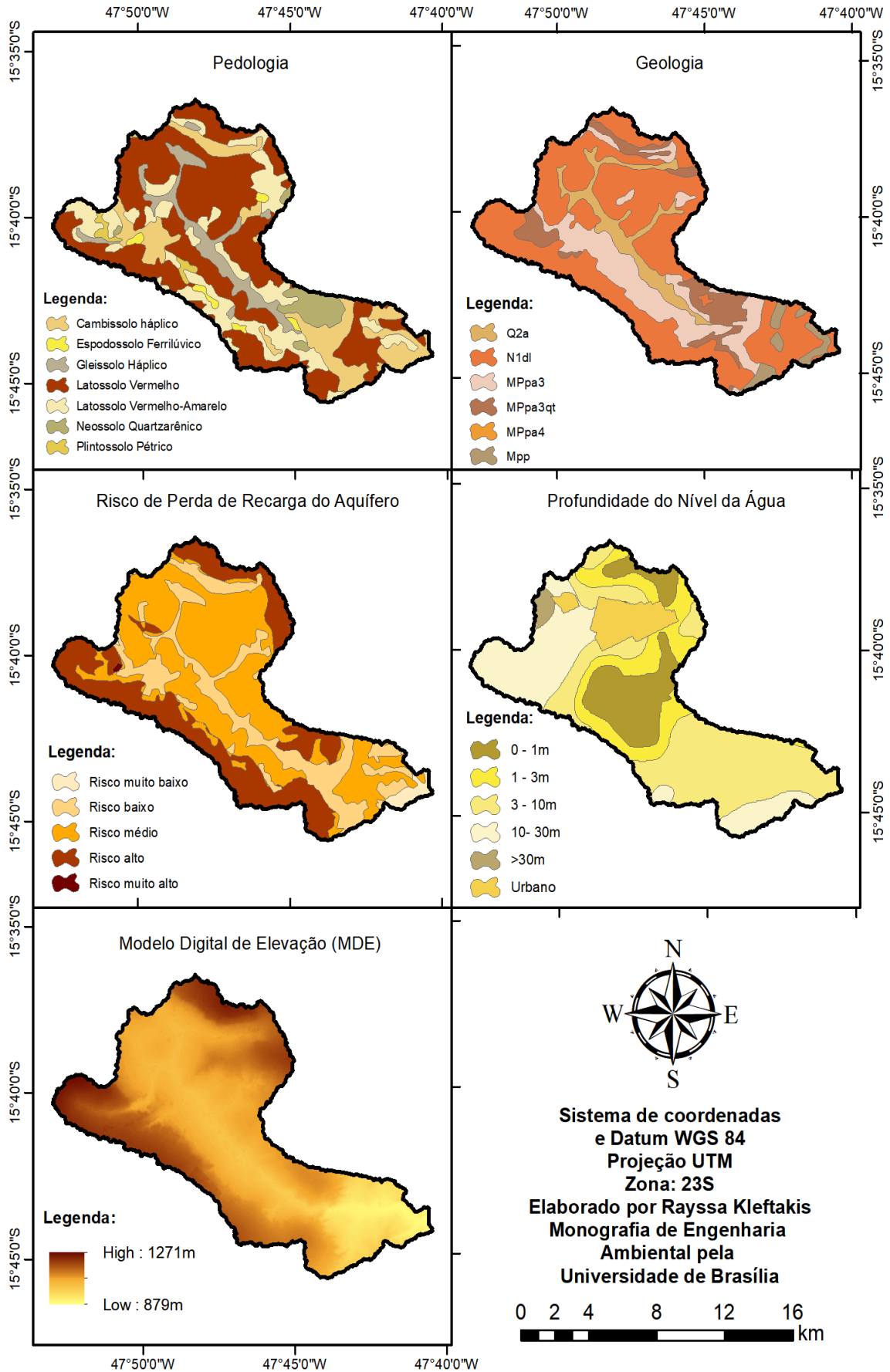


Figura 9.1: Produtos cartográficos utilizados.

Adicionado a essas informações, o levantamento de dados também contou com o auxílio de documentos referentes ao processo de licenciamento da BRACAL fornecidos pelo IBRAM, nos quais foram obtidos pela Lei de Acesso a Informação junto ao órgão, dados em shapefile dos cursos d'água do DF, obtidos pelo site GeoPortal do DF, que possui dados de infraestrutura do DF - IDE/DF, e também dados de pluviometria do sistema Hidroweb, da Agência Nacional de Águas (ANA), para fins de determinação da erosão laminar na área de estudo.

4.2. Metodologia

A metodologia adotada neste trabalho consiste basicamente nas 4 etapas que estão descritas a seguir e estão apresentadas no diagrama da Figura 4.2.

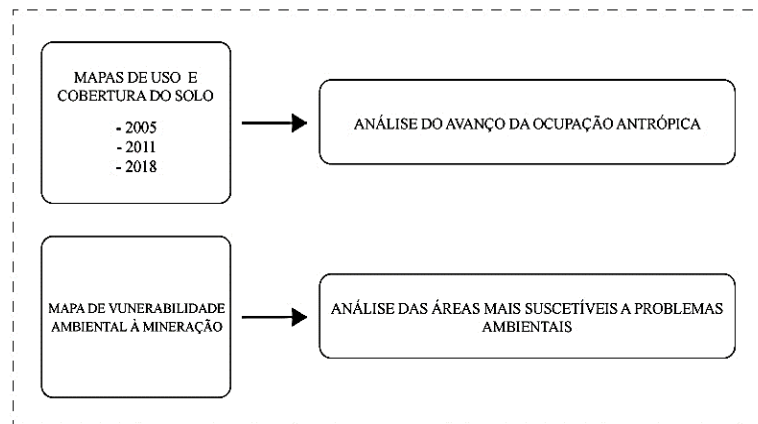
I. Mapas de uso e cobertura do solo: geração de mapas de uso e cobertura do solo, utilizando os programas SPRING e ARCGIS, referentes aos anos de 2005, 2011, e 2018, abrangendo toda a área da bacia do Ribeirão Sobradinho;

II. Elaboração do mapa de vulnerabilidade ambiental da bacia do Ribeirão Sobradinho: utilização de seis mapas intermediários que serão integrados em ambiente SIG, com seus respectivos pesos, obtidos pelo método da AHP, para obtenção final do mapa de vulnerabilidade à mineração. Os mapas intermediários de suscetibilidade são: ações antrópicas, erosão laminar, erosão linear, profundidade do nível da água, risco de recarga do aquífero e inundação.

III. Elaboração de um mapa de uso e cobertura do solo de uma pequena parcela da bacia em torno da exploração mineral, que se coloca como uma das áreas mais sensíveis aos problemas ambientais. A classificação desse mapa será obtido com uma imagem de satélite mais recente e de melhor resolução. Além disso, foi realizado uma visita técnica ao empreendimento para uma melhor avaliação dos impactos e das medidas mitigadoras realizadas pelo empreendimento.

IV. Apresentação e análise dos resultados: após aplicação da metodologia, os resultados obtidos foram avaliados, com os resultados avaliados foi possível obter conclusões sobre as questões relativas à análise de impactos ambientais realizados pela exploração mineral.

ANÁLISE SOBRE A SUB-BACIA DO RIB. SOBRADINHO



ANÁLISE SOBRE A BRACAL

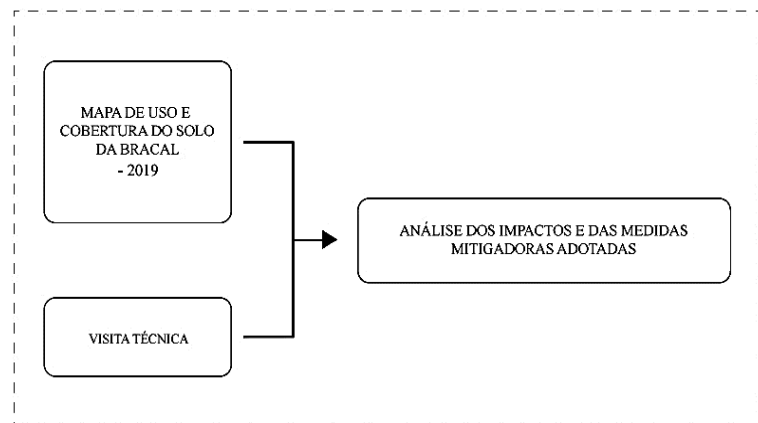


Figura 4.2: Representação esquemática da metodologia geral utilizada.

Os procedimentos adotados estão detalhados a seguir.

4.2.1 Mapas temáticos de uso e cobertura do solo

O método a seguir foi seguido para a produção dos mapas de uso e cobertura do solo de três períodos distintos, para os anos de 2005, 2011 e 2018 referentes aos meses da estação de seca na área de estudo.

A produção dos mapas de uso e cobertura do solo a partir das imagens de satélite obedeceu aos seguintes passos metodológicos citados em Almeida et al. (2017):

1. Realce de contraste: a técnica de realce de contraste tem por objetivo melhorar a qualidade das imagens sob os critérios subjetivos do olho humano. É normalmente utilizada como uma etapa de pré-processamento para sistemas de

reconhecimento de padrões. A manipulação do contraste consiste numa transferência radiométrica em cada "pixel", com o objetivo de aumentar a discriminação visual entre os objetos presentes na imagem. Pode-se fazer um realce de contraste utilizando-se uma função matemática denominada transformação radiométrica, que consiste em mapear as variações dentro do intervalo original de tons de cinza, para um outro intervalo desejado e é utilizado para aumentar o contraste de uma imagem, expandindo o intervalo original de níveis de cinza da imagem original.

2. Composição RGB: Em seguida, as imagens contrastadas serão sintetizadas em uma composição RGB e submetidas à análise de componentes principais (PCA). Observa-se frequentemente que bandas individuais de uma imagem multiespectral são altamente correlacionadas, ou seja, as bandas são similares visual e numericamente. Esta correlação advém do efeito de sombras resultantes da topografia, da sobreposição das janelas espectrais entre bandas adjacentes e do próprio comportamento espectral dos objetos. A geração de componentes principais é uma técnica de realce que reduz ou remove esta redundância espectral, ou seja, gera um novo conjunto de imagens cujas bandas individuais apresentam informações não-disponíveis em outras bandas.

3. Operações Aritméticas: operações aritméticas são operações "pixel" a "pixel" entre imagens de bandas diferentes, através de uma regra matemática definida, tendo como resultado uma banda representando a combinação das bandas originais. Nas bandas não contrastadas será aplicada a operação aritmética de razão normalizada, denominada Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN), com o objetivo de obter uma melhor separação entre o solo e a vegetação.

4. Segmentação: Após a obtenção das imagens, será aplicado o algoritmo de segmentação de imagens por crescimento de regiões, para agrupar os "pixels" adjacentes e semelhantes gerando regiões homogêneas. Serão realizados testes com valores de limiares de similaridade e de área para avaliar a melhor combinação com melhor resultado, a imagem segmentada será utilizada na classificação temática das imagens de satélite.

5. Treinamento: a seguir serão escolhidas amostras de aquisição e teste representativas de cada uma das classes de interesse que foram utilizadas para treinar o algoritmo de classificação por regiões disponível no SPRING. As

classes temáticas a serem empregadas representam a seguinte cobertura do solo: mata de galeria e cerradão (que representam áreas com densa vegetação), cerrado (vegetação mais esparsa e menos densa), campo limpo, área urbana, área rural de uso diversificado, corpos d'água, solo exposto, silvicultura e mineração.

6. Classificação: depois do treinamento será feita a classificação temática, que é o processo de extração de informação em imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos utilizados para mapear áreas da superfície terrestre que correspondem aos temas de interesse. Será adotado o classificador “Bhattacharyya”, que é um algoritmo de agrupamento de dados não supervisionados, aplicado sobre o conjunto de regiões já determinado. Os passos para a classificação são:

- Criar o arquivo de Contexto: este arquivo armazena quais as bandas espectrais das imagens que farão parte do processo de classificação por regiões.
- Extração de regiões: neste procedimento o algoritmo extrai as informações estatísticas de média e variável de cada região, considerando as bandas espectrais das imagens indicadas no contexto;
- Executar o treinamento: deve ser feita amostragens sobre uma imagem na área de desenho, criando as classes temáticas. Será utilizado imagens de alta resolução espacial do Google Earth com a finalidade de apoio na aquisição de amostras.
- Analisar as amostras: permite verificar a validade das amostras coletadas;
- Executar a Classificação: a partir das amostras obtidas na fase de treinamento a imagem é classificada pelo algoritmo “Bhattacharyya”, agrupando a imagem com as seguintes classes temáticas: mata de galeria e cerradão, cerrado, campo limpo, área urbana, área rural de uso diversificado, corpos d'água, solo exposto, silvicultura e mineração;
- Executar o mapeamento para classes: permite transformar a imagem classificada (categoria Imagem) para um mapa temático raster (categoria Temático), em seguida faz-se uma transformação de formato raster para vetorial produzindo o mapa de uso e cobertura do solo para o ano desejado.

7. Pós-processamento: A última etapa do processamento de imagens se refere a elaboração das cartas e vetorização/edição das imagens: as imagens temáticas resultantes foram vetorizadas e cada classe temática foi associada ao seu respectivo polígono. Em seguida, foi realizada uma edição vetorial, tendo por alicerce as imagens do Google Earth, de modo a eliminar dados espúrios gerados

no processo de classificação. Ao final do processo, têm-se os mapas de uso e cobertura do solo para os anos de 2005, 2011 e 2018.

Esses procedimentos metodológicos adotados são apresentados resumidamente no fluxograma da Figura 4.3 a seguir.

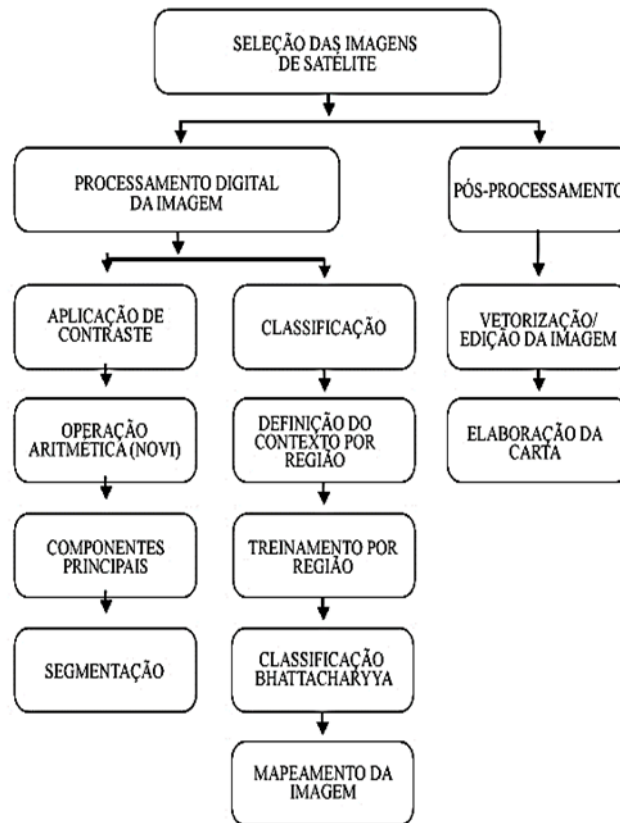


Figura 4.3: Procedimentos adotados para produção dos mapas de uso e ocupação do solo.

4.2.2. Mapa de vulnerabilidade ambiental

O método que foi utilizado é apresentado por Almeida et al. (2017), e foi adaptado pela presente pesquisa. Partiu-se de uma abordagem mais geral, consolidando os mapas intermediários em termos mais específicos. A princípio foram elencados todos os processos possíveis de ocorrer no meio ambiente, mas os que se sobressaíram são os processos de erosão e suas relações e os processos de ocupação antrópica. A produção do mapa de vulnerabilidade ambiental da área de estudo será obtida pela integralização dos mapas de suscetibilidade às ações antrópicas, à erosão laminar, à erosão linear, à profundidade do nível da água, ao risco de recarga do aquífero e à inundação em ambiente de Sistema de Informação Geográficas – SIG. Terá como base a lógica fuzzy e o método AHP como

algoritmo que se constituirá na técnica para definir os pesos da vulnerabilidade ambiental para o tema delimitado.

Os mapas intermediários obtidos serão submetidos a um processo de reclassificação, para valores de vulnerabilidade, para que no final sejam integrados em único mapa final de vulnerabilidade. Esses passos metodológicos estão apresentados na figura 4.4 a seguir.

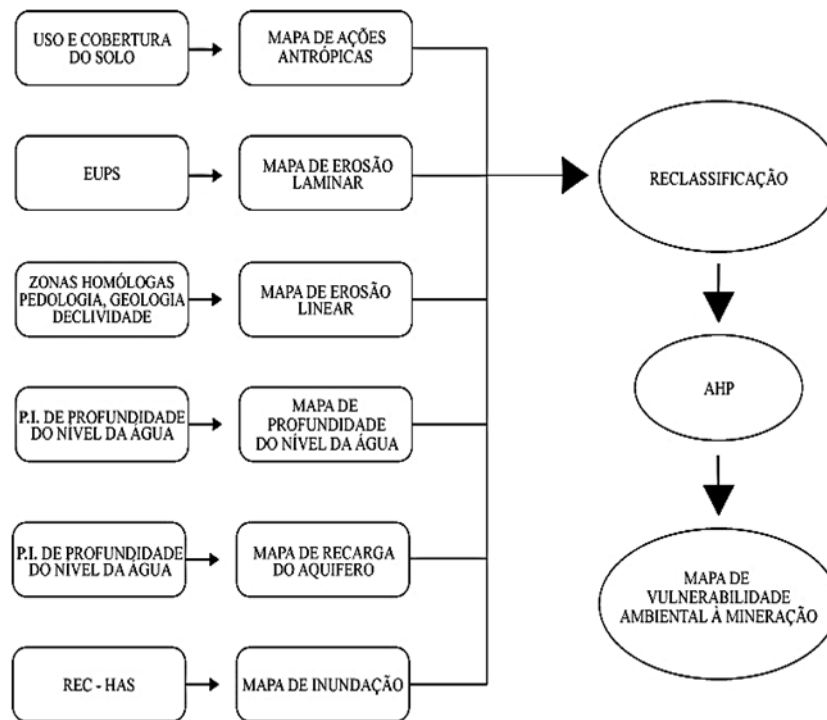


Figura 4.4: Procedimentos para a produção do mapa de vulnerabilidade ambiental.

Fonte: Adaptado de Almeida *et al.* (2017).

Os valores de classe de vulnerabilidade ambiental para cada um dos mapas de suscetibilidade a serem reclassificados, poderão variar de muito baixa a muito alta e estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Graus de vulnerabilidade adotados.

Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muito alta
1	2	3	4	5

Após terem sido definidos os mapas geotécnicos a serem considerados na área de estudo, foi necessário atribuir pesos a cada um deles, que foi gerado pelo método selecionado de Processo de Análise Hierárquica (AHP) proposto por Saaty (1991).

Dessa forma, foi elaborada uma matriz de comparação no EXCEL que correlaciona de forma pareada os atributos, que são os mapas intermediários obtidos, de forma a permitir a análise da importância relativa de cada um deles. A comparação é realizada para todos os níveis, tomando os elementos dois a dois. Isso significa que, para a avaliação de cada nível, todos os elementos englobados pelo nível serão comparados entre si. A comparação é realizada com base na escala proposta por Saaty, que vai de 1 a 9, cada nota representando o nível de importância de um elemento em relação ao outro. Os valores pares na escala (2, 4, 6 e 8) representam um julgamento intermediário entre os dois valores adjacentes.

De posse das notas atribuídas, que são subjetivas, serão calculadas as matrizes de comparação que resultarão no peso de cada elemento. Considerando uma matriz quadrada $m \times n$, para os elementos A_{mn} em que:

- $m < n$ (triângulo superior da matriz): cada elemento A_{mn} representará a nota atribuída para a avaliação do elemento m em relação ao elemento n ;
- $m = n$ (linha diagonal da matriz): todos os valores serão iguais a 1, visto que representa a comparação entre um elemento e ele mesmo;
- $m > n$ (triângulo inferior da matriz): cada elemento A_{mn} será o inverso do elemento correspondente no triângulo superior, de acordo com a premissa da reciprocidade. Ou seja, se o elemento 1 é 5 vezes mais importante que o elemento 2, $A_{12} = 5$. Pela reciprocidade, o elemento 2 deve ser 5 vezes menos importante que o elemento 1, assim, $A_{21} = \frac{1}{A_{12}} = \frac{1}{5}$.

Tendo como exemplo uma matriz 4×4 , segue a formação da matriz de comparações representada a seguir.

$$\begin{bmatrix} 1 & A_{12} & A_{13} & A_{14} \\ 1/A_{12} & 1 & A_{23} & A_{24} \\ 1/A_{13} & 1/A_{23} & 1 & A_{34} \\ 1/A_{14} & 1/A_{24} & 1/A_{34} & 1 \end{bmatrix}$$

Os elementos dessa matriz são:

- MG_m : Média Geométrica dos elementos de cada linha da matriz;
- S_{MG} : Soma das médias geométricas MG_m ;
- S : Soma dos valores de cada coluna da matriz;
- W_m : Peso das categorias analisadas.

Primeiro, calcula-se a média geométrica de cada linha da matriz.

$$MG_m = (A_{m1} \times A_{m2} \times \dots \times A_{mn})^{(1/n)} \quad \text{Equação 2}$$

Em seguida, calcula-se a soma das médias geométricas.

$$S_{MG} = \sum_{m=1}^n MG_m \quad \text{Equação 3}$$

O peso de cada categoria é, então, obtido através da relação entre a média geométrica da linha correspondente e a soma das médias geométricas.

$$W_m = \frac{MG_m}{S_{MG}} \quad \text{Equação 4}$$

Esse é o resultado principal de cada matriz. Porém, para validar a metodologia, deve-se verificar se as escolhas dos níveis de importância relativos foram coerentes. Para isso, é utilizado um índice de consistência dado por:

$$IC = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n-1} \quad \text{Equação 5}$$

Onde $\lambda_{m\acute{a}x}$ é a multiplicação do vetor-linha das somas das colunas, $[S]$, pelo vetor-coluna dos pesos, $[W_m]$:

$$\lambda_{m\acute{a}x} = [S] \times [W_m] \quad \text{Equação 6}$$

Por fim, calcula-se uma razão de consistência, dada pela relação entre o índice de consistência e um índice randômico tabelado elaborado por Saaty, que varia de acordo com o número de elementos (n) comparados. Os valores dos Índices Randômicos podem ser observados na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3 – Índices Randômicos propostos por Saaty (1987).

<i>n</i>	IR
1	0,00
2	0,00
3	0,58
4	0,90
5	1,12
6	1,24
7	1,32
8	1,41
9	1,45
10	1,49
11	1,51
12	1,48
13	1,56
14	1,57

Assim:

$$RC = \frac{IC}{\text{índice randômico}} \quad \text{Equação 7}$$

Se a razão de consistência for menor ou igual a 0,10, os julgamentos de importância dos elementos entre si estão validados e podem ser utilizados.

Como resultado, tem-se os pesos finais de cada mapa de suscetibilidade, no qual o somatório deve ser 1. De posse dos pesos obtidos pela AHP, é possível implementar todos os mapas no módulo *raster calculator* do ArcGis, utilizando-se da Equação 8 apresentada a seguir, fazendo o somatório da multiplicação de cada mapa em *raster* pelo seu respectivo peso encontrado na AHP, gerando o mapa final de vulnerabilidade ambiental.

$$MFVA = \sum_{n=1}^6 (MSn * Pn) \quad \text{Equação 8}$$

Onde: MFVA: Mapa final de vulnerabilidade ambiental;

MSn: Mapas intermediários de suscetibilidade e

Pn: Peso obtido pela AHP para cada mapa intermediário, sendo $n=1,2,3,4,5$ e 6.

Em seguida, são apresentadas as metodologias para obtenção de cada mapa intermediário.

4.2.1.1. Mapa de suscetibilidade às ações antrópicas

O mapa de suscetibilidade às ações antrópicas foi obtido a partir das classes temáticas das ações antrópicas dos mapas de uso e cobertura do solo dos anos de 2005, 2011 e 2018. Selecionou-se somente as classes referentes às áreas urbanas, ao solo exposto, à mineração e às práticas agrícolas, que foram incorporadas em um único arquivo *shapefile* no ArcGis. Esse mapa permite analisar a evolução temporal da urbanização na área da bacia do Ribeirão Sobradinho. Para cada ano com classes antrópicas mapeadas, foi adotado um grau de vulnerabilidade, levando-se em conta o fato de que a urbanização mais antiga está mais consolidada e geralmente são planejadas, ao passo que nas áreas mais novas se vê o crescimento desordenado, e por vezes, essas regiões são mais suscetíveis a problemas ambientais. Os valores de vulnerabilidade adotados para cada ano são apresentados na Tabela 4 a seguir.

Tabela 4: Valores de vulnerabilidade aplicado às ações antrópicas.

Ano (classe) de uso e cobertura o solo	Valor de vulnerabilidade atribuído
2005	2 – baixo
2011	3 – médio
2018	4 – alto

4.2.1.2 Mapa de suscetibilidade a processos erosivos laminares

Para a obtenção do mapa de erosão laminar, será aplicado o modelo da Equação Universal da Perda de Solo (EUPS), apresentada por Wischmeier & Smith (1978), na qual se implementou todos os fatores da Equação 1 no software ArcGIS, utilizando-se de ferramenta de álgebra de mapas.

Fator R: o fator chuva é um índice numérico que expressa a capacidade da chuva, esperada em cada localidade, de causar erosão laminar em uma área sem proteção (Bertoni *et al.*, 2008), ou seja, o poder erosivo na precipitação média anual da região. A erosividade da

chuva será estimada a partir de dados disponíveis com a utilização da Equação 9, a seguir, que se adequa para regiões intertropicais (Almeida *et al.* 2017).

$$EI30 = 67,355 * \left(\frac{r^2}{P}\right)^{0,85} \quad \text{Equação 9}$$

Onde: (EI) é a média mensal do índice de erosividade (MJ.mm/ha.h.ano); “r” é a média do total mensal (mm) e “P” é a média do total anual de precipitação (mm).

O valor R será obtido mediante a soma dos valores mensais para cada um dos índices de erosividade de cada estação pluviométrica que foi considerada.

$$R = \Sigma EI \quad \text{Equação 10}$$

Onde:

R = erosividade da chuva em MJ.mm/ha.h;

Fator K: o fator de erodibilidade do solo é uma das propriedades de comportamento dos solos de maior complexidade pelo grande número de variáveis que intervém no processo. O fator K representa a susceptibilidade do solo à erosão ou a falta de capacidade de resistir aos processos erosivos, o que varia de solo para solo (Bertoni *et al.*, 2008). Assim, foram atribuídos valores de K presentes na literatura pertinente que foram associados aos tipos de solo presentes no terreno. Foi utilizado o mapa de pedologia e a ferramenta *reclassify* do Arcgis 10.6. A classificação quanto às atribuições dos valores de vulnerabilidade foram realizadas de acordo com as características de cada solo e pelas pressões antrópicas presentes.

Na bibliografia existem vários procedimentos metodológicos para a obtenção do K. Baptista (1997) comparou os resultados de quatro procedimentos diferentes com os valores de K obtidos para diversos solos no país, por diversos autores, para poder escolher qual método indireto adotar e recomenda a utilização do nomograma de Wischmeier et al. (1971), por ser, dentre os métodos indiretos apresentados, o mais completo, pois contempla os aspectos texturais, estruturais e orgânicos, além da permeabilidade, exceto quando experimentos locais indicarem os valores de K. Dessa forma, os valores de K selecionados para a produção do mapa de erodibilidade se referem ao método nomográfico. A Tabela 5 a seguir apresenta

os principais tipos de solos existentes na microbacia do Ribeirão Sobradinho e os respectivos valores atribuídos de K.

Tabela 5: Valores de K atribuídos de acordo com Wischmeier et al. (1971).

Pedologia	Valor K
Cambissolo Háptico	0,024
Latossolo vermelho-amarelo	0,020
Latossolo vermelho	0,013
Neossolo quartzarênico	0,027
Gleissolo Háptico	0,031

Fator LS: O Fator LS (fator relevo) constitui da relação esperada de perdas de solo por unidade de área em um declive qualquer (Bertoni et al., 2008). O cálculo do comprimento de rampa é a que possui maior complexidade e uma forma de se obter é a partir de um modelo numérico de terreno (MDE) em ambiente SIG. O fator LS possui forte influência no processo erosivo, pois as características de comprimento de rampa e declividade atuam diretamente na velocidade e volume de fluxo escoado. Para sua obtenção, utilizou-se a metodologia de Moore & Burch (1986), na qual o LS pode ser obtido pela Equação 11 descrita a seguir.

$$LS = \left(\frac{FA \times CellSize}{22,13} \right)^{0,4} * \left(\frac{\text{sen}(declividade)}{0,0896} \right)^{1,3} \quad \text{Equação 11}$$

onde:

FA é o acúmulo de fluxo ou área de contribuição;

CellSize é o tamanho da célula do MDE, e

Slope é a declividade em radianos, calculada para cada pixel.

Os passos para obtenção do fator LS estão esquematizados a seguir na Figura 4.5.

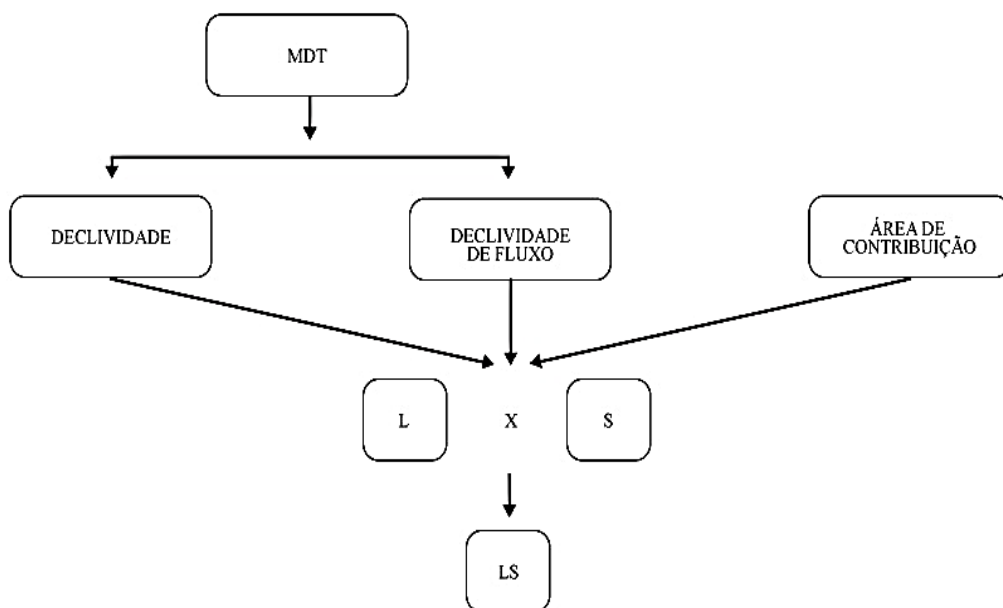


Figura 4.10: Metodologia aplicada para obtenção do fator LS.

Fonte: Adaptado de Almeida et al. (2017)

Fator CP: De acordo com Bertoni et al. (2008), o uso e manejo do solo (fator C) é a relação da perda de solo de uma área cultivada ou descoberta e o fator prática conservacionista (fator P) é a relação entre a intensidade esperada de perdas de solo com determinada prática conservacionista e aquelas quando a cultura está plantada no sentido do declive.

Buscando-se correlacionar as classes de uso e ocupação de solo com as variáveis CP integradas, Stein et al. (1987) propõem os valores que foram utilizados nessa pesquisa e estão apresentados na Tabela 6 a seguir.

Tabela 6: Valores atribuídos para os fatores CP.

Classes temáticas	CP
Campo	0,01
Cerrado	0,0007
Lagos	0
Mata de galeria	0,00004
Mineração	0,25
Práticas agrícolas	0,1
Silvicultura	0,001
Solo exposto	0,2
Área urbana	0

De acordo com Stein et al., (1987), quando o objetivo do trabalho é definir formas mais adequadas de produção agrícola, minimizando os impactos gerados sobre o meio físico, as variáveis antrópicas da EUPS devem ser tratadas separadamente. Porém, quando busca-se a espacialização dos fenômenos, através do geoprocessamento, a obtenção dos dados de C e P podem ser analisados, não mais em função do estágio de desenvolvimento da cultura, mas sim pelo uso e ocupação do solo e são expostos na forma integrada (CP).

Nessa integração, Stein et al. (1987) adotaram um valor constante de $P = 1$, por ser a pior situação quanto às perdas de solo em função das práticas conservacionistas, tendo em vista que não se conseguem valores confiáveis de P quando utiliza-se as técnicas de geoprocessamento, principalmente as classificações de imagens de sensoriamento remoto, para se obter o mapeamento do uso do solo, em escala regional.

Depois de obtidos todos os valores, será implementado todos os fatores da EUPS em ArcGis, utilizando-se o algoritmo de álgebra de mapas da presente na ferramenta *raster calculator*, resultando no produto final de suscetibilidade à erosão laminar, que será posteriormente reclassificado de acordo com graus de vulnerabilidade da Tabela 7.

Tabela 7: Valores de vulnerabilidade aplicado à erosão laminar.

Erosão laminar	Valor de vulnerabilidade atribuído
0 – 0,5	1 - muito baixo
0,5 – 2	2- baixo
2 – 20	3 - médio
20 – 50	4 - alto
>50	5 - muito alto

4.2.1.3. Mapa de suscetibilidade a processos erosivos lineares

Para a produção do mapa de suscetibilidade às erosões lineares foi utilizada a metodologia proposta por Campagnoli (2002). O mapa foi obtido em duas etapas. Na etapa 1, utilizando-se das bases cartográficas obtidas de geologia e pedologia, foram reclassificadas as unidades pedológicas para valores de vulnerabilidade, baseando-se nas características de tipo de solo, e as unidades geológicas, de acordo com a litologia e estrutura das rochas.

De acordo com o documento da EMBRAPA que possui o mapa pedológico digital do DF, a classe de solos do neossolo quartzarênico estão relacionados a sedimentos arenosos de

cobertura e a alterações de rochas quartzíticas e areníticas, normalmente em relevo plano ou suave-ondulado. Em sua estrutura morfológica, caracterizam-se por camadas de areia inconsolidadas cuja estrutura é fraca, pouco coerente e constitui basicamente grãos simples. Fisicamente, são muito porosos, e excessivamente drenados, muito suscetíveis à erosão e, quando ocorrem nas cabeceiras de drenagem e adjacentes a mananciais, deveriam ser destinados à preservação e é esse tipo de solo que está presente na área da exploração mineral. Já o Latossolo Vermelho ocorre principalmente nos topos das chapadas (platôs), como também podem ocorrer em áreas suavemente onduladas em superfícies mais baixas. O Latossolo Vermelho-Amarelo ocorre em superfícies adjacentes a classe do Latossolo Vermelho, em relevos suave-ondulado. Já a classe do Gleissolo Háptico se refere a solos hidromórficos que ocupam geralmente as depressões da paisagem, sujeitas à inundações. Apresentam drenagem dos tipos: mal drenado ou muito mal drenado, ocorrendo, com frequência, espessa camada escura de matéria orgânica mal decomposta sobre uma camada acinzentada (gleizada), resultante de ambiente de oxirredução. O último solo presente na bacia do Ribeirão Sobradinho é a classe do Cambissolo Háptico que estão associados a relevos mais movimentados (ondulados e forte-ondulados), e deveriam ser destinados à preservação permanente, uma vez que possibilitam a cobertura do solo.

Os valores de vulnerabilidade atribuídos para cada classe de pedologia, de acordo com as características de cada solo e seu valor de erodibilidade (que estão na Tabela 5), podem ser observadas na Tabela 8 a seguir.

Tabela 8: Valores de vulnerabilidade aplicado à pedologia.

Pedologia	Valor de vulnerabilidade atribuído
Cambissolo Háptico	3 - médio
Latossolo vermelho-amarelo	2 – baixo
Latossolo vermelho	1 – muito baixo
Neossolo quartzarênico	4 – alto
Gleissolo Háptico	5 – muito alto

Sobre as unidades geológicas, em geral, quanto maior a permeabilidade e o volume de espaços vazios no litotipo, maior será a facilidade de desagregação. Na Tabela 9 a seguir são

apresentados as classes de geologia presentes no mapa geológico da CPRM, os litotipos de cada classe, assim como o valor de suscetibilidade à erosão linear atribuído para cada classe.

Tabela 9: Valores de vulnerabilidade aplicado à geologia.

Geologia	Litotipo	Valor de vulnerabilidade atribuído
Depósitos aluvionares (Q2A)	Depósitos de areia e cascalho	4 - alto
Coberturas detrito-lateríticas ferruginosas (N1dl)	Aglomerado de areia, argila e laterita	3 - médio
Grupo Paranoá - Rítmica-quartzítica intemediária (MPpa3)	Metasiltito e Siltito argiloso	3 - médio
Grupo Paranoá - Rítmica-quartzítica intermediária - litofácies quartzito (MPpa3qt)	Quartzito	2 - baixo

Na etapa 2 da produção do mapa de erosão linear, foi feito o mapa da declividade, obtido com algoritmo “*slope*” inserido no SIG que o calcula a partir do MDE.

A declividade refere-se a inclinação do relevo em relação ao horizonte, podendo ter unidade de medida em graus ou pode ser expressa em porcentagem. A variação da declividade pode atuar acelerando ou desacelerando o fluxo da água, afetando a energia interativa entre a água e a superfície de escoamento, intervindo diretamente no potencial erosivo da água. Quanto maior a declividade, mais rápido a energia potencial das águas transforma-se em energia cinética e maior é a velocidade das massas de água e sua capacidade de transporte (Crepani et al., 2001). Dessa forma, para áreas com pouca declividade foi atribuído um grau baixo de vulnerabilidade e para áreas com alta declividade, atribui-se valores de vulnerabilidade mais altos, o que pode ser observado na Tabela 10 a seguir.

Tabela 10: Valores de vulnerabilidade aplicado à declividade.

Declividade	Valor de vulnerabilidade atribuído
0 - 6	1 – muito baixo

6 – 12	2 – baixo
12 – 20	3 – médio
20 – 30	4 – alto
>30	5 – muito alto

A etapa final para a obtenção do mapa final de suscetibilidade à erosão linear se dará pelo cruzamento matricial dos produtos finais das duas etapas - mapa geopedológico multiplicado com o mapa de declividade, que foi, posteriormente, reclassificado para valores de suscetibilidade à erosão linear, seguindo a proposta da Tabela 11.

Tabela 11: Valores de vulnerabilidade aplicado à erosão linear.

Erosão linear	Valor de vulnerabilidade atribuído
0 – 8	1 - muito baixo
8 – 12	2- baixo
12 – 18	3 – médio
18 – 32	4 – alto
>32	5 - muito alto

4.2.1.4 Mapa de suscetibilidade à profundidade do nível da água

Como a profundidade na área da exploração variava de 3 metros até 10 metros, e que para a exploração todas as áreas teriam uma vulnerabilidade alta, optou-se por classificar com uma vulnerabilidade alta aquela profundidade que se encontra na área da exploração mineral, uma vez que quanto maior a profundidade de escavação, maior a possibilidade de alcançar o nível d'água.

Dessa forma, as classes com águas subterrâneas que possuem profundidade de até 10 metros foram classificadas com um valor alto ou muito alto de vulnerabilidade e águas com mais de

10 metros, por serem mais profundas, foram classificadas com um valor mais baixo de vulnerabilidade.

Dessa forma, de posse da base cartográfica relacionada à profundidade do nível d'água no DF, desenvolvidos por Aguiar (1997), pode-se reclassificar os valores das classes em valores de vulnerabilidade, os quais estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Valor de vulnerabilidade aplicado à profundidade do nível da água.

Profundidade do nível da água (m)	Valor de vulnerabilidade atribuído
0 – 1	5 – muito alto
1 – 3	4 – alto
3 – 10	4 – alto
10 – 30	3 – médio
>30	2 – baixo

4.2.1.5 Mapa de suscetibilidade à recarga do aquífero

Os dados de recarga de aquífero foram obtidos do estudo do Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE) do DF, no qual classifica o risco de recarga em aquífero conforme estudos aplicados às características do DF. De acordo com o documento do ZEE-DF (2019), as variáveis explicativas que impactam na redução da recarga dos aquíferos, utilizadas para produção do mapa de risco de recarga do aquífero são, o domínio poroso (sua relação com a redução da recarga, assim como a condutividade hidráulica), a compartimentação geomorfológica e a vazão registrada nos domínios fraturado e fissurocárstico.

O nível de sensibilidade ou risco ecológico de perda de recarga de aquífero dos subsistemas porosos foi classificado de acordo com tipos de solos predominantes no Distrito Federal e os valores de condutividade hidráulica intrinsecamente associados a estas estruturas. Na área da exploração mineral, o risco de recarga do aquífero é alto, o que se associa ao fato de que o neossolo quartzarênico, tipo de solo presente na mineração, tem uma condutividade hidráulica alta. Quanto à compartimentação geomorfológica, a mineração se situa em planos elevados, o que de acordo com o documento, confere um risco alto. Por último, o nível de sensibilidade do domínio fraturado presente na mineração (do Grupo Paranoá), também

ficou alto, pois considerou-se que os sistemas mais produtivos representam um maior nível de sensibilidade com relação à redução da recarga e da produção hídrica, por sua vez os sistemas menos produtivos, em função das baixas vazões registradas, apresentam os menores níveis de sensibilidade.

Como resultado dos trabalhos produzidos pela equipe do ZEE-DF, foi gerado o Mapa de Sensibilidade à Perda de Recarga, posteriormente reinterpretado como Mapa de Risco de Perda de Recarga. Portanto, por se tratar de um mapa de sensibilidade, optou-se por atribuir aos valores de risco, os próprios valores que estavam na tabela de atributos em *shapefile* do arquivo, que variavam de 1 a 5. Dessa forma, o mapa de suscetibilidade à recarga do aquífero teve como classificação os intervalos de vulnerabilidade ambiental apresentados na Tabela 13 a seguir.

Tabela 13 – Valor de vulnerabilidade aplicado à recarga do aquífero

Risco de perda de recarga do aquífero	Valor de vulnerabilidade atribuído
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5

4.2.1.6 Mapa de suscetibilidade à inundação

A exploração mineral realizada pela BRACAL é uma das condicionantes responsáveis, não só pelos processos erosivos, mas também de possíveis eventos extremos que poderiam causar enchentes e inundações na respectiva bacia em que se situa. Dessa forma, o mapa de suscetibilidade à inundação se torna relevante. Para a produção desse mapa, o objetivo foi delimitar uma faixa de inundação para o Ribeirão Sobradinho, identificando a área de abrangência do escoamento nas margens do curso d'água em caso de uma chuva máxima. Para isso, foi utilizado o método de Ven Te Chow para obtenção de uma vazão máxima da área, obtida pela Equação 12.

$$Q_{m\acute{a}x} = \frac{A \cdot X \cdot Y \cdot Z}{3,6}$$

Equação 12

Onde:

$Q_{m\acute{a}x}$ = vazão máxima em m³/s;

A=área da bacia em km²;

X=fator de deflúvio;

Y=o fator climático e

Z=fator de redução do tempo de pico.

A área da bacia do Ribeirão Sobradinho foi calculada a partir do software ArcGis, no módulo *calculate geometry* da tabela de atributos. O valor encontrado foi de 144 km² de drenagem.

No método de Ven Te Chow, o Fator de Deflúvio se iguala a razão da precipitação excedente pela sua duração ($X=R_e/td$). Como a duração da chuva para a qual a vazão será máxima é desconhecida, durante os cálculos, adotou-se um procedimento tentativo, conforme proposto por Nunes e Fiori (2007), e modificado de acordo com as necessidades do trabalho em pauta. Os procedimentos adotados são descritos a seguir:

1º- arbitraram-se valores para a duração da chuva (td);

2º- para cada valor arbitrado foi obtida a intensidade da chuva (I_m) a partir de uma equação de intensidade-duração-freqüência.

A intensidade da chuva para todos os tempos de duração arbitrados e tempo de recorrência selecionados foi obtida através da aplicação da Equação de I-D-F para Brasília (NOVACAP, 2005), conforme indicada a seguir:

$$I_m = \frac{1547,7 * Tr^{0,207}}{(t+11)^{0,884}}$$

Equação 13

onde:

I_m = intensidade máxima da chuva, em mm/h;

Tr = tempo de recorrência em anos;

td = tempo de duração da chuva, em min.

3º- calculou-se a chuva total correspondente a cada duração ($R = Im.td$);

4º- verificou-se o número de deflúvio, sendo estes, estipulados, igual aos valores de (CN) do método do SCS;

Para a determinação do número de deflúvio foi considerando tanto o tipo de cobertura superficial do terreno como o grupo hidrológico dos solos, sendo o valor de 'N', determinado conforme o procedimento adotado para o cálculo do valor de CN descrito no método do Soil Conservation Service (SCS) in. TUCCI et al. (1995).

No método do SCS são considerados quatro grupos hidrológicos de solos, sendo eles:

Grupo A – solos com baixo potencial de deflúvio. Inclui areias em camadas profundas, com muito pouco silte ou argila, inferior a 8%.

Grupo B – solos arenosos com camadas menos profundas que as do tipo A e com maior teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. Este grupo de solo em seu todo, tem uma capacidade de infiltração acima da média.

Grupo C – solos argilosos com teor total de argila de 20% a 30%, mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras, até a profundidade de 1,2 m. Os solos do grupo C possuem baixa taxa de infiltração quando completamente úmidos.

Grupo D – solos argilosos, com 30% a 40% de argila total, com camada densificada a uns 50 cm de profundidade e quase impermeável. São solos com elevado potencial de escoamento e baixa taxa de infiltração.

As classes de cobertura superficial do terreno utilizadas foram modificadas e adaptadas do método do SCS in. TUCCI et al. (1995). O valor de CN é compreendido entre zero e 100, sendo zero a representação de uma bacia de condutividade hidráulica infinita e 100 o valor correspondente a uma bacia totalmente impermeável. Como a bacia apresenta diferentes tipos de solos e de cobertura superficial, foi necessário adotar um único valor de CN, obtido pela média ponderada dos diversos valores de CNs correspondentes com as áreas. Assim, os valores de CN foram determinados pelo produto da participação percentual de cada grupo hidrológico de solos pelos respectivos valores do produto do percentual da área de cada tipo de cobertura superficial do terreno. O valor de CN médio adotado corresponde ao somatório dos valores dos CNs parciais. Para encontrar cada valor de CN foi utilizado o mapa de uso e cobertura do solo, multiplicando-se pelo solo presente na área.

5º- calculou-se a precipitação excedente (Re);

A partir da determinação dos valores do número de deflúvio e da intensidade da chuva calculou-se, através da Equação 14, os valores da precipitação excedente.

$$Re = \frac{\left(R - \frac{5080}{N} + 50,8\right)^2}{R + \frac{20320}{N} + 203,2} \quad \text{Equação 14}$$

onde:

Re = precipitação excedente dada em mm;

R = chuva total, dada em mm, sendo igual à relação de im.td;

N = número de deflúvio que é considerado igual ao valor de CN.

6º- calculou-se a intensidade da chuva excedente ($X = Re / td$);

7º- calcula-se o valor da razão (td/tp) para fixação do valor do fator de redução de pico;

O fator de redução de pico é a relação entre o pico de vazão de um hidrograma unitário, devido à chuva de uma dada duração, e o deflúvio da mesma intensidade de chuva, continuando indefinidamente (Wilken, 1971)

Fazendo-se uso de dados de chuvas e de picos de vazão de cheias contribuintes de 20 bacias hidrográficas de pequena escala, do meio oeste dos Estados Unidos, Ven Te Chow na elaboração de seu método, buscou a correlação entre o tempo de duração de uma chuva considerada e a razão entre o fator de ascensão de pico, gerada por esta chuva “td/tp”, para determinar o valor de “Z”. Essa correlação pode ser observada na Equação 15, a seguir.

$$tp = 0,005055 \left(\frac{L}{\sqrt{I}}\right)^{0,64} \quad \text{Equação 15}$$

no qual:

tp é o tempo de pico da vazão em horas;

L é o comprimento do curso d'água principal, medido em linha reta;

I é a declividade média do curso d'água principal em percentagem;

Os dados do fator Z utilizados podem ser extraídos da Tabela 12 de fator de redução do tempo de pico de vazão, produzida por Wilken (1971).

Tabela 14: Fator de Redução do Tempo do Pico de Vazão. Fonte: Wilken (1971).

Valores de Z em função da relação td/t_p									
td/t_p	Z	td/t_p	Z	td/t_p	Z	Td/t_p	Z	td/t_p	Z
0,05	0,04	0,46	0,36	0,84	0,58	1,22	0,75	1,60	0,90
0,10	0,08	0,48	0,38	0,86	0,59	1,24	0,76	1,62	0,90
0,12	0,10	0,50	0,39	0,88	0,50	1,26	0,77	1,64	0,91
0,14	0,12	0,52	0,40	0,90	0,60	1,28	0,78	1,66	0,91
0,16	0,14	0,54	0,41	0,92	0,61	1,30	0,79	1,68	0,92
0,18	0,16	0,56	0,42	0,94	0,62	1,32	0,80	1,70	0,92
0,20	0,18	0,58	0,44	0,96	0,63	1,34	0,81	1,72	0,93
0,22	0,19	0,60	0,45	0,98	0,64	1,36	0,82	1,74	0,93
0,24	0,20	0,62	0,46	1,00	0,65	1,38	0,82	1,76	0,94
0,26	0,22	0,64	0,47	1,02	0,66	1,40	0,82	1,78	0,94
0,28	0,24	0,66	0,48	1,04	0,67	1,42	0,83	1,80	0,95
0,30	0,25	0,68	0,49	1,06	0,68	1,44	0,84	1,82	0,95
0,32	0,26	0,70	0,50	1,08	0,69	1,46	0,85	1,84	0,96
0,34	0,28	0,72	0,51	1,10	0,70	1,48	0,86	1,86	0,96
0,36	0,29	0,74	0,52	1,12	0,71	1,50	0,86	1,88	0,97
0,38	0,30	0,76	0,54	1,14	0,72	1,52	0,87	1,90	0,97
0,40	0,32	0,78	0,55	1,16	0,73	1,54	0,88	1,92	0,98
0,42	0,33	0,80	0,56	1,18	0,74	1,56	0,88	1,94	0,98
0,44	0,34	0,82	0,57	1,20	0,74	1,58	0,89	1,96	0,99

9º- por fim, calculou-se a vazão máxima pela fórmula de Ven Te Chow (Equação 12);

Uma vez que a vazão de projeto para determinado tempo de retorno é definida, torna-se possível a simulação do comportamento hidráulico do corpo hídrico no HEC-RAS. O módulo de análise em regime de escoamento permanente possibilita calcular o nível d'água, e conseqüentemente o perfil da inundação ocasionado pela propagação de um determinado valor de vazão em um canal.

A partir da elaboração de uma geometria e fornecimento de dados do escoamento é possível realizar simulações com valores de vazão para diferentes períodos de retorno. Basicamente, criou-se um projeto e em seguida uma geometria, definiu-se os dados do escoamento, analisou-se o modelo e a partir daí foi calculada a mancha de inundação. Uma vez que o projeto está criado, ajuste-se a geometria da simulação. Na geometria da simulação definimos as características geométricas do curso d'água que será analisado, assim como o Coeficiente de Manning para cada seção.

Após a criação e edição da geometria estamos aptos a inserir os dados referentes ao escoamento encontrados pelo método de Ven Te Chow (1987), que fornecerão as condições de contorno necessários para os cálculos que serão realizados pelo software. A janela de dados de escoamento em regime permanente possibilita ao usuário definir vários valores de vazão para diferentes períodos de retorno. Além da vazão máxima é necessário adotar um

valor do coeficiente de rugosidade de Manning (n), que foi calculado por meio da Equação 16 apresentada a seguir.

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * 1,15 \quad \text{Equação 16}$$

Os valores para obtenção dos coeficientes da Equação 16, fornecidos por Chow (1987), encontram-se na Tabela 15.

Tabela 15: Valores para a computação do coeficiente de Manning (Chow, 1987).

Condições do Canal		Valores	
<i>Material Envolvido</i>	Terra	n_0	0.020
	Rocha Cortada		0.025
	Cascalho Fino		0.024
	Cascalho Grosso		0.028
<i>Grau de Irregularidade</i>	Liso	n_1	0.000
	Insignificante		0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
<i>Variações na seção transversal</i>	Gradual	n_2	0.000
	Alternado Ocasionalmente		0.005
	Alternado Frequentemente		0.010-0.015
<i>Efeito Relativo das obstruções</i>	Desprezível	n_3	0.000
	Insignificante		0.010-0.015
	Apreciável		0.020-0.030
	Severo		0.040-0.060
<i>Vegetação</i>	Baixa	n_4	0.005-0.010
	Média		0.010-0.025
	Alta		0.025-0.050
	Muito Alta		0.050-0.100
<i>Grau de Sinuosidade</i>	Insignificante	m_5	1.000
	Apreciável		1.150
	Severa		1.300

De posse dos dados do escoamento e da geometria. Na janela *run* do HEC-HAS, selecionou-se o módulo “*steady flow analysis*”. Uma vez que iniciarmos a simulação, o HEC-RAS realizará os cálculos necessários para obter o perfil da inundação. Os procedimentos adotados no HEC-RAS estão esquematizados na Figura 4.6 a seguir.

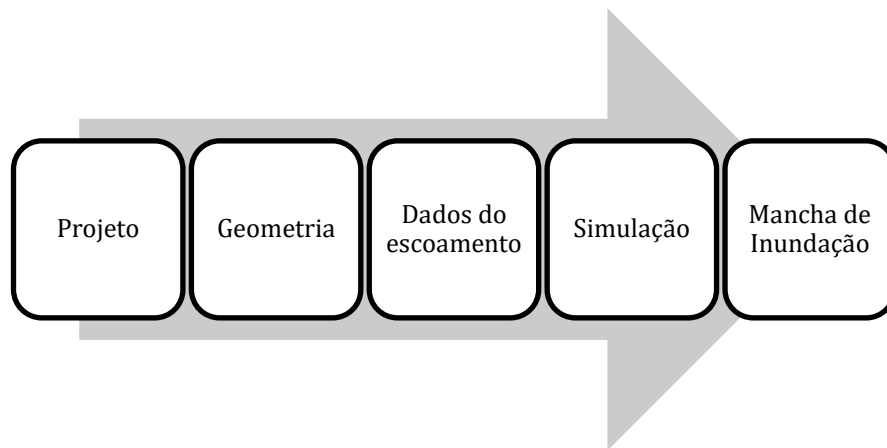


Figura 4.6: Passos metodológicos para obtenção da mancha de inundação.

Elaboração própria.

Supondo que tempos de retorno de 1 ano responderiam com uma faixa de inundação mais provável de ser inundada (valor de vulnerabilidade alto), pois a probabilidade dessa chuva máxima ocorrer é maior e tempos de retorno de 50 anos poderiam ocorrer com uma frequência menor (valor de vulnerabilidade baixo), para a presente pesquisa, foi realizada uma simulação que gerou uma faixa de inundação para o tempo de retorno selecionado de 20 anos, que foi reclassificado para um valor médio de vulnerabilidade.

4.2.3. Mapa de uso e cobertura do solo da BRACAL em 2019 e visita técnica

A imagem utilizada para confecção do mapa de uso e cobertura do solo de 2019 da área em torno da BRACAL foi obtida pelo Google Earth Pro. Selecionou-se a área de interesse e depois de salva a imagem em alta resolução, georreferenciou-se no ArcGis. Posteriormente, realizou-se a segmentação e a classificação MAXVER no SPRING.

Além disso, para uma melhor análise dos impactos ambientais citados nessa pesquisa como mais importantes, foi realizada uma visita técnica na exploração mineral localizada em Sobradinho para reconhecimento da área de estudo e dos procedimentos de extração de areia quartzítica, assim como para verificação dos atendimentos às condicionantes do licenciamento ambiental.

5.RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1.Análise sobre a bacia do Ribeirão Sobradinho

5.1.1.Mapas temáticos de uso e cobertura do solo

A caracterização ambiental foi uma etapa fundamental no processo de levantamento de dados e informações e no conhecimento da área estudada. O reconhecimento da área foi feito também em saída de campo para familiarização e identificação de 9 diferentes classes de uso do solo característico da bacia. Dessa forma, a classificação temática das imagens do satélite LANDSAT referentes ao mês de agosto dos anos de 2005, 2011 e 2018, permitiram produzir os mapas de uso e cobertura do solo, e também a avaliação quantitativa das mudanças ocorridas durante esse tempo.

Os mapas produzidos sintetizam a dinâmica ambiental do uso do solo nesses anos, constituindo-se em base para a elaboração e compreensão dos mapas de vulnerabilidade ambiental.

As áreas mapeadas da microbacia do Ribeirão Sobradinho, assim como a área em seu entorno, totalizam 667,2 km², como pode ser observado na Tabela 16 a seguir.

CLASSES TEMÁTICAS	2005	2011	2018
Campo	92,22	90,63	54,88
Cerrado/Áreas preservadas	273,39	246,07	247,57
Mata de galeria	93,63	89,8	73,26
Silvicultura	9,2	13,21	12,01
Lagos	24,04	24,27	25,5
Práticas agrícolas	51	53,97	92,65
Área urbana	123,72	147,87	156,65
Solo exposto	0	1,08	4,22
Área minerada	0	0,3	0,46
Área total (km ²)	667,2	667,2	667,2

Tabela 16 – Área total (em km²) ocupada por cada classe temática.

Os mapas de uso e cobertura do solo estão apresentados na Figura 5.1 a seguir.

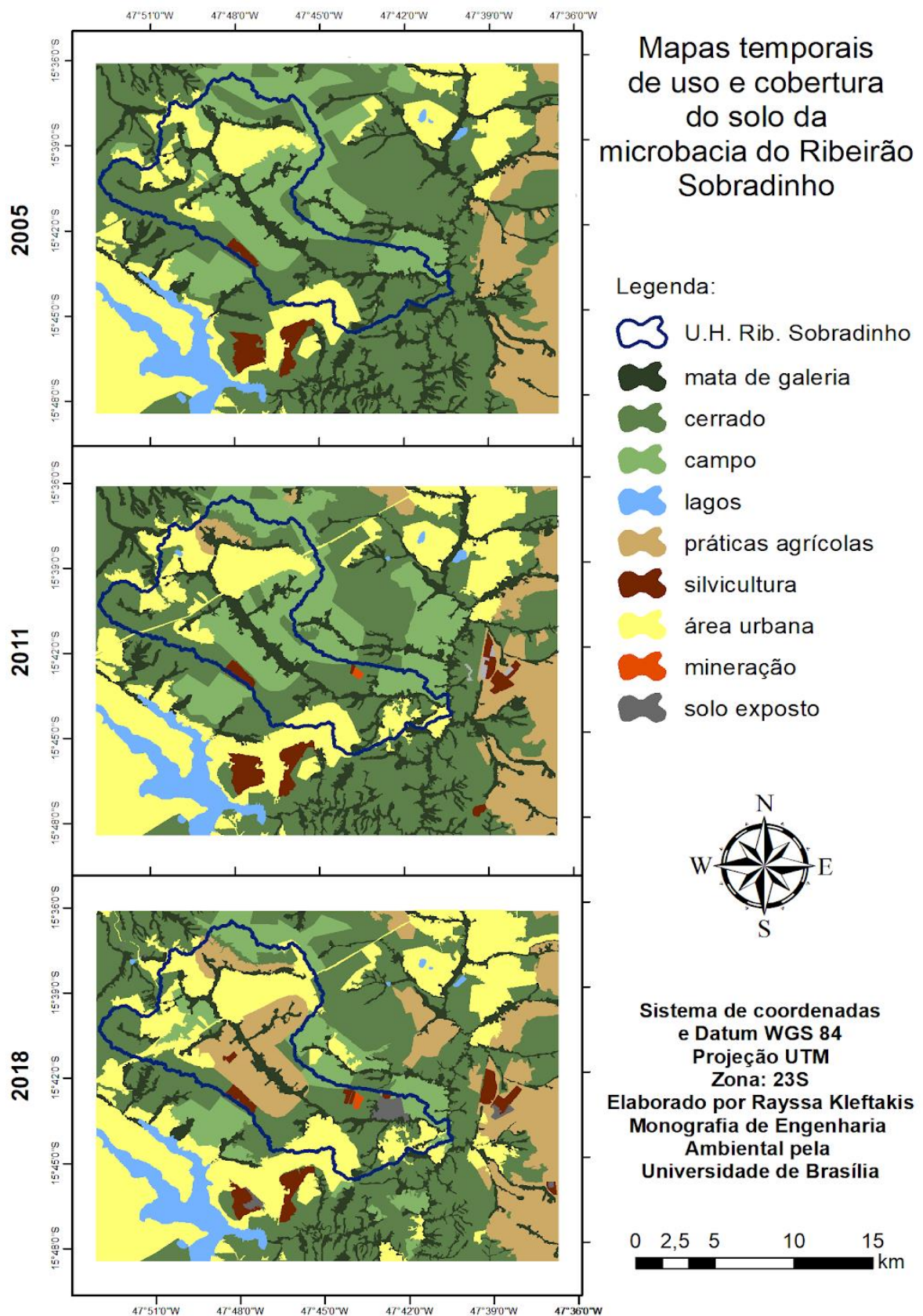


Figura 5.1: Mapas produzidos de uso e cobertura do solo para os anos de 2005, 2011 e 2018.

Os mapas de uso e cobertura do solo evidenciam o avanço da área urbanizada, com um aumento de 32,93 km² do ano de 2005 para 2018. A urbanização é responsável pela redução nas áreas de cerrado (273,39 km² para 247,57 km²) e de matas de galeria (93,63 km² para 73,26 km²), pois nota-se o estabelecimento de novos setores habitacionais, assim como a expansão dos já existentes, como Planaltina e Sobradinho. O aumento populacional no DF é também responsável pelo incremento na demanda de minerais para uso na construção civil, o que justifica a expansão de áreas mineradas e solo exposto, como a BRACAL.

5.1.2. Mapas intermediários de vulnerabilidade ambiental

O mapa de vulnerabilidade ambiental do ano de 2018 foi obtido integrando-se os mapas de suscetibilidades à erosão laminar, à erosão linear, à recarga do aquífero, à profundidade do nível da água, às ações antrópicas e à inundação, por meio do método AHP, pelo qual se obtém o peso de cada mapa. Dessa forma, para a confecção do mapa de vulnerabilidade ambiental, foram obtidos cada um dos mapas de suscetibilidade apresentados a seguir, que foram posteriormente reclassificados para os valores de vulnerabilidade adotados na pesquisa em pauta, que estão na tabela 2 e variam de 1 a 5.

5.1.2.1. Produção do mapa de suscetibilidade à erosão laminar

Para produção do mapa de suscetibilidade à erosão laminar, é necessário encontrar todos os fatores descritos da Equação 1 (EUPS).

O fator de erosividade da chuva (R) foi obtido a partir das médias mensais dos totais mensais e anuais das estações pluviométricas que existem na bacia do Ribeirão Sobradinho e nas regiões próximas com dados disponíveis da CAESB, no período de 1971 a 2012. De um total de 13 estações existentes, apenas 5 estações tinham dados de chuva disponíveis. Na Tabela 17 a seguir são apresentadas as estações utilizadas e alguns outros dados, como código da estação, coordenadas geográficas e os anos com os dados que foram utilizados para os cálculos.

NOME DA ESTAÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE	CÓDIGO DA ESTAÇÃO	ANOS
ETE SOBRADINHO	-15 35 00 S	-47 42 00 W	1547015	1987-2008
CONTAGEM	-15 39 11 S	-47 52 44 W	1547010	1971-2005
ETE NORTE	-15 44 36 S	-47 52 38 W	1547009	1971-2011
PLANALTINA	-15 27 12 S	-47 36 48 W	1547002	1974-2012
ETE PARANOÁ	-15 47 48 S	-47 47 01 W	1547020	1979-2009

Tabela 17: Informações sobre as estações pluviométricas utilizadas.

Já na Tabela 18 constam os dados das médias mensais dos índices de erosão (EI) e o fator R calculado para cada estação pluviométrica.

CÓDIGO DA ESTAÇÃO	EI												ΣEI = R
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
1547015	1267	1045	1225	402	31	3	3	19	89	490	1328	1700	7602
1547010	1460	1026	1435	443	57	4	4	14	84	680	1391	1740	8339
1547009	1227	878	1133	380	40	3	2	16	83	683	1384	1508	7336
1547002	1420	1034	1043	437	39	3	2	9	67	452	1217	1455	7177
1547020	1350	1046	1230	329	40	5	2	19	66	588	1277	1440	7392

Tabela 18: Médias mensais dos índices de erosão (EI) e fator R.

A partir dos resultados da erosividade das chuvas para a área de estudo constatou-se que o valor médio anual encontrado para a área foi de 7569 MJ.mm/ha.h.ano. Observa-se que os valores para R (erosividade) são relativamente altos, pois é uma região com índice pluviométrico alto. O maior valor encontrado para R é de 8339 MJ.mm/ha.h.ano e o menor valor 7177 MJ.mm/ha.h.ano. O mapa da erosividade da chuva da EUPS foi obtido utilizando o aplicativo de geoestatística espacial, o interpolador “Inverso da Distância Ponderada” do ArcGis, a partir dos dados calculados de erosividade da chuva e das coordenadas geográficas das estações pluviométricas, produzindo-se o fator R em forma de imagem *raster*. Após isso, foi realizado o corte da bacia do Ribeirão Sobradinho.

Os fatores K, LS e CP foram obtidos de acordo com o que foi detalhado no item 4.2.1.2 da

metodologia.

Todos os fatores da EUPS estão apresentados na Figura 5.2.

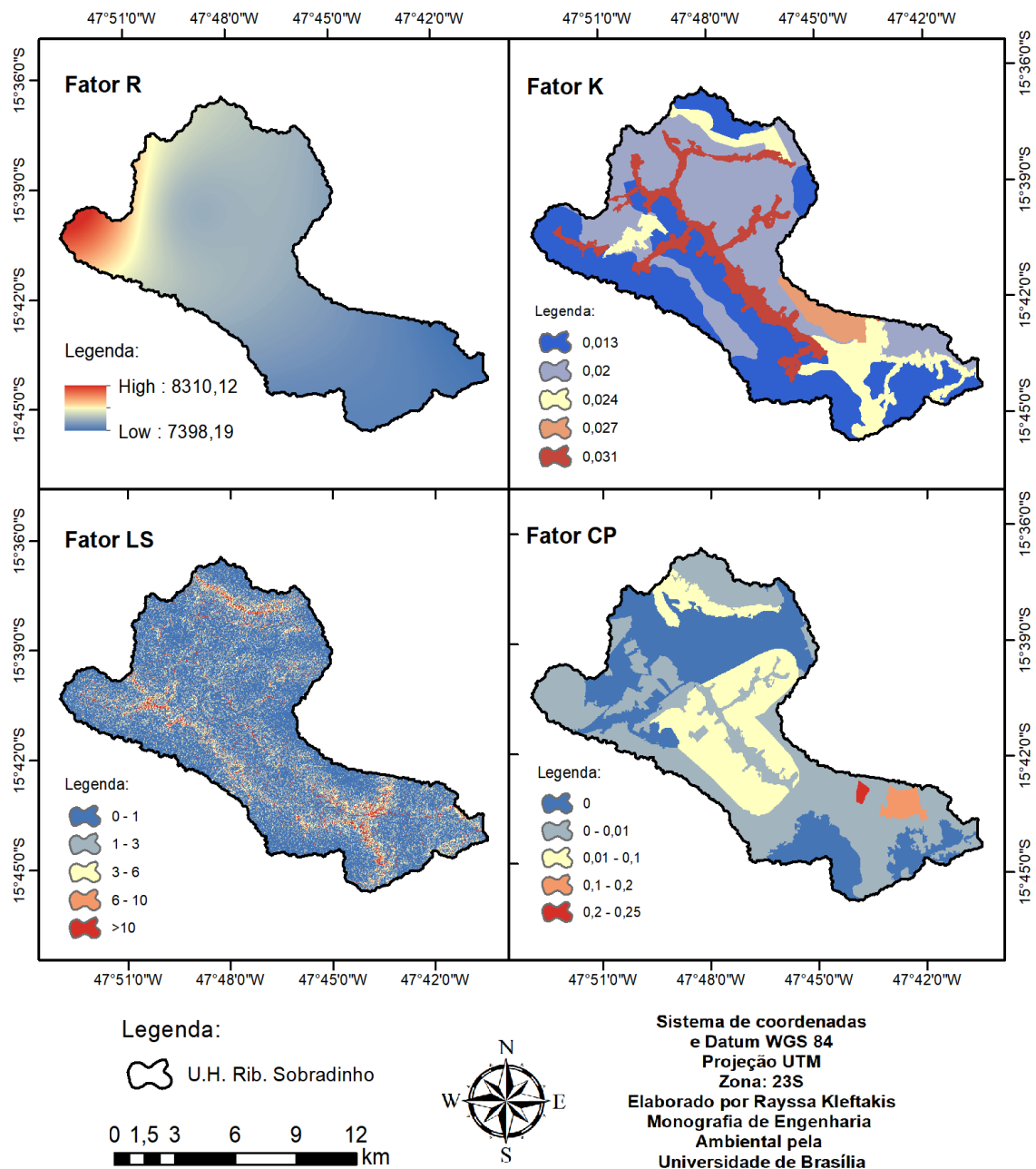


Figura 5.2: Mapas dos fatores da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS).

Ao se obter os fatores da EUPS, utilizando-se o algoritmo de álgebra de mapas e aplicando-se a Equação 1, por meio da ferramenta Map Algebra no comando *Raster Calculator* do ArcGIS, foi obtido o mapa de suscetibilidade à erosão laminar, apresentado na Figura 5.3, que apresenta a perda de solo pela EUPS, usando-se a classificação em 5 graus de

vulnerabilidade, conforme valores da Tabela 7, do item 4.2.1.2 da metodologia.

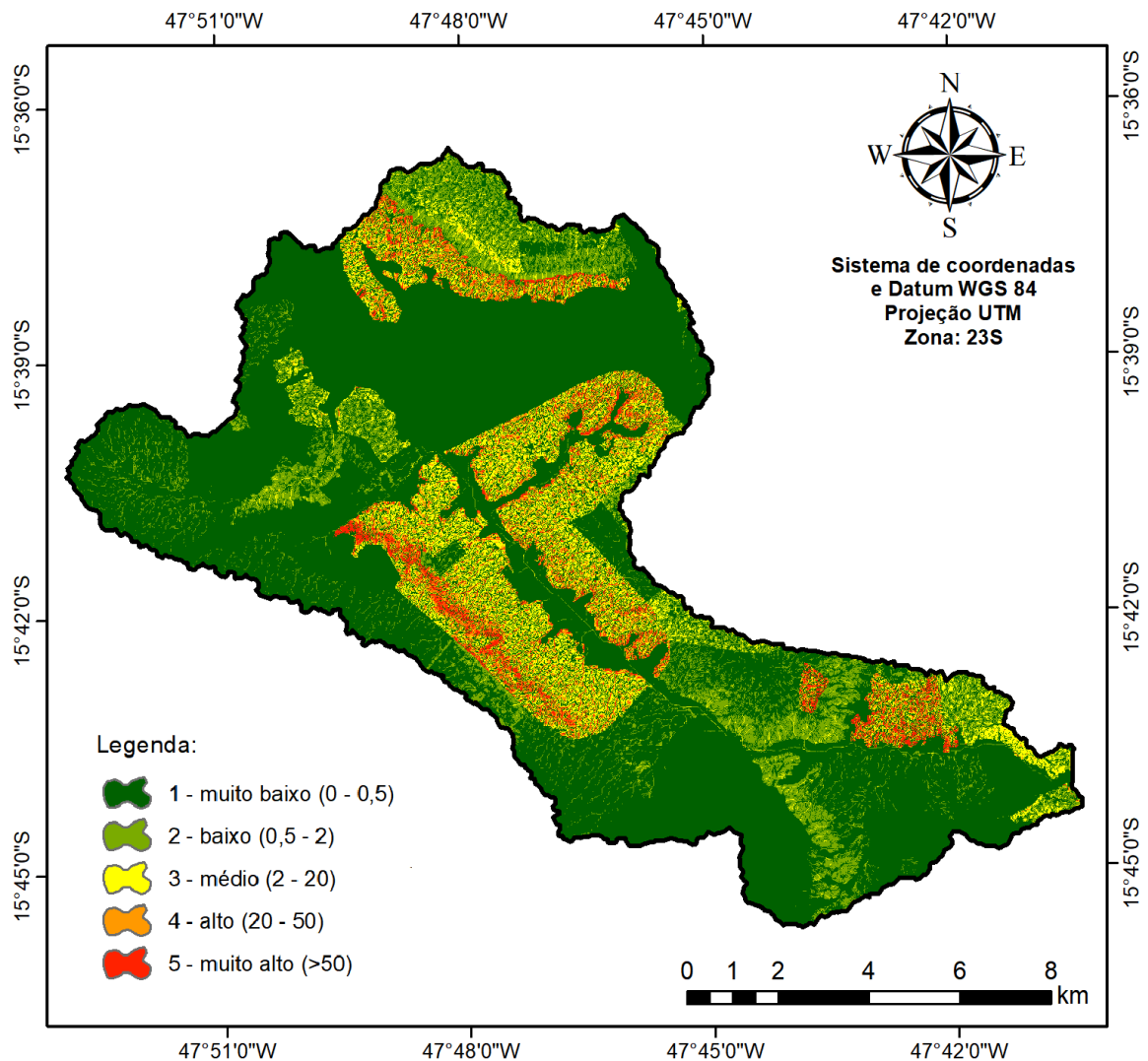


Figura 5.3: Mapa de suscetibilidade à Erosão Laminar.

Este mapa permitiu uma análise da perda de solo por erosão laminar, possibilitando contextualizar os resultados obtidos em função do uso e ocupação das terras. Analisando os resultados do mapa da erosão laminar de 2018 e correlacionando-o com os mapas dos fatores gerados, é possível observar a forte influência dos Fatores LS e CP.

As áreas com maior grau de vulnerabilidade ambiental a esses processos erosivos, no geral, são áreas com um maior nível de antropização, como as classes de práticas agrícolas e a atividade de exploração mineral em questão. Além disso, de acordo com o resultado obtido, as áreas com maiores valores de LS estão concentradas nas partes de maior declividade e de relevo mais movimentado. Já as áreas com os valores menores de LS estão concentradas nas

partes de menor declividade e onde o relevo é mais plano e suavemente ondulado.

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2008), as classes 1 e 2 do mapa de erosão laminar, no qual a taxa de perda de solo está abaixo de 10 ton/ha.ano, estão em uma média tolerável de perdas de solo que se pode permitir. Fica evidente no mapa que as áreas que não se enquadram nem na classe 1, e nem na 2, são as áreas com maior perda de solo por erosão laminar. Dessa forma, as áreas de práticas agrícolas e de solo exposto, incluindo a mineração, devem voltar a atenção para práticas que minimizem os efeitos gerados na mudança do solo, sendo importante a aplicação de práticas conservacionistas no uso da terra, evitando danos e perdas futuras do solo, o que pode gerar perda de produtividade agrícola, econômica e social.

Os valores estimados de perda de solo pela EUPS não devem ser considerados como absolutos, pois os fatores da equação sempre podem ser melhorados com trabalhos de campo. Apesar disso, eles têm sido uma ferramenta importante no conhecimento a cerca do grau de vulnerabilidade à erosão laminar em uma bacia, servindo como justificativa para evitar determinadas práticas e incentivar medidas de proteção do solo, como o incentivo à execução do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) pela BRACAL.

5.1.2.3. Produção do mapa de suscetibilidade à erosão linear

Para a obtenção do mapa de suscetibilidade à erosão linear, assim como foi exposto no item da metodologia aplicada, realizou-se a classificação das unidades geológicas e pedológicas da região, de acordo com as características do solo e da litologia das rochas e feito um cruzamento matricial entre o mapa geopedológico e a declividade do terreno, obtendo-se, assim, o mapa de suscetibilidade à erosão linear, reclassificado para valores de vulnerabilidade, conforme a Tabela 11 do item 4.2.1.3 da metodologia da pesquisa em pauta. O mapa produzido é apresentado na Figura 5.4.

Observando a Figura 5.4 da página seguinte, é possível verificar que o terreno, em sua maior parte, é pouco suscetível aos processos de erosão linear. Entretanto, um exame mais atento da paisagem revela que a erosão linear tende a ser maior nos terrenos mais declivosos, e nota-se que, na região próxima à mineração, há uma maior suscetibilidade a esses processos devido não só à declividade do terreno, mas também à fragilidade do solo em questão.

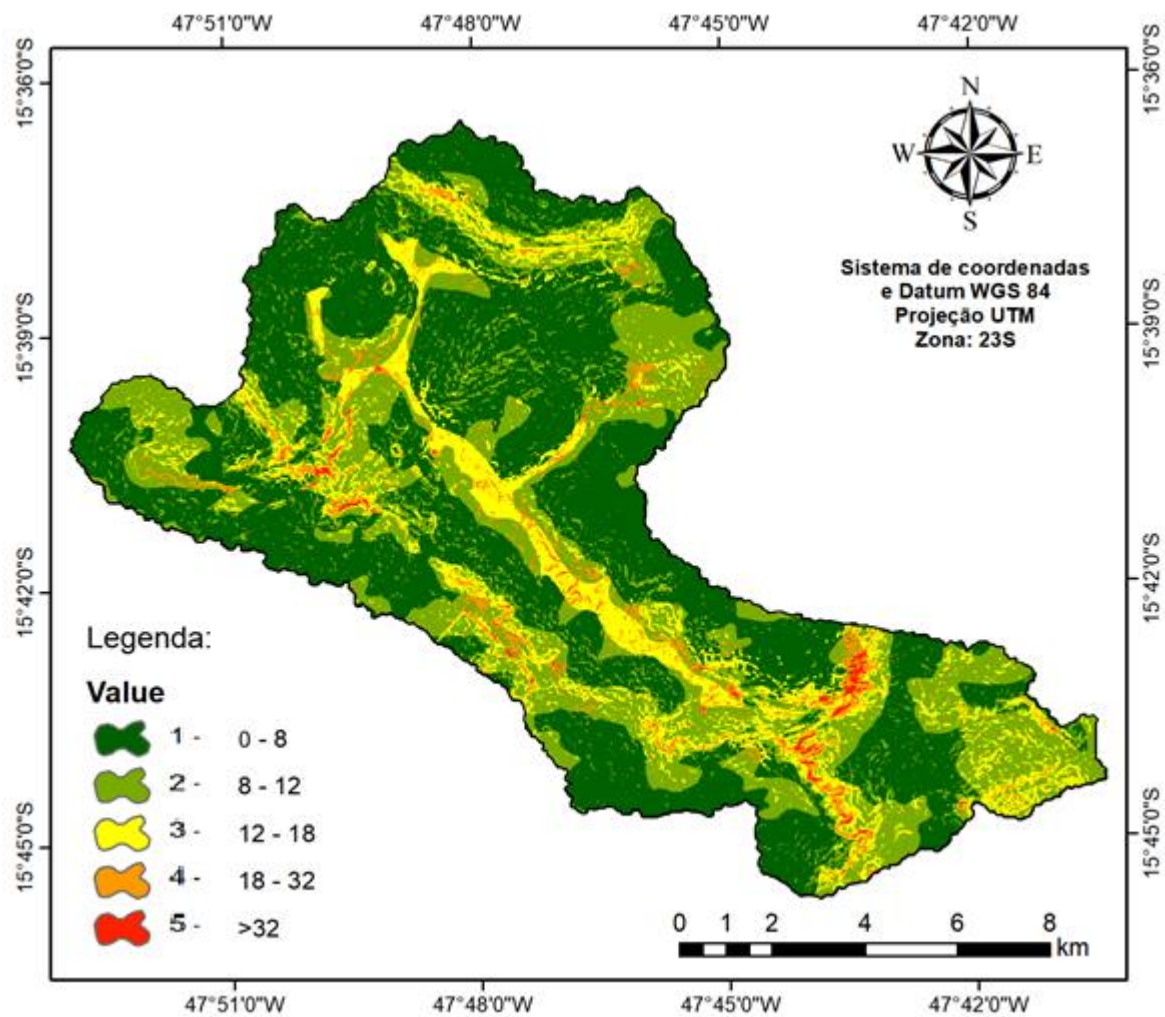


Figura 5.4: Mapa de suscetibilidade à Erosão Linear.

Dessa forma, como a suscetibilidade natural à erosão linear já é alta, a atividade de exploração mineral nessa área favorece ainda mais o aporte de sedimentos e seu possível assoreamento. Além disso, o solo presente na área da exploração mineral é o neossolo quartzarênico. De acordo com o documento da EMBRAPA que possui o mapa pedológico digital do DF, a classe de solos do neossolo quartzarênico estão relacionados a sedimentos arenosos de cobertura e a alterações de rochas quartzíticas e areníticas, normalmente em relevo plano ou suave-ondulado. Em sua estrutura morfológica, caracterizam-se por camadas de areia inconsolidadas cuja estrutura é fraca, pouco coerente e constitui basicamente grãos simples. Fisicamente, são muito porosos, e excessivamente drenados. São solos muito suscetíveis à erosão e, quando ocorrem nas cabeceiras de drenagem e adjacentes a mananciais, deveriam ser destinados à preservação. Visto isso, pode-se notar que há uma certa fragilidade ambiental na área onde a BRACAL realiza a exploração mineral.

5.1.2.4. Produção dos mapas de suscetibilidade às ocupações antrópicas, à recarga do aquífero e à profundidade do nível da água do lençol freático

Os mapas intermediários de suscetibilidade às ocupações antrópicas, à recarga do aquífero e à profundidade do nível da água do lençol freático, foram obtidos de acordo com os itens 4.2.1.1, 4.2.1.5 e 4.2.1.6, respectivamente, da metodologia da pesquisa em pauta. Depois de reclassificados os valores dos mapas para valores de vulnerabilidade, foram obtidos os mapas de suscetibilidade às ocupações antrópicas, à recarga do aquífero e à profundidade do nível da água do lençol freático, apresentados na Figura 5.5.

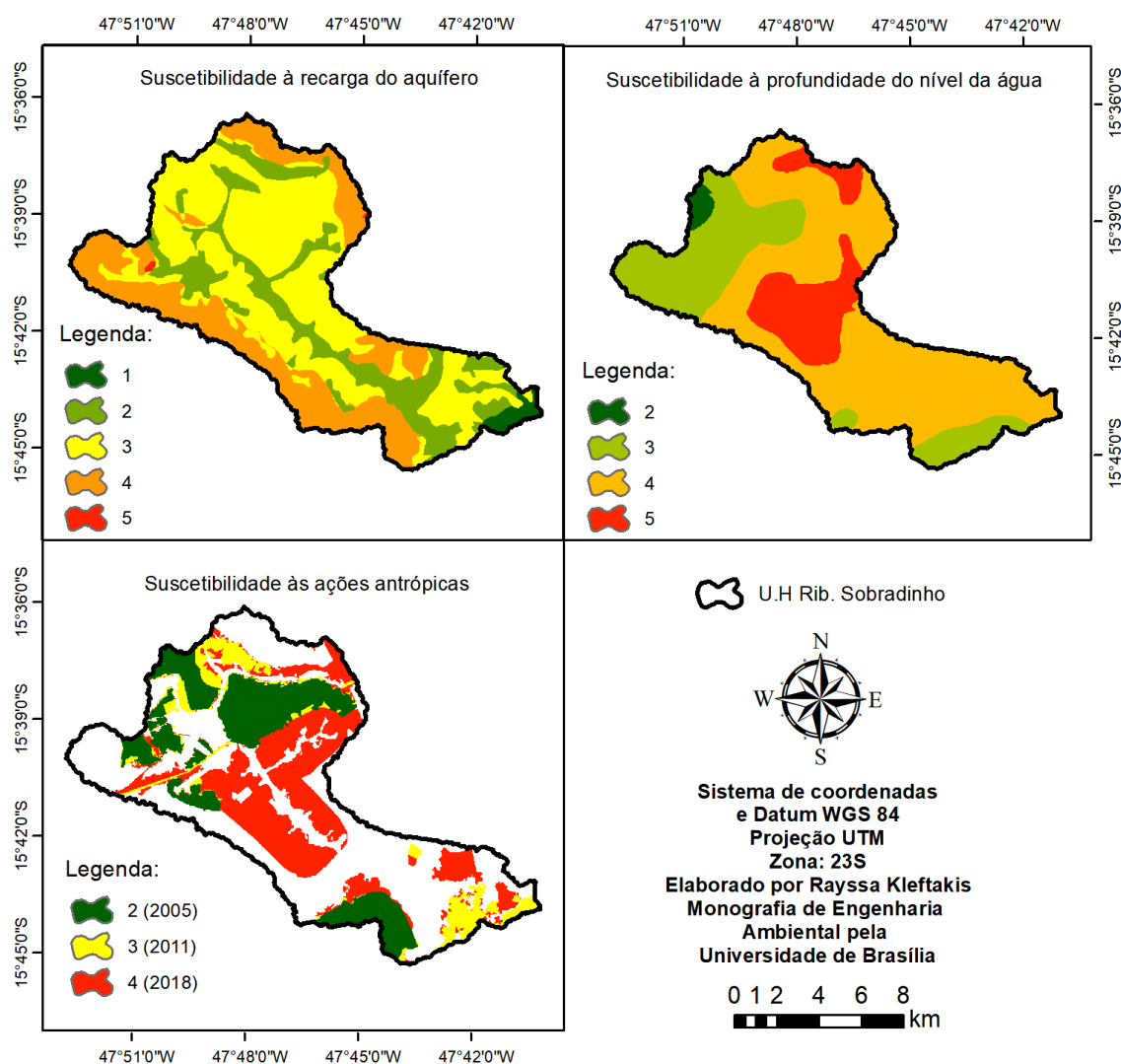


Figura 5.5: Mapas intermediários de suscetibilidade à recarga do aquífero, à profundidade do nível da água do lençol freático e às ações antrópicas.

O mapa de suscetibilidade às ações antrópicas, em estudos de vulnerabilidade, se torna essencial, pois em um sistema natural relativamente estável, a vulnerabilidade do ambiente que foi ou é alterada pela ação antrópica pode mudar de muito baixa vulnerabilidade para muito alta vulnerabilidade. Dessa forma, esse mapa é o de maior peso na composição da vulnerabilidade final.

Já o mapa de suscetibilidade à recarga do aquífero, como já mencionado, leva em conta três variáveis importantes que estão relacionadas a este trabalho, são estas: o domínio poroso e sua condutividade hidráulica, a compartimentação geomorfológica e a vazão registrada nos domínios fraturado e fissurocárstico, mostrando a suscetibilidade dos aquíferos. Além disso, de acordo com o documento do ZEE-DF (2019), as informações foram obtidas em escalas que variavam de 1:10.000 a 1:100.000. Devido a estes fatores, o mapa de suscetibilidade à recarga do aquífero também terá um peso significativo para a composição do mapa final de vulnerabilidade ambiental.

No que diz respeito à profundidade do nível da água, os valores de vulnerabilidade tem sua origem do plano de informação apresentado na Figura 4.1. O mapa de profundidade do nível da água do DF foi desenvolvido por Aguiar (1997) em sua tese de doutorado, e foi obtido a partir de técnicas de sondagem, poços artesanais e poços profundos na área do DF, demonstrando uma certa qualidade cartográfica. Aliado a isso, o mapa de suscetibilidade à profundidade do nível da água tem um certo nível de importância dentro do contexto da vulnerabilidade ambiental da mineração, visto que, pela retirada de vegetação, solo e rocha, a distância entre a superfície e o lençol freático na área da exploração mineral se tornou menos profunda, ficando mais vulnerável. Além disso, supondo que haja algum acidente com algum tipo de contaminante na área (ex: óleos de combustível dos caminhões), este chegaria mais rápido nas águas subterrâneas.

A seguir, é apresentado o último mapa de suscetibilidade que foi utilizado para composição do mapa de vulnerabilidade ambiental final.

5.1.2.5. Produção do mapa de suscetibilidade à inundação

A Tabela 19 apresenta os valores dos tempos de duração arbitrados (Td), assim como a intensidade resultante, a precipitação obtida por meio da intensidade, a precipitação excedente encontrada e, por fim, a vazão máxima obtida (Qmáx) para um tempo de retorno de 20 anos, encontrados a partir do método de Ven Te Chow descrito na metodologia no

item 4.2.1.6. A maior vazão encontrada foi de aproximadamente 912 m³/s, sendo essa a adotada para a simulação no HEC-RAS.

Tabela 19 – Valores calculados pelo método de Ven Te Chow (1987).

td (hrs)	Im (mm/h)	R (mm)	Re (mm)	Td/Tp	Z	Qmax
0,50	109,85	54,93	10,88	0,17	0,17	532,83
1,00	67,61	67,61	17,81	0,35	0,27	692,55
1,50	49,51	74,26	21,85	0,52	0,40	839,07
2,00	39,34	78,68	24,66	0,70	0,50	887,70
2,50	32,79	81,96	26,80	0,87	0,56	864,60
3,00	28,19	84,57	28,54	1,05	0,67	917,88
3,50	24,78	86,72	30,00	1,22	0,75	925,75
4,00	22,14	88,56	31,26	1,40	0,82	922,87
4,50	20,04	90,17	32,37	1,57	0,88	911,65

De posse da vazão máxima calculada, adotou-se um regime permanente e a fim de simplificar a confecção do canal e tornar a simulação mais real, foi adotado somente trecho principal do Ribeirão Sobradinho. O trecho principal possui 20 km de extensão e possui alguns afluentes que serão considerados como áreas de escoamento inefetivo. Isto posto, iniciou-se o desenho da geometria no HEC-HAS: foi traçada a linha de fundo do canal, assim como as linhas que determinam os limites das margens, delimitou-se uma situação de contorno em torno do canal, necessária a aplicação do modelo, assim como as linhas de corte transversais, conforme ilustrado na Figura 5.6 da página seguinte.

O valor calculado para o valor de Manning foram tirados da Tabela 15 do item 4.2.1.6 da metodologia e calculado a partir da Equação 16, tendo como resultado o valor de 0,0506.

$$n = 0,024 + 0,005 + 0,005 + 0 + 0,01 \times 1,15 = 0,0506$$

Para o escoamento na calha do rio, adotou-se $n = 0,050$ como valor inicial e, para escoamento na planície de inundação, em ambas as margens, tomou-se $n = 0,045$.

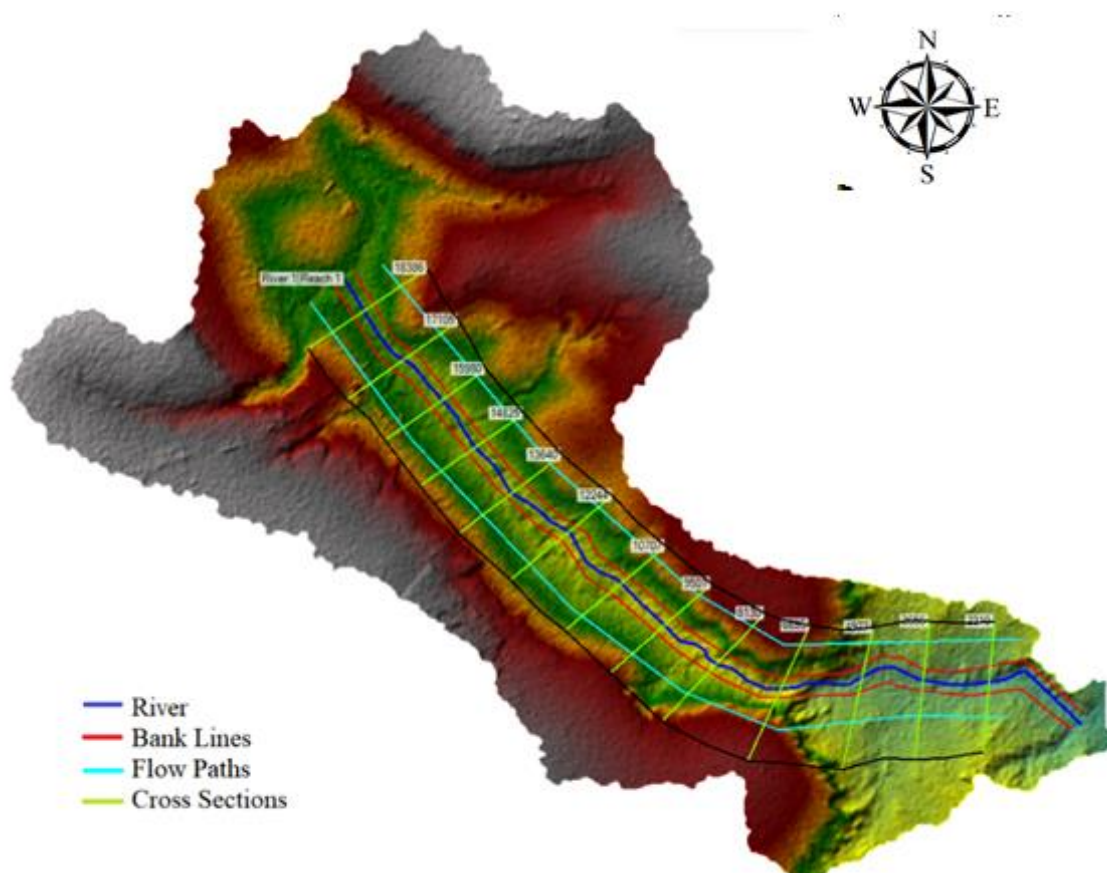


Figura 5.6: Traçados da geometria no HEC-HAS.

De posse dos dados do escoamento e da geometria, foi executada a simulação de inundação no software HEC-RAS para o tempo de retorno de 20 anos, sendo uma data de retorno razoável para eventos extremos.

Após executada a simulação de inundação no software HEC-RAS, seu resultado foi exportado para o formato GIS e reclassificado para um valor de vulnerabilidade médio. Supondo que tempos de retorno de 1 ano responderiam com uma faixa de inundação mais provável de ser inundada (valor de vulnerabilidade alto), pois a probabilidade dessa chuva máxima ocorrer é maior e tempos de retorno de 50 anos poderiam ocorrer com uma frequência menor (valor de vulnerabilidade baixo), para a presente pesquisa, foi realizada uma simulação que gerou uma faixa de inundação para o tempo de retorno selecionado de 20 anos, que foi reclassificado para um valor médio de vulnerabilidade.

Finalmente, o mapa das áreas de inundação foi gerado pelo software ArcGis e pode ser visualizado na Figura 5.7.

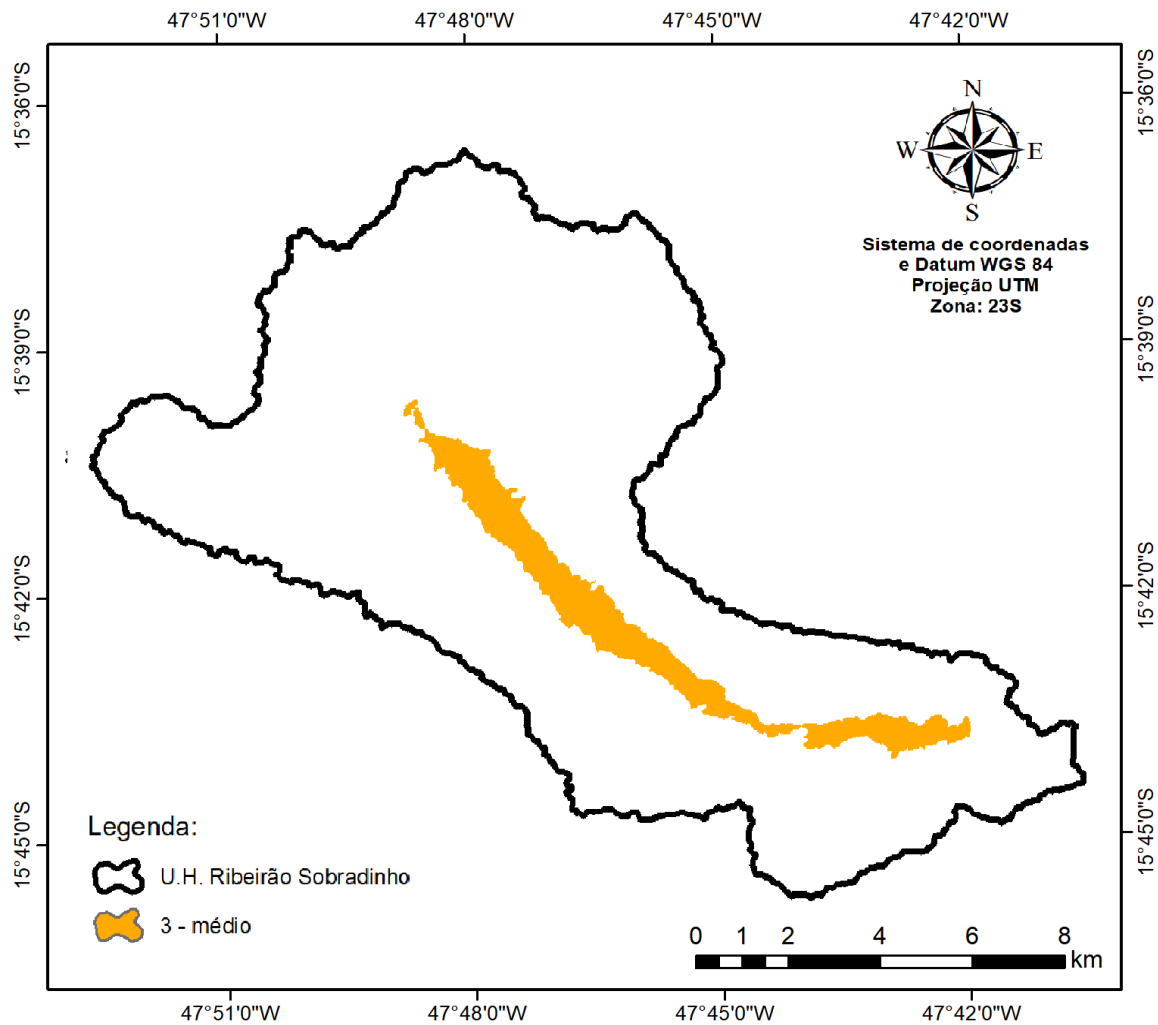


Figura 5.7: Mapa de suscetibilidade   inunda o para um tempo de retorno de 20 anos.

A an lise da vulnerabilidade, devido   suscetibilidade   inunda o, mostra-se relevante, pois, com a intensifica o dos processos de impermeabiliza o e eros o crescente do solo, h  altera es no fluxo dos rios e dos reservat rios, em raz o de assoreamentos, tornando a  rea mais suscet vel a processos de inunda o.

Al m da gera o do mapa de suscetibilidade   inunda o para composi o do mapa final de vulnerabilidade, a mancha de inunda o gerada no software HEC-RAS foi sobreposta   imagem de sat lite dispon vel no pr prio REC-HAS, visando, principalmente, identificar se a mancha de inunda o interfere em alguma atividade antr pica na bacia.

Dessa forma, atrav s da mancha de inunda o, constatou-se que seriam atingidas algumas  reas ocupadas, conforme a Figura 5.8, caso ocorresse um evento extremo para um tempo de retorno de 20 anos.

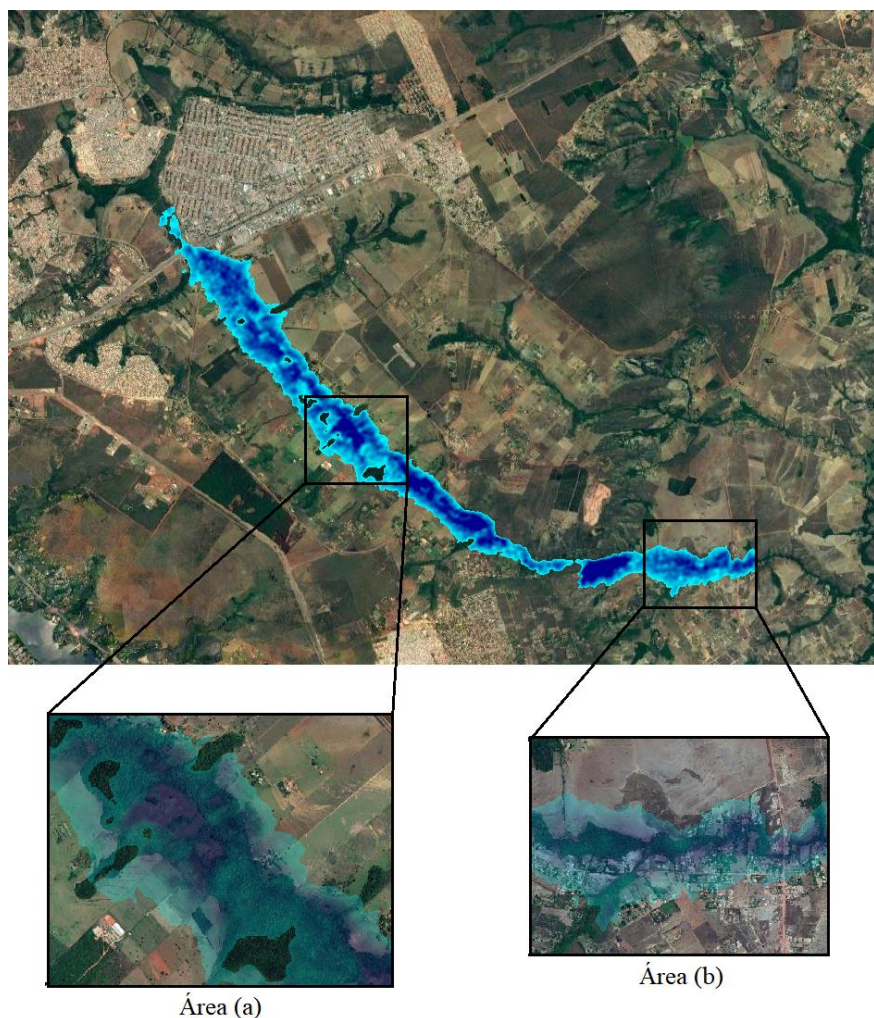


Figura 5.8: Áreas inundadas na bacia do Ribeirão Sobradinho de acordo com a simulação no HEC-HAS.

As áreas com domicílios afetados estariam, principalmente, no trecho final da bacia do Ribeirão Sobradinho, como pode ser observado na Área (b) da Figura 5.8, fato que pode ser explicado pelas características topográficas, tipificado por uma topografia mais plana, com maior susceptibilidade à inundações. Já nos trechos iniciais, em síntese, o relevo e a vegetação presentes assumem o papel de barramento natural contra as cheias da bacia do Ribeirão Sobradinho, impedindo que a mancha de inundação se alastre por áreas mais extensas e onde há residências, porém, ainda sim, a faixa de inundação alcançou uma parte das práticas agrícolas realizadas no trecho inicial, como pode ser observado na Área (a) da Figura 5.8. Dessa forma, a modelagem por HEC-RAS é interessante para aplicações que envolvem escoamento superficial. Tendo o conhecimento das características de uma bacia hidrográfica, é possível estabelecer estratégias de intervenções eficazes mais apropriadas para cada situação.

5.1.3. Mapa final de vulnerabilidade ambiental à mineração

De posse de todos os mapas intermediários, foi necessário atribuir pesos para cada fator integrante do mapa de vulnerabilidade ambiental à mineração, para isso, foi feita uma comparação entre os mapas, tomando os elementos dois a dois. Isso significa que, para a avaliação de cada mapa, todos os mapas englobados pelo nível serão comparados entre si. A comparação é realizada com base na escala proposta por Saaty, que vai de 1 a 9, cada nota representando o nível de importância de um elemento em relação ao outro. A Tabela 20 a seguir apresenta a interface de comparação realizada no EXCEL entre os mapas.

Tabela 20: Interface de comparação entre os mapas intermediários, dois a dois.

Mapas intermediários	Mapas intermediários									
	Absolutamente Mais Importante		Muito Fortemente Mais Importante		Fortemente Mais Importante		Fracamente Mais Importante		Igualmente Importante	
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
Ações antrópicas							3			Recarga de aquífero
Ações antrópicas							3			Prof. Nível da Água
Ações antrópicas							3			Erosão laminar
Ações antrópicas						4				Inundação
Ações antrópicas				6						Erosão linear
Recarga de aquífero									1	Prof. Nível da Água
Recarga de aquífero								2		Erosão laminar
Recarga de aquífero							3			Inundação
Recarga de aquífero					5					Erosão linear
Prof. Nível da Água								2		Erosão laminar
Prof. Nível da Água							3			Inundação
Prof. Nível da Água							3			Erosão linear
Erosão laminar								2		Inundação
Erosão laminar					5					Erosão linear
Inundação								2		Erosão linear

A interpretação é feita da esquerda para a direita, ou seja, representa sempre a dominância do elemento à esquerda sobre o elemento à direita. Por esse motivo a escala possui um lado refletido inversamente, que vai de 1 a 1/9, que é utilizado quando o elemento à esquerda é menos importante que o elemento à direita. Observa-se que o mapa de ações antrópicas, por exemplo, é mais importante que todos os outros mapas.

De posse das notas atribuídas, que são subjetivas, serão calculadas as matrizes de comparação que resultarão no peso de cada mapa. Dessa forma, seguindo-se a metodologia proposta no item 4.2.2 da pesquisa em pauta, o próximo passo foi elaborar a matriz de comparação e realizar os cálculos dos elementos da matriz (6x6), que estão apresentados na Tabela 21. Os elementos são: a soma (S) das seis colunas, a média geométrica (MG) das linhas e a soma das médias geométricas (SMG).

Tabela 21: Matriz de comparação e elementos da matriz.

n		1	2	3	4	5	6	
m		A.A.	R.AQ.	P.N.A.	E.LA.	INUN.	E.LI.	MG:
1	A.A.	1,00	3,00	3,00	3,00	4,00	6,00	2,18
2	R.AQ.	0,33	1,00	1,00	2,00	3,00	5,00	1,12
3	P.N.A.	0,33	1,00	1,00	2,00	3,00	3,00	1,12
4	E.LA.	0,33	0,50	0,50	1,00	2,00	5,00	0,74
5	INUN.	0,25	0,33	0,33	0,50	1,00	2,00	0,49
6	E.LI.	0,17	0,20	0,33	0,20	0,50	1,00	0,32
	S:	2,42	6,03	6,17	8,70	13,50	22,00	SMG: 5,98

De posse dos elementos da matriz, é possível obter o peso de cada mapa intermediário pela fórmula da Equação 4, no qual o peso é igual a média geométrica das linhas dividido pelo somatório das médias geométricas. Os pesos obtidos para cada mapa estão apresentados na Tabela 22 a seguir.

Tabela 22: Pesos obtidos para os mapas intermediários de suscetibilidade.

Mapas de suscetibilidade	Wm
Ações antrópicas	0,365
Recarga do aquífero	0,188
Profundidade do nível da água	0,188
Erosão laminar	0,124
Inundação	0,082
Erosão Linear	0,054
Somatório	1

Por fim, calcula-se os parâmetros para validação dos pesos obtidos. A razão de consistência é dada pela relação entre o índice de consistência e o índice randômico tabelado para 6 elementos. Os parâmetros encontrados pelos cálculos são $\lambda = 6,54$; $IC = 0,108$ e $RC = 0,08$. Como o valor da razão de consistência (RC) foi menor que 0,1, os julgamentos da matriz são consistentes e os resultados são seguros. Os critérios de julgamento foram baseados na qualidade cartográfica, no tipo de informação que é agregado pelo mapa e na importância do parâmetro dentro da avaliação realizada.

De posse dos pesos validados, ocorreu a sobreposição dos mapas de suscetibilidade na ferramenta *raster calculator* do ArcGis, implementando a Equação 8 do item 4.2.2 da metodologia da pesquisa em pauta, e feita a reclassificação para valores de vulnerabilidade, foi obtido o mapa final de vulnerabilidade ambiental, apresentado na Figura 5.9.

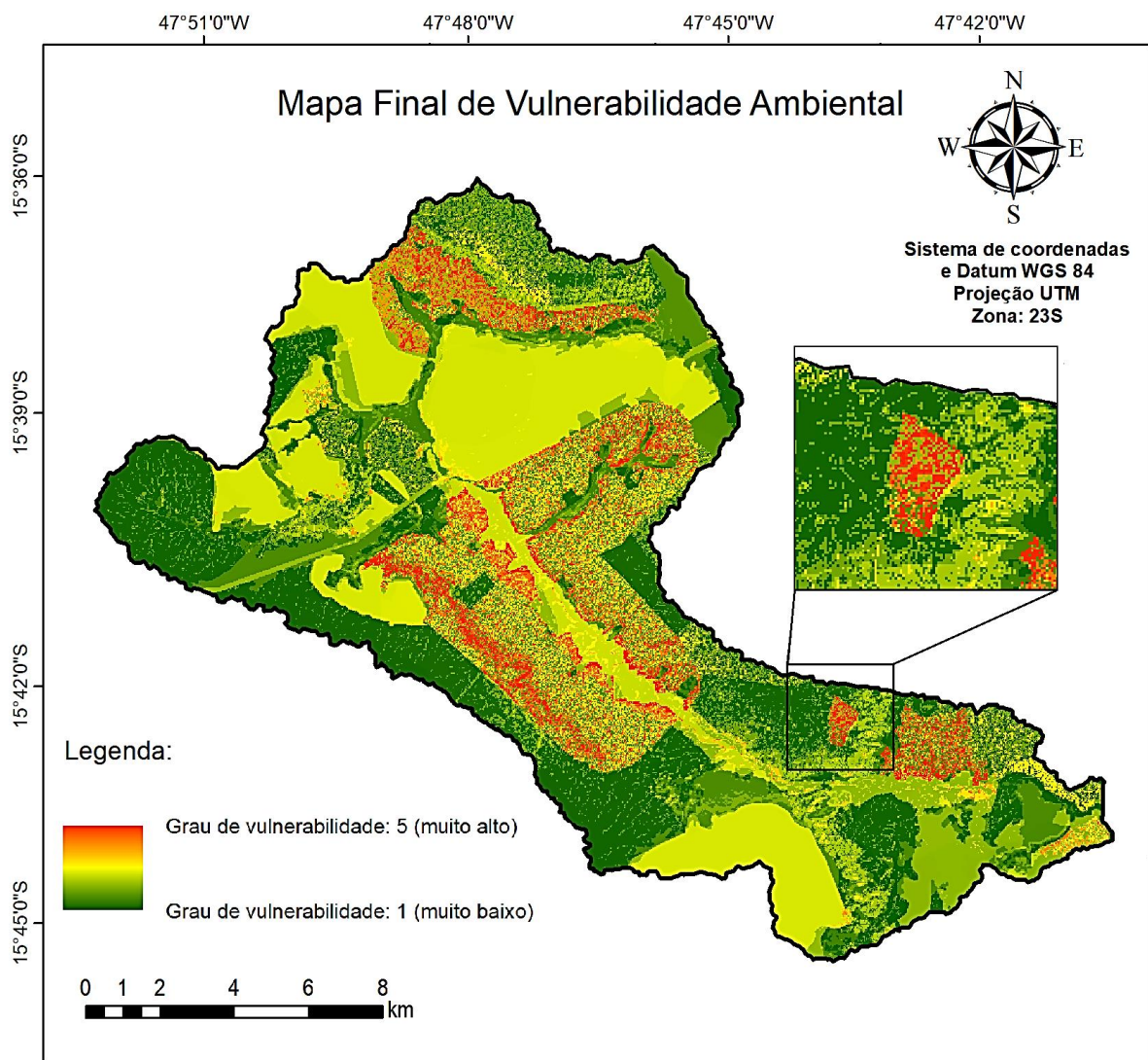


Figura 5.9: Mapa final de vulnerabilidade ambiental.

Nota-se, pela Figura 5.9, que os pixels da imagem com os valores mais altos de vulnerabilidade se referem àqueles, no geral, que possuem presença antrópica ou um certo grau de declividade. Nas áreas onde não existe ou têm pouca interferência antrópica, é constatado valores mais baixos de vulnerabilidade, porém, ao se observar áreas com mata de galeria ao redor do Ribeirão Sobradinho, nota-se um valor médio de vulnerabilidade, o que se relaciona ao peso do mapa de suscetibilidade à mancha de inundação, que aumentou a vulnerabilidade desses locais.

A vista do que foi verificado no mapa de vulnerabilidade ambiental de 2018, uma das áreas mais suscetíveis a problemas ambientais é a área em que a exploração mineral de areia quartzítica se localiza, observando-se um valor muito alto de vulnerabilidade. Verificou-se, também, durante a execução da pesquisa, que próximo à área da exploração, há a predominância de relevo ondulado e escarpado (APP de declividade) e a presença de nascentes (APP de drenagem), tornando essa área ainda mais frágil para uso antrópico. Dessa forma, é altamente recomendado a cobertura vegetal permanente nessas áreas.

Para uma melhor análise dos impactos proporcionados pela BRACAL, foi feito um mapa de uso e cobertura do solo para a área em destaque da Figura 5.9, com imagens de melhor resolução e com data mais recente (2019). Além disso, foi realizado uma visita técnica ao empreendimento para uma melhor análise dos impactos e das medidas mitigadoras realizadas pelo empreendimento. Esses procedimentos, que estão no item seguinte dessa pesquisa, assim como a produção do mapa de vulnerabilidade, tenciona subsidiar a correta gestão da bacia do Ribeirão Sobradinho, por meio da implantação de medidas que visem restringir os impactos negativos que a BRACAL possa oferecer ao bem-estar da população, à preservação dos recursos naturais e ao equilíbrio do ecossistema.

5.2. Análise sobre a BRACAL

O mapa de uso e cobertura do solo da BRACAL foi elaborado de acordo com o descrito no item 4.2.3 da metodologia e pode ser observado na Figura 5.10. O mapa possibilitou uma melhor análise dos impactos relacionados à exploração mineral realizada pela BRACAL, que se coloca como uma das áreas mais vulneráveis da bacia do Ribeirão Sobradinho. No trabalho de campo, observou-se principalmente os aspectos relacionados aos possíveis impactos mencionados nos estudos de impacto e licenciamento ambiental no qual a BRACAL forneceu ao IBRAM e tentou-se constatar se as medidas mitigadoras estão sendo

realizadas.

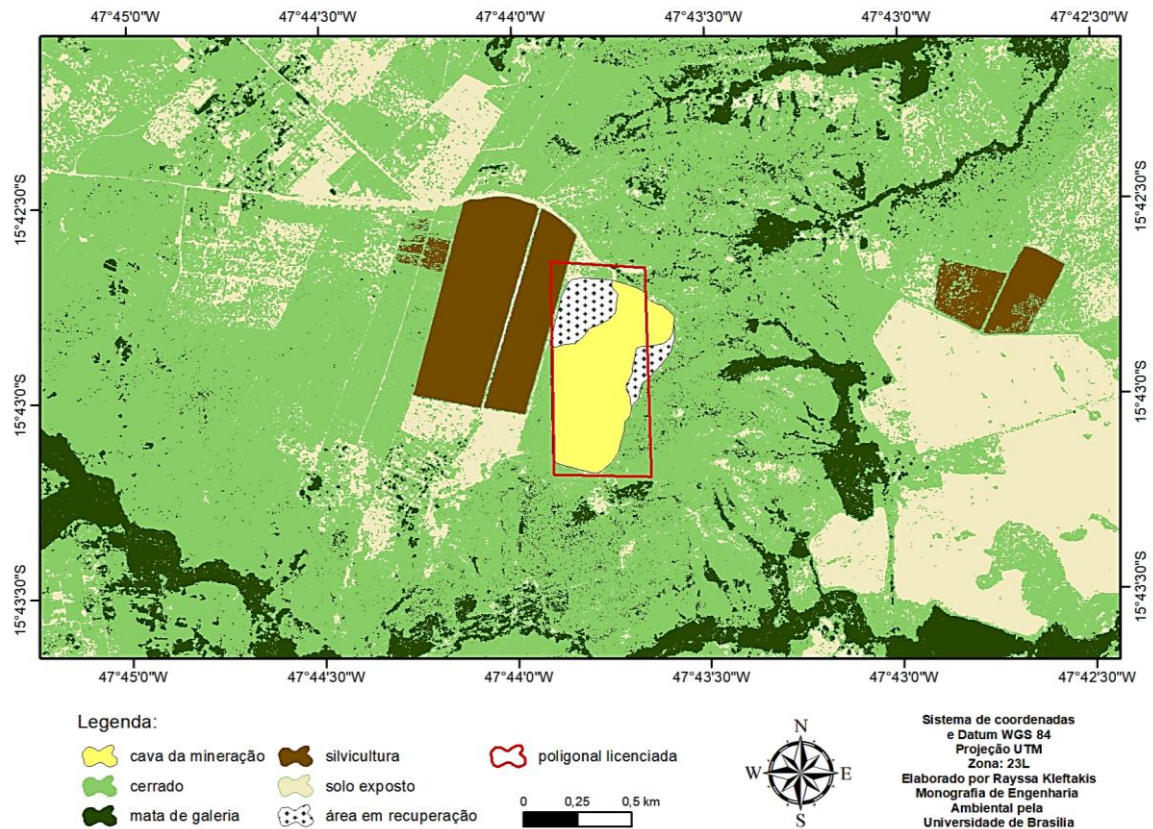


Figura 5.10: Mapa de uso e cobertura do solo da BRACAL (2019).

Na imagem do mapa de uso e cobertura do solo da Figura 5.10, o principal impacto que ocorre na área da exploração mineral é a alteração da paisagem. Na paisagem, antes ocupada pelos morros, ocorreu o desmatamento, a remoção de solo e de rocha, apresentando alterações de suas propriedades físicas, químicas e biológicas, alterações estas que tendem a comprometer a composição, estrutura e funcionamento do ecossistema natural do qual faz parte. Este é um impacto negativo permanente e irreversível.

Mesmo que a BRACAL realize a revegetação de toda a área de acordo com o PRAD, a restituição da área será o mais próxima possível de sua condição original, mas que é diferente desta, por não ser possível reconstituir a área com a rocha.

Algumas áreas já exploradas estão sendo recuperadas, porém, essas áreas não possuem vegetação consolidada, como a área a noroeste na área da exploração mineral, o que pode ser constatado na fotografia obtida no trabalho de campo presente na Figura 5.11 a seguir, em que se predomina um tipo de vegetação rasteira.



Figura 5.11 – Área à noroeste da BRACAL em processo de recuperação. Data: 7 de junho de 2019.

A maior parte do terreno continua com o solo exposto, o que demonstra que o PRAD, que tem como objetivo fazer o reflorestamento com espécies nativas, não está sendo realizado totalmente como deveria no que tange ao momento de execução, não é prudente aguardar o esgotamento da jazida ou a interrupção das atividades, pois nessa fase o empreendedor ou responsável pode deixar de conseguir lucros e se sentir tentado a abandonar a mina.

Apesar disso, de acordo com os pareceres técnicos fornecidos pelo IBRAM e visita técnica realizada, foi constatado áreas de deposição do pacote fértil (*top soil*), de importância fundamental para uso na revegetação, que é separado e armazenado em pilhas, conforme visto na fotografia obtida no trabalho de campo presente na Figura 5.12.



Figura 5.12: Área separada para deposição do *top soil*. Data: 7 de junho de 2019.

Fotografia obtida pela visita técnica.

Outro impacto importante a ser considerado é a alteração dos processos geológicos. Com a retirada da cobertura vegetal e uma vez que a movimentação de terra expôs uma grande área, o terreno fica mais suscetível à processos de erosão linear e laminar, podendo ser formados sulcos e ravinas, o que foi constatado no trabalho de campo nas áreas da exploração, conforme pode ser visto na fotografia obtida no trabalho de campo presente na Figura 5.13 (a); entretanto, as vicinais de acesso (b) à BRACAL se encontram em bom estado.

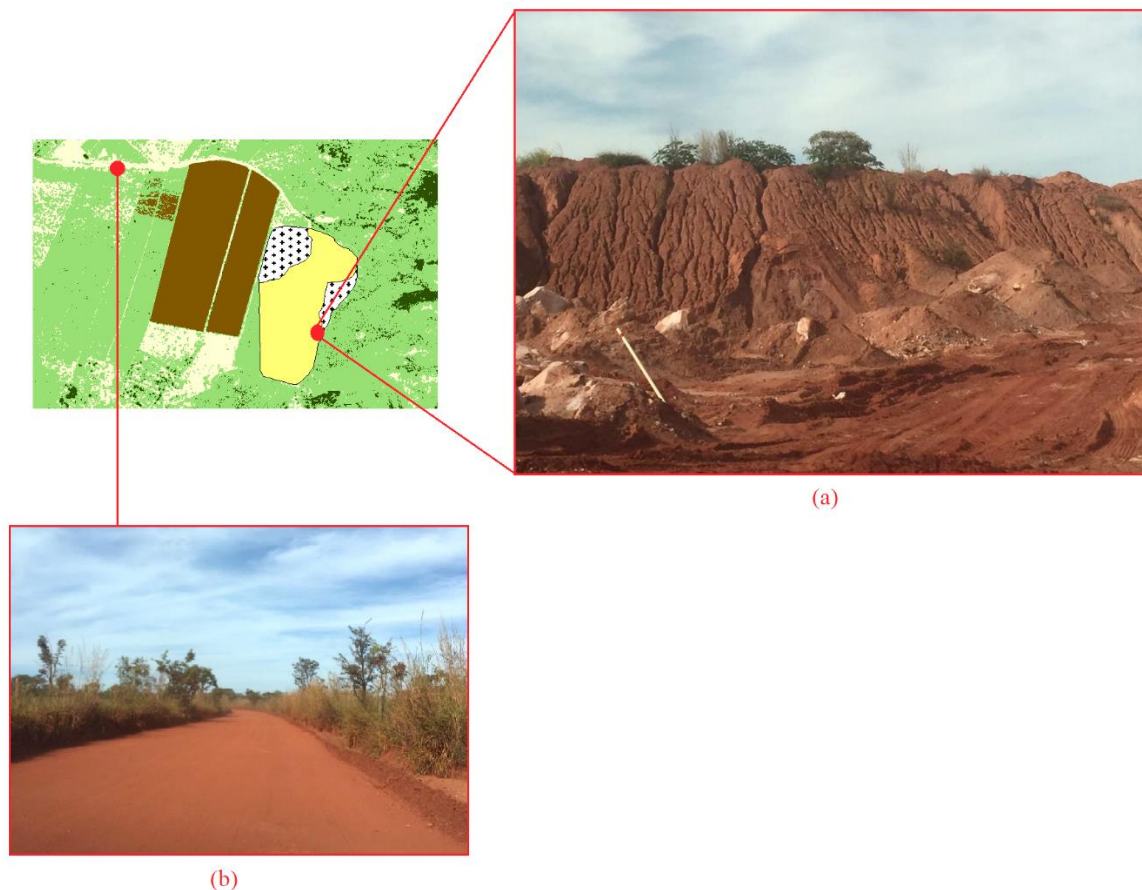


Figura 5.13: Em (a) área localizada na área da exploração mineral com sulcos e ravinas e em (b) vicinais de acesso à BRACAL sem processos erosivos. Data: 7 de junho de 2019.

Fotografias obtidas pela visita técnica.

Um ponto importante que pode foi constatado a partir da produção do mapa de uso e cobertura do solo da BRACAL, é que foram extrapolados, a leste, os limites da poligonal licenciada, descritos na licença de operação vigente nº 044/2017. A conduta de extrair areia sem a devida autorização do órgão competente configura o delito do artigo 2º da Lei nº 8.176/91 - usurpação do patrimônio da União. Dessa forma, a extração de areia foi feita em

desacordo com a Licença Ambiental de Operação apresentada. Na visita técnica, ocorrida no dia 7 de junho de 2019, foi observado que a área extrapolada foi em parte recuperada e na outra parte (área em amarelo fora da poligonal no mapa de uso e cobertura do solo – indicado na Figura 5.14), se localiza o reservatório do qual se bombeia a água recirculada utilizada para separação do material escavado. Esse fato pode ser uma consequência da dificuldade e/ou falta de fiscalização na área da exploração mineral.

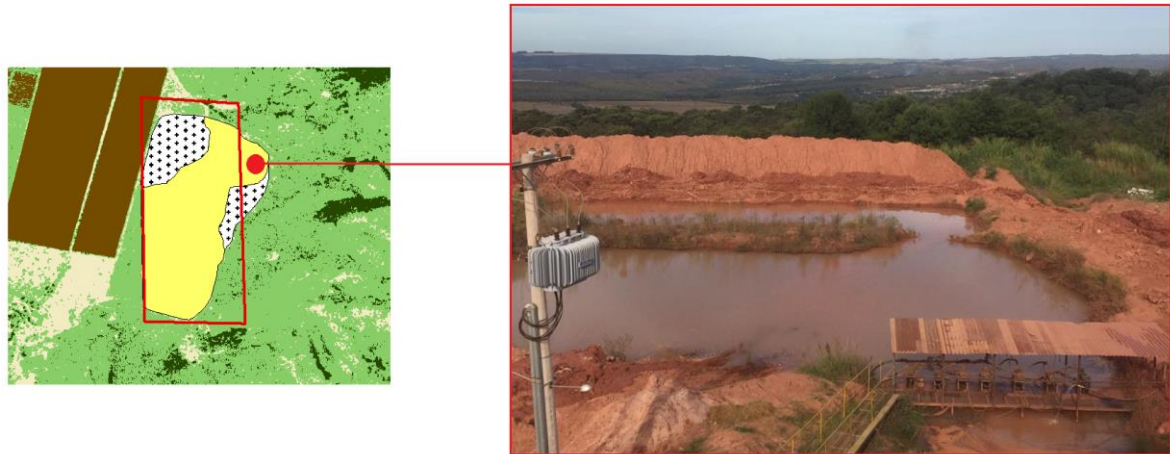


Figura 5.14: Área fora da poligonal licenciada utilizada para reservatório de água. Data: 7 de junho de 2019.

Fotografia obtida pela visita técnica.

Nota-se, ainda, pelo mapa de uso e cobertura do solo, que além do solo exposto presente na área da mineração, existem áreas a noroeste da BRACAL em que o crescimento urbano vem se dando de forma desordenada, sendo que as áreas de expansão urbana se mesclam com áreas de solo exposto. O desmatamento de áreas como essas causa uma série de consequências negativas ao solo, isso porque um dos elementos importantes que influenciam na formação do solo é a vegetação presente no local. A vegetação que foi retirada desses locais é responsável pela circulação de nutrientes e pela proteção do solo, então, quando há o desmatamento da área, a terra fica exposta, desprotegida e mais suscetível à compactação e à processos erosivos.

A compactação do solo é provocada por ciclos de molhagem e secagem, pela passagem de maquinário pesado e caminhões de areia que passam todos os dias nas vias, além de pisoteio, etc. A compactação do solo gerada pelos ciclos de molhagem e secagem oferecerá como consequência a redução da permeabilidade e, portanto, da infiltrabilidade a partir da

superfície do terreno em consequência da diminuição da porosidade. Fica evidenciado que no processo de infiltração da água das chuvas, o sistema radicular das plantas é fundamental, como são extensas e crescem para baixo, as raízes ajudam na descompactação do solo e atuam como redutores da velocidade de enxurradas, aumentando, assim, a capacidade de infiltração da água no solo (Camapum, 2006).

Como forma de mitigar os impactos causados pela exploração, a BRACAL deveria construir canais de drenagem, bacias, valetas preventivas e “bigodes” para evitar o acúmulo das águas pluviais na cava e nas vias por onde trafegam as máquinas envolvidas na exploração, a fim de evitar a formação de processos erosivos. Durante a visita técnica não foi possível verificar a presença das estruturas solicitadas, porém, foi observado o acúmulo de água nas áreas de tráfego (Figura 5.16).



Figura 5.15: Área de tráfego com acúmulo de água. Data: 7 de junho de 2019.

No que tange ao tratamento de resíduos, de acordo com a visita técnica realizada e os pareceres técnicos fornecidos pelo IBRAM, a BRACAL tem se esforçado para atender essa condicionante, com a presença de bacia de retenção de óleos para posterior encaminhamento para empresa credenciada.

6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Para este trabalho, utilizou-se das ferramentas de SIG que fazem com que os dados sejam gerados de forma rápida e com economia de recursos, facilitando a visualização dos resultados, que ficam estruturados num único banco de dados e permite a compatibilização das informações provenientes de diversas fontes, tais como sensores espaciais e informações de vetor e topografia. Portanto, os avanços tecnológicos propiciaram uma profunda evolução da análise espacial.

O SIG se mostrou uma ferramenta indispensável em todos os níveis deste trabalho, desde a aquisição das imagens de satélite até o refinamento dos dados. Os resultados obtidos mostraram-se eficientes nas análises espaciais temporal do uso da terra condicionado às propriedades físicas da área em estudo, evidenciando áreas com um grau maior de suscetibilidade ambiental. Todas as informações obtidas neste trabalho formam um conjunto de dados que detalham os aspectos físicos e ambientais da área utilizada para extração mineral, podendo ser articulados entre si.

Diante desses dados, percebe-se que houve um forte crescimento na urbanização na bacia do Ribeirão Sobradinho nos últimos dez anos, havendo forte degradação dos recursos naturais e diminuição de áreas preservadas, ocorrendo desmatamento e impermeabilizações, prejudicando assim, o ciclo hidrológico e a recarga subterrânea. De acordo com os mapas de uso e cobertura do solo produzidos, da área mapeada, aproximadamente 50% são de áreas antropizadas, incluindo classes como práticas agrícolas, solo exposto e áreas urbanas e os outros 50% possuem área de vegetação natural e lagos. No entanto, apesar de ter sido mapeado uma extensa área de vegetação natural, isso não significa que essa vegetação esteja em condições ideais de preservação, devido à interferência antrópica, como o próprio Ribeirão Sobradinho, que está em fase de revitalização. Esse ribeirão vem sofrendo, nas últimas décadas, uma alteração nos seus recursos hídricos, tanto no aspecto qualitativo, como no quantitativo, podendo ser constatado em diversos outros estudos já realizados. Vale ressaltar as inúmeras captações irregulares para suprir a demanda pelos recursos hídricos na região.

No que tange à produção dos mapas, para a geração das áreas susceptíveis à erosão laminar e linear, foi necessário um detalhamento da pedologia, da geologia, do clima, da declividade e da topografia, esta obtida pelo satélite ALOS, de resolução de 12,5 metros e que foi importante na precisão dos dados obtidos. Além disso, a aplicação do modelo da EUPS se

mostrou eficiente em ambiente SIG, a qual também contribuiu para um melhor resultado deste trabalho. Entretanto, os valores estimados de perda de solo pela EUPS não devem ser considerados como absolutos, pois os fatores da equação sempre podem ser melhorados com trabalhos de campo. Apesar disso, eles têm sido uma ferramenta importante no conhecimento a cerca do grau de vulnerabilidade à erosão laminar em uma bacia, servindo como justificativa para evitar determinadas práticas e incentivar medidas de proteção do solo, como o incentivo à execução do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) pela BRACAL. Assim, na predição dos processos erosivos, foi possível mapear as áreas de susceptibilidade erosiva laminar e linear, gerando subsídios para serem elaborados planos de ações preventivas evitando desastres ambientais. A execução do PRAD, assim como o a execução do plano de fechamento da mina, é altamente recomendado, dada a fragilidade da área em questão.

Além disso, a exploração mineral realizada pela BRACAL é uma das condicionantes responsáveis, não só pelos processos erosivos, mas também de possíveis eventos extremos que poderiam causar enchentes e inundações na respectiva bacia em que se situa. Atualmente, existe disponível uma ampla gama de medidas de planejamento e gestão referentes às bacias hidrográficas capazes de articular planejamento urbano e gerenciamento hídrico. A delimitação da faixa de inundação é de grande valia para tomadas de decisões e para a pesquisa em pauta, também compôs o mapa final de vulnerabilidade.

Por sua vez, o mapa de suscetibilidade às ações antrópicas foi considerado o de maior peso na composição do mapa final, devido ao fato de que, em estudos de vulnerabilidade, ele se torna essencial, pois em um sistema natural relativamente estável, a vulnerabilidade do ambiente que foi ou é alterada pela ação antrópica pode mudar de muito baixa vulnerabilidade para muito alta vulnerabilidade. Apesar disso, os mapas de suscetibilidade à recarga do aquífero, e à profundidade do nível da água também são importantes, visto que trouxeram informações adicionais que merecem atenção quando se trata de impactos resultantes de uma exploração mineral.

A sobreposição de todos os mapas intermediários, que gerou o mapa final de vulnerabilidade, foi proporcionado pelo SIG e pela ferramenta multicritério (AHP) e possibilitou avaliar e comparar quantitativamente e qualitativamente os elementos avaliados, auxiliando assim na tomada de decisão. Os mapas intermediários foram, basicamente, analisados com critérios de julgamento baseados na qualidade cartográfica, no tipo de informação que é agregado e na importância do parâmetro dentro da avaliação realizada. O mapa final de vulnerabilidade

ambiental produzido evidencia que as causas de instabilidade ambiental existentes na exploração mineral são oriundas da própria exploração em questão. Por mais que seja necessário a exploração mineral para uso na construção civil, existem implicações na tentativa de preservação dos recursos naturais que comprometem a sustentabilidade ambiental na Área de Proteção Ambiental do Rio São Bartolomeu e das APP adjacentes.

Dessa forma, a extração da areia quartzítica, com início em 2005, que vem sendo realizada velozmente para atender as demandas de mercado crescente, impacta de forma intensa a área de exploração e o seu entorno, ocasionando uma desconexão do ambiente, pela geração de ruídos e sons, ocorrendo intervenção na área e afugentando a fauna do local. Essas condições em uma Área de Proteção Ambiental (APA), não se evidencia em uso sustentável, pois por mais que se façam planos de recuperação ambiental, mitigação e outros recursos para minimizar os danos dos impactos, o meio já foi alterado e não retornará com suas características ambientais.

Por mais que a BRACAL, no geral, esteja se esforçando para minimizar os danos causados pela mineração, é importante o acompanhamento para certificar que as medidas cabíveis de recuperação estão sendo realizadas de forma eficaz e que não haja uma nova extrapolção dos limites licenciados. Dessa forma, cabe ao órgão responsável, IBRAM, estar sempre atento e presente em todas as etapas do processo de extração mineral.

A correlação de todos os dados gerados neste trabalho como um todo é importante para um planejamento ambiental que propicie o desenvolvimento sustentável na área, auxiliando na regulamentação de leis ambientais na região. Diante dos tipos de informações geradas neste trabalho, é permitido aos órgãos gestores e fiscalizadores conhecer a região e identificar as áreas de infração ambiental com um maior detalhamento. Porém, a responsabilidade para com o meio ambiente não se limita apenas aos órgãos, mas ressalta-se a importância da participação e parcerias de toda a sociedade, órgão gestores e fiscalizadores, instituições de pesquisa que auxiliem no planejamento da gestão dos recursos naturais, promovendo um desenvolvimento econômico e social sustentável.

7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, W. S., SOUZA, N. M. E CARVALHO, J. C. Produção de carta geotécnica preliminar da capacidade de infiltração de água no solo em uma área do entorno do reservatório da usina hidrelétrica de Corumbá IV (GO). In: José Camapu de Carvalho; Gilson de Farias Neves Gitirana Junior; Eufrosina Terezinha Leão Carvalho. (Org.). Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos tropicais. 1ed. Brasília: Universidade de Brasília, 2012, v. 4, p. 581-606.

ALMEIDA, W. S.; DINIZ, M. S.; SILVA, L. S.; CAMAPUM DE CARVALHO, J.; SILVA JUNIOR, E. E. A. ; SOUZA, N. M. ; FARIAS, R. J. C. Vulnerabilidade e modelagem ambiental em bacias hidrográficas. In: Maurício Martines Sales, José Camapum de Carvalho, Márcia Maria dos Anjos Mascarenha, Marta Pereira da Luz, Newton Moreira de Souza, Renato Resende Angelim. (Org.). Erosão em bordas de reservatórios. 1ed. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2017, v. 3, p. 287-322.

AQUINO, A. R.; LANGE, C. N.; LIMA, C. M.; AMORIM, E. P.; PALETTA, F. C.; FERREIRA, H. P.; BORDON, I. C. A.; ALMEIDA, J. R.; GOMES, M. A. U. G.; ZAMPIERI, M. C. T.; OLIVEIRA, M. J. A.; CORREIA JUNIOR, P. A.; SOUZA, R. R.; MATTIOLO, S. R.; RODRIGUES, S. G. Vulnerabilidade ambiental. In: Vulnerabilidade ambiental. São Paulo: Blucher, 2017, p. 15 -28.

BARBOSA, Carlos Magno de Souza; MATTOS, Arthur. Conceitos e Diretrizes para Recarga Artificial de Aquíferos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 15., 2008, Natal. Anais... . Natal: ABAS, 2008. p. 1 - 12. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23657/15733>. Acesso em: 30 ago. 2016

BERTONI, J.; NETO, F. L. Conservação do solo. 6ª ed. Editora CONE: São Paulo, 2008.

BRACAL. Relatório de Controle Ambiental e Plano de Controle Ambiental. 2003. 386p.

BRASIL. Constituição Federal (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF. Senado Federal, Coordenação de Edições Técnicas. Disponível em: <<https://www2.senado.leg.br>>. Acesso em: outubro de 2018.

BRASIL. Decreto Nº 88.940 de 7 de novembro de 1983. Criação das Áreas de Proteção Ambiental das Bacias dos Rios São Bartolomeu e Descoberto. Disponível em: <www.planalto.gov.br>. Acesso em: outubro de 2018.

BRASIL. Lei Complementar Nº 803 de 25 de abril de 2009. Aprova a revisão do Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal — PDOT e dá outras providências. Disponível em: <http://www.segeth.df.gov.br>>. Acesso em: outubro de 2018.

BRASIL. Lei Nº 1.149 de 11 de julho de 1996. Dispõe sobre o zoneamento ambiental da Área de Proteção Ambiental da bacia do rio São Bartolomeu. Disponível em: <<http://www.tc.df.gov.br>>. Acesso em: outubro de 2018.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.tc.df.gov.br>>. Acesso em: novembro de 2018.

BRASIL. Lei Nº 5.344, de 19 de maio de 2014. Dispõe sobre o Zoneamento Ambiental e o Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental da Bacia do Rio São Bartolomeu. Disponível em: <<http://www.tc.df.gov.br>>. Acesso em: outubro de 2018.

BRASIL. Lei Nº 6.938 de 31 de agosto de 1981. Política Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: outubro de 2018.

BRASIL. Lei Nº 9.985 de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: novembro de 2018.

CAMAPUM DE CARVALHO, J.; SALES, M.M., MOREIRA DE SOUZA, N., MELO, M.T.S. Processos Erosivos no Centro Oeste Brasileiro. FINATEC, Brasília, 2006.

CÂMARA, J. B. D. Análise da Área de Proteção Ambiental da Bacia do Rio São Bartolomeu como instrumento de Planejamento e Gestão Ambiental. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília, 1993.

CAMPAGNOLI, F; RAMOS, C. L. A aplicação do assoreamento na definição de geoindicadores ambientais em áreas urbanas: exemplo na Bacia do Alto Tietê, São Paulo. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

CHOW, V. (1959).|| Open Channel Hydraulics||. New York: McGraw-Hill Book Company. 80

CODEPLAN. Atlas do Distrito Federal, 2017. Disponível em: <<http://www.codeplan.df.gov.br>>. Acesso em: outubro de 2018.

CONAMA. Resolução nº 10 de 6 de dezembro de 1990. Dispõe sobre normas específicas para o licenciamento ambiental de extração mineral classe II. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br>>. Acesso em: novembro de 2018.

CORSEUIL, C.W. Técnicas de geoprocessamento e de análise de multicritérios na adequação de uso das terras, 2006.

COSTA, F.H.S.; PETTA, R.A.; LIMA, R.F.S.; MEDEIROS, C.N. Determinação da vulnerabilidade ambiental na Bacia Potiguar, Região de Macau – RN. Revista Brasileira de

Cartografia, nº 58/02, 2006, p. 119-127.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de; HERNANDEZ Fº, P. FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; e BARBOSA, C. C. F.. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico – econômico e ao ordenamento territorial. Ministério da Ciência e Tecnologia Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Apostila (INPE-8454-PQ/722). São José dos Campos SP, 2001.

EMBRAPA. Projetos. Disponível em: <<http://www.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: outubro de 2018.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Levantamento de reconhecimento dos solos do Distrito Federal. Rio de Janeiro, 1978, 455 p.

FUSHIMI, M; NUNES, J.O.R. Geoprocessamento e Sistemas de Informação Geográfica sob a perspectiva do pensamento da complexidade. Faculdade de Ciências e Tecnologia (UNESP). Revista Interface, Ed. nº 11, São Paulo, 2016, p. 167-182.

GIMENES, F.; FILHO, O. Mapas de fragilidade ambiental utilizando o processo de análise hierárquica (AHP) e sistema de informação geográfica (SIG). Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu - PR, Brasil, 2013, p. 6564-6571.

IBGE. Manual Técnico de Uso da Terra. 3. ed., Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

IBRAM. Parecer Técnico nº 200.000.209/11. Brasília, DF, 2011.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Processamento de Imagens - DPI. SPRING: SPRING Básico - Tutorial SPRING. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br>>. Acesso em: outubro de 2018.

LIMA, M.C. Degradação Físico-Química e Mineralógica de maciços junto às voçorocas. Tese de Doutorado, Publicação G.TD-17A/03, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2003, 336 p.

MMA, Ministério do Meio Ambiente (2011). Áreas de Preservação Permanente e Unidades de Conservação & Áreas de Risco. O que uma coisa tem a ver com a outra? Relatório de Inspeção da área atingida pela tragédia das chuvas na Região Serrana do Rio de Janeiro. Brasília: MMA, 2011, 96 p.

MMA, Ministério do Meio Ambiente (2018). O que são Unidades de Conservação. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: outubro de 2018.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. Diretrizes Ambientais para o Setor Mineral, 1997.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. Manual de normas e procedimentos para licenciamento ambiental no setor de extração mineral. Brasília, 2001.

MOORE, I.; BURCH, G. Physical basis of the length-slope factor in the universal soil loss equation. In: Soil Science Society of America Journal. p- 1294-1298, 1986.

MORAES, E. C. Fundamentos de sensoriamento remoto. INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2002.

NBR, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ISO 14001: Sistemas da gestão ambiental: Requisitos com orientações para uso, 2004.

NUNES, F. G.; FIORI. A utilização do método de vem te chow na estimativa da vazão máxima da bacia hidrográfica do rio atuba. Revista Eletrônica Geografar. v.2, n.2, p.139-155, 2007.

RIGNEL, D. G. de S. et al. Uma introdução a Lógica Fuzzy. Revista Eletrônica de Sistemas de Informação e Gestão Tecnológica, 2011, v. 1, n. 1, p. 17-28.

ROSS, J.L.S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. Revista do departamento de geografia. n. 8, p. 63-73. 1994.

SAATY, T. L. Método de Análise Hierárquica. Tradução e revisão Técnica Wainer da Silveira e Silva. São Paulo: Mcgraw-hill, Makron, 1991.

SÁNCHEZ, L.H. Avaliação de impacto ambiental: Conceitos e métodos. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013, 583p.

SANTOS, A. Extração Mineral de areia e seus impactos na territorialidade socioambiental: o caso de Feira de Santana – BA, 2013.

SANTOS, D. A, GURGEL, M. T., MOTA, A. F. e PAIVA, F. I. G. Extração mineral de quartzito e sua aplicabilidade na construção civil na cidade de Várzea – PB. Holos, 2014, v. 4, p. 89-100.

SILVA, E.C.S. Estudo regional para a avaliação da erosão laminar potencial na bacia hidrográfica do reservatório Corumbá IV. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM175/09, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2009, 129p.

STEIN, D. P.; DONZELLI, P. L.; GIMENEZ, A . F. PONÇANO, W. L. LOMBARDI NETO, F. (1987). Potencial de erosão laminar, natural e antrópico na Bacia do PeixeParanapanema. Anais do IV Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Marília, SP, P. 105-135. 84

TUCCI, C. E. M. (2004). Controle de Enchentes. In: TUCCI, C.E.M. (org). Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre, RS, Ed. UFRGS/ABRH, 3.ed., 1areimp. p. 391-441.

TUCCI C. E. M. et al. (1995) Drenagem Urbana. 1ª ed. Porto Alegre - RS, Editora da UFRGS, 1995.

US ARMY CORPS OF ENGINEERS - USACE, (2000) Hydrologic Engineering Center. HEC - HMS Hydrologic Modeling System: Technical Reference Manual. Davis: HEC, 138 p. GUERRA, A.J.T., e CUNHA, S.B. Degradação ambiental. In: Geomorfologia e Meio Ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p 455., 1995.

VIEIRA, E.G.; REZENDE, E.N. Exploração Mineral de Areia e um Meio Ambiente Ecologicamente Equilibrado: É possível conciliar? Sustentabilidade em Debate - Brasília, 2015, v. 6, n. 2, p. 171-192.

WILKEN, P. S. Águas Pluviais: Contribuição ao Estudo dos Métodos de Dimensionamento de Estruturas Hidráulicas para o Esgotamento de Águas Pluviais. 1ª ed. São Paulo, Edição do autor, 1971.

WISCHMEIER, W.H. et al. —A soil erodibility nomogram for farmland and construction sites. J. Soil Water Conserv., Itimore, v.26, n.5, p.189-193, 1971.

WISCHMEIER, W.H.; Smith, D.D. —Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C. 58p., 1978.