

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

**AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS  
PELA EXPANSÃO DA EXPLORAÇÃO MINERAL NA  
BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DA CONTAGEM-  
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DE CAFURINGA - DF**

**LETÍCIA FONTES BORGES**

**ORIENTADOR: PROF. WAGNER SANTOS DE ALMEIDA**

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ENGENHARIA  
AMBIENTAL**

**BRASÍLIA/DF: JULHO/2018**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E  
AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS  
PELA EXPANSÃO DA EXPLORAÇÃO MINERAL NA  
BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DA CONTAGEM-  
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DE CAFURINGA - DF**

**LETÍCIA FONTES BORGES**

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 (UnB)**

**(ORIENTADOR)**

---

**PROF. LUIS FERNANDO MARTINS RIBEIRO**

**(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**PROF. ELEUDO ESTEVES DE ARAUJO SILVA JUNIOR**

**(EXAMINADOR INTERNO)**

**DATA: BRASÍLIA/DF, 05 de julho de 2018.**

## FICHA CATALOGRÁFICA

BORGES, LETÍCIA FONTES

Avaliação de impactos ambientais causados pela expansão da exploração mineral na Bacia Hidrográfica do Córrego da Contagem- Área de Proteção Ambiental de Cafuringa-DF. [Distrito Federal] 2018.

xii, 99 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Ambiental, 2018)

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

BORGES, L.F. (2018). Avaliação de impactos ambientais causados pela expansão da exploração mineral na bacia hidrográfica do Córrego da Contagem- Área de Proteção Ambiental de Cafuringa - DF. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 99 p.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Letícia Fontes Borges

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Avaliação de impactos ambientais causados pela expansão da exploração mineral na bacia hidrográfica do Córrego da Contagem- Área de Proteção Ambiental de Cafuringa - DF.

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Ambiental / 2018

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.

---

Letícia Fontes Borges

[leticiafontesborges@hotmail.com](mailto:leticiafontesborges@hotmail.com)

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela conquista de uma jornada cheia de desafios, superações, alegria e de muito amadurecimento. Foi um caminho traçado que me possibilitou chegar até aqui confiante do que sou e corajosa com o que quero.

Agradeço à minha mãe, pai e irmã por sempre me apoiarem minhas escolhas, pela paciência na minha jornada de graduação e acima de tudo, ao amor incondicional.

Aos meus amigos, que caminharam junto comigo e sempre estiveram ao meu lado, acreditando, incentivando, tranquilizando e confiando, mas principalmente a Amanda Geine, Camila Yarla, Orielly Galimberti, Carolina Rocha, Luciana, Wester, Uilvim, Luna, Aninha e Fernando.

Aos amigos que me ajudaram durante a execução do trabalho, meus sinceros agradecimentos, em especial ao Hugo, Arthur e Diogo.

Agradeço a Susi pelas doses de ânimo e confiança na etapa final do curso, sempre me ajudando a colocar foco e centralizar minhas emoções, por me ajudar a confiar, acreditar, esperar e olhar para todo o propósito envolvido nessa caminhada.

Agradeço ao meu orientador, Professor Wagner, por sempre me auxiliar e orientar para realizar este trabalho, se demonstrando sempre presente e disposto. A me transmitir coragem, força e persistência no que se busca.

Ao professor Carlos Saito, por desde o início da graduação saber passar conhecimento de uma forma tão leve, pela tranquilidade em ensinar e corrigir sem desmotivar, pela confiança em ter sido o primeiro na universidade a acreditar no meu potencial profissional, e também, pela amizade.

A professora Cristina por sempre acreditar, com paciência e carinho em todos seus alunos e passar seu conhecimento de forma tão bonita e sincera.

Ao professor Hernán, pelas contribuições como aluna e profissional, até mesmo no início da graduação em Geotecnica 1, por conseguir ver o aluno individualmente e encorajá-los a serem melhores profissionais, sempre com determinação e compreensão e a todos os demais professores da Universidade de Brasília.

A todos, pois cada um somou de uma forma positiva para que eu pudesse chegar até aqui. Meus sinceros, muito obrigada!

À Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal pelo apoio ao trabalho desta monografia, acordo Processo Nº 0193-001.362/2016”.

## RESUMO

O desenvolvimento urbano acelerado da sociedade 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 e riscos ambientais. Uma demanda crescente no Distrito Federal que reflete diversos impactos é a fabricação de cimento, pois exige a extração de minérios de calcário e argila. Este projeto final de graduação em Engenharia Ambiental tem por objetivo avaliar os impactos ambientais, associada aos riscos e vulnerabilidade gerados mediante as atividades de mineração para produção de cimento da Companhia Tocantins, para a área de sua lavra de expansão na bacia hidrográfica do Córrego da Contagem, inserida na Área de Proteção Ambiental (APA) de Cafuringa-DF. A metodologia aplicada envolveu a produção de mapas de uso e cobertura do solo para os anos de 1973, 1993, 2007 e 2017 na área de estudo, a partir do uso de algoritmos de geoprocessamento e processamento de imagens de sensores remotos. Envolveu a produção do mapa de vulnerabilidade ambiental voltado para o impacto causado por esta mineração para o ano de 2017, que foi obtido por meio da aplicação de análise multicritério baseado no método da combinação linear ponderada seguido de análise hierárquica de processos (AHP) e algoritmo de álgebra de mapas e associado aos impactos negativos causados pela pressão antrópica. Por fim, identificou-se que há um alto grau de vulnerabilidade ambiental na área no qual há exploração mineral e o risco para eventuais impactos são significativos em áreas onde ainda não há interferência humana, mas que futuramente terá atividades de mineração.

Com isso, avaliou-se que as medidas mitigadoras que já foram realizadas em áreas já exploradas na bacia hidrográfica não garantem a sustentabilidade ambiental da APA de Cafuringa-DF, pois os danos dos impactos causados pelas atividades de mineração deixam o meio em desequilíbrio.

**Palavras-chaves:** Impacto ambiental negativo, risco ambiental, vulnerabilidade ambiental, geoprocessamento, APA de Cafuringa.

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1 Objetivo geral.....</b>	<b>12</b>
1.1.1 Objetivos Específicos .....	13
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 Área de estudo.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2 Unidades de conservação .....</b>	<b>16</b>
<b>2.3 Apa de Cafuringa .....</b>	<b>18</b>
<b>2.4 A fábrica Cimentos Tocantins S.A.....</b>	<b>21</b>
<b>2.5 Instrumentos normativos .....</b>	<b>23</b>
2.5.1 Licenciamento Ambiental e EIA/RIMA .....	24
<b>2.6 Recuperação, medidas mitigadoras e compensatórias.....</b>	<b>25</b>
<b>2.7 A bacia hidrográfica do córrego Ribeirão Contagem .....</b>	<b>27</b>
<b>2.8 Impacto ambiental.....</b>	<b>29</b>
<b>2.9 Riscos ambientais.....</b>	<b>31</b>
<b>2.10 Vulnerabilidade ambiental .....</b>	<b>33</b>
2.10.1 Uso e cobertura do solo .....	35
2.10.2 Textura do solo .....	35
2.10.3 Espessura do solo .....	35
2.10.4 Profundidade do nível de água .....	36
2.10.5 Recarga de aquífero .....	36
2.10.6 Erosão .....	36
2.10.6.1 Erosão linear e laminar .....	38
2.10.6.1.1 Equação Universal de Perdas de Solo (USLE).....	38
<b>2.11 Sistema de Informações Geográficas .....</b>	<b>42</b>
2.11.1 Processamento de imagens .....	43
2.11.2 Modelo digital de elevação.....	44
2.11.3 SIG com uso e cobertura do solo.....	45
2.11.4 SIG na análise de vulnerabilidade ambiental .....	45
2.11.5 Análise espacial multicritério .....	46
2.11.5.1 Método da combinação linear ponderada.....	47

2.11.5.2	Análise Hierárquica de Processos – técnica AHP .....	47
<b>3.</b>	<b>MATERIAIS E METODOLOGIA .....</b>	<b>50</b>
<b>3.1</b>	<b>Materiais .....</b>	<b>50</b>
3.1.1	Levantamento de dados e informações.....	50
<b>3.2</b>	<b>Metodologia .....</b>	<b>51</b>
3.2.1	Mapas de Cobertura e uso do solo.....	52
3.2.2	Mapas intermediários ao de vulnerabilidade ambiental .....	54
3.2.2.1	Uso e cobertura do solo .....	55
3.2.2.2	Profundidade do nível d'água.....	56
3.2.2.3	Textura do solo .....	57
3.2.2.4	Recarga de aquífero .....	58
3.2.2.5	Espessura do solo .....	58
3.2.2.6	Pedologia .....	59
3.2.2.7	Geologia .....	59
3.2.2.8	Declividade do terreno .....	60
3.2.2.9	Mapa de susceptibilidade à erosão linear .....	60
3.2.2.10	Erosão Laminar .....	61
<b>3.3</b>	<b>Mapa de vulnerabilidade ambiental .....</b>	<b>67</b>
<b>3.4</b>	<b>Avaliações de risco .....</b>	<b>67</b>
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>70</b>
<b>4.1</b>	<b>Mapas de uso e cobertura do solo .....</b>	<b>70</b>
<b>4.2</b>	<b>Mapas das variáveis para construção do mapa de vulnerabilidade .....</b>	<b>70</b>
4.2.1	Uso e cobertura do solo .....	70
4.2.2	Erosão Linear.....	71
4.2.3	Erosão Laminar.....	71
<b>4.3</b>	<b>Mapa de vulnerabilidade aplicado a mineração.....</b>	<b>72</b>
<b>4.4</b>	<b>Avaliação do risco ambiental.....</b>	<b>75</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>76</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>78</b>
	<b>APÊNDICES .....</b>	<b>84</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Área explorada do Bloco I. ....	14
Figura 2.2: Área explorada do Bloco I. ....	15
Figura 2.3: Área do Bloco III futuramente devastada. ....	15
Figura 2.4: Área do Bloco III futuramente ser explorada, com Bloco I ao fundo.....	16
Figura 2.5: Área dentro da APA de Cafuringa que sofrerá a exploração mineral.....	20
Figura 2.6: Área dentro da APA de Cafuringa que está inserida no Bloco III.....	20
Figura 2.7: Área por onde deveria passar o córrego Barriguda.....	29
Figura 2.8: Relação entre ameaça e vulnerabilidade na determinação da intensidade de riscos.....	32
Figura 2.9: Etapas de um plano de análise de risco.....	33
Figura 2.10: Modelo de vulnerabilidade ambiental.....	34
Figura 2.11: Esquema proposto de vulnerabilidade ambiental .....	34
Figura 2.12: Representação dos estágios do método AHP.....	48
Figura 3.1: Representação esquemática da metodologia de forma geral .....	51
Figura 3.2: Metodologia simplificada .....	52
Figura 3.3: Fluxograma das etapas para classificação do Uso e cobertura do solo.....	54
Figura 3.4: Etapas metodológicas para obtenção do mapa de vulnerabilidade ambiental aplicado a mineração .....	55
Figura 3.5: Representação do nível de exploração e a profundidade alcançada. ....	56
Figura 3.6: Metodologia aplicada para obtenção do mapa de erosão linear.....	60
Figura 3.7: Estrutura para análise de risco. Fonte: Adaptado de Vito (2009). ....	68

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Impactos negativos descritos no EIA do Bloco III – Fonte: Água e Terra Consultoria e Planejamento Ambiental, (2008). .....	26
Tabela 2.2: Escala de Saaty para os pesos .....	49
Tabela 2.3: Valores estabelecidos de IR para cálculo da equação 2.9 .....	49
Tabela 3.1: Imagens utilizadas no estudo .....	50
Tabela 3.2: Base de produtos cartográficos utilizados .....	50
Tabela 3.3: Atribuição das classes para os níveis de vulnerabilidade .....	55
Tabela 3.4: Valores de vulnerabilidade aplicado ao uso do solo.....	56
Tabela 3.5: Valores de vulnerabilidade aplicado à profundidade do nível d'água.....	57
Tabela 3.6: Valores de vulnerabilidade aplicado à textura do solo .....	57
Tabela 3.7: Valores de vulnerabilidade aplicado à recarga de aquífero .....	58
Tabela 3.8: Valores de vulnerabilidade aplicado à espessura do solo.....	58
Tabela 3.9: Valores de vulnerabilidade aplicado à pedologia .....	59
Tabela 3.10: Valores de vulnerabilidade aplicado à geologia .....	59
Tabela 3.11: Valores de vulnerabilidade aplicado à declividade. ....	60
Tabela 3.12: Valores de K atribuídos de acordo com as referências citadas.....	61
Tabela 3.13: Fatores C e P atribuídos na área de estudo de acordo com as referências citadas. ....	62
Tabela 3.14: Amostragem da estação Contagem. ....	63
Tabela 3.15: Medições da estação Contagem Rua do Mato.....	66
Tabela 3.16: Avaliação das magnitudes dos impactos e vulnerabilidade ambiental.....	69
Tabela 4.1: Área em hectare de cada classe de uso e cobertura do solo .....	70
Tabela 4.2: Valores finais do fator R.....	71
Tabela 4.3: Matriz resultante do método AHP .....	73
Tabela 4.4: Pesos atribuídos para cada mapa .....	73
Tabela 4.5: Distribuição das classes de vulnerabilidade .....	74
Tabela 4.6: Avaliação do risco ambiental área de mineração do Bloco III.....	75

## LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

APA	Área de Proteção Ambiental
APP	Área de Preservação
DF	Distrito Federal
RA	Região Administrativa
UC	Unidade de Conservação
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza
EIA	Estudos de Impactos Ambientais
RIMA	Relatório De Impacto Ambiental
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
IEMA/DF	Instituto de Ecologia e Meio Ambiente do Distrito Federal.
PCA	Plano de Controle Ambiental
PRAD	Plano de Recuperação de Área Degradada
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
MMA	Ministério do Meio Ambiente
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
SR	Sensoriamento Remoto
TI	Tecnologia de Informação
ESRI	Environmental Systems Research Institute
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SIG	Sistema de Informação Geográfica
IBRAM	Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal
DNPM	Departamento Nacional da Produção Mineral
SEGETH	A Secretaria de Gestão do Território e Habitação
UTM	Universal Transversa of Mercator
PNRH	Plano Nacional de Recursos Hídricos
ENVI	Environment for Visualizing Images
IDL	Interactive Data Language
USLE	Equação Universal da Perda de Solo

# 1. INTRODUÇÃO

Atualmente as cidades estão em um ritmo acelerado de desenvolvimento e a urbanização está avançando no mesmo ritmo. Esse crescimento gera demandas no mercado que devem atender as necessidades da população e uma dessas demandas está na área de construção civil, no qual se baseia no uso intenso de cimento como seu material básico, em que o mesmo possui um relativo baixo custo econômico, obtido pela exploração mineral de rochas de calcário e argila em seu processo de fabricação.

A Região Administrativa de Sobradinho, localizada no Distrito Federal (DF) é uma área na qual existe a extração de calcário e argila para exploração e produção de cimento, e que iniciou na década de 1960 e intensificou-se na década de 1970, quando a fábrica Tocantins S/A iniciou a sua produção, e atualmente está expandindo sua área de exploração. Esse empreendimento localiza-se na Área de Proteção Ambiental (APA) de Cafuringa, no qual a matéria prima é extraída dentro do seu território de preservação para realizar as atividades de produção de cimento. A APA de Cafuringa possui determinadas limitações quanto ao seu uso, mas é classificada como uma Unidade de Conservação (UC) sustentável, o que permite uso controlado em termos de exploração de recursos naturais. Todavia, antes de ser declarado uma APA, a fábrica já tinha se instalado e hoje opera com as licenças ambientais cedidas pelos órgãos responsáveis. A área que compreende a fábrica possui licenças ambientais para funcionamento e a área de extração nas cavas possuem outros processos de licenciamento, nos quais operam com regularidade. O Bloco I e a fábrica possuem processos que anteriormente eram licenciados pelo Instituto de Ecologia e Meio Ambiente do Distrito Federal (IEMA/DF), mais tarde, pelo Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal (IBAMA). Hoje, as licenças ambientais são de responsabilidade do IBRAM que acompanha os processos referentes ao Bloco III. Um novo processo de licenciamento foi aberto para exploração da cava do bloco III, no qual as atividades exploratórias já foram iniciadas, pois foi concedida a autorização pela licença prévia.

A exploração mineral para fabricação de cimento é um processo que reflete diretamente no ambiente natural, causando diversos tipos de impactos ambientais e aumentam a vulnerabilidade ambiental associada. É, possível avaliar os riscos associados a essa exploração mineral, utilizando as informações históricas de exploração anterior, que foi a da lavra que ocorreu em uma área denominada de Bloco I na APA de Cafuringa. Essas atividades de mineração demandam medidas mitigadoras por parte dos empreendedores para minimizar os possíveis impactos ambientais.

A exploração mineral ora em curso pode vir a causar impactos no sistema de drenagem, na estabilidade de taludes, na alteração da morfologia do terreno, causando processos erosivos diversos, na alteração no uso e cobertura vegetal do solo, na aceleração dos processos de desmatamento e outros tipos de degradação ambiental.

As pressões antrópicas desse tipo de empreendimento mudam a configuração e as formações naturais do meio, afetando a conectividade do ecossistema e as questões paisagísticas. Com a expansão da área de exploração mineral, pode vir a aumentar ainda mais a vulnerabilidade e os impactos que já existem e danificar o ambiente.

O problema de pesquisa a ser abordado neste trabalho de Projeto Final relaciona-se às futuras consequências em termos de prováveis impactos ambientais negativos a ocorrer na bacia hidrográfica do Córrego da Contagem, na APA de Cafuringa, onde acontece atualmente a fabricação de cimento citada. Atualmente a cava que é explorada já aumentou significativamente e já causou alguns impactos ambientais, os quais alguns já foram mitigados mas, que mesmo assim, afetam o meio natural. Alguns desses impactos são: desaparecimento de córregos de drenagem, desmatamento acentuado, taludes cada vez mais instáveis que aumentam as chances de rompimento, e aumento de processos erosivos.

Em vista das atividades exercidas no local e o próprio fato da expansão da área ter sido autorizada conforme as licenças ambientais cedidas, contradiz com a própria criação da APA da Cafuringa, que é uma área de proteção ambiental que existe justamente para preservação desses recursos naturais.

O conflito ambiental e econômico pode se tornar crítico na APA de Cafuringa devido à possibilidade da expansão de exploração da rocha calcária. Assim, a vulnerabilidade ambiental a ser avaliada na área de estudo deve considerar os recursos naturais que não são renováveis e as perdas naturais que não são reversíveis, e como as ações exploratórias desses recursos aumentam a probabilidade de ocorrência de riscos ambientais, enfim, como essas atividades antrópicas realizadas devem possuir um controle e atenção para que as consequências não ameacem a qualidade ambiental e humana no futuro.

## **1.1 Objetivo geral**

Este estudo de Projeto Final possui como objetivo geral executar uma avaliação de impacto ambiental causada pela expansão da atual exploração mineral de rocha calcária para fabricação de cimento, na bacia hidrográfica do Córrego da Contagem, e avaliar a

vulnerabilidade e os riscos ambientais, uma vez que a mesma está situada na Área de Proteção Ambiental (APA) de Cafuringa.

#### 1.1.1 Objetivos Específicos

- a) Avaliar as transformações ocorridas no uso e cobertura do solo na área de estudo, em um período do tempo anterior ao início das atividades de exploração de rocha calcária pelo empreendimento até os dias atuais.
- b) Realizar uma avaliação na área de processos potenciais de impactos e riscos ambientais causados pelo empreendimento de exploração de rocha calcária, considerando as especificidades de uma APA.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Área de estudo

A APA de Cafuringa está inserida dentro do quadrilátero do Distrito Federal, localizada nas coordenadas 15°30' e 15°40' de latitude Sul e 47°50' e 48°12' de longitude Oeste. Seu território divide-se entre as Regiões Administrativas de Brazlândia e de Sobradinho e ocupa uma área total de 46.510 hectares (Neto *et al*, 2005). Conforme apêndice A, o círculo em vermelho representa a localização da área de exploração mineral feita pela Tocantins S/A.

O apêndice B apresenta a área de estudo, no qual é a Bacia Hidrográfica do Córrego da Contagem, inserido na Bacia do Ribeirão da Contagem, na APA de Cafuringa.

O apêndice C apresenta a área da fábrica no qual ocorre o processamento do cimento, a área do Bloco I que já foi exaurido e não possui mais rochas calcárias para exploração e a área do Bloco III com suas fases de exploração, onde ocorre a atual exploração de calcário e argila.

As Figuras 2.1 e 2.2, de forma ilustrativa, apresentam fotografias obtidas durante o trabalho de campo na área já explorada pelo Bloco I, e as Figuras 2.3 e 2.4 apresentam fotografias da área do Bloco III que é o foco do estudo, onde será expandida a exploração mineral.



Figura 2.1: Área explorada do Bloco I.

Fonte: Fotografia obtida em Trabalho de Campo (2017)



Figura 2.2: Área explorada do Bloco I.

Fonte: Fotografia obtida em Trabalho de Campo (2017)



Figura 2.3: Área do Bloco III futuramente devastada.

Fonte: Fotografia obtida em Trabalho de Campo (2017)



Figura 2.4: Área do Bloco III futuramente ser explorada, com Bloco I ao fundo.

Fonte: Fotografia obtida em Trabalho de Campo (2017)

## 2.2 Unidades de conservação

As Unidades de Conservação (UC) são legalmente instituídas pelo poder público, logo, possui esferas municipais, estaduais e federais e são reguladas pela Lei nº 9.985, de 2000 que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC). No Art. 2 da citada Lei, a UC é definida como:

“Espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção”.

De forma geral, as Unidades de Conservação existem para assegurar, contribuir, proteger, recuperar e valorizar a conservação das espécies biológicas, paisagens naturais,

recursos naturais (como diversidade faunística e florística) e para gerar o desenvolvimento da região. A importância da conservação em uma UC está em preservar os ecossistemas e a diversidade biológica para que os seres humanos possam utilizar desses recursos naturais, uma vez que a sociedade depende deles para sua sobrevivência. Essa preservação deve ser pelo uso sustentável dos recursos, de forma a não esgotar ou danificar de forma irreversível o meio.

As Unidades de Conservação são divididas por 12 categorias, as quais essas categorias se dividem em dois grupos: as unidades de proteção integral e as de uso sustentável. Esses grupos se diferenciam quanto à forma de proteção e de seus usos permitidos, sendo as de proteção integral aquelas que precisam de maiores cuidados, pela sua fragilidade e particularidades. As de uso sustentável, por sua vez, são aquelas que permitem que seus recursos sejam utilizados de forma sustentável, para que se possa conservar suas riquezas naturais ao mesmo tempo. (OECD, 2015)

As UC do tipo Unidades de Proteção Integral estão as categorias de Estação Ecológica, Reserva Biológica, Parque Nacional, Monumento Natural e Refúgio da Vida Silvestre. As categorias dentro das reservas de uso sustentável estão as Áreas de Proteção Ambiental, Área de Relevante Interesse Ecológico, Floresta Nacional, Reserva Extrativista, Reserva de Fauna, Reserva de Desenvolvimento Sustentável e Reserva Particular do Patrimônio Natural.

A Área de Proteção Ambiental (APA), por sua vez, é uma categoria de Unidade de Conservação de Uso Sustentável, no qual admite um certo grau de ocupação humana e possui atributos físicos, bióticos, estéticos ou culturais importantes para a qualidade de vida e bem-estar das populações humanas. Um dos seus objetivos é garantir a correta forma de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso e dos seus recursos naturais (ISA, 2017). As APA podem ser estabelecidas em áreas de domínio público ou privado, pela União, estados ou municípios, e não há necessidade de desapropriação das terras se estas forem privadas. Caso a APA esteja em uma área privada, deve-se seguir normas e especificações para desenvolvimento de atividades e usos. Se a APA estiver em domínio público, o órgão gestor é quem definirá as condições para a realização das atividades de exploração de recursos naturais que ocorrerão na área. Caso contrário, as atividades deverão seguir as condições que o proprietário estabelecer para realização de usos (OECD, 2017). O DF possui em seu território cinco Áreas de Proteção Ambiental, sendo uma delas a APA de Cafuringa, onde se insere a área de estudo deste trabalho.

### 2.3 Apa de Cafuringa

A APA de Cafuringa tem suas características do meio físico associadas a uma certa riqueza de recursos naturais. Seu relevo é bastante íngreme, com suas cotas variando de 800 a 1300 metros de altitude e seu relevo bastante acidentado em função da alta declividade e do tipo de solo, a susceptibilidade a processos erosivos é alta (Neto *et al*, 2005).

A ausência de vegetação indica indícios de erosão pelas características de cerrado sentido restrito, mas em geral possui grande variedade de espécies de fauna e flora. As redes drenagens dessa região são bastantes recortadas e seguem no sentido Sul para Norte, e mais de 95% da área de APA integra a rede de drenagem do Rio Maranhão, que é um afluente da Bacia do Rio Tocantins. Os principais cursos d'água presentes na APA de Cafuringa são os rios do Sal e da Palma, os ribeirões Amador, Dois Irmãos, Pedreira e da Contagem, e os córregos Ribeirão e do Ouro. A APA está inserida na bacia hidrográfica do Rio Maranhão, que compõe uma das cabeceiras do rio Tocantins. Dentro da APA, se encontra a bacia do Rio Maranhão, que está a sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Contagem, no qual estão inseridos os córregos Barriguda e Estiva. O Ribeirão da Contagem é o maior curso d'água dentro da APA e integra o sistema de Captação Sobradinho/Planaltina e contribui para o abastecimento da RA de Sobradinho. Devido a essa demanda, sua contribuição média mensal é de 178.848m<sup>3</sup>, o que representa 69 litros por segundo (Neto *et al*, 2005). Em virtude da sua ocupação antrópica desordenada, tem um maior potencial para foco de poluição hídrica em sua bacia, o que reflete na queda de qualidade da água dos mananciais. A quantidade e qualidade dos recursos hídricos pertencentes na APA de Cafuringa são reflexos também da intensidade, duração e frequência da precipitação, cujos meses com maiores índices de chuva são: novembro, dezembro e janeiro.

As características de relevo, fertilidade do solo e disponibilidade de materiais como calcário, areia fina, cascalho, argila e ouro estão relacionados com a formação do meio físico e esses minerais são os mais abundantes dentro da APA, daí a instalação da fábrica da Tocantins. A APA se encontra no bioma do Cerrado e é considerada a última fronteira natural do DF pelo fato de ser uma das últimas áreas não tocadas pela expansão agrícola dentro do DF. A APA de Cafuringa foi criada em 10 de julho de 1988 pelo Decreto nº11.123 e alterado pelo Decreto de nº11.251 no dia 13 de setembro de 1988 (Neto, 2005). O Decreto 11.251 altera artigos que fazem referência a área da poligonal da APA, seus pontos de delimitação e ressalta as bacias hidrográficas existentes. Altera também a questão que antes

era permitido agricultura e pecuária desde que houvesse conservação do solo, mas que após o decreto, só permite a agricultura.

De acordo com o Art. 13º do Decreto 11.123, a fábrica da Tocantins S.A, instalada dentro do território da APA possui autorização para realizar atividades de mineração, com compromisso de cumprirem com as normas de controle de degradação ambiental, e suas atividades socioeconômicas devem buscar um equilíbrio com o meio ambiente para os seus recursos naturais não sejam degradados.

Logo depois, o Decreto 24.255 de 2003 foi publicado para corrigir um erro dos decretos anteriores. Havia um conflito entre zonas, no quais a zona de proteção de vida silvestre se chocava com a zona especial de uso de mineração, isso representava uma proibição dentro de uma permissão. Ao final, foi priorizado a zona para mineração.

A importância dessa APA para o presente estudo é que parte da análise de vulnerabilidade ambiental que se encontra em seu território é consequência das pressões antrópicas advindas das atividades de mineradoras executadas pela fábrica da Tocantins S.A.

A APA de Cafuringa está sob influência antrópica da Fercal que é a 31ª Região Administrativa (RA) do DF, no qual essa RA está localizada às margens da rodovia DF-150 e que surgiu antes de Brasília e conta atualmente com 61 anos. A Fercal possui uma população em torno de 32.000 habitantes e seu crescimento populacional possui relação com as atividades industriais da fábrica de cimento Tocantins, pois a necessidade de mão de obra possibilitou empregar os moradores da Fercal e fazer desenvolver a RA e, atualmente cerca de 80% da população que mora na Fercal está empregada na fábrica de cimento (Governo de Brasília, 2017). A RA da Fercal não está inserida dentro do limite da APA de Cafuringa

Entre as influências antrópicas que a APA sofre, a que mais impacta a região é a fábrica de cimentos Tocantins S/A, nos quais acontecem por meio de poluição atmosférica, desmatamento, incentivo a urbanização da área pela oferta de trabalho, alteração dos cursos d'água e fragmentação da paisagem.

As Figuras 2.5 e 2.6 ilustram a área do Bloco III no qual demonstra a riqueza natural de suas matas e vegetação que serão desmatadas para exploração de minério.



Figura 2.5: Área dentro da APA de Cafuringa que sofrerá a exploração mineral.

Fonte: Fotografia obtida em Trabalho de Campo (2017)



Figura 2.6: Área dentro da APA de Cafuringa que está inserida no Bloco III.

Fonte: Fotografia obtida em Trabalho de Campo (2017)

## **2.4 A fábrica Cimentos Tocantins S.A**

A fábrica Cimentos Tocantins S/A é integrante da Companhia Cimento Portland Itaú e do Grupo Votorantim e se instalou no ano de 1972 na RA de Sobradinho, para atender a demanda da construção civil do Distrito Federal. Suas atividades industriais começaram antes da criação da APA de Cafuringa e, a princípio, quando da instalação da APA, a empresa teria que seguir normas e procedimentos para se adequar às exigências ambientais. Conforme apêndice D, é mostrado a localização da fábrica de cimento em relação à área da APA.

Pelos arquivos cedidos pelo IBRAM (referentes aos Blocos I e II (ÁGUA E TERRA CONSULTORIA E PLANEJAMENTO AMBIENTAL, 2008) da cava de exploração, tem-se documentado que o Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM) por meio da Portaria nº1.328 de 23/08/85, publicada no Diário Oficial da União (pelo processo DNPM-3.967/67) permitiu que fábrica Tocantins fizesse a escavação da rocha calcária da lavra nos Blocos I e II conforme solicitado pela fábrica. Essa área corresponde a uma reserva total de 109.420.125 toneladas e possui um volume de estéril de 37.904.000 de toneladas. As instalações industriais ocupam uma área de cerca de 150 hectares e a área da cava de exploração possui 79 hectares, dos quais sofreram modificações de uso e cobertura do solo e nos recursos naturais. No processo de produção de cimento, o abastecimento de água é feito por aquíferos, por poços e cisternas localizados na área industrial.

Á área requerida pela empresa ao DNPM está ilustrado no apêndice E. Nela, na cor rosa está a área que foi cedida e na cor verde o novo requerimento da empresa para expansão da extração da lavra. O DNPM concedeu essa área para exploração.

A fábrica Tocantins começou a operar com Licença de Operação cedida pelo Instituto de Ecologia e Meio Ambiente do Distrito Federal (IEMA), de acordo com o Processo nº 060/99. No ano de 1998, a Licença de Operação da lavra de exploração foi cedida pelo mesmo órgão para realização da exploração de calcário e argila, no qual está referenciado pelo Processo nº 191.000.852/98. A empresa apresentou um Plano de Controle Ambiental (PCA), o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) no qual aponta todas as licenças concedidas e estudos da área necessários.

No Plano de Controle Ambiental (PCA) são citados os possíveis impactos ambientais causados pelas atividades de extração do calcário, tais como aumento de erosão, assoreamento, geração de poeira, geração de resíduos sólidos, rebaixamento do nível freático e outros. Cita também as medidas mitigadoras e compensatórias que são previstas frente aos

impactos gerados, nos quais alguns impactos não podem ser mitigados, como alteração da topografia e da rede de drenagem. Algumas medidas que se encontram nesses estudos realizados, a empresa se propõe a fazer: medidas de reflorestamento, criação de áreas de preservação ambiental, tratamento dos efluentes líquidos e disposição de resíduos sólidos e controle de emissão de particulado (Almeida, 1999).

O Estudo de Impactos Ambientais (EIA) (TERRA PLANEJAMENTOS E PROJETOS, 2000) e (ÁGUA E TERRA CONSULTORIA E PLANEJAMENTO AMBIENTAL, 2008); e apresentado pela Cimentos Tocantins em fevereiro de 2000 para renovação da sua Licença de Operação foi elaborado pela empresa Terra Planejamento e Projetos. O documento aborda todos os pontos exigidos, mas por meio do Parecer Técnico nº001/99 o IEMA ressalta que após uma vistoria existem pontos em desacordo, com o que a empresa se prontificou a fazer sobre minimização dos impactos. Esses pontos fazem referência a proteção de áreas naturais e de poluição ambiental de particulados, pois não há recomendação que, além das medidas mitigadoras, sejam implantadas medidas corretivas pela empresa, mesmo com à magnitude dos impactos ambientais que poderão advir com a exploração mineral em pauta.

No texto citado da Terra Planejamntos e Projetos (2000), há relatos sobre a exploração de rocha calcária e de argila dos blocos I e II, a estimativa de vida útil dessa exploração mineral com produção anual de cimento e brita de 3.280.000 toneladas está prevista para o ano de 2032. Todavia, a fábrica de cimento possui um projeto para expansão da sua área de extração atual de minério, o Bloco III. A Tocantins já emitiu um PCA para expansão da lavra, correspondente a bloco III, elaborado pela Prominer Projetos LTDA (2016). Esse novo bloco irá corresponder a 130 ha e necessitará de uma cava de aproximadamente 205,5 ha. Em dezembro de 2006 o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis (IBAMA) recebeu a primeira versão do EIA/RIMA e posteriormente, em 2010, o IBRAM recebeu a versão revisada deste EIA pela água e terra consultoria e planejamento ambiental, (2008). Por fim, a licença prévia já foi concedida pelo IBRAM em 23 de julho de 2010, pelo processo nº 391.001.053/2009.

De acordo com apêndice F, pode-se observar pela imagem do Google, a cava já explorada pela retirada de minério (bloco I) e a área total referente ao bloco III, que já está em processo de exploração e será a área de estudo deste Projeto Final.

Vale ressaltar que mesmo que o DNPM tenha concedido a área para utilização da cava, o IBRAM vetou que o Bloco II, porque ali havia questões espeleológicas, que são cavernas e grutas que o IBRAM julgou de importância, negando a exploração mineral nessa área. Logo, a situação atual é que o Bloco I está exaurido, sem possibilidade de extração de

minério e as atividades de extração já foram iniciadas no Bloco III. Segundo os estudos ambientais realizados pela água e terra consultoria e planejamento ambiental (2008), o Bloco III conta hoje com a Licença Prévia cedida e busca a autorização para licença Instalação.

Para a instalação e operação de qualquer empreendimento de exploração mineral é necessário possuir uma licença ambiental de operação, autorização para certificar que a empresa cumpriu as exigências nas normas previstas da legislação ambiental. Essas normas são instrumentos, citados no item a seguir, nos quais exigem estudos de avaliação de impactos ambientais e diagnósticos que devem ser realizados para cada tipo de atividade realizada. A Tocantins como sendo uma empresa de minérios, precisa estar em acordo com essas exigências legais.

## **2.5 Instrumentos normativos**

Os instrumentos legais de proteção do meio ambiente estão apoiados no Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), Órgão que assessora o Governo Federal para auxiliar sobre as políticas governamentais em relação à exploração e preservação do meio ambiente. O CONAMA foi criado pela Lei nº 6.938 de 1981 que estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) e tem entre seus objetivos assegurar que essa lei seja cumprida, e pode criar normas e determinar padrões compatíveis ao meio ambiente que estejam dentro de suas competências.

O PNMA define os mecanismos e instrumentos de proteção do meio ambiente no Brasil e tem a finalidade preservar, melhorar e recuperar a qualidade ambiental e assim assegurar que os interesses nacionais sejam atendidos de forma que proporcione um desenvolvimento socioeconômico equilibrado em um ambiente protegido de uso coletivo. Ele prevê também a racionalização do uso do solo, a fiscalização dos recursos, o zoneamento das atividades e o controle dos ecossistemas. A responsabilidade pela proteção e melhoria da qualidade ambiental atribuída ao CONAMA e ao Ministério do Meio Ambiente (MMA), ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis (IBAMA) e ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio).

O Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) também foi instituído pela Lei 6.938/81 e tem o objetivo de articular os órgãos e entidades responsáveis pela proteção ambiental afim de cumprir os princípios previstos nas normas instituídas para proteção e melhoria da qualidade ambiental.

Com isso, após a criação da APA de Cafuringa, a Fábrica teve que se adequar às normas e legislações ambientais e, em 1998 houve uma audiência pública e aprovação dos Estudos de Impactos Ambientais e os Relatórios de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) (terra planejamentos e projetos, 2000) da empresa. Juntamente com esses relatórios, foi feito um Plano de Controle Ambiental (PCA) (PROMIER PROJETOS LTDA, 2016).

Mesmo que a obrigatoriedade do licenciamento tenha surgido após a instalação da fábrica no local, a empresa teve que realizar os procedimentos da mesma forma. O órgão ambiental competente dos processos de licenciamento do Distrito Federal é o Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal (IBRAM). O IBRAM é responsável por licenciar a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos. No caso da Tocantins S/A, o licenciamento das atividades dos Blocos I e II estão em conformidade para operação.

### 2.5.1 Licenciamento Ambiental e EIA/RIMA

O licenciamento ambiental é um instrumento de prevenção e fiscalização. Foi instituído pela Lei nº 6.938/81 no qual deve licenciar a localização do empreendimento, autorizar a instalação física e operação das atividades que possam causar poluição ou degradação ambiental. O licenciamento ambiental é composto por três fases:

- Licença Prévia: é concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento, aprovando a localização e atividades ambientais que serão realizadas. Para isso, deve ser aprovado o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) para que as condições estabelecidas para fase de implementação sejam obedecidas.
- Licença de Instalação: concede a autorização da construção do empreendimento dentro das especificações exigidas da fase anterior, no qual estão as medidas de controle ambiental.
- Licença de Operação: autoriza o início das atividades do empreendimento quando as exigências das etapas passadas foram cumpridas. Nela, o empreendedor é obrigado a implementar as medidas de controle ambiental e as condicionantes estabelecidas, caso contrário, a licença operação é suspensa.

Atualmente, todo o empreendimento que venha a causar em consequências de suas atividades algum impacto ambiental está sujeito ao licenciamento ambiental e entre essas atividades, a mineração está inclusa. De acordo com a Lei de Crimes Ambientais (Lei

Federal nº 9.605/98), aquele empreendimento que deva ter o licenciamento mais não o possui, está cometendo um crime ambiental punível com o fechamento do estabelecimento ou multa.

O EIA/RIMA é um documento que faz parte do Licenciamento Ambiental e deve ser feito pelo empreendimento e visa realizar estudos de impactos ambientais e relatar medidas mitigadoras relacionados na área de interesse. O RIMA, por sua vez, é um relatório com termos técnicos e o EIA é documento público, um resumo didático mais claro e acessível à população. Juntamente com esses relatórios, na fase de licença de instalação, é entregue o Plano de Controle Ambiental (PCA), que é uma exigência adicional ao EIA/RIMA e visa propor medidas mitigadoras aos impactos ambientais gerados por empreendimentos de exploração mineral. Neste caso, mitigar seria intervir com ações e medidas para minimizar ou neutralizar os impactos negativos de alguma ação antrópica. Aqueles impactos que não puderem ser mitigados, devem realizar alguma ação de uma compensação com custo de no mínimo 0,5% dos custos totais das obras do empreendimento voltados para compensação de uma UC. O PCA é uma exigência do CONAMA. O PRAD é um documento que deve conter os levantamentos, diagnósticos e estudos que permitem a avaliação da degradação ou alteração ambiental.

O PRAD é um documento necessário para licenciamento e regularização ambiental no qual reúne informações, diagnósticos e levantamentos e estudos que avaliem a degradação ou alteração do meio e juntamente com isso, descrição das medidas mais adequadas para recuperação da área. Essa recuperação aparece em forma de programas e ações nos quais visam minimizar os impactos ambientais causados.

## **2.6 Recuperação, medidas mitigadoras e compensatórias**

A empresa Tocantins, por meio de seus documentos de estudos ambientais, se compromete a implantar medidas que possam minimizar a área no qual sofre impactos pelas atividades de extração de calcário e minério. Em seu documento EIA/RIMA produzido pela empresa Água e Terra Consultoria e Planejamento Ambiental (2008), estão descritos os impactos negativos e positivos que o Bloco III poderia trazer. Os impactos foram classificados em forma de atributos da seguinte maneira:

- Natureza: positiva quando são favoráveis em sua natureza ou negativos quando desfavoráveis em sua natureza;
- Grau de incerteza: podendo ser certo, muito provável ou pouco provável;

- Abrangência: em local ou regional, sendo o local aquele que está no interior da área de influência direta e o regional aquele que possui uma poligonal maior que a área de influência direta;
- Tempo de ocorrência: podendo ser curto, médio ou longo, tendo em vista o período de tempo que são desenvolvidos
- Magnitude: em forte, média ou fraca, sendo diretamente relacionado ao dano causado no ambiente;
- Reversibilidade: se é reversível ou irreversível, levando em consideração a atuação de aplicação de medidas mitigadoras. Se o impacto é reversível, quer dizer que sofrerá diminuição caso as medidas mitigadoras sejam implantadas, irreversível é quando as medidas mitigadoras não diminuem os impactos caso sejam eliminadas.

Alguns desses impactos negativos citados no EIA/RIMA do Bloco III foram selecionados como os mais relevantes para essa pesquisa e estão listados na Tabela 1. Os impactos positivos não serão abordados.

Tabela 2.1: Impactos negativos descritos no EIA do Bloco III – Fonte: Água e Terra Consultoria e Planejamento Ambiental, (2008).

<b>Impactos Ambientais</b>	<b>Natureza</b>	<b>Grau de incerteza</b>	<b>Abrangência</b>	<b>Tempo de ocorrência</b>	<b>Duração</b>	<b>Magnitude</b>	<b>Reversibilidade</b>
Erosão de solo em áreas expostas	Negativo	Certo	Local	Longo prazo	Permanente	Forte	Reversível
Mudança nos sistemas de aquíferos locais	Negativo	Pouco provável	Local	Longo prazo	Média	Média	Reversível
Modificação do perfil topográfico	Negativo	Provável	Local	Curto prazo	Permanente	Média	Reversível
Desmatamento e remoção de vegetação natural	Negativo	Pouco provável	Regional	Longo prazo	Permanente	Média	Reversível

<b>Impactos Ambientais</b>	<b>Natureza</b>	<b>Grau de incerteza</b>	<b>Abrangência</b>	<b>Tempo de ocorrência</b>	<b>Duração</b>	<b>Magnitude</b>	<b>Reversibilidade</b>
Possibilidade de perda de cavidades naturais	Negativo	Pouco provável	Local	Médio/longo prazo	Permanente	Fraca	Irreversível

As medidas mitigadoras são uma alternativa quando os danos não podem ser evitados e, com isso, as atividades que serão realizadas devem possuir mecanismos para minimizar os impactos causados. A empresa se propõe a realizar programas de recuperação dos itens citados acima, programas de educação ambiental, criação de uma unidade de conservação (que serviria de corredor ecológico), entre outras medidas mitigadoras.

As medidas compensatórias acontecem quando já não se pode mais evitar o dano e as medidas mitigadoras não são suficientes para reparar os impactos, logo, passa-se a implantar medidas compensatórias. Essas medidas têm por objetivo a compensação do impacto por meio de recursos econômicos que a empresa faz para o Estado e retribui assim de forma indireta para a sociedade os danos que causa.

Essas medidas de recuperação serão realizadas nos âmbitos ambiental, social e econômicos.

## **2.7 A bacia hidrográfica do córrego Ribeirão Contagem**

A área de estudo deste trabalho é a bacia hidrográfica do Córrego da Contagem, local onde se localiza a expansão da exploração da rocha calcária do Bloco III que já está em atividade pela fábrica Tocantins. A bacia hidrográfica do Córrego Contagem por ser um sistema natural formado pelo conjunto de elementos físicos, químicos e biológicos, é a unidade de análise de estudos ambientais inserido em um sistema natural delimitado em um espaço reconhecido e definido no espaço, o que permite uma análise ambiental em sua estrutura. Estudar uma bacia hidrográfica envolve vários componentes, desde sua estrutura morfológica até das dinâmicas das inter-relações que existem.

A bacia hidrográfica do Córrego Contagem pode ser usada para o controle do uso dos recursos ambientais pelo Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e as formas que

compõe a paisagem e configuram a forma no qual o ambiente é modelado é fruto dos momentos da história, que dependem das necessidades humanas e como elas atuam.

Para se fazer uma análise espacial da bacia hidrográfica do Córrego Contagem, sub-bacia do Rio Maranhão, que compõe uma das cabeceiras no do rio Tocantins, próximo à fábrica Tocantins S/A e beirando o limite da APA de Cafuringa, é fundamental estudar sua estrutura e dinâmica ambiental, visando determinar sua vulnerabilidade ambiental, por meio do uso de imagens de sensores remotos, aéreos e orbitais. Para isto, é fundamental analisar questões relacionadas às drenagens, ao relevo, à geologia, à pedologia e ao uso do solo, para se compreender a dinâmica ambiental dentro de uma bacia hidrográfica.

Os cursos d'água da bacia do Ribeirão da Contagem irão sofrer impactos ambientais devido à exploração da lavra do Bloco III, porque seus cursos estão dentro da área da expansão da cava. Os cursos que serão mais impactados serão os córregos Barriguda, Estiva e Ladim, conforme ilustrado no apêndice G.

Durante o trabalho de campo foi verificado que o córrego Barriguda estava seco, pois não havia indícios de água, conforme ilustrado na Figura 2.7, possivelmente, suas águas tenham sido utilizadas no processo de separação das rochas calcárias na exploração mineral



Figura 2.7: Área por onde deveria passar o córrego Barriguda.

Fonte: Fotografia obtida em Trabalho de Campo (2017)

## **2.8 Impacto ambiental**

Em relação ao impacto ambiental, existem várias definições na literatura, sendo uma delas como o resultado de alguma modificação que o meio pode sofrer, sendo ela benéfica ou não como consequência de atividades ou serviços, conforme descreve 14001 (NBR, 2004).

O agente causador de algum tipo de alteração ou perturbação no meio ambiente sempre será o Homem, porque os processos naturais se transformam e não se degradam (Sánchez, 2015). No Artigo 3º, Inciso II referente a lei nº6.938 define degradação ambiental justamente como alguma alteração adversa das características do meio, sendo este meio pode abranger vários campos de estudo, como social, ambiental, de saúde, segurança e outros. Essas alterações que caracterizam o meio ambiente são definidas como uma degradação ambiental, sendo assim, correspondente a um impacto ambiental negativo (Sánchez, 2015).

As áreas degradadas por mineração são reflexos da extração de matéria prima para produção de cimento, no qual é feita através da remoção da vegetação e das camadas superficiais do solo para alcançar areia, argila, calcário, entre outros. Essa remoção da camada de vegetação causa uma erosão na área pela escavação do local e surge uma grande cava com profundidade acentuada. A remoção dessa camada chamada de estéril faz com que a vegetação natural não esteja mais apta a ser regenerada porque o solo ficou totalmente exposto e sem componentes básicos para qualquer outro tipo de atividade. O impacto é pelo fato de que por mais tempo que passe, a natureza não consegue resgatar as características daquele solo sozinha, é necessário a intervenção do homem para restaurar aquela área. Com o solo nessas condições, muitas vezes ocorre depósito irregular de resíduo ou estéril, aumentando as chances de ocorrer algum assoreamento ou rompimento de talude.

A alteração e degradação dos canais fluviais é explicada pela mudança de fluxo original ou pela interrupção permanente dos cursos d'água devido ao desmatamento de uma área que será escavada. As superfícies de áreas mineradas apresentam taxas de infiltração de água de 10% a 20% em relação às áreas vegetadas, isso quer dizer que se menos água infiltra no solo, mais água escorre superficialmente, aumento os processos erosivos laminares.

A APA de Cafuringa não possui um alto grau de urbanização, mas apresenta 0,5% da sua extensão por áreas degradadas pela mineração. Mesmo com o licenciamento ambiental que exige um PRAD, os locais explorados continuam sem cobertura vegetal conforme constatado durante o trabalho de campo realizado no ano de 2017. As consequências desses impactos causam um desequilíbrio ecológico em todo o ambiente, seja ele em ar, solo ou água.

A ocorrência de um impacto ambiental é elemento que irá identificar a localização de algum risco em outro local ou época, justamente pela repetição de situações e eventos semelhantes no espaço ou tempo (Dagnino e Junior, 2007).

Juntamente com análise de impacto, há envolvido o fator de risco ambiental, do qual está presente pela incerteza do impacto ocorrer ou não.

## 2.9 Riscos ambientais

O risco pode ser associado às noções de incerteza, exposição ao perigo, perda e prejuízos em função de algum processo natural ou associados às relações humanas. (Castro, 2005). Essa definição aborda riscos de forma geral, podendo ser no campo social, material ou humano.

Para avaliar um risco ambiental, deve-se considerar diferentes escalas de análises que contribua para diferentes níveis de gestão das intervenções dos envolvidos para mitigação desse risco (Castro, 2005).

No trabalho de Sampaio Dagnino e Junior (2007) *aput* Veyret (2007), considerou risco ambiental como a probabilidade de um evento, sendo ele esperado ou não, de acontecer. Com isso, associa riscos ao potencial, susceptibilidade, vulnerabilidade, sensibilidade ou danos potenciais.

De acordo com a ISO 31.000 (NBR, 2009), risco é o efeito de uma incerteza sobre algum objetivo. É o desvio em relação ao esperado, seja positivo ou negativo. É caracterizado como um potencial, consequência ou combinação entre estes, nos quais podem ser vistos como a probabilidade de ocorrência associada.

Entre os tipos de riscos mais comuns, existe o risco ambiental. Este risco está vinculado as associações aos riscos de questões naturais nas quais podem ter sido agravadas pela ação do homem ou pela ocupação do território (Dagnino e Junior, 2007). As opções metodológicas para avaliar os riscos são várias, irá depender do tema a ser tratado ou das características geográficas do local.

Enquanto o risco pode ser proveniente de uma fonte natural, um impacto é proveniente da ação humana. A Figura 2.15 a seguir ilustra a relação de intensidade do risco em ser baixo, médio ou alto em relação ao nível de ameaça (eixo horizontal), com o nível de vulnerabilidade (eixo vertical). Nota-se que o risco está sempre presente, mesmo que os níveis de vulnerabilidade e ameaça sejam baixos (Dagnino e Junior, 2007). Essa relação pode ser traduzida pela Equação 2.0, podendo ser aplicada a eventos estatisticamente mensuráveis. (Vito, 2009).

$$R = P * D$$

Equação 2.0

Sendo que:

R = risco de um desastre ou acidente

P = impacto

D = possível dano

O risco envolve perigo ou ameaça que gera uma consequência sobre um evento. O dano irá depender do valor de quem sofre o perigo. A equação 2.1 é uma forma de quantificar a ilustração da Figura 2.8, que irá determinar um risco por um impacto gerado. O impacto irá causar um dano ao meio, no qual esse dano refletirá em uma resposta, que é traduzido pela vulnerabilidade. A medida que aumenta o impacto, o dano também aumenta. Caso esse impacto gere uma vulnerabilidade alta, o risco será proporcional, aumentando também.

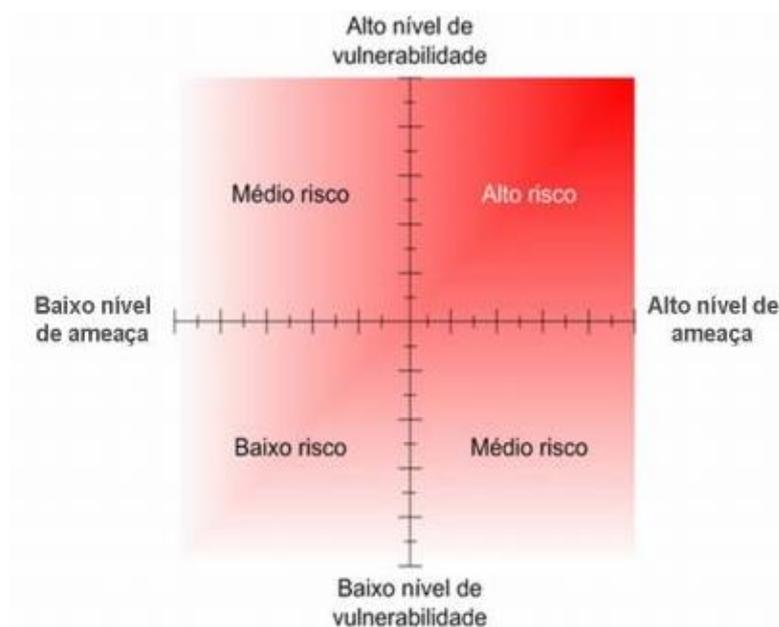


Figura 2.8: Relação entre ameaça e vulnerabilidade na determinação da intensidade de riscos.

Fonte: Dagnino e Junior, (2007).

A avaliação de risco ambiental pode ser feita de forma dedutiva, com abordagem matemática como foi ilustrado acima, ou pode ter abordagem indutiva, conforme cita Vito (2009), no qual prevê o perigo por uma caracterização de um evento danoso que ocorreu no passado. Em uma análise de risco, deve-se identificar o risco, quantificar e avaliar esse risco. O gerenciamento de risco tem por objetivo tornar mais eficiente o uso os recursos

disponíveis. Com isso, se faz necessário identificar o perigo, avaliar suas frequências sobre os eventos danosos e estimar a consequências que estes podem vir a causar. A Figura 2.9 ilustra essas etapas.



Figura 2.9: Etapas de um plano de análise de risco.

Fonte: Adaptado de Vito (2009).

Para análise dos riscos do meio ambiente, devem ser identificados os riscos e posteriormente a frequência que eles ocorrem por uma atividade. Dentro desse panorama, deve-se analisar as consequências que podem ser causadas, afetando assim, a vulnerabilidade do meio, que está associado à resposta da fragilidade que essas consequências causarão.

Entender a percepção de risco possibilita que se questione laudos técnicos ou pareceres de empresas ou pesquisadores sobre alguma desconfiança. Essa percepção pode representar um fator importante para reverter ou controlar os riscos ambientais em um território.

## 2.10 Vulnerabilidade ambiental

O conceito de vulnerabilidade possui certa complexidade, uma vez que existem vários tipos de vulnerabilidade, seja no meio social ou no meio ambiental. De forma geral, uma vulnerabilidade é quando existe uma fragilidade em relação a algo, uma possibilidade de ocorrer um evento que cause uma sensibilidade em determinada situação.

Em relação à vulnerabilidade ambiental, também existem várias definições, função do meio em que está sendo tratado. De uma forma geral, vulnerabilidade ambiental de uma área pode ser descrita como a capacidade de resposta do meio aos efeitos adversos causados por ações naturais ou antrópicas.

A análise de vulnerabilidade ambiental permite avaliar a fragilidade de sistemas ambientais tendo em vista às pressões submetidas, podendo assim, identificar regiões nos quais existe um maior potencial de ocorrência de impacto ou de degradação ambiental e permite também visualizar a intensificação dos impactos ao longo dos últimos anos (Almeida *et al*, 2017).

De acordo com o Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE) proposto para a região do Distrito Federal (Greentec, 2011), a vulnerabilidade ambiental está associada com o balanço

entre o impacto potencial existente sobre o sistema e a sensibilidade do meio ao impacto sofrido. Considera-se em sua definição a capacidade adaptativa do sistema, no qual as efetividades do sistema de políticas públicas irão contribuir para aumentar ou diminuir a vulnerabilidade. A Figura 2.10 ilustra essa definição de modelo de vulnerabilidade (Greentec, 2011).

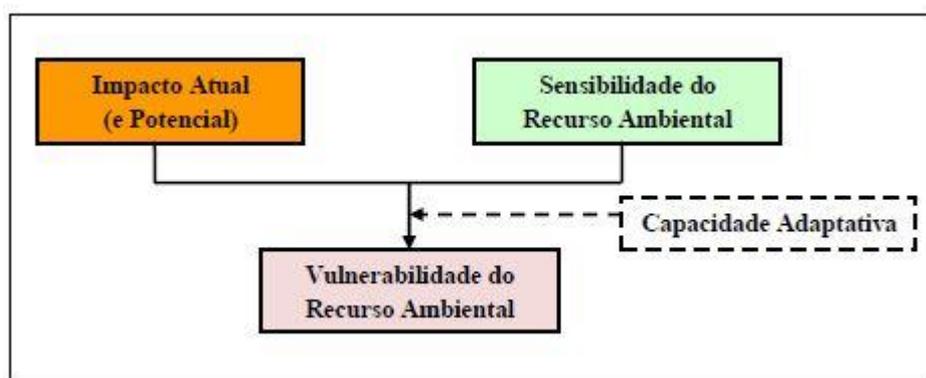


Figura 2.10: Modelo de vulnerabilidade ambiental.

Fonte: Greentec, 2011

A definição da Figura 2.10 não será abordada por considerar que a sensibilidade é a própria vulnerabilidade, que a capacidade adaptativa do meio é a resposta do ambiente pelo impacto gerado. Logo, propõe-se que o impacto gerado por pressões antrópicas cause um dano no meio ambiente, no qual a resposta de como o meio reage a este dano é a vulnerabilidade ambiental, ilustrado na Figura 2.11.

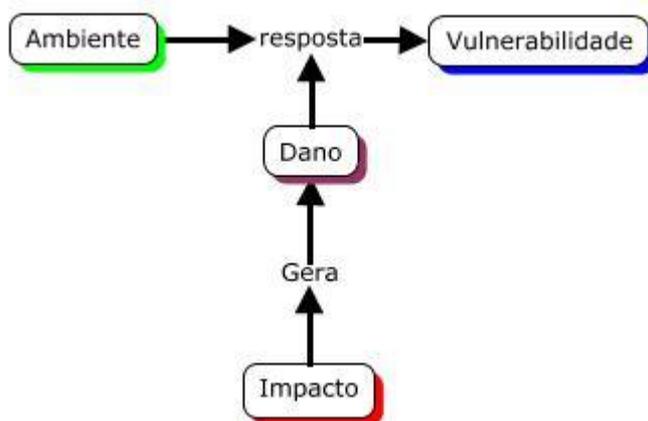


Figura 2.11: Esquema proposto de vulnerabilidade ambiental

Em um sistema natural relativamente estável, a vulnerabilidade do ambiente que foi ou é alterada pela ação antrópica pode mudar de baixa vulnerabilidade para alta vulnerabilidade. Os algoritmos de análise multicritério em ambientes computacionais de geoprocessamento são cada vez mais utilizados nesse tipo de análise de vulnerabilidade ambiental.

A determinação da vulnerabilidade ambiental pode ser medida por vários parâmetros, dos quais para esse estudo foram selecionados o uso e cobertura do solo, textura e espessura do solo, profundidade do nível d'água, recarga de aquífero, erosão linear e laminar, em um contexto aplicado a exploração mineral.

#### 2.10.1 Uso e cobertura do solo

A caracterização do uso e cobertura do solo é fundamental para determinar a dinâmica do espaço, como este afeta o meio natural e como o gerenciamento e planejamento urbano influenciam nas questões ambientais.

Essas informações através de imagens digitais e sensores remoto permitem uma visualização adequada da situação da área e com auxílio de algoritmos de geoprocessamento inseridos em sistemas de informações geográficas (SIG) é possível realizar processamentos e gerar mapas de uso e cobertura do solo.

#### 2.10.2 Textura do solo

Cada tipo de solo apresenta uma textura diferenciada, sendo que cada tipo de solo irá apresentar uma proporção relativa das partículas na massa de solo, sendo eles areia, silte e argila. Essa proporção é importante na análise de áreas de mineração pois em extrações que visam a produção de cimento, por exemplo, a quantidade de argila, calcário e silte são fundamentais para viabilização do empreendimento.

#### 2.10.3 Espessura do solo

A espessura do solo é entendida entre a superfície do solo em contato com a atmosfera até a rocha que lhes deu origem (Coelho *et al.* 2013). Essa característica do solo é importante na aplicação do estudo da mineração, pois o entendimento de quão profundo se

encontra a rocha de interesse ou quais são os horizontes de solo pertencentes a área, irão determinar o quanto será escavado.

#### 2.10.4 Profundidade do nível de água

É a distância entre a superfície do solo e o topo do lençol freático. Em áreas de mineração ocorre o rebaixamento do nível d'água, que um procedimento realizado para manter o nível da água em uma determinada cota para que se permita a continuidade das atividades de lavra. Isso quer dizer que, o rebaixamento do aquífero persiste enquanto o nível d'água não atinge a condição de equilíbrio, enquanto a própria cava segue rebaixando o nível d'água em seu entorno.

Em grandes e médias cavas de mineração esse aspecto representa um potencial considerável de geração de impactos sobre os recursos hídricos e em alguns casos, são considerados impactos ambientais (Bertachini, A. C., & de Almeida, D. C, 2003). Os impactos relativos aos recursos hídricos tendem a afetar outros usuários, gerando problemas de gestão de solução nem tão simples (Bertachini, A. C., & de Almeida, D. C, 2003), ainda mais na atual situação de crise hídrica que o DF vem passando.

#### 2.10.5 Recarga de aquífero

A recarga de um aquífero é a quantidade total de água (lâmina d'água) que percola a superfície do solo. A recarga natural de um aquífero pode ser influenciada pela gestão do uso do solo, aptidão agrícola e conectividade vegetacional, portanto essa recarga é reflexo de atividades econômicas e ecológicas (Vasconcelos *et al.* 2013). Como nas atividades de mineração há interferências com a profundidade do solo para escavação de uma cava, caso seja realizado um rebaixamento em uma área de baixa recarga de aquífero, há grandes chances daquele aquífero não ser recarregado como antes.

#### 2.10.6 Erosão

Erosão é um processo mecânico que age em superfície e profundidade, em certos tipos de solo e sob determinadas condições físicas. É caracterizado pela desagregação, transporte e deposição de partículas do solo, subsolo e rocha em decomposição pelas águas, ventos ou geleiras (Magalhães, 2001). É um processo que ocorre de forma natural no

ambiente através de fatores climáticos, declividade do terreno ou vegetação. Outros fatores como desmatamento, criação de áreas de cultivo agrícola e ocupação do solo são ações nas quais é realizada pelo homem que intensifica e acelera os processos erosivos.

Segundo Soubhia e Bianchini (2014), a erosão acelerada pode ser de dois tipos:

- Erosão laminar, ou em lençol, quando causada por escoamento difuso das águas das chuvas, resultando na remoção progressiva dos horizontes superficiais do solo. É de difícil percepção, porém pode ser identificada quando há um clareamento do solo, exposição das raízes, coloração da água e a depender do estado da cobertura do solo.
- Erosão linear: “quando causada por concentração das linhas de fluxo das águas de escoamento superficial, resultando em incisões na superfície do terreno na forma de sulcos, ravinas e voçorocas.
  - Sulcos: são pouco profundos e facilmente corrigidos pela melhoria do manejo do solo. Esse tipo de erosão está relacionado com áreas rurais e ocorre de forma concentrada pelo manejo agrícola inadequado em áreas de cultura e pela modificação do escoamento das águas pluviais.
  - Ravinas: são feições de maior porte, de profundidade variável, de forma alongada e não atinge o lençol de água subterrânea. Ocorre onde atuam mecanismos de desprendimento de material dos taludes laterais e transporte de partículas de solo.
  - Voçorocas: possui dimensões maiores que as ravinas e atingem o lençol de água subterrânea. Se desenvolve por um fenômeno piping, que é uma erosão interna que carrega as partículas do interior do solo pelo escoamento de água superficial ou subsuperficiais. Ocorre principalmente em cabeceiras de drenagem, onde há uma convergência natural dos fluxos de água superficiais e subterrâneos.

A erosão em áreas de mineração aparece em estágios avançados de degradação, isto é, quando se retira a cobertura vegetal por completo, deixa o solo totalmente exposto em áreas no qual as cavas de exploração já estão exauridas e quando há ausência de sistemas de drenagem. A erosão em atividades de mineração ocorre por intervenções como desmatamentos, escavações instáveis, desmontes de rochas e modificação da paisagem os impactos que essas ações resultam são: erosão e escorregamento/deslizamentos, explosões-ruído e depósitos de rejeitos. E como consequência, surgem os acúmulos de sedimentos, a poluição de mananciais, contaminação do ar, solo e água.

### 2.10.6.1 Erosão linear e laminar

Nesse estudo, não foi diferenciado os tipos de erosão linear. Para sua determinação, foi realizado o método baseado em geoindicadores pedológicos, geológicos e de declividade. A determinação da erosão laminar foi feita pela Equação Universal da Perda de Solo (USLE), abordada a seguir.

#### 2.10.6.1.1 Equação Universal de Perdas de Solo (USLE)

Um dos modelos para estimar a perda de solo por erosão hídrica é pela Equação Universal de Perdas de Solo (USLE), que quando especializada por meio de um Sistema de Informação geográficas (SIG), permite uma análise da perda de solo por erosão laminar, possibilitando contextualizar os resultados obtidos em função do uso e ocupação do solo (Alves, 2000).

Para estimar a erosão laminar foi usado a Equação Universal de Perdas de Solo (USLE) (Wischmeier; Smith, 1978) pela fórmula 2.1:

$$A = R * K * LS * C * P \quad \text{Equação 2.1}$$

Onde:

A= perda de solo em  $t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ;

R= fator de erosividade da chuva, em  $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ;

K= fator de erosividade do solo, em  $t \text{ h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ;

LS= fator topográfico, integração do fator L, comprimento de rampa, e o fator S, declividade, (adimensional);

C= fator de uso e manejo do solo (adimensional); e,

P=fator de práticas conservacionistas (adimensional).

- Fator R

O fator R representa a capacidade da chuva em causar uma erosão, em uma área sem proteção. Para uma melhor representação de um valor médio do índice de erosividade é a relação da precipitação média anual com a média mensal, representado pela Equação 2.2

conforme estudos realizados por Da Silva (2004) que adapta as equações de erosividade de acordo com cada região do Brasil e que no caso, foi aplicado a Equação relativa ao Cerrado.

$$EL_{30} = 36,849 * \left(\frac{M^2}{P}\right)^{1,0852} \quad \text{Equação 2.2}$$

Onde:

EI30 = média mensal do índice de erosividade, em MJ.mm/(ha.h);

M = média do total mensal de precipitação, em mm;

P = média do total anual de precipitação, em mm,

O fator R é um dos fatores mais importantes que determina o poder da erosividade da chuva e expressa a média anual de energia e da intensidade da chuva (Lemos, 2016). Isso é determinado pelo cálculo de análises de intensidade da chuva pelos registros de informação, que será pela informação de estações pluviométricas. Com os dados das medições realizados nas estações, os valores de erosividade mensal ( $EL_{30}$ ) de cada estação devem ser somados para determinar os valores de R conforme Equação 2.3. A quantidade de valores de R poderá variar conforme os dados disponibilizados pelas estações e quando este valor estiver calculado, serão usados em mapas raster de chuvas mensais.

$$R = \sum_{j=1}^{12} EL_{30j} \quad \text{Equação 2.3}$$

- Fator K – Erodibilidade dos Solos

Erodibilidade do solo é diferente de erosão do solo, segundo Silva *et al.* (2010). Em seu estudo, ele definiu que a intensidade de erosão de uma área qualquer pode ser influenciada mais pelo declive, características das chuvas, cobertura vegetal e manejo, do que pelas propriedades do solo. Afirma que alguns solos são mais facilmente erodidos que outros, mesmo quando o declive, a precipitação, a cobertura vegetal e as práticas de controle de erosão sejam as mesmas. Sendo assim, erodibilidade do solo é justamente essa diferença das propriedades inerentes ao solo.

Logo, as propriedades do solo que influenciam na erodibilidade são aqueles que afetam a infiltração, a permeabilidade, a capacidade total de armazenamento de água e aquelas que resistem às forças de dispersão (Bertoni e Lombardi Neto, 1993).

- Fator LS – Fator topográfico

O fator LS é a distância horizontal do ponto mais alto da bacia hidrográfica, onde começa o fluxo superficial até o ponto mais baixo onde começa a deposição desse fluxo que irá fluir pelo no canal (Quintero, 2017).

A perda de solo intensifica conforme aumenta o comprimento de rampa e o grau de declividade, uma vez que esse aumento proporciona uma velocidade maior do fluxo d'água na superfície (Olivetti, 2014).

Para sua obtenção, utilizou-se a metodologia proposta por Desmet e Ouyers (1996) que foi citado por Velásquez (2008), aplicando as equações abaixo.

$$L = \left(\frac{\lambda}{22,13}\right)^m \quad \text{Equação 2.4}$$

$$m = \frac{F}{(1+F)} \quad \text{Equação 2.5}$$

$$F = \frac{\sin \beta / 0,0896}{3 \sin \beta^{0,8} + 0,56} \quad \text{Equação 2.6}$$

$$L_{(i,j)} = \frac{(A_{(i,j)} + D^2)^{m+1} - A_{(i,j)}^{m+1}}{x^{m+D^{m+2}} * (22,13)^m} \quad \text{Equação 2.7}$$

Em que  $L_{i,j}$  = fator de comprimento de vertente de uma célula com coordenadas (i,j);  $A_{i,j}$  = área de contribuição de uma célula com coordenadas(i,j) ( $m^2$ ); D = tamanho da grade de área de células (m);  $x_{i,j}$  = valor da direção do fluxo; e , m: coeficiente dependente da declividade.

O fator L considera a área de contribuição superficial por unidade de largura. Sendo assim, é calculado pela divisão da área de contribuição pela largura ao longo do fluxo que pode passar dentro de uma célula (Desmet e Ouyers, 1996). Essa largura depende da direção do fluxo que é representada pela equação 2.7.

Para calcular o fator S considera as características do declive conforme equação 2.8

$$S_m = 10,8 \operatorname{sen} \theta + 0,03 \quad (S > 9\%) \quad \text{Equação 2.8}$$

$$S_m = 16,8 \operatorname{sen} \theta - 0,50 \quad (S \geq 9\%)$$

Sendo  $S$  a inclinação do declive calculada,  $\beta$  = o quociente entre a erosão em sulcos e entre sulcos e  $\theta$  = ângulo em graus da encosta.

- Fator C – Uso e Manejo do Solo

O fator C representa a taxa de solo de uma área com cobertura e manejo específico em relação à outra área, com as mesmas condições, sem cobertura. (Wischmeier; Smith, 1978). Este fator é a relação entre a perda de solo em um terreno cultivado e um terreno desprotegido. O efeito sob a perda de solo é representado por uma combinação de fatores como a quantidade de chuva, a fase do ciclo vegetativo e o tipo de cultura do manejo adotado. Esses aspectos irão determinar se a erosão vai reduzir ou não.

Existe dificuldade em determinar o fator C para o território brasileiro, uma vez que as relações necessárias para tal, como a cobertura, os sistemas de cultivo e o tipo de solo é morosa e onerosa (Olivetti, 2014).

Existem valores na literatura sobre o fator C, o que se torna importante em localidades onde não é possível determiná-las de forma empírica, principalmente em bacias hidrográficas onde os usos e manejos do solo são diversos (Olivetti, 2014).

A aplicação do USLE pode ser realizada por técnicas de sensoriamento remoto associadas à SIG, pois fornecem uma quantidade maior de informações sem necessitar realizar pesquisas de campo ou em inventário, o que representa uma economia de custos e tempo (Olivetti, 2014).

- Fator P - Práticas Conservacionistas

O fator P representa o impacto em que as práticas de conservação do solo fazem sobre a erosão (Lemos, 2016). Trata-se da relação entre a intensidade esperada de perda de solo com determinada prática conservacionista ou quando a cultura está disposta no sentido do declive (Alves, 2000).

Quando uma área está sem cobertura vegetal, está desprotegida, indica que ela está mais susceptível à erosão do que uma área que possui uma cobertura de vegetação, pois o crescimento da vegetação se associa à sequência de culturas e ao manejo.

É uma relação entre uma área com um determinado uso e manejo com uma área descoberta e livre de cultivo sob as mesmas condições de declividade e tipo de solo variando

de zero a um, sendo zero em sistemas de cultivo conservacionistas e, um em sistemas de cultivo não conservacionistas.

## 2.11 Sistema de Informações Geográficas

O Sistema de Informações Geográficas (SIG) é uma ferramenta computacional de dados geográficos capaz de integrar dados de diversas fontes e criar banco de dados georreferenciados, isto é, representados em uma projeção cartográfica, em uma superfície terrestre localizada. O SIG torna possível automatizar o processo de produção de documentos cartográficos e pode ser utilizado como ferramenta para produção de mapas, suporte para análise espacial de fenômenos e como banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial (Câmara *et al.* 2001).

O SIG é cada vez mais usado para dar apoio às decisões de recursos ambientais, pois é capaz de transformar os registros de ocorrências em uma informação relevante em relação aos recursos físicos, bióticos e socioeconômicos do ambiente com rapidez em relação aos processos utilizados antigamente.

O uso dessa ferramenta na avaliação de impactos ambientais causados pela exploração mineral é uma opção por sua versatilidade e armazenamento dos dados. Aplica-se desde a pesquisa mineral, a construção de modelos, o gerenciamento de dados geoquímicos, impactos ambientais, elaboração de planos de recuperação de áreas degradadas e outros (ESRI, 2016). Os SIG utilizados nessa pesquisa serão o ArcGis e o ENVI.

O ArcGis é um SIG desenvolvido pela empresa norte americana ESRI (*Environmental Systems Research Institute*) no final da década de 1990. Este sistema é capaz de fazer geoprocessamento de dados e assim, representar realidades geográficas e realizar análises ambientais. O modelo de dados utilizado pelo ArcGIS é o Geodatabase, que possibilita que as informações vetoriais sejam integradas junto com imagens, grades (grids), TIN'S (Rede Triangular Irregular) e tabelas em uma única base de dados. No entanto, outros formatos vetoriais ou matriciais que são compatíveis com o software, possibilitando assim, um caráter multidisciplinar em suas atividades, com aplicação até mesmo na mineração.

O ENVI (*Environment for Visualizing Images*) é uma ferramenta que combina visualização, exploração, análise e apresentação de dados em SIG. É um software desenvolvido a partir da linguagem IDL (*Interactive Data Language*), que garante um processamento mais rápido por possuir algoritmos mais avançados para o tratamento

espectral de dados. Pode ser aplicado em áreas de agricultura, cobertura vegetal, recursos minerais, meio ambiente, oceanografia e urbanismo.

### 2.11.1 Processamento de imagens

Uma imagem da superfície terrestre a distâncias remotas é capturada através do Sensoriamento Remoto (SR), em que o objeto imageado é registrado por um sensor que irá processar as imagens recebidas. Um dos tipos de imagens do SR é a imagem digital, capaz de representar um plano 2D com as características do terreno pela medição de um processo físico da radiação eletromagnética. Toda imagem em formato digital é registrada em um arquivo com um formato de linha na superfície terrestre, no qual esses registros correspondem a pixels (Meneses, 2012). Os pixels são valores de cada campo armazenado e corresponde a um valor de sombreamento proporcional a refletibilidade da imagem. Logo, pixels de menor dimensão possuem uma resolução espacial de melhor definição em relação aos alvos terrestres (Meneses, 2012).

Os satélites capazes de registrar imagens multiespectrais são o Landsat, SPOT, ESRI, NOAA entre outros. As imagens multiespectrais são imagens de um mesmo objeto que foram tomadas com diferentes comprimentos de ondas eletromagnéticas. As imagens LANDSAT têm resolução espacial de 30 m, a resolução espacial do SPOT é de 20 m e a do NOAA é de 1100 m.

A utilização de satélites para produzir mapas possibilita que sejam feitas análises espaciais, temporais e determinar a dinâmica dos processos que alteram o ambiente. Com isso, o processamento digital de imagem permite a compreensão dos fenômenos ambientais, planejamento estratégico e outros. O tipo de imagem utilizado nesse estudo foi a imagem do satélite LandSat.

- Imagem Landsat

O programa Landsat (*Land Remote Sensing Satellite*) foi criado nos Estados Unidos no início da segunda metade da década de 60. O lançamento do primeiro satélite foi o ERTS-1 no ano de 1972. Posteriormente lançou os Landsat 2,3,4,5,7 e 8. O objetivo desse sistema é fazer um mapeamento multiespectral de alta resolução da superfície terrestre.

As imagens usadas neste trabalho são originadas dos seguintes satélites:

- Landsat 1: Foi o primeiro satélite a ser lançado (1972), opera com sensores RBV (*Return Beam Vidicon*) e MSS (*Multispectral Scanner System*);
- Landsat 5: Lançada em 1984, opera com sensor Thematic Mapper (TM) e MSS (*Multispectral Scanner System*). Este sensor TM possibilitou uma melhora na resolução das imagens para 30 metros nas bandas visíveis e próximas ao Infravermelho. Possui 7 bandas nas quais cada uma representa uma faixa do espectro eletromagnético.
- Landsat 8: Esse satélite foi o último a ser lançado (2013) e opera com tecnologias mais avançadas para garantir a confiabilidade, sensibilidade e qualidade dos dados. Um dos sensores trabalha com duas novas bandas, uma delas observa as nuvens de alta altitude e a outra será direcionada para a atmosfera focando na qualidade da água em lagos e costeiras. Capaz de gerar imagens com resolução de 15 metros no PAN e 30 metros no MS.

### 2.11.2 Modelo digital de elevação

O modelo digital de elevação (MDE) é uma representação matemática espacial de alguma característica da superfície da terra. É um conjunto de dados representados pelas coordenadas  $x$ ,  $y$  e  $z$ , no qual  $z$  é o parâmetro a ser modelado. A aquisição desses dados é feita através de medidas de campo, digitalização de mapas, dados altimétricos e outros.

Um MDE representa o relevo da superfície terrestre e permite a derivação de informações sobre a declividade, exposição solar e mapeamento da rede de drenagem de áreas extensas (Landau *et al.* 2011). Um MDE é obtido por métodos de estereoscopia orbital e interferometria por radar. Esses métodos conseguem cobrir uma área extensa em menor tempo. São úteis para simulações, projetos, planejamento, cálculo de volume de represa, cálculo de declividade e geração de mapas de perfil de relevo.

Os MDE podem ser obtidos por estereoscopia orbital e interferometria por radar, a primeira compara pares estereoscópicos de uma mesma área, funcionando pela extração de informações de duas imagens de um mesmo local, adquiridas em ângulos diferentes de imageamento. A interferometria por radar representa uma técnica de imageamento ativo, que significa que o radar emite o sinal através de uma antena central e registra as características

do retorno desse sinal através de duas antenas situadas a uma distância conhecida (Landau *et al.* 2011).

Para gerar um MDE, pode-se obter imagens de satélite do tipo ASTER, SRTM ou de aerolevantamentos, que são produtos resultantes de diferentes técnicas de Sensoriamento Remoto. O MDE pode ser gerado pelas curvas de nível, que são seções com pontos de mesma altitude resultantes de planos imaginários paralelos entre si e secantes ao relevo terrestre. O conjunto de curvas de nível é uma representação do relevo por meio de linhas espaçadas para indicar as altitudes de um terreno, em que cada curva de nível representa os pontos do terreno que têm a mesma altitude. As ferramentas de geoprocessamento inseridas no SIG transformam os arquivos vetoriais de curvas de nível em um arquivo raster de elevação do terreno.

Com a obtenção das imagens de sensores remotos e os MDE pode se fazer a análise em SIG da vulnerabilidade ambiental e demais aspectos ambientais de estudo.

### 2.11.3 SIG com uso e cobertura do solo

O SIG representa uma ferramenta de visualização espacial da caracterização do uso e cobertura do solo, sendo possível identificar informações sobre vegetação, grau de interferência antrópica e como essas questões influencia o ambiente natural. Esse mapeamento se torna muito relevante quando se associa as informações de uso com os impactos negativos resultantes na área, podendo identificar os agentes causadores, realizar um planejamento e gerenciamento do controle desses diversos usos.

### 2.11.4 SIG na análise de vulnerabilidade ambiental

O uso da ferramenta de SIG em estudos de vulnerabilidade ambiental proporciona um conhecimento amplo e integrado da área, pois o SIG é capaz de relacionar diferentes aspectos físicos do território.

Almeida *et al.* (2017) seguiu uma metodologia de unir elementos territoriais e ações antrópicas para estudar a vulnerabilidade ambiental de uma bacia hidrográfica do DF. Uniu-

se as informações de uso do solo com a geotecnologia de SIG para fazer a análise multicritério e sobreposição dos mapas. O SIG auxilia nos estudos e permite que um planejamento seja realizado de acordo com a área de risco ambiental, seja mediante ação humana ou às mudanças naturais que ocorrem no próprio ambiente.

Determinar a vulnerabilidade ambiental significa avaliar as condições de risco da área e estudo de processos geoambientais como erosão, contaminação do solo, dos recursos hídricos e outros (Junior *et al.* 2012).

A geração e análise de mapa de vulnerabilidade representa uma relevância nos estudos ambientais porque permitem a identificação e localização de áreas com maior potencial de fragilidade ambiental. Com isso, os mapas são capazes de proporcionar uma melhor definição para as diretrizes de um planejamento a ser implantado em um determinado espaço. (Ferreira *et al.* 2011).

A análise de vulnerabilidade é feita com as imagens, mas com o processamento de dados também, no qual existem métodos para manipular as informações e entre eles, está a análise multicritério.

#### 2.11.5 Análise espacial multicritério

A análise multicritério é um método de análise alternativa para resolução de problemas que utilizam diferentes critérios a um determinado objeto de estudo e é capaz de produzir diferentes formas de respostas para uma tomada de decisão (Simoni, 2017). Um critério que é uma condição que pode ser quantificada e avaliada. Uma decisão é a escolha de alternativas no qual cada alternativa deve ser embasada em um critério (Corseuil, 2006) e assim, a tomada de decisão será concluída.

Esse tipo de análise representa um grande avanço para o planejamento ambiental, pois consegue relacionar várias variáveis do meio físico ou biológico que podem ter diferentes combinações de pesos, valores atribuídos e resultando, conseguindo assim, diferentes respostas (Simoni, 2017).

Em análises que envolvem adequação de uso do solo, a avaliação multicritério é indicada principalmente quando se tem diferentes planos de informação da paisagem e se faz relações de abordagens convencionais de sobreposição (*overlay*) de mapas (Sartori, 2010).

A junção do SIG com a análise multicritério representa um avanço na metodologia de sobreposição de mapas, uma vez que o processo é feito em curto espaço de tempo e com confiabilidade.

Existem diferentes formas de aplicação do multicritério, uma delas são o método booleano, *fuzzy*, combinação linear ponderada e análise técnica de processos, que serão descritos a seguir.

#### 2.11.5.1 Método da combinação linear ponderada

O método da Combinação Linear Ponderada é mais amplamente utilizada pelo seu fácil entendimento para implementar as operações de álgebra de mapas e modelagem cartográfica (Malczewski, 2000). A álgebra de mapas é uma técnica de geoprocessamento no qual é feita a análise de um objeto e se considera diferentes variáveis que resultarão em uma sobreposição de mapas.

Na Combinação Linear Ponderada os critérios (fatores) são padronizados em uma única escala numérica, recebendo pesos e sendo combinados através de uma média ponderada. É um método que possibilita a compensação entre os fatores nos quais os pesos estão sendo ponderados, o que significa que para um conjunto de qualidades ruins que tem um valor baixo pode ser compensado com outro conjunto de qualidades boas que possuem valores mais altos (Almeida *et al.* 2017).

Em um ambiente SIG, essa sobreposição ocorre com camadas (*layers*) em formato raster que são reclassificadas com valores ponderados que foram definidos por operações aritméticas. Para isso, define-se os critérios que serão adotados, cria-se um modelo raster para cada um dos critérios adotados (mapa de critérios); define-se pesos para cada classe de cada critério; reclassifica os modelos rasters com os valores dos pesos atribuídos e por fim, aplica-se a álgebra de mapas com os valores ponderados para cada critério (Sampaio, 2016). Logo, os critérios atribuídos são somados por uma média ponderada e o somatório dos pesos deve ser igual a 1.

Com isso, pode-se dizer que o método de Média Ponderada possui uma maior flexibilidade na combinação de mapas do que o método Booleano (Moreira, 2001). Esse método pode ser utilizado junto com a ferramenta de análise Hierárquica de Processos.

#### 2.11.5.2 Análise Hierárquica de Processos – técnica AHP

A ferramenta da Análise Hierárquica de Processos (AHP) é bastante flexível para problemas complexos, auxiliando na tomada de decisão, hierarquização e definição de pesos (Simoni, 2017), funciona a partir de um ordenamento hierárquico de dados e com respectivos valores atribuídos com uma importância para cada fator.

É uma ferramenta que pode ser aplicada tanto para o método fuzzy como para o método de Combinação Linear Ponderada. É importante que as variáveis de entrada sejam definidas, pois elas serão consideradas na combinação final. No trabalho de Junior (2012), ele esquematizou os três estágios em que o processo ocorre, sendo:

- Estágio 1: Deve-se montar a estrutura da hierarquização
- Estágio 2: Deve-se construir a matriz de comparação pareada, verificar a consistência e definir o valor dos pesos de cada fator.
- Estágio 3: deve-se priorizar as alternativas e definir as classes de vulnerabilidade para classificação final.

A Figura 2.12 ilustra as etapas do processo AHP:

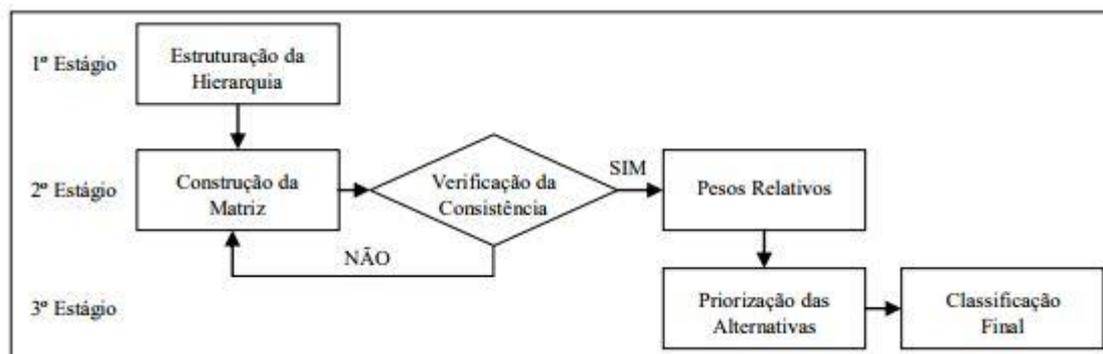


Figura 2.12: Representação dos estágios do método AHP.

Fonte: Junior *et al.* 2012

Os pesos são atribuídos aos critérios de acordo com sua importância relativa. Junior (2012) adotou a escala de Saaty de números absolutos no qual se estabelece os valores numéricos, sejam eles qualitativos ou quantitativos apresentados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2: Escala de Saaty para os pesos

VALORES	IMPORTÂNCIA MÚTUA
1/9	Extremamente menos importante que
1/7	Muito fortemente menos importante que
1/5	Fortemente menos importante que
1/3	Moderadamente menos importante que
1	Igualmente importante a
3	Moderadamente mais importante que
5	Fortemente mais importante que
7	Muito fortemente mais importante que
9	Extremamente mais importante que
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre as opiniões adjacentes.

Os elementos são comparados em pares, sendo que essas comparações formarão matrizes em forma de fração entre 1/9 e 9. A matriz será avaliada para verificar se os valores atribuídos são coerentes ou não. Para isso, faz-se a verificação da razão de inconsistência (RC) para verificar os valores atribuídos. A aceitação é quando o valor obtido após a verificação seja de 10%, ou seja, o valor deve ser de no máximo 0,10 para ter aceitabilidade. A fórmula da RC está descrita na Equação 2.9 abaixo.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad \text{Equação 2.9}$$

Onde IR representa o índice randômico obtidos na Tabela 2.3 abaixo.

Tabela 2.3: Valores estabelecidos de IR para cálculo da equação 2.9

<i>n</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>IR</i>	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45

O método é eficaz porque é capaz de agrupar dentro de uma única avaliação um grande número de variáveis (Junior *et al.* 2012).

### 3. MATERIAIS E METODOLOGIA

#### 3.1 Materiais

##### 3.1.1 Levantamento de dados e informações

Para a realização dos processamentos, obtenção da classificação das imagens e produção de mapas, foram utilizados os softwares ArcGis 10.5 e ENVI 5.3, sendo eles subsidiados por imagens de satélite, apresentados resumidamente na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Imagens utilizadas no estudo

Satélite	Data	Sensor	Resolução geométrica	Bandas multiespectrais	Fonte
LandSat 1	01/08/1973	MSS	80 metros	4 a 7	INPE
LandSat 5	07/08/1993 14/08/2007	TM	30 metros	1 a 4	INPE
LandSat 8	25/08/2017	OLI/TIRS	30 metros	1 a 7	INPE

Além das imagens manipuladas, produtos cartográficos da forma de vetor também foram obtidos, conforme a tabela 3.2.

Tabela 3.2: Base de produtos cartográficos utilizados

Mapa	Resolução espacial/ Escala	Fonte
Pedológico	1:100.000	Aguiar, 1997
Geológico	1:100.000	Aguiar, 1997
Profundidade do nível d'água	1:100.000	Aguiar, 1997
Risco de perda de área de recarga de aquífero	1:100.000	ZEE – DF, 2014
Textura do solo	1:100.000	Aguiar, 1997
Espessura do solo	1:100.000	Aguiar, 1997
MDE	30	United States Geological Survey (USGS) - EUA

As características de cada um desses produtos cartográficos listados na Tabela 3.2 podem ser vistas na conforme apêndice H.

Adicionado a essas informações, o levantamento de dados também contou com o auxílio de documentos em *shapefile (.shp)* e outros documentos digitais fornecidos pela Tocantins S.A ao IBRAM, nos quais foram obtidos pela Lei de Acesso a Informação junto ao órgão.

### 3.2 Metodologia

A metodologia aplicada para realização desse estudo foi dividida em 3 etapas, de forma geral representada na Figura 3.1 e com os processos, mais simplificados, na Figura 3.2.

- Elaboração dos mapas temporais do uso e cobertura do solo referentes aos anos de 1973,1993, 2007 e 2017 no ArcGis e classificação temática das imagens no ENVI;
- Produção do mapa de vulnerabilidade ambiental na bacia hidrográfica do Córrego da Contagem pela análise multicritério de Análises Hierárquica de Processos (AHP);
- Avaliação do risco ambiental

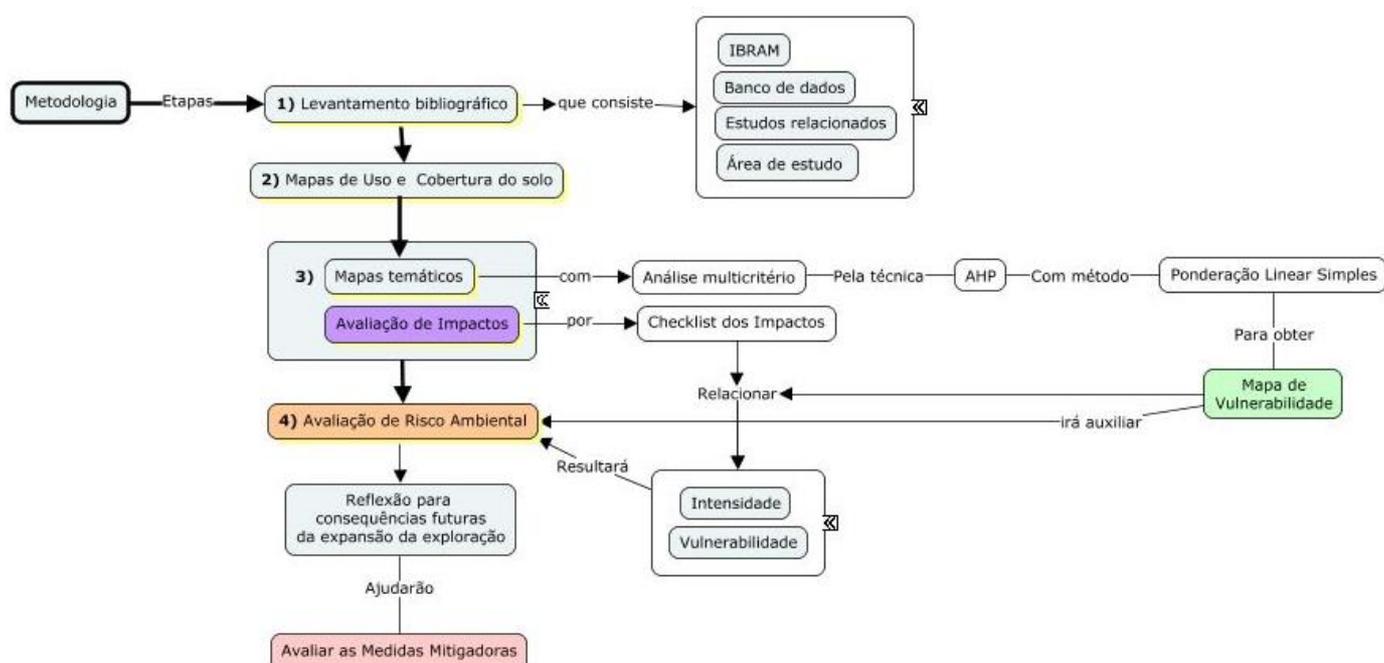


Figura 3.1: Representação esquemática da metodologia de forma geral

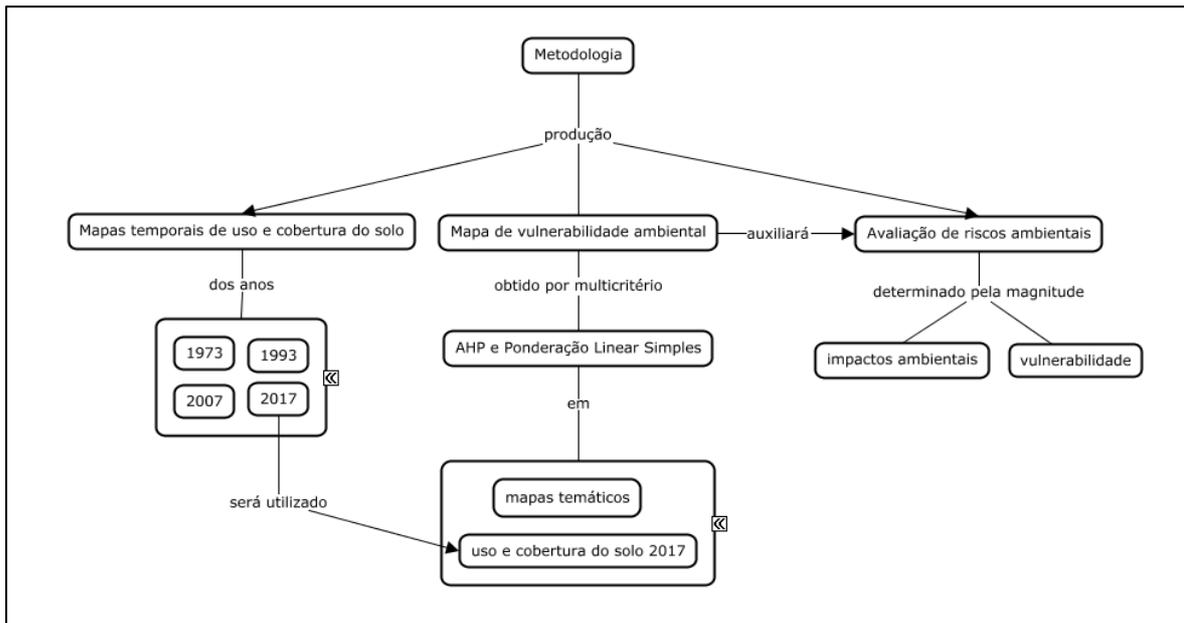


Figura 3.2: Metodologia simplificada

### 3.2.1 Mapas de Cobertura e uso do solo

Os mapas de uso e cobertura do solo foram produzidos nos SIG ENVI e ArcGis. A classificação temática de imagem foi realizada pelo ENVI e as edições de feições para eventuais correções e finalização dos mapas no ArcGis. As imagens de satélite cedidas pelo INPE foram trabalhadas a partir da extração de um recurso que usa uma abordagem baseada em um objeto (uma região/segmento), no qual é um grupo de pixels. Cada pixel significa que a informação espectral é usada para classificar as imagens

Os métodos tradicionais de classificação temática são baseados em pixels, o que significa que a informação espectral em cada pixel é usada para classificar as imagens. Esse método baseado em objeto oferece mais flexibilidade nos recursos a serem extraídos. Os passos realizados nesses métodos foram:

- Divisão da imagem em segmentos: a segmentação da imagem é o processo de dividir a imagem em segmentos que possuem características espectrais, espaciais e de textura semelhantes. Os segmentos da imagem devem corresponder idealmente o recurso real do local. Uma segmentação eficaz irá garantir que os resultados de classificação sejam mais precisos. Essa ferramenta permite combinar a segmentação e mesclagem para reduzir o número de segmentos e, ao

mesmo tempo, fornece limites claros em torno dos objetos. Portanto, foi atribuído essa mescla nas bandas, no qual para os valores de segmentação e mescla podem variar de 0 a 100.

- Computa os atributos para os segmentos: etapa no qual é selecionado as amostras representativas de cada recurso que será atribuída as classes antes de executar uma classificação supervisionada.
- Cria novas classes temáticas: escolha dos atributos para usar na classificação temática supervisionada, sendo que foram feitos atributos de: campo, mata de galeria, solo exposto, mineração, urbano e cerrado;
- Atribui amostras de treinamento: que é a atribuição interativa de cada segmento para cada classe temática, sendo os segmentos atribuídos as classes criadas;
- Classifica a imagem: a classificação temática realizada foi a supervisionada por vizinho mais próximo, sendo que os segmentos são classificados com base na proximidade das regiões de treinamento vizinho. Esse método é o mais rigoroso das opções de classificação, uma vez que ele consegue distinguir com maior precisão as classes semelhantes, com as características de pixel mais semelhante.
- Exportação das classes temáticas para um *shapefile*: ao final da classificação temática, faz-se a transformação do arquivo em raster para vetor.

Por fim, cada mapa de uso do solo em formato de vetor foi editado no ArcGis para certificação de que não houvessem superposições das classes temáticas ou espaços vazios nos polígonos.

De forma ilustrativa, a figura 3.3 demonstra os passos para gerar o mapa de cobertura e uso do solo.

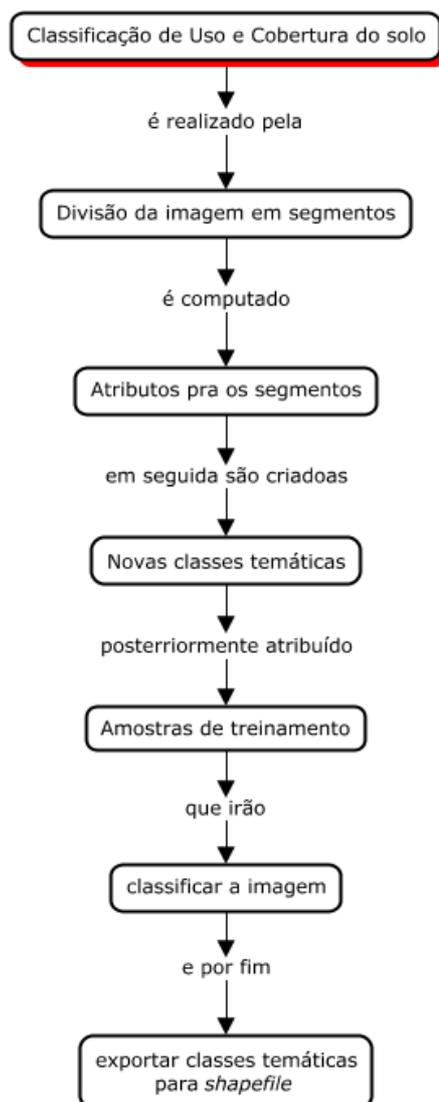


Figura 3.3: Fluxograma das etapas para classificação do Uso e cobertura do solo

### 3.2.2 Mapas intermediários ao de vulnerabilidade ambiental

Todos os mapas intermediários utilizados para produzir o mapa final de vulnerabilidade ambiental passaram pelos mesmos processos de análise multicritério baseado na Ponderação Linear Simples e no método AHP. Primeiramente, os mapas foram reclassificados com um valor de vulnerabilidade a depender de sua classe, no qual foi baseado na literatura, nos valores de 1 a 5, pelo fato de 5 intervalos serem suficientes e mostrar a diferença entre os níveis de vulnerabilidade, desde um muito baixo até o mais alto. Os valores graus de vulnerabilidade foram classificados conforme mostra a Tabela 3.3.

Tabela 3.3: Atribuição das classes para os níveis de vulnerabilidade

Valor de vulnerabilidade	Intensidade
1	Muito baixa
2	Baixa
3	Média
4	Alta
5	Muito alta

Em seguida, com esses valores de vulnerabilidade atribuídos, esses mapas foram transformados para formato raster. Finalmente foi aplicado a método AHP para auxiliar na tomada de decisão de pesos em relação à importância em cada mapa pelas suas características. Logo, para cada mapa, foi atribuído um valor pela comparação pareada de dois tipos de mapas, nos quais, ao final foi gerado uma matriz no qual atribuiu um peso para cada fator, para cada mapa temático. Esses pesos foram usados no método de Ponderação Linear Simples aplicados no ArcGis pelo *raster calculator* que fez uma média ponderada dos mapas com seus respectivos pesos. Esses procedimentos resultaram no mapa de vulnerabilidade ambiental.

A Figura 3.4 ilustra os procedimentos realizados e procedimentos metodológicos realizados em cada mapa temático será descrito a seguir.

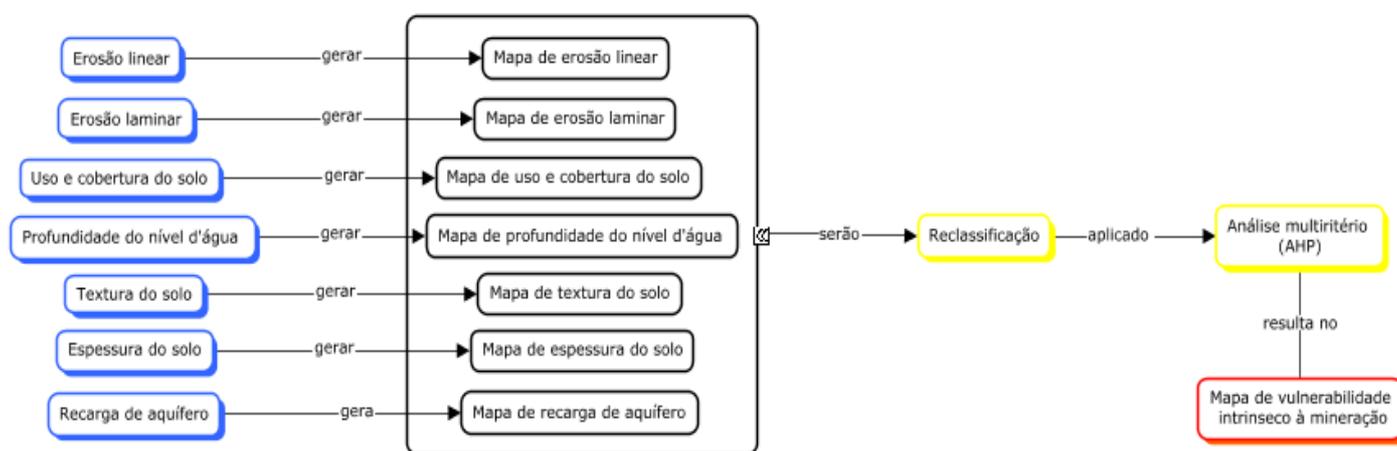


Figura 3.4: Etapas metodológicas para obtenção do mapa de vulnerabilidade ambiental aplicado a mineração

### 3.2.2.1 Uso e cobertura do solo

Para o mapa de uso e cobertura do solo do ano de 2017 foram atribuídos os valores de vulnerabilidade de acordo com a situação atual da área e das ações antrópicas em relação aos anos anteriores, nos quais classes de mineração e urbano sofrerem maiores intervenções

com ações de degradação ambiental e áreas como campo e mata de galeria serem mais protegidas mais distantes da presença do Homem. Essa classificação pode ser visualizada pela Tabela 3.4.

Tabela 3.4: Valores de vulnerabilidade aplicado ao uso do solo

<b>Classe de uso e cobertura do solo</b>	<b>Valor de vulnerabilidade</b>
Campo	2
Cerrado	3
Mata de Galeria	2
Mineração	5
Solo exposto	4
Urbano	5

### 3.2.2.2 Profundidade do nível d'água

O mapa de profundidade do nível d'água obtido pelo estudo do Aguiar (1997) correspondia a todo o território do DF, logo, foi feito um processamento de corte das informações no ArcGis somente para área da Bacia do Ribeirão Contagem. Como auxílio para determinação dos atributos de vulnerabilidade, considerou-se as características do local pelas curvas de nível de 5 metros obtidos pelo SEGHT e a situação atual da cava do Bloco I. De acordo com a Figura 3.5, que foi um registro realizado na visita de campo, ilustra a profundidade no qual a cava é submetida para chegar ao minério de interesse. Nesse caso, que representa a cava do Bloco I se manteve no nível 809 metros.

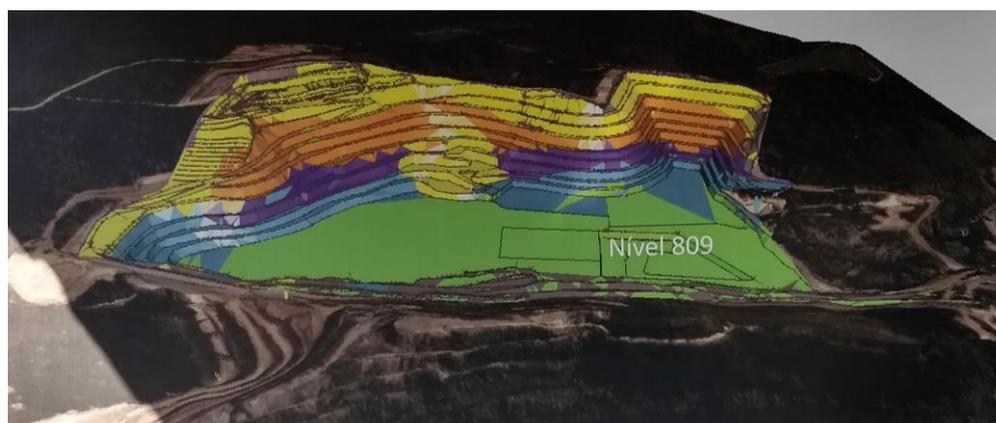


Figura 3.5: Representação do nível de exploração e a profundidade alcançada.

Diante disso, foi feita uma comparação com as curvas de nível para ver o quão profundo a exploração era. Sendo assim, pelo apêndice I, pode ser verificado que há o rebaixamento do nível freático de aproximadamente 120 metros.

Portanto, como a profundidade na área de interesse variava de 1 metro até mais de 30 metros e que para exploração todas as áreas teriam uma vulnerabilidade intensa, optou-se por classificar mais vulnerável aquela profundidade que se encontra na área, uma vez que quanto maior a profundidade de escavação, maior a possibilidade de alcançar o nível d'água. A classificação completa está ilustrada na Tabela 3.5.

Tabela 3.5: Valores de vulnerabilidade aplicado à profundidade do nível d'água

<b>Profundidade do nível d'água</b>	<b>Valor de vulnerabilidade</b>
1m a 3m	5
3m a 10m	4
10 a 30 m	3
>30m	5

### 3.2.2.3 Textura do solo

A textura do solo é à proporção relativa entre os diferentes tamanhos de partículas que constituem a massa de solo, sobretudo às frações de areia, silte e argila. O latossolos presente no DF são solos com textura predominantemente argilosa, quer dizer, são bastante intemperizados, o que os torna mais porosos e, conseqüentemente, com maior permeabilidade (EMBRAPA, 2004). Na área de interesse, predomina as texturas em argila, o que justifica a localidade do empreendimento.

Nesse sentido, considerou-se uma maior vulnerabilidade em relação à textura do solo em que é mais propício à mineração, sendo propício aquele solo onde se obtém aproveitamento para fabricação de cimento e onde a exploração é mais intensa, como é o caso da argila e do silte.

Tabela 3.6: Valores de vulnerabilidade aplicado à textura do solo

<b>Textura do solo</b>	<b>Valor de vulnerabilidade</b>
Argiloso- Pedregoso	5
Argiloso – Siltoso	4
Arenosa	1

#### 3.2.2.4 Recarga de aquífero

Os principais fatores que influenciam a recarga dos aquíferos são a declividade do terreno, a permeabilidade do solo e a lâmina precipitada. A principal fonte de água subterrânea é resultado da água que infiltra na superfície e percola através da zona não saturada até atingir o nível freático (Lobo Ferreira, J. P. C., & Custódio, J. 2011). 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. Portanto, foi atribuído os valores de risco conforme estavam na tabela de atributos em *shapefile* do arquivo, que variavam de 1 a 5 conforme distribuição de intervalos de vulnerabilidade ambiental aplicadas nessa pesquisa.

As classes correspondentes aos valores de vulnerabilidade aplicado à recarga de aquífero foram atribuídos pelo estudo de ZEE de 2014 e estão na Tabela 3.7.

Tabela 3.7: Valores de vulnerabilidade aplicado à recarga de aquífero

<b>Valor de vulnerabilidade da recarga de aquífero</b>
1
2
3
4

#### 3.2.2.5 Espessura do solo

Para avaliar os parâmetros da espessura do solo, foi necessário avaliar o tipo de solo, pois são características que se complementam. Ponderou-se a questão da profundidade no qual o solo teria que ser escavado até alcançar o minério, pois quanto mais profundo está o minério, mais econômico será a escavação. Como a espessura de solo varia de 0 a 10 metros na área da bacia, foi atribuído maior vulnerabilidade aquela espessura que se encontra na área minerada. Os valores estão na Tabela 3.8.

Tabela 3.8: Valores de vulnerabilidade aplicado à espessura do solo

<b>Espessura do solo</b>	<b>Valor de vulnerabilidade</b>
0 a 2m	2
2m a 5m	4
5m a 10m	3

### 3.2.2.6 Pedologia

A classificação quanto as atribuições dos valores de vulnerabilidade foram realizadas de acordo com as características de cada solo e pelas pressões antrópicas presentes. De acordo com o relatório do meio físico e biótico do ZEE-DF (subproduto 3.1, 2014), o Nitossolo, Argissolo e Cambissolo apresentam, dentre suas características específicas, alto risco erosivo. Justamente esses tipos de solo que se encontram na área da mineração. Para os outros solos não foram atribuídos valores de vulnerabilidade alto por não estarem próximos a área da exploração. Com isso, os valores de vulnerabilidade estão evidenciados na tabela 3.9.

Tabela 3.9: Valores de vulnerabilidade aplicado à pedologia

<b>Pedologia</b>	<b>Valor de vulnerabilidade</b>
Cambissolo Haplico	5
Nitossolo Vermelho	5
Latossolo vermelho amarelo	3
Latossolo vermelho	2
Argissolo vermelho eutrófico + chernossolo Haplico	5
Espodossolo ferriluvico	2
Plintossolo petrico	1

### 3.2.2.7 Geologia

Pelas características geológicas apresentados na bacia, foi considerado a formação e as características geológicas de cada feição. O grupo Bambuí composta por folhelhos, argilitos e ritmitos finos que gradam para o topo da unidade para siltitos feldspáticos ou arcoseanos (Campos *et al.* 2016). As características mais vulneráveis foram aquelas que se encontravam na área do Bloco III, onde é o foco da exploração.

Tabela 3.10: Valores de vulnerabilidade aplicado à geologia

<b>Geologia</b>	<b>Valor de vulnerabilidade</b>
Psamo-Pelito Carbonatada	4
Metarritmito Arenoso	1
Grupo Bambuí Base	5
Quartzitos Médios	2
Calcifilitos	1
Filitos	5
Metarritmito Argiloso	3

### 3.2.2.8 Declividade do terreno

Para definição da declividade do terreno, foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE) utilizado no cálculo do fator LS da USLE. Os intervalos de classes de declividade seguiram a proposta feita por Almeida *et al* (2017), apresentada na Tabela 3.11.

Tabela 3.11: Valores de vulnerabilidade aplicado à declividade.

Fonte: Adaptado de Almeida et al (2017),

Declividade (%)	Valor de vulnerabilidade
0 – 6	1
6 – 12	2
12 – 20	3
20 – 30	4
>30	5

### 3.2.2.9 Mapa de susceptibilidade à erosão linear

Os processos erosivos podem ser potencializados por questões naturais ou antrópicas, caso haja retirada ou alteração da vegetação, podendo aumentar ou diminuir a estabilidade do solo. O aumento desses sedimentos pode ocasionar erosão laminar ou linear, por isso os mapas de erosão são importantes para a análise.

O mapa de susceptibilidade à erosão linear foi caracterizado com o auxílio dos mapas reclassificados de pedologia, geologia e o de declividade do terreno. Foi realizado um cruzamento matricial pelo *raster calculator* no ArcGis entre mapas. O primeiro foi feito entre mapa pedológico e o geológico que resultou no mapa geopedológico. Por fim, o cruzamento entre mapa geopedológico com o mapa de declividade, conforme Figura 3.6.

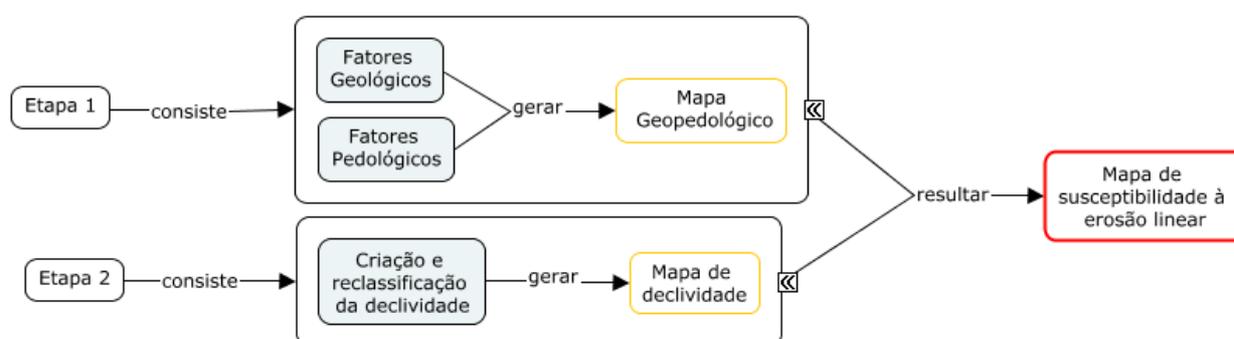


Figura 3.6: Metodologia aplicada para obtenção do mapa de erosão linear.

### 3.2.2.10 Erosão Laminar

Para a produção do mapa de erosão laminar foi necessário calcular todas as variáveis da Equação de Perda de Solo de acordo com o item 2.10.6.1.1 e com auxílio do ArcGis, os 5 fatores foram calculados e obtidos como descritos abaixo.

#### O fator K

O fator de erodibilidade dos solos se relaciona com a perda de solo e a erosividade da chuva, logo, o mapa de pedologia foi utilizado e nele, atribuído um valor K para cada tipo de solo presente da área de interesse. Os valores atribuídos foram tirados da literatura (Gurgel et al, 2011), (Farinasso *et al*, 2006), (de Sousa Morais, R. C., & Sales, M. C. L. 2017).

Tabela 3.12: Valores de K atribuídos de acordo com as referências citadas

<b>Pedologia</b>	<b>Valor K</b>
Cambissolo Haplico	0,0237
Nitossolo Vermelho	0,0197
Latossolo vermelho amarelo	0,0171
Latossolo vermelho	0,0263
Argissolo vermelho eutrófico + chernossolo Haplico	0,0197
Espodossolo ferriluvico	0,059
Plintossolo petrico	0,019

#### O fator C e P

Esses fatores são variáveis adimensionais, das quais sua atribuição foi realizada pela literatura e pelo julgamento do autor. Os valores foram adicionados ao uso e cobertura do solo conforme mostrado na tabela 3.5. O fator P varia de 0 a 1, sendo 0 o valor atribuído aqueles julgamentos que definem a área como tendo o máximo de práticas conservacionistas e 1 quando não existe nenhuma prática conservacionista. Foi levado em consideração que nenhuma prática conservacionista é realizada, uma vez que não se pode afirmar como os usos da área são tratados e porque esse fator se aplica mais à área de agricultura, e na área de interesse não há esse uso. Em relação ao fator uso e manejo do solo (C), foi obtido através da literatura (Souza, L. A., & Sobreira, F. G. (2017), (Cavalcante, 2004), (Almeida *et al*, 2017) e do julgamento que o autor considerou pertinente. Os valores variam de 0 a 1 também, porém valores mais próximos a 0 representa pouca perda de solo e valores mais próximos a 1 grandes perdas de solo. Por fim, a tabela 3.13 evidencia os atributos concedidos.

Tabela 3.13: Fatores C e P atribuídos na área de estudo de acordo com as referências citadas.

<b>Classe de uso e cobertura do solo</b>	<b>Fator C</b>	<b>Fator P</b>
Campo	0,04	1
Cerrado	0,04	1
Mata de Galeria	0,04	1
Mineração	0,25	1
Solo exposto	0,2	1
Urbano	0	1

### O fator R

Para obter o valor da variável do fator de erosividade, foram selecionadas estações pluviométricas que poderiam ter interferência na bacia estudada. Foram selecionados 6 pontos de medição próximos a bacia, porém somente três desses influenciavam na bacia, no qual foi demonstrado por análise hidrológica no método de Thiessen. Porém, dessas três estações, somente duas delas possuíam dados fornecidos pela ANA, sendo uma estação sem dados. Sendo assim, somente duas estações pluviométricas foram utilizadas, que foram as estações da Contagem e Contagem Ria do Mato. Ambas estão inseridas dentro da poligonal da Bacia do Ribeirão da Contagem e a primeira estação possuía 38 anos de medição, enquanto a segunda apenas 9 anos.

Foi aplicado a Equação 2.2, da qual é aplicada para a região do cerrado e por fim, a Equação 2.3 para encontrar o valor final de R. O ordenamento dos dados fornecidos pela ANA está ilustrado na Tabela 3.14 e 3.15.

Tabela 3.14: Amostragem da estação Contagem.

<b>ANO</b>	<b>JAN</b>	<b>FEV</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAI</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SET</b>	<b>OUT</b>	<b>NOV</b>	<b>DEZ</b>	<b>TOTAL MENSAL</b>
1970	0	0	0	0	0	0	0	0	0	87,1	218,2	152,4	457,7
1971	70,1	136,6	153,6	80	58,1	12,7	19,2	0,2	86,5	346,5	465,1	271,5	1700,1
1972	72,8	121,9	135,5	131,6	25,2	0	21,7	2,5	35,8	59,1	203,6	513,3	1323
1973	169,9	142,5	301,6	104,9	20,2	11,6	0	0	149,5	231,7	160,1	158,3	1450,3
1974	57,6	163,4	459,1	179,3	24,8	0	0	19	1,7	203,2	221,7	301,8	1631,6
1975	151,2	158	115,4	248,9	26,5	0	7,7	0	12,8	91,2	177	272	1260,7
1976	72,4	312,8	224,1	29,5	71,5	0	11,5	0	67,6	204,1	480,4	245,9	1719,8
1977	297,7	234,6	112,8	182,7	47,1	46	0	0	23,7	72,8	144,5	276	1437,9
1978	350,2	261,9	176,4	188,6	49,2	0,7	1,3	0	8,4	125,6	187,1	228,7	1578,1
1979	784,3	375,2	303,8	71,5	60,7	0	0	19,7	13,1	112,2	140,7	202	2083,2
1980	440,9	423,8	87,1	213,3	118,7	9	0	0	89,2	2,8	237,5	250	1872,3
1981	225,5	120,8	354,4	40,6	37,8	45,5	19,2	12,4	6	400,5	351,1	87,2	1701
1982	418,7	78,9	352,4	121,1	101,9	0	0	12,4	6	403,7	337,8	134,6	1967,5

<b>ANO</b>	<b>JAN</b>	<b>FEV</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAI</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SET</b>	<b>OUT</b>	<b>NOV</b>	<b>DEZ</b>	<b>TOTAL MENSAL</b>
1983	321,6	367	259,6	150,9	42,4	0	22,9	0	52,7	182,3	294,9	173,9	1868,2
1984	167,4	159,2	299,7	174	6,9	0	0	30,1	63	186,6	87	164,4	1338,3
1985	367,2	146	255,4	80	29,7	0	0	0	10,4	236,6	146,6	399	1670,9
1986	215,2	138,5	143,8	35,4	9,3	0	14,4	65,6	8,6	167,2	108,4	226,1	1132,5
1987	74,2	150,9	388,2	126,3	61,8	0,5	0	0	79,2	87,3	200,8	373,2	1542,4
1988	107,3	256,1	287,1	165,2	24,1	1,6	0	0	5,2	172,3	346,6	182,2	1547,7
1989	199,8	241,5	205,9	51,6	1,2	45,8	25,1	59,7	86,9	207,2	232,9	757,1	2114,7
1990	152,4	195,6	112,1	107,7	96,9	0	119,7	20,2	129,3	147,6	222	85,2	1388,7
1991	267,9	192,6	328,5	137,7	4,6	0	0	0	22,6	56,9	222,6	284	1517,4
1992	352,2	392,2	140,3	168,1	21,2	0	0	41,1	69,3	180,4	302,4	417,5	2084,7
1993	110,4	206,5	72,9	83,5	20,4	11,6	0	33,4	115,3	69,6	110	309	1142,6
1994	227,1	131,5	388,2	128,6	35	39,6	0	0	0	54,1	291,1	213,4	1508,6
1995	150,7	128,5	216,4	162,9	42,4	0	0	0	0	150,7	174,6	357,8	1384
1996	93,2	75	147,6	90,4	21,3	0	0	113,6	26,3	93,1	254,3	189,7	1104,5
1997	516,7	88,9	371,7	178,6	73,6	20	0	0	69,4	57,8	267,1	217,1	1860,9
1998	240,3	148	208,5	87,4	38,9	16,3	0	3,3	9,4	177,6	282,2	270,4	1482,3

<b>ANO</b>	<b>JAN</b>	<b>FEV</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAI</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SET</b>	<b>OUT</b>	<b>NOV</b>	<b>DEZ</b>	<b>TOTAL MENSAL</b>
1999	224,5	49,5	254,5	45,3	23,6	0	0	0	50,3	242,1	353	265,9	1508,7
2000	205,1	105,9	188	75,8	0	0	0	34,5	39	167,4	229,6	250,8	1296,1
2001	68,4	74,2	257,6	116,3	13,6	0	1,4	34,9	68,2	208,2	291,5	353,4	1487,7
2002	264,6	181,5	136,6	44,2	5,2	0	1,4	10,4	48,6	13,8	207,6	207,5	1121,4
2003	332,7	183	277,4	21	3,2	0	0	12,8	40,4	70,6	132,8	180,4	1254,3
2004	442,3	390,9	315,4	219,2	2,4	0	0	0	1,6	186,5	129,9	126,2	1814,4
2005	249,6	343,6	344	95,2	35,4	7,6	0	33,3	83	28,5	230,3	436,1	1886,6
2006	145,1	171,1	294,5	155,9	21,2	0,2	0,1	20,1	38,1	474,9	134,3	98	1553,5
2007	269,1	270,1	29	26,7	6,6	0	0	0	0	0	0	0	601,5
<b>MEDIA</b>	286,33	236,07	280,62	139,35	41,37	8,67	8,57	18,68	52,16	192,25	276,69	310,71	1510,42

Fonte: HidroWeb

Tabela 3.15: Medições da estação Contagem Rua do Mato

<b>ANO</b>	<b>JAN</b>	<b>FEV</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAI</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SET</b>	<b>OUT</b>	<b>NOV</b>	<b>DEZ</b>	<b>TOTAL MENSAL</b>
2009	0	0	0	0	0	13,4	0,3	68,1	14,8	27,14	54,4	54	232,14
2010	15,4	15,2	126	88,9	2,6	0	0	0	0,1	25,5	145,1	90	508,8
2011	142,6	365,8	636,2	61,6	3,2	6,6	1,8	0	5	330,4	334,4	54,6	1942,2
2012	0	0	0	0	0	0	0	0	19,4	95,9	7,6	48,4	171,3
2013	379,78	65	194,6	47,2	27,3	32,8	0	7,4	18,7	154,4	175,7	207	1309,88
2014	0	90,9	243	143,4	4,3	0,1	0	0	3,2	27,2	117,7	202,4	832,2
2015	102,6	112,6	258,9	164	41,8	0	0	0	48,3	142,8	15,1	137,7	1023,8
2016	206,2	20,1	74,4	11,3	0	1	1	1,3	0	0	0	108,9	424,2
2017	61,2	84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	145,2
<b>MEDIA</b>	<b>29,28</b>	<b>24,31</b>	<b>49,45</b>	<b>16,66</b>	<b>2,55</b>	<b>1,74</b>	<b>0,10</b>	<b>2,48</b>	<b>3,53</b>	<b>25,91</b>	<b>27,42</b>	<b>29,13</b>	<b>732,19</b>

Fonte: HidroWeb

## O fator LS

Para o cálculo do fator topográfico foram consideradas as Equações 2.4 a 2.8 e pelo *raster calculator* do ArcGis, foram gerados os valores de cada variável. Vale ressaltar que o valor de  $\beta$  adotado foi com  $S = >9\%$  e  $D = 30$ . Os outros parâmetros resultaram em arquivos raster.

### **3.3 Mapa de vulnerabilidade ambiental**

O mapa de vulnerabilidade ambiental foi obtido pelas informações gerados nas etapas anteriores. Com os resultados dos mapas de textura e espessura do solo, uso e cobertura do solo, profundidade do nível d'água, erosão laminar e linear e recarga de aquífero adquiridos, no qual todos eles importavam as informações dos atributos de vulnerabilidade explicitado nos subitens do item 3.2.1, eles foram transformados para formato *raster* com essas atribuições. Com esses mapas, foi atribuído o peso a cada um deles (obtido pelo método AHP) e por fim, fez-se a sobreposição desses mapas.

Deve-se levar em consideração de que os mapas que construíram o mapa de vulnerabilidade possuíam escalas e grandezas diferentes, nos quais aumenta a possibilidade de distorções como vazios em alguns pixels no mapa *raster*. Esses vazios surgiram principalmente do mapa de erosão laminar, que para o melhor resultado da avaliação de erosão, foi retirado a parte que representava a hidrografia (onde há maior chance de deposição de sedimentos). Com isso, no ArcGis foi realizado uma reclassificação das classes a fim de homogeneizar essas diferenças, mas sem que isso causasse mudança na classificação originada pelo processamento. Foi atribuído um valor de vulnerabilidade para aqueles pequenos vazios, dos quais foi baseado na classificação das características da área vizinha.

Com o mapa de vulnerabilidade final apresentado em valores mínimos (0) até seu valor máximo (6,75), no qual foi subdividido em cinco classes, de acordo com o valor do índice de vulnerabilidade obtido.

### **3.4 Avaliações de risco**

A determinação do risco ambiental foi baseada no dano causado por um impacto ambiental resultante de ações antrópicas na bacia. Foram considerados os impactos causados pela exploração mineral na produção do cimento na área, principalmente aqueles que são

mencionados nos estudos de impacto e licenciamento ambiental no qual a Tocantis S.A forneceu ao IBRAM, sendo alguns desses impactos considerados evidenciados na Tabela 2.1.

Considerou-se risco como um conjunto de situações nos quais possuem o homem como fonte de agente causador. Logo, a interação entre o uso do solo do ano de 2017 produzido nas etapas anteriores e os impactos negativos de exploração dos recursos resultaram em uma avaliação de riscos ambientais. Com isso, a avaliação dos danos de um ambiente que gera resultado de impactos, gera um meio com um grau de vulnerabilidade. A metodologia seguida para alcançar essa vulnerabilidade foi o que Vito (2009) propôs em seu estudo, com as etapas descritas a seguir:

- a) Identificar os impactos gerados na área;
- b) Identificar as consequências (danos) dos impactos ambientais;
- c) Avaliar a magnitude dos impactos listados entre muito baixa, baixa, alta e muito alta;
- d) Avaliar a magnitude da vulnerabilidade gerado pelo mapa em muito baixa, baixa, alta e muito alta;
- e) Combinar as magnitudes de impactos e de vulnerabilidade do meio e representar isso em forma de matriz. O cruzamento entre esses dois parâmetros resultará em uma avaliação de risco ambiental, sendo que os valores resultantes caracterizarão o nível de risco em muito baixo, baixo, alto e muito alto. A estrutura desse procedimento está exemplificada na Figura 3.7.

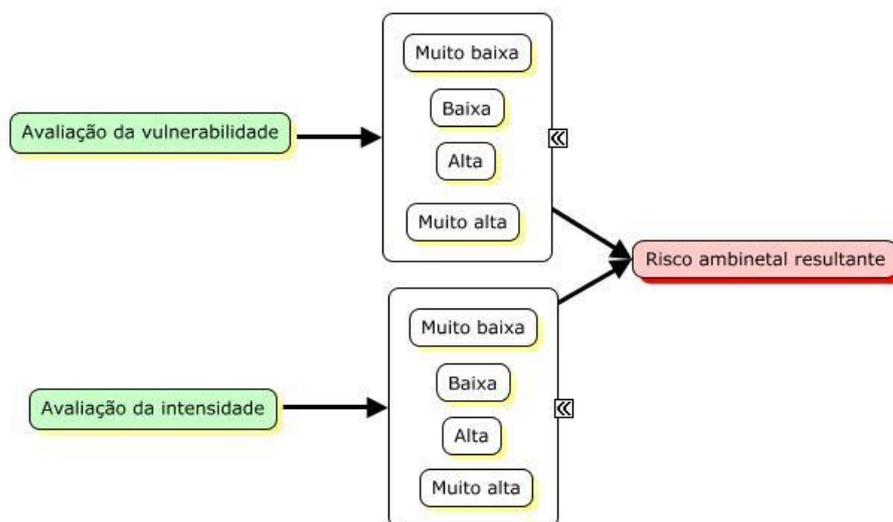


Figura 3.7: Estrutura para análise de risco. Fonte: Adaptado de Vito (2009).

Para esse cruzamento, a determinação do risco foi avaliada mediante as quatro classes descritas acima, que foi resultado da avaliação feita pela Equação 2.1, que avalia o risco pelo impacto e danos causados. A combinação de fatores de intensidade e vulnerabilidade pelos danos causados resultou no risco.

Com o resultado de riscos ambientais caracterizados em níveis em relação aos impactos listados, foi possível traduzir quais eram os riscos mais relevantes dentro da APA de Cafuringa na bacia do Ribeirão de Contagem. Com esses riscos mapeados em virtude de onde o impacto é causado, pôde-se fazer uma associação com a vulnerabilidade ambiental que também foi associada aos impactos. Em uma área que possui uma vulnerabilidade a certo parâmetro e estiver um risco alto associado, é um motivo para avaliar se as medidas de mitigação que a fábrica propôs perante aos documentos ambientais feitos estão sendo satisfatórios e, assim, refletir sobre as futuras consequências ambientais que serão causadas pela expansão da cava na APA de Cafuringa.

De todos os impactos de podem ser causados na área (Tabela 3.16), foi retirado o julgamento foi feito tendo por base os impactos da cava do Bloco I, das possibilidades de ocorrência e das medidas mitigadoras propostas no PCA.

Tabela 3.16: Avaliação das magnitudes dos impactos e vulnerabilidade ambiental

<b>Danos dos impactos</b>	<b>Magnitude do impacto</b>	<b>Magnitude da vulnerabilidade</b>
Impacto visual	Muito alta	Muito alta
Erosão e assoreamento	Alta	Muito alta
Alteração da qualidade das águas superficiais e subterrâneas	Alta	Baixa
Alteração da dinâmica hídrica local	Muito alta	Muito alta
Alteração na qualidade do ar	Baixa	Baixa
Alteração na qualidade do ambiente sonoro	Baixa	Baixa
Geração de vibração e sobrepressão acústica nas detonações	Alta	Baixa
Perda de espécimes de flora nativa	Muito alta	Muito alta
Afugentamento de fauna	Muita alta	Muita alta
Perda de potencial de patrimônio espeleológico	Muito baixa	Alta

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Mapas de uso e cobertura do solo

Após realização de todo o processo para obtenção dos mapas de uso e cobertura do solo, obteve-se os resultados dos 4 anos de análises, conforme apêndice J. Para cada mapa de uso e cobertura do solo foi realizado as etapas de 3.2.1 no qual prepara a imagem para avaliação das classes temáticas existentes. A interpretação da classificação das classes foi obtida pela interpretação do autor com auxílio do Google Earth.

Foi calculado a área em hectare de todas as classes, mostrados na Tabela 4.1. Pode ser notado que pela análise temporal, as ações antrópicas na área da bacia aumentaram bastante, pois as áreas naturais diminuíram. As classes temáticas que tiveram uma maior diferença entre os anos analisados foram a parte urbana, cerrado e mineração.

Tabela 4.1: Área em hectare de cada classe de uso e cobertura do solo

Classes temáticas	Áreas ocupadas (ha)			
	1973	1993	2007	2017
Campo	4.083,97	4.436,44	4.672,51	3.732,97
Cerrado	2.962,40	1.853,25	1.617,63	1.658,11
Mata de Galeria	1902,77	1902,77	1902,77	2.079,95
Mineração	30,38	92,07	100,62	194
Solo Exposto	161,30	399,92	211	198,80
Urbano	38,34	494,71	674,63	1.315,33
<b>Área total</b>	9179,16	9179,16	9179,16	9179,16

### 4.2 Mapas das variáveis para construção do mapa de vulnerabilidade

#### 4.2.1 Uso e cobertura do solo

O mapa de uso do solo gerado para o ano de 2017 foi usado para integrar os parâmetros de vulnerabilidade. Para cada classe temática, foi associado o valor de vulnerabilidade conforme tabela 3.3. O mapa final de uso do solo, apêndice K, foi transformado em seguida em raster, de acordo com os atributos de vulnerabilidade e foi adicionada aos outros para gerar o mapa de vulnerabilidade.

#### 4.2.2 Erosão Linear

Após os procedimentos realizados para obtenção do mapa de erosão linear, o apêndice L mostra o nível desse parâmetro na área, sendo que a o valor de maior vulnerabilidade mais altos correspondentes a 125m e os mais baixos em 10m.

#### 4.2.3 Erosão Laminar

Os fatores calculados diante das escolhas dos atributos, os resultados ficaram em forma de raster. Vale ressaltar de que para o fator R, dos valores ajustados nas Tabelas 3.14 e 3.15, os valores finais de R foram encontrados, conforme apresentado na Tabela 4.2.

Tabela 4.2: Valores finais do fator R

MÊS	Estação Contagem		Estação Contagem Rua do Mato	
	CHUVA	EI30	CHUVA	EI30
<b>JAN</b>	286,33	2811,00	29,28	43,74
<b>FEV</b>	236,07	1848,94	24,31	29,20
<b>MAR</b>	280,62	2690,63	49,45	136,41
<b>ABR</b>	139,35	588,91	16,66	12,86
<b>MAI</b>	41,37	42,21	2,55	0,22
<b>JUN</b>	8,67	1,42	1,74	0,10
<b>JUL</b>	8,57	1,38	0,10	0,00
<b>AGO</b>	18,68	7,52	2,48	0,21
<b>SET</b>	52,16	69,80	3,53	0,44
<b>OUT</b>	192,25	1184,08	25,91	33,55
<b>NOV</b>	276,69	2609,53	27,42	37,92
<b>DEZ</b>	310,71	3356,43	29,13	43,24
<b>TOTAL</b>	1.851,48	<b>15.211,85</b>	212,57	<b>337,89</b>

Como as amostras eram apenas de duas estações pluviométricas, obteve-se dois valores de R, sendo que a estação Contagem resultou com valor de 15.211,85 e a estação Contagem Rua do Mato com 333,89. Como as duas estações apresentaram valores bastante distintos em relação ao período histórico de precipitação e a bacia sendo relativamente pequena (área 9179,16 ha), decidiu-se fazer uma média ponderada entre esses dois valores para que não fosse prejudicado o resultado pela falta de dados. Foi atribuído o peso de 0,9 para a estação Contagem, pois possuía maior quantitativo de dados, sendo esses, mais representativos e para a estação Contagem Rua do Mato, peso de 0,1 em virtude dos poucos dados. Feito isso, foi calculado o valor do fator R e o resultado obtido foi de 6862,3. Esse

valor foi adicionado diretamente à fórmula de álgebra de mapas no ArcGis com os outros mapas que representavam os valores dos fatores.

Por fim, os resultados obtidos dos fatores de erosão laminar estão representados na no apêndice M e o resultado final da erosão laminar no apêndice N. O mapa de erosão laminar final foi obtido pelo raster calculator do ArcGis aplicando a equação 2.1, que integra todas as variáveis. Vale ressaltar que os espaços vazios visualizados no mapa final de erosão laminar são aquelas áreas correspondentes as várzeas, pois no início do processamento essas áreas foram desconsideradas, uma vez que são áreas sujeitas à deposição de sedimentos (Olivetti, 2014), e portanto, foram excluídas da estimativa de perda do solo para que não influenciasse no resultado final.

### **4.3 Mapa de vulnerabilidade aplicado a mineração**

O resultado do mapa de vulnerabilidade ambiental levou em conta sete critérios, dos quais foram a espessura e textura do solo, erosão linear e laminar, risco de perda de área de aquífero, profundidade do nível d'água e o uso e cobertura do solo do ano de 2017. Os critérios de julgamento dos critérios definidos foram baseados na qualidade cartográfica, na literatura relacionada e na importância do parâmetro dentro da avaliação realizada. A importância maior é a variável de uso do solo e a menor é a espessura do solo. Os valores atribuídos foram avaliados de forma pareada e o valor significa importância de uma variável em relação a outra. Esses valores de importância estão ilustrados na Tabela 4.3.

Após os valores atribuídos, a matriz foi calculada de acordo com o item 2.11.5.2, do qual resultou em pesos para cada variável. Esses pesos podem ser visualizados na Tabela 4.4.

Tabela 4.3: Matriz resultante do método AHP

**Matriz de Comparação Pareada**

<b>Atributos</b>	<b>Espessura do solo</b>	<b>Textura do solo</b>	<b>Erosão linear</b>	<b>Erosão laminar</b>	<b>Recarga de aquífero</b>	<b>Prof. nível de água</b>	<b>Uso do Solo</b>
<b>Espessura do solo</b>	1,00	1	0,50	0,25	0,333	0,2	0,125
<b>Textura do solo</b>	1,00	1,00	0,5	0,2	0,5	0,20	0,14
<b>Erosão linear</b>	2,00	2,00	1,00	1/3	0,33	0,14	0,14
<b>Erosão laminar</b>	4,00	5,00	3,00	1,00	0,25	0,17	0,20
<b>Recarga de aquífero</b>	3,00	2,00	3,00	4,00	1,00	0,33	0,25
<b>Nível de água</b>	5,00	5,00	7,00	6,00	3,00	1,00	0,25
<b>Uso do Solo</b>	8,00	7,00	7,00	5,00	4,00	4,00	1,00
$\Sigma$	24,00	23,00	22,00	16,78	9,42	6,04	2,11

Tabela 4.4: Pesos atribuídos para cada mapa

<b>Atributos</b>	<b>Pesos</b>
Espessura do solo (Es)	0,036
Textura do solo (Tx)	0,039
Erosão linear (Eln)	0,052
Erosão laminar (Elm)	0,104
Recarga de aquífero (Ra)	0,124
Prof. nível de água (Pn)	0,243
Uso do Solo (Us)	0,402

Conforme equação 2.9 e Tabelas 4.3 e 4.4, os valores encontrados foram:

$$\lambda = 5,186$$

$$IC = 0,047$$

$$RC = 0,034$$

$$IR = 1,350$$

A verificação permitiu constatar que o valor da razão de consistência (RC) foi menor que 0,1, confirmando que os julgamentos da matriz foram consistentes e que os resultados são seguros. Com isso, os valores de pesos obtidos na análise foram usados para produção

do mapa de vulnerabilidade. No ArcGis foi realizado a sobreposição dos mapas pelo *raster calculator* pela fórmula 4.0.

$$Vul. = Us * 0,402 + Pn * 0,243 + Ra * 124 + Ela * 0,104 + Eln * 0,052 + Tx * 0,039 + Es * 0,036$$

(Equação 4.0)

Por esses valores obtidos, nota-se que o uso do solo, profundidade do nível de água e recarga de aquífero foram os parâmetros mais determinantes para geração do mapa de vulnerabilidade ambiental, pois tiveram maiores pesos. O apêndice O ilustra o mapa obtido da vulnerabilidade ambiental aplicado à mineração na Bacia do Ribeirão da Contagem.

O grau de vulnerabilidade foi subdividido em cinco classes, e nesse sentido, adotou-se o padrão de classificação evidenciado na Tabela 4.5.

Tabela 4.5: Distribuição das classes de vulnerabilidade

Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muito alta
0 a 0,3	0,3 a 0,7	0,7 a 1	1 a 3	3 a 6,75

Nota-se que valores com alto grau de vulnerabilidade são aqueles que possuem urbanização, altos graus de declividade e onde há exploração mineral. Sem contar com esses fatores, o mapa mostra-se com baixa vulnerabilidade, onde são áreas mais planas e onde não existe/tem pouca interferência antrópica. Em áreas de cerrado, mata de galeria, solo exposto e campo, as classes de vulnerabilidade variam bastante, conforme variáveis usadas para análise, dependendo do peso atribuído aquele local.

Ressalta-se que a área de mineração do Bloco I onde a cava já foi exaurida apresenta predomínio de alta/muito alta vulnerabilidade, porém onde se encontra a cava do Bloco III, na localização onde começaram a explorar já apresenta alta vulnerabilidade e na região que será futuramente explorada apresenta uma vulnerabilidade baixa, que indica uma instabilidade baixa quando não se tem interferência antrópica. A partir do momento em que avançar a extração mineral na área, esse quadro de vulnerabilidade vai mudar completamente.

#### 4.4 Avaliação do risco ambiental

O risco ambiental na área de mineração do Bloco III resultou da matriz feita entre a magnitude dos impactos e da vulnerabilidade do ambiental. Nota-se que de modo geral, os riscos são bastante alto em relação a todos os danos ambientais que podem ser causados. Salvo aqueles considerados baixos como o risco de perda de potencial de patrimônio espeleológico, pois é uma área no qual não possui esse patrimônio ou aqueles danos dos quais já causaram muito impacto ambiental antigamente, como a poluição atmosférica, mas que hoje as chaminés possuem um filtro do qual controla as emissões. O ambiente sonoro que possui um baixo risco também pelo fato de não ocorrer tantas detonações e quando ocorrem, tem uma duração rápida em relação aos outros parâmetros. Já aqueles parâmetros mais contínuos, como impacto visual resultante da expansão da cava de exploração ou afugentamento da fauna possuem risco alto devido à falta de controle em relação a esses impactos. Vale ressaltar o risco sobre a alteração da dinâmica hídrica local, pois é um fator no qual existe grande impacto e grande risco de secar os córregos mais próximos pela expansão da cava e profundidade da exploração. Uma vez que em campo, conforme Figura 2.7 ilustrada anteriormente, o córrego já não possuía água, sendo a visita realizada em período chuvoso. Esse é um indício forte de que aquela área já sofre danos do impacto realizado em escavações dos blocos anteriores, logo, esse como outros córregos tendem a um risco alto.

Tabela 4.6: Avaliação do risco ambiental área de mineração do Bloco III

<b>Danos dos impactos</b>	<b>Risco ambiental</b>
Impacto visual	Muito alta
Erosão e assoreamento	Muito alta
Alteração da qualidade das águas superficiais e subterrâneas	Alta
Alteração da dinâmica hídrica local	Muita alta
Alteração na qualidade do ar	Baixa
Alteração na qualidade do ambiente sonoro	Baixa
Geração de vibração e sobrepressão acústica nas detonações	Alta
Perda de espécimes de flora nativa	Muita alta
Afugentamento de fauna	Muita alta
Perda de potencial de patrimônio espeleológico	Baixa

## 5. CONCLUSÕES

Tendo em vista os objetivos do trabalho, avaliar a vulnerabilidade dos impactos e riscos ambientais oriundos da exploração mineral na área de estudo, obteve-se resultados satisfatórios que permitiram verificar, devido a essa exploração de recursos naturais não renováveis, a significativa vulnerabilidade e os riscos ambientais relacionados. Essa análise foi possível pela realização dos objetivos específicos, que permitiu avaliar o uso e cobertura os solos ao longo dos anos e avaliar os processos que poderiam potencializar tais impactos e com isso, gerar os riscos ambientais.

Os resultados das análises foram obtidos pela metodologia aplicada, que foi pela utilização do SIG, no qual foi utilizado na maioria dos processamentos das informações. O SIG forneceu suporte para realizar a classificação temática do uso e cobertura do solo, que foi fundamental para entender a dinâmica da área ao longo dos anos e com isso, como esse uso influenciava nos processos naturais.

A ferramenta multicritério (AHP) possibilitou avaliar e comparar quantitativamente e qualitativamente os elementos avaliados, avaliar os diferentes cenários com os critérios adotados, auxiliando assim na tomada de decisão em uma escolha ponderada. Essa escolha ponderada foi feita pelo método de Ponderação Linear simples, que é de fácil aplicação no SIG, uma vez que demonstra a paisagem de forma contínua e possibilita que os elementos/fatores recebam pesos de acordo com a importância do objetivo do trabalho.

Esses métodos juntos possibilitam unir os cenários com as variáveis relevantes que influenciavam a análise com suas devidas importâncias em um software que manipulou os resultados de forma precisa através de equações e manipulações, minimizando assim, eventuais erros de processamento.

Uma vez que a exploração mineral já tenha ocorrido na área anteriormente de forma irregular, foi na instalação e operação da fábrica Tocantins S.A que a velocidade dessa exploração se tornou muito maior. Verificou-se que no ano de 1973, a área da mineração representa 0,33% da área total da bacia do córrego da Contagem e em 2017 a área da mineração já ocupava 2,11% dessa área.

A extração da rocha calcária nesse período de 44 anos estudados para atender as demandas de mercado foi crescente e a velocidade da exploração impacta de forma intensa a área de exploração e o seu entorno (área indireta), pois as consequências dos impactos não

são pontuais. Por não ser pontual, sabe-se que além da exploração da cava, há como consequência a desconexão do ambiente, por exemplo, que a exploração e intervenção na área causa com a flora e fauna do local, onde os animais irão procurar um ambiente equilibrado que os forneça condições de sobrevivência. Essas condições em uma Área de Proteção Ambiental (APA), onde se encontra o minério explorado, não se evidencia um 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. A fauna que habita nessa região explorada provavelmente irá se refugiar para onde não há interferência antrópica, que será do outro lado da APA e não nas áreas que serão mitigadas.

Conclui-se, pelos resultados obtidos que não há vulnerabilidade e riscos na área do Bloco III que ainda não foi explorado. As manchas de vulnerabilidade aparecem na primeira etapa do Bloco III, o que fica ao lado da cava já exaurida (Bloco I) que, provavelmente, comprometeu a rede de drenagem lá existente, pois observou-se no campo o desaparecimento de pequenos córregos devido ao uso de suas águas no tratamento dos resíduos resultantes da exploração. Isso evidencia que todas as causas de instabilidade ambiental ali são oriundas da exploração mineral ora em curso. Por mais que seja necessário a exploração para fabricação de cimento, porém exaure recursos naturais que não podem ser contabilizados economicamente e comprometem a sustentabilidade ambiental da Área de Proteção Ambiental de Cafuringa para usufruto das gerações futuras.

Por mais que a Tocantins S.A esteja buscando formas para minimizar os danos causados pela mineração, é importante acompanhar a evolução da exploração do Bloco III, para certificar que as medidas cabíveis de recuperação estão sendo realizadas de forma eficaz. Cabe ao órgão responsável, IBRAM, estar sempre atento e presente em todas as etapas do processo de extração mineral para que aquelas medidas realizadas no Bloco I que não lograram sucesso não se repita para a recuperação do Bloco III e assim, a recuperação seja feita da melhor maneira possível.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁGUA E TERRA CONSULTORIA E PLANEJAMENTO AMBIENTAL, (2008). Estudos de Impactos Ambientais –Bloco III e granja aprazível

Aguiar, R. L. (1997). Zoneamento geotécnico geral do Distrito Federal: procedimentos metodológicos e sua inserção na gestão ambiental. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Departamento de Geotecnia, São Carlos.

ALMEIDA, R.S; MANSANARES, V.E. (1999) Plano de Controle Ambiental (PCA) e Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD); Mineração de calcário e argila; Março 1999.

ALMEIDA, W. S., SOUZA, N. M. E CARVALHO, J. C. (2012). 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 Camapum 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, 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. (2017) . 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, v. 3, p. 287-322.

ALVES, M. (2000). Estimativa da perda de solo por erosão laminar na bacia do rio São Bartolomeu-DF, usando técnicas de geoprocessamento. São José dos Campos: INPE, 33.

BERTACHINI, A. C., & DE ALMEIDA, D. C. (2003). O rebaixamento do nível d'agua em mineração e obras civis. Águas Subterrâneas.

BERTONI, J. E LOMBARDI NETO, F. (1993). Conservação do Solo. 3ª edição, Ícone, Editora, São Paulo.

Brasil. Lei Federal nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: < [www.planalto.gov.br](http://www.planalto.gov.br)>. Acesso em: outubro de 2017.

CÂMARA, G. E DAVIS, C. (2001). “Introdução”. In: Câmara, C., Davis, C. e Monteiro, A. M. V. (eds.) *Introdução à Ciência da Geoinformação*. Sagres, Curitiba, Brasil, 1-1 - 1-5.

CÂMARA, G., SOUZA, R. C. M., FREITAS, U. M., & GARRIDO, J. (1996). Spring: integrating remote sensing and gis by object-oriented data modelling. *computers & graphics*, 20(3), 395-403.

CÂMARA, G., & ORTIZ, M. J. (1998). Sistemas de informação geográfica para aplicações ambientais e cadastrais: uma visão geral. in congresso brasileiro de engenharia agricola (vol. 27, pp. 59-82).

CAMPOS, J. E. G., XAVIER, T. O., & FREITAS-SILVA, F. H. (2016). Registros de atividade neotectônica no distrito federal records of neotectonic activity in the federal district, Brazil. *Geociências (São Paulo)*, 35(2), 203-219.

CASTRO, C.M., OLIVEIRA, P.M.N., RIO, G.A.P (2005). Riscos ambientais e geografia: conceituações, abordagens e escalas. *Anuário do instituto de geociências*, 28(2), 11-30.

CAVALCANTE DA SILVA, V. (2004). Estimativa da erosão atual da bacia do Rio Paracatu (MG/GO/DF). *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 34(3).

CEREDA JUNIOR, A., RÖHM, S. A., & LOLLO, J. A. D. (2009). Mapeamento com uso de análise multicritério e lógica fuzzy como subsídio ao planejamento urbano e regional. *Encuentro de geógrafos de America Latina*, 12.

CERRI NETO, M. (2008). Impacto ambiental, degradação ambiental, poluição, contaminação e dano ambiental: comparação entre conceitos legal e técnico.

COELHO, M. R., FIDALGO, E., DOS SANTOS, H. G., BREFIN, M., & PEREZ, D. Solos: tipos, suas funções no ambiente, como se formam e sua relação com o crescimento das plantas. In *Embrapa Solos-Artigo em anais de congresso (ALICE)*. MOREIRA, FM S; CARES, JE; ZANETTI, R.; STUMER, SL O ecossistema o solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal. Lavras, MG: UFLA, 2013.

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

DAGNINO, S.R; JUNIOR, S.C (2007). Risco ambiental: conceitos e aplicações. *Climex-climatologia e estudos da paisagem, Rio Claro, Vol.2, n.2, p. 50*

Decreto Nº 11.123 de 10 de junho de 1988. Dispõe sobre a criação de Área de Proteção Ambiental de Cafuringa, conforme a Decisão nº39, de 24 de maio de 1988, do Conselho de Arquitetura, Urbanismo e Meio Ambiente. Disponível em: < <http://www1.segeth.df.gov.br/> >. Acesso em: outubro de 2017.

Decreto Nº 11.251 de 13 de setembro de 1988. Altera dispositivo do Decreto 11.123 de Junho de 1988. Disponível em: < <http://www.tc.df.gov.br> >. Acesso em: outubro de 2017.

Decreto Nº 24.255 de 27 de novembro de 2003. Dispõe sobre o zoneamento ambiental da Área de Proteção Ambiental – APA de Cafuringa. Disponível em: < <http://www1.segeth.df.gov.br/> >. Acesso em: outubro de 2017.

DESMET, P. J. J., & GOVERS, G. (1996). A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of soil and water conservation*, 51(5), 427-433.

DE SOUSA MORAIS, R. C., & SALES, M. C. L. (2017). Estimativa do Potencial Natural de Erosão dos Solos da Bacia Hidrográfica do Alto Gurguéia, Piauí-Brasil, com uso

de Sistema de Informação Geográfica/Estimation of the Natural Soil Erosion Potential of the Upper Gurguéia Basin, Piauí-Brazil (...). *Caderno de Geografia*, 27(1), 84-105.

DE SOUZA, L. A., & SOBREIRA, F. G. (2017). A avaliação da geração de sedimentos ao longo da bacia hidrográfica do ribeirão do carmo. *Potencial natural de erosão, feições morfológicas e cicatrizes de movimentos de massa. Geociências (são paulo)*, 36(2), 285-299.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária. (2004). Mapa pedológico digital – SIG atualizado do Distrito Federal, Escala 1:100.000 e uma síntese do texto explicativo. DF, 31p.

ESRI. ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. (2007). *The geographic advantage - gis solutions for mining*.

FARINASSO, M., CARVALHO JÚNIOR, O. A. D., GUIMARÃES, R. F., GOMES, R. A. T., & RAMOS, V. M. (2006). Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminarem grandes áreas por meio da EUPS-Equação Universal de Perdas de Solos utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba-PI-MA.

FERREIRA, C. C., MIRANDOLA, P. H., SAKAMOTO, A., & GONÇALVES, F. (2011). Uso de SIG para análise da vulnerabilidade ambiental da bacia do alto Sucuriú-MS/br. *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-sbsr, Curitiba-PR*, 1169.

FIGUEIREDO, M. C. B., VIEIRA, V. P. P. B., MOTA, F., ROSA, M. D. F., & DE SOUSA, S. A. M. (2010). *Análise da vulnerabilidade ambiental. embrapa agroindústria tropical-documentos (infoteca-e)*.

GREENTEC, 2011; *Zoneamento Ecológico Econômico do Distrito Federal - Relatório de Potencialidades e Vulnerabilidade, Subproduto 3.5*

GOVERNO DE BRASÍLIA. (2007) *Administração Regional da Fercal*. Disponível em: <<http://www.fercal.df.gov.br>>. Acesso em: setembro de 2017.

ISA, Instituto Socioambiental (2017). *Unidades de Conservação no Brasil*. Disponível em: <<https://uc.socioambiental.org>>. Acesso em: outubro de 2017.

GURGEL, R. S., DE CARVALHO JÚNIOR, O. A., GOMES, R. A. T., GUIMARÃES, R. F., CÂMARA, J. F. A., SOBRINHO, D. A., ... & DOS SANTOS BRAGA, A. R. (2011). Identificação das áreas vulneráveis à erosão a partir do emprego da eups-equação universal de perdas de solos no município de riachão das neves-ba. *geografia ensino & pesquisa*, 15(3), 93-112.

HIDROWEB – ANA. *Dados hidrológicos*. Maio de 2018. Disponível em :<<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf>>. acesso em 04 de maio de 2018.

JÚNIOR, J. F. P., & RODRIGUES, S. C. (2012). O método de análise hierárquica-AHP-como auxílio na determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio piedade (MG)-doi: 10.7154/rdg. 2012.0023. 0001. *Revista do departamento de geografia*, 23, 4-26.

LANDAU, E. C., & GUIMARÃES, D. P. (2011). Análise comparativa entre os modelos digitais de elevação aster, srtm e topodata. in Embrapa milho e sorgo-artigo

LEMONS M. F. L. (2016). Determinación de la erosión hídrica y la producción de sedimentos en la cuenca del río PixacayÁ aplicando herramientas SIG. Revista 32 de la Universidad del Valle de Guatemala, 105 – 116.

LOBO FERREIRA, J. P. C., & CUSTÓDIO, J. (2011). Avaliação da Vulnerabilidade à Contaminação das Águas Subterrâneas na Bacia Hidrográfica TeTê/Jacaré–UGRHI-13.

MAGALHÃES, R. A. (2001). Erosão: definições, tipos e formas de controle. VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Goiânia-GO, 3.

MAGALHÃES, V. L., DA CUNHA, J. E., & DE NÓBREGA, M. T. (2015). Indicadores de vulnerabilidade ambiental (environmental vulnerability indicators). Revista Brasileira de Geografia Física,7(6), 1133-1144.

MENESES, P. R., & ALMEIDA, T. D. (2012). Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. Embrapa cerrados-livros técnicos (infoteca-e).

MOREIRA, F. C., & ALMEIDA FILHO, G. R.(2001) Técnicas de suporte a decisão para modelagem geográfica por álgebra de mapas. inpe–instituto nacional de pesquisas espaciais.

NBR, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS; (2009); ISO 31000: Gestão de riscos – Princípio e diretrizes, Rio de Janeiro.

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

NETTO, P. B., Mecnas, V. V., & Cardoso, E. S. (2005). APA de Cafuringa: a última fronteira natural do DF. *Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos*.

OECO, Associação O Eco (2015). O que são Unidades de Conservação. Jornalismo ambiental. Disponível em: < <http://www.oeco.org.br/>>. Acesso em: outubro de 2017.

OLIVETTI, D. (2014). Modelagem temporal e espacial da erosão hídrica na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Caçús, Alfenas, MG.

TERRA PLANEJAMENTOS E PROJETOS, (2000). Estudos de Impactos Ambientais e Relatório De Impacto Ambiental - Blocos I e II.

PROMIER PROJETOS LTDA. (2016); Plano de Controle Ambiental (PCA); Expansão da lavra de calcário e argila – Bloco III. Unidade de Sobradinho; Votorantim Cimentos S/A. São Paulo – SP

QUINTERO, A. F. C., SALAZAR, L. A. L., & MELO, O. R. (2017). Determinación del riesgo a la erosión potencial hídrica en la zona cafetera del Quindío, Colombia. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 8(1), 17-26.

REBELO, F. (2003). Riscos naturais e ação antrópica: estudos e reflexões. Imprensa da universidade de Coimbra/Coimbra University.

SANTOS, A.R., PELUZIO, T.M.O., SAITO, N.S, (2010). SPRING 5.1.2, passo a passo. Aplicações Práticas. Mundo da Geomática. Alegre –ES.

SÁNCHEZ, L. E. (2015). Avaliação de impacto ambiental: Conceitos e Métodos. Oficina de textos, 2ª edição.

Saaty, T.L. (1991). Método de Análise Hierárquica. Tradução e Revisão Técnica Wainer da Silveira e Silva. São Paulo: Mcgraw-hill, Makron.

DA SILVA, A. M. (2004). Rainfall erosivity map for Brazil. Catena , v. 57, n. 3, p. 251-259, 2004.

SILVA, J.X. (2009). O que é geoprocessamento. Revista do CREA-RJ, 79(1), 42-44

SILVA, J. P., 2007, “Impactos ambientais causados por mineração” revista espaço da sophia, ano 1, número 08 (nov.).

SILVA, F. D. G. B. D., MINOTTI, R. T., LOMBARDI NETO, F., PRIMAVESI, O., & CRESTANA, S. (2010). Previsão da perda de solo na Fazenda Canchim-SP (EMBRAPA) utilizando geoprocessamento e o USLE 2D. Engenharia Sanitária e Ambiental, 15(2), 141-148.

SIMÕES, L. L. (2008). Unidades de conservação: conservando a vida, os bens e os serviços ambientais. São Paulo, SP.

SIMONI, B. S. D. (2017). Avaliação do desempenho da recuperação de áreas degradadas pela mineração utilizando análise multicritério-estudo de caso da mina córrego do sítio.

SOUBHIA, P.F.; BIANCHINI, U.C. (2014). Erosão e assoreamento em áreas urbanas. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, PHD 2537 – Águas em Ambientes Urbanos.

VASCONCELOS, V. V., JUNIOR, P. P. M., HADAD, R. M., & KOONTANAKULVONG, S. (2013). Recarga de aquíferos: epistemologia e interdisciplinaridade1.

VEYRET, Y. (2007). Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente. São Paulo: Contexto.

VELÁSQUEZ, S. (2008). Erosión de suelos utilizando la EUPSR (RUSLE). Coronado, Costa Rica: Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza.

VITO, M. D. (2009). Avaliação do risco de contaminação de mananciais hídricos para o abastecimento: o caso da bacia da barragem do Descoberto. Tese de Mestrado, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília – DF.

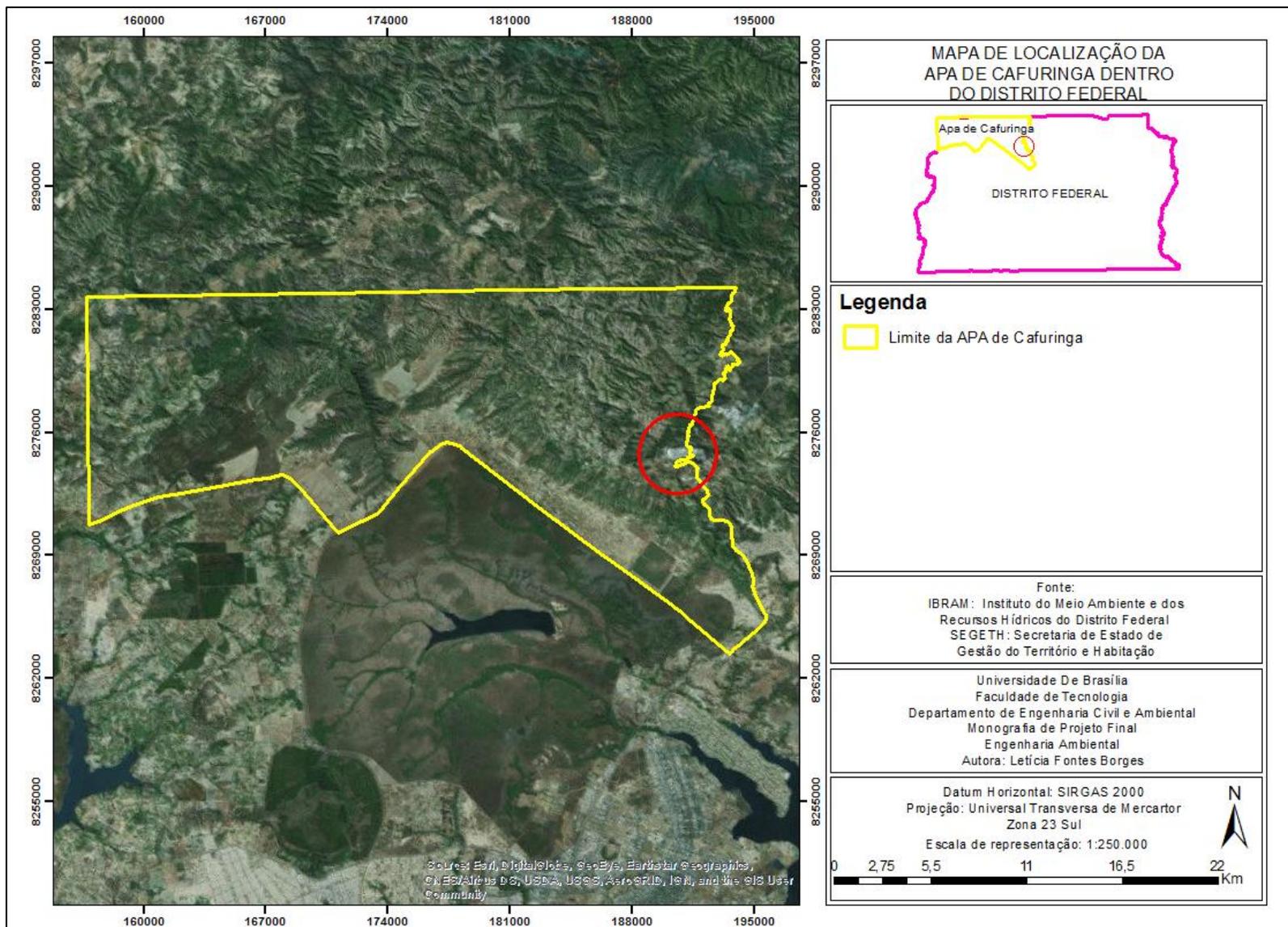
WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses a guide to conservation planning. Agriculture Handbook, n. 537, U.S. Department of Agriculture, Washington, 1978.

GDF. In: ZEE-DF - Zoneamento ecológico e econômico do Distrito Federal, (2014). Subproduto 3.1 - Relatório do Meio Físico e Biótico. Brasília, 2014

## APÊNDICES

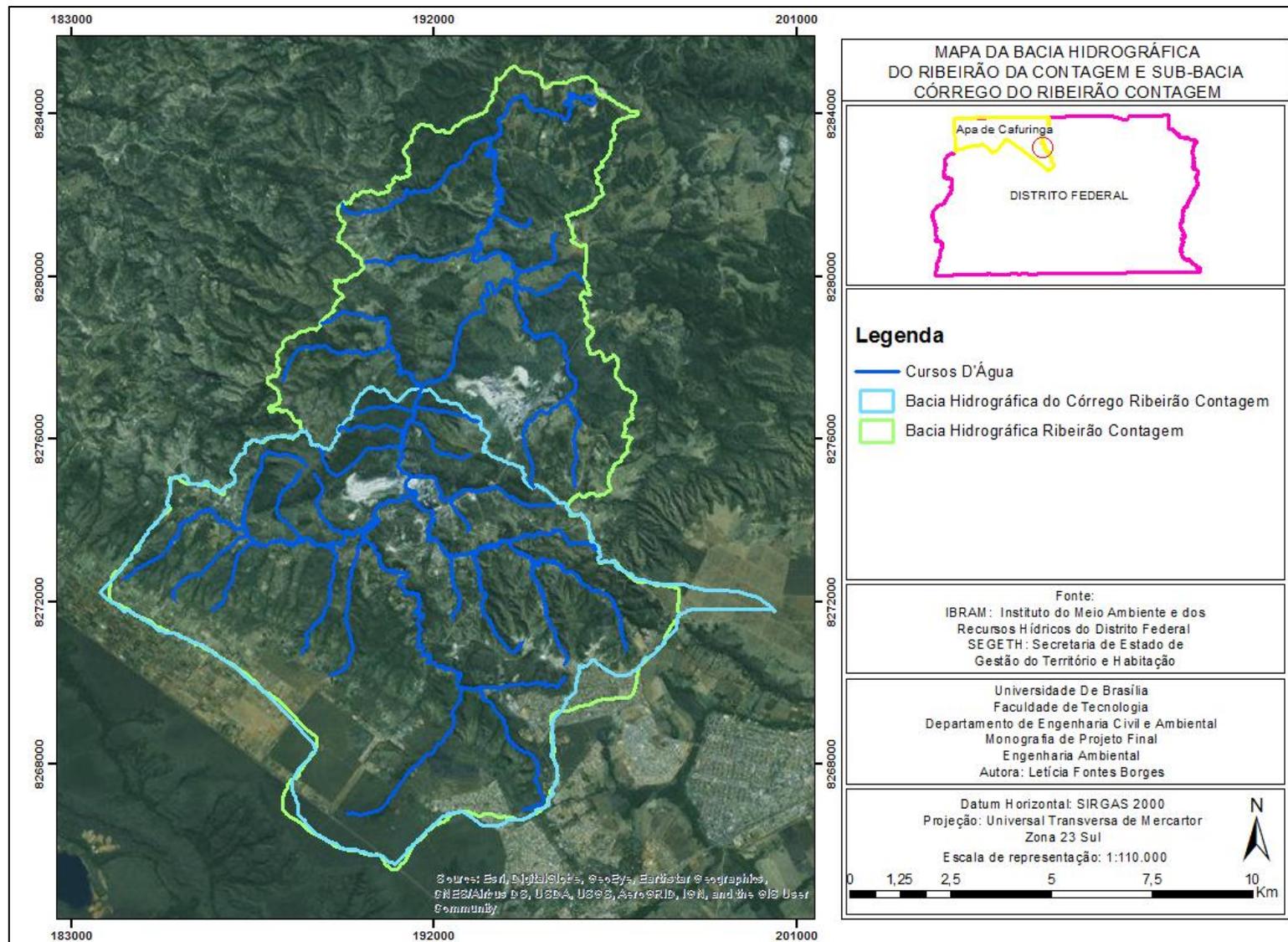
# APÊNDICE A

Localização da APA dentro do território do DF. Fonte: Google Earth, 2017



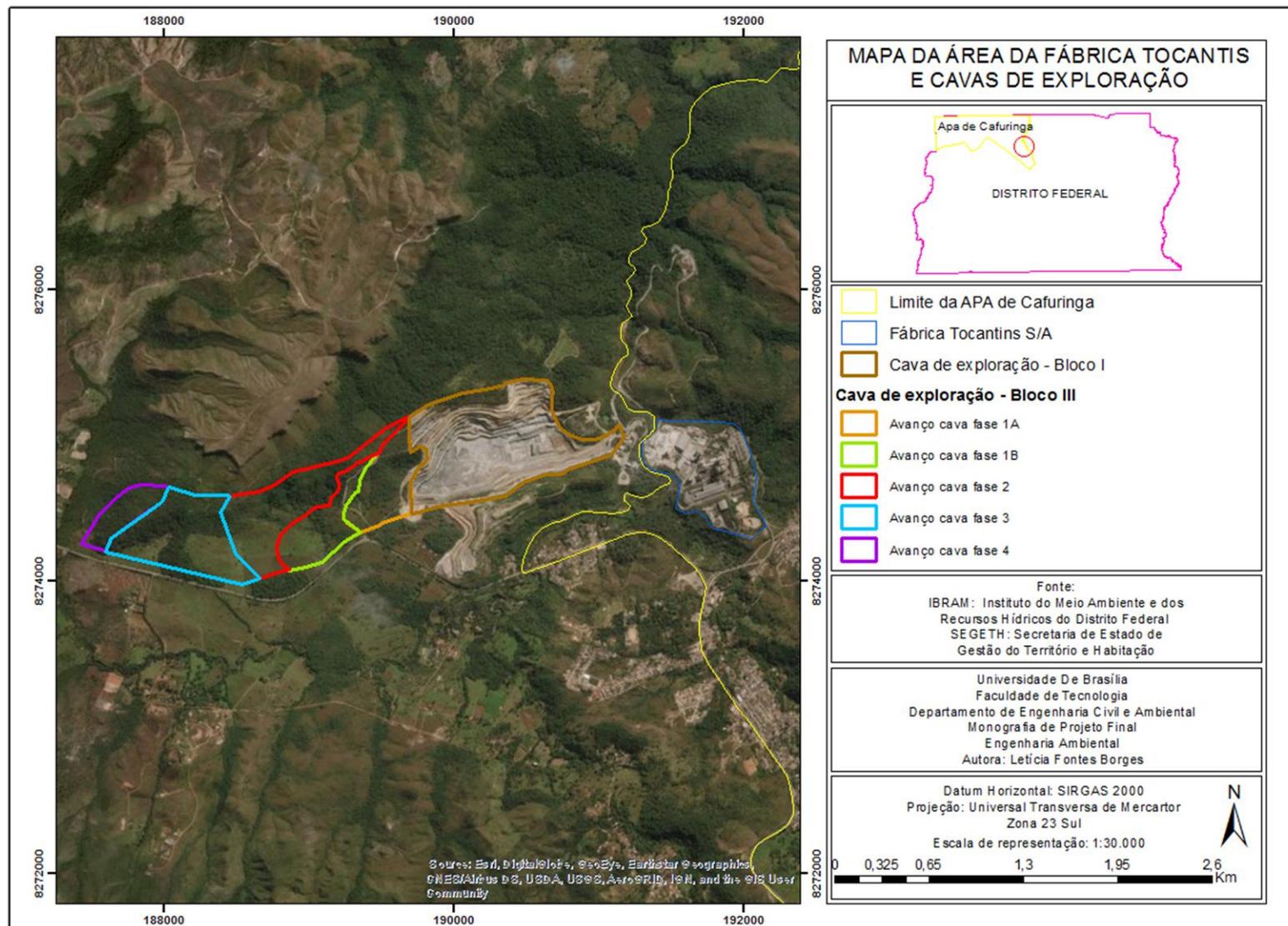
## APÊNDICE B

Área de estudo: Bacia hidrográfica do Córrego da Contagem localizada dentro da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Contagem localizada dentro da APA de Cafuringa. Fonte: Google Earth, 2017.



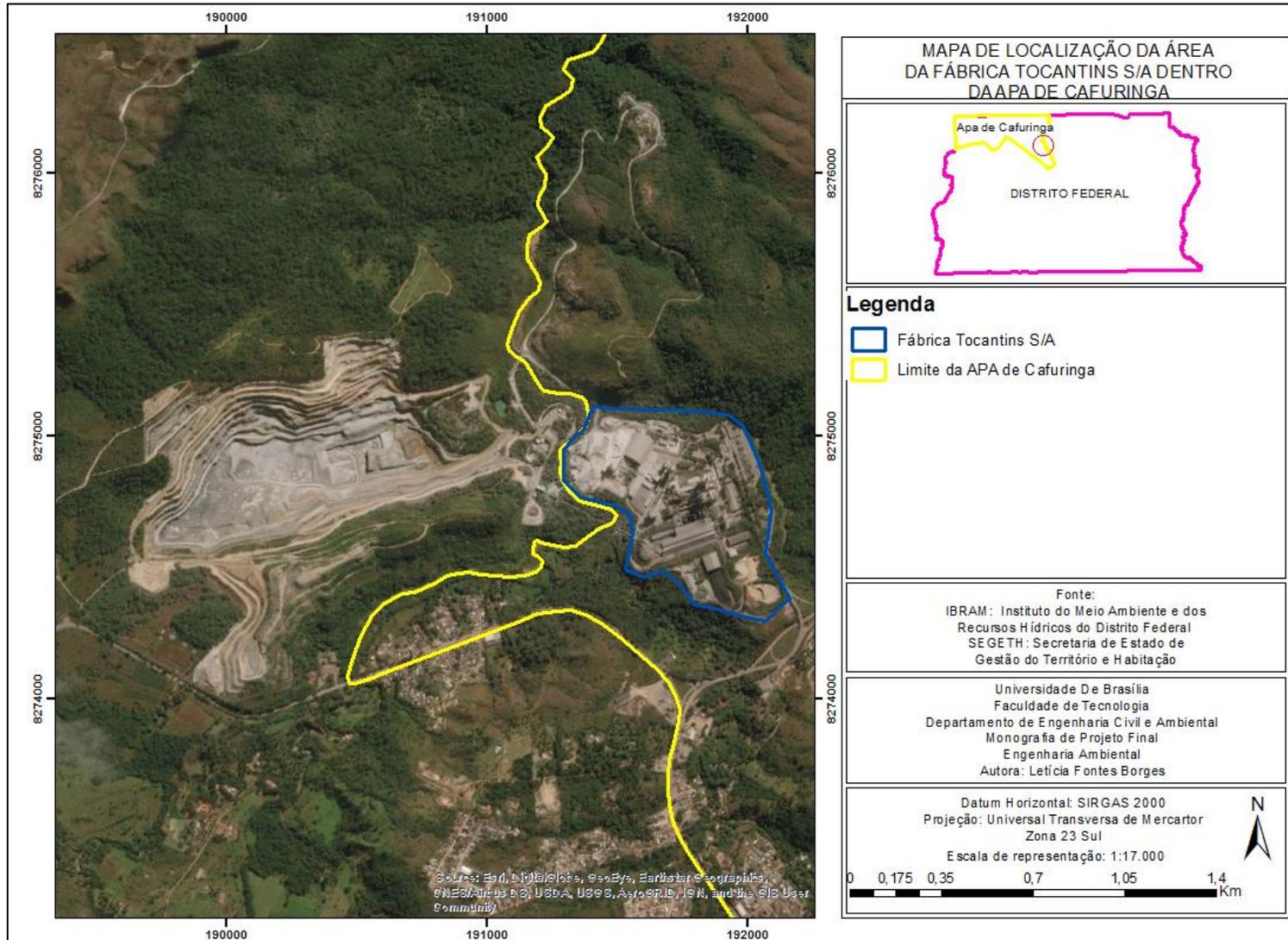
## APÊNDICE C

Bloco I e Bloco III dentro dos seus respectivos polígonos. Fonte: Google Earth, 2017.



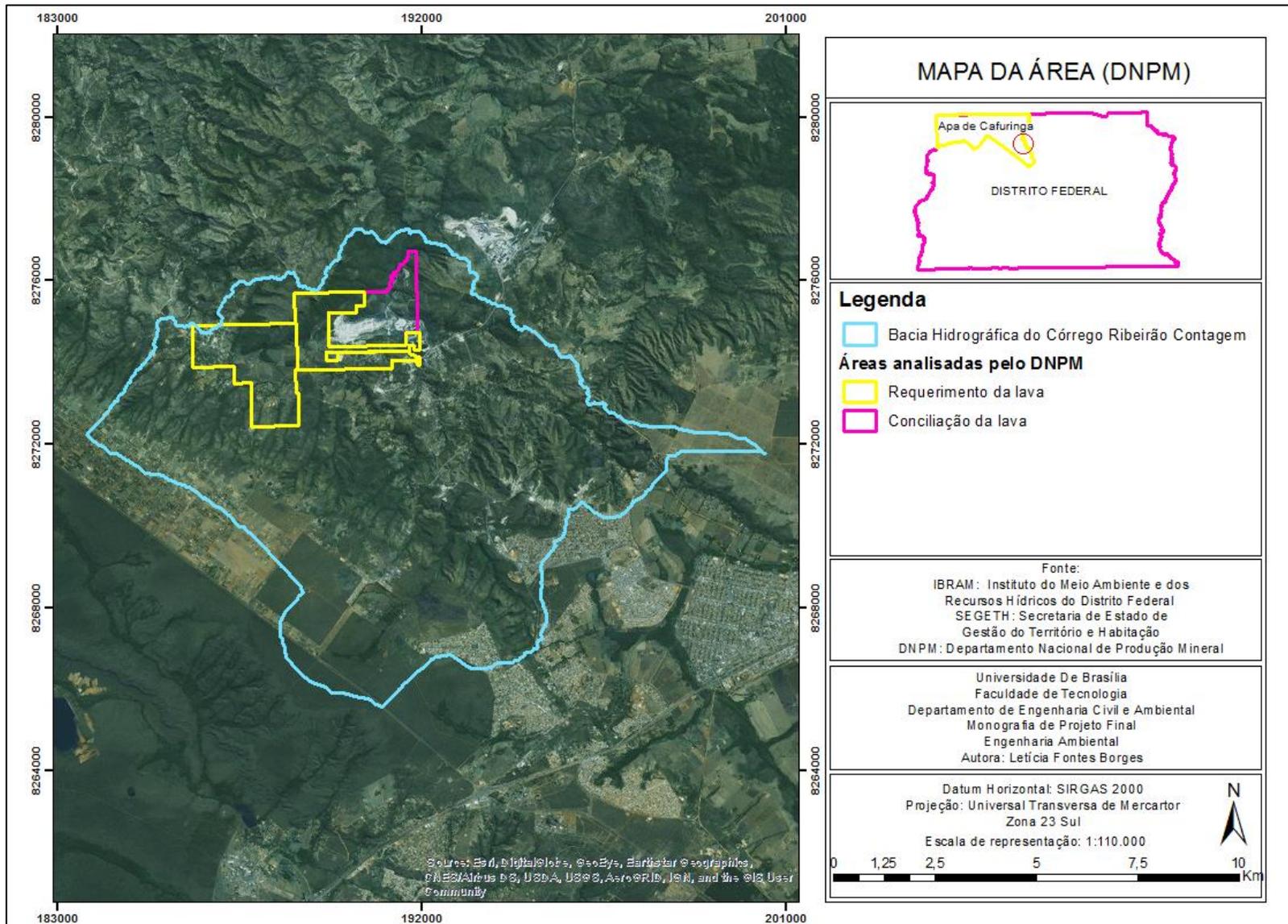
## APÊNDICE D

Localização da fábrica de cimentos Tocantins em relação à APA. Fonte: Google Earth, 2017



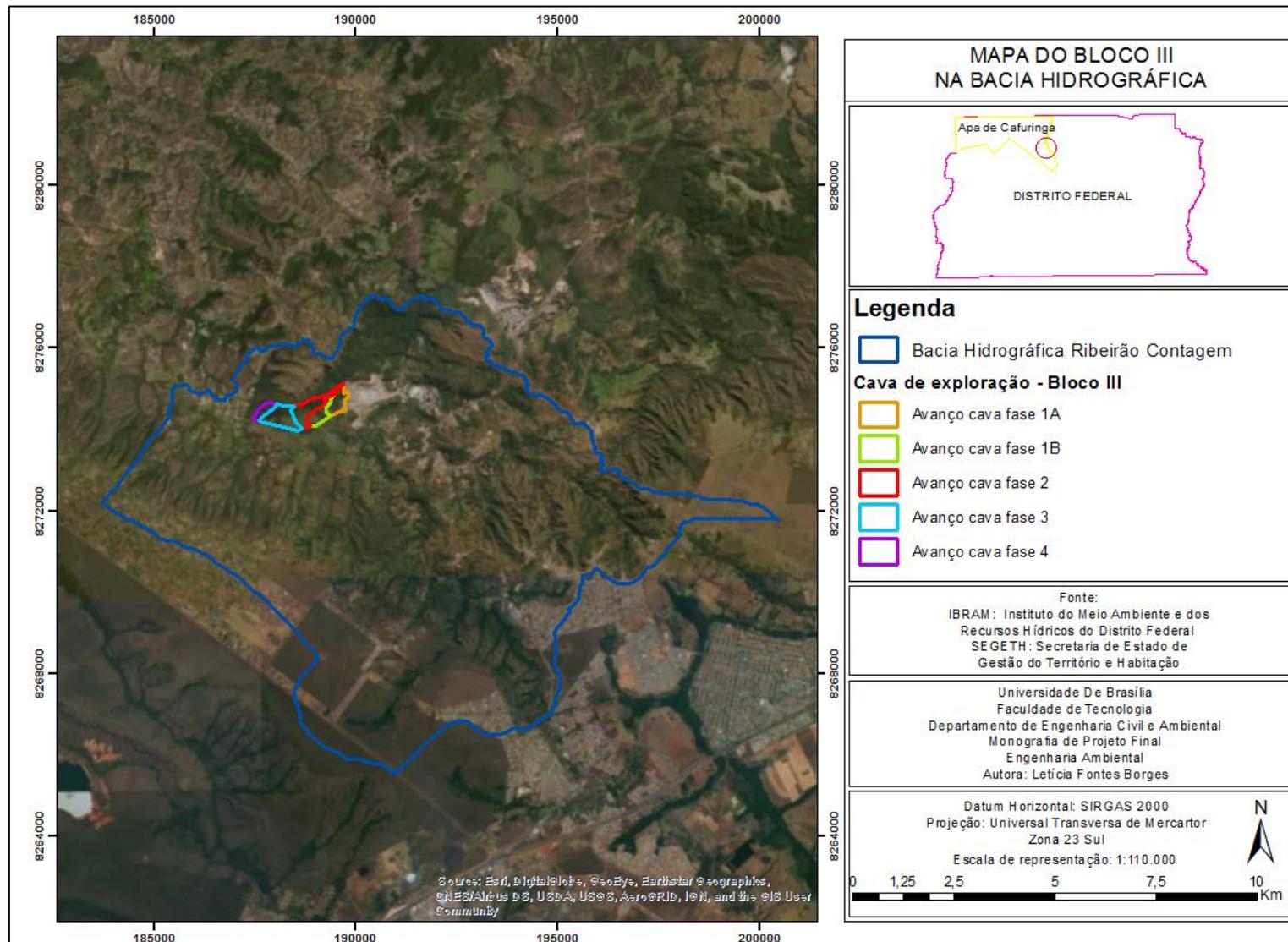
## APÊNDICE E

Áreas para extração de minério requerida pela Tocantins S/A para o DNPM. Fonte: Google, 2017



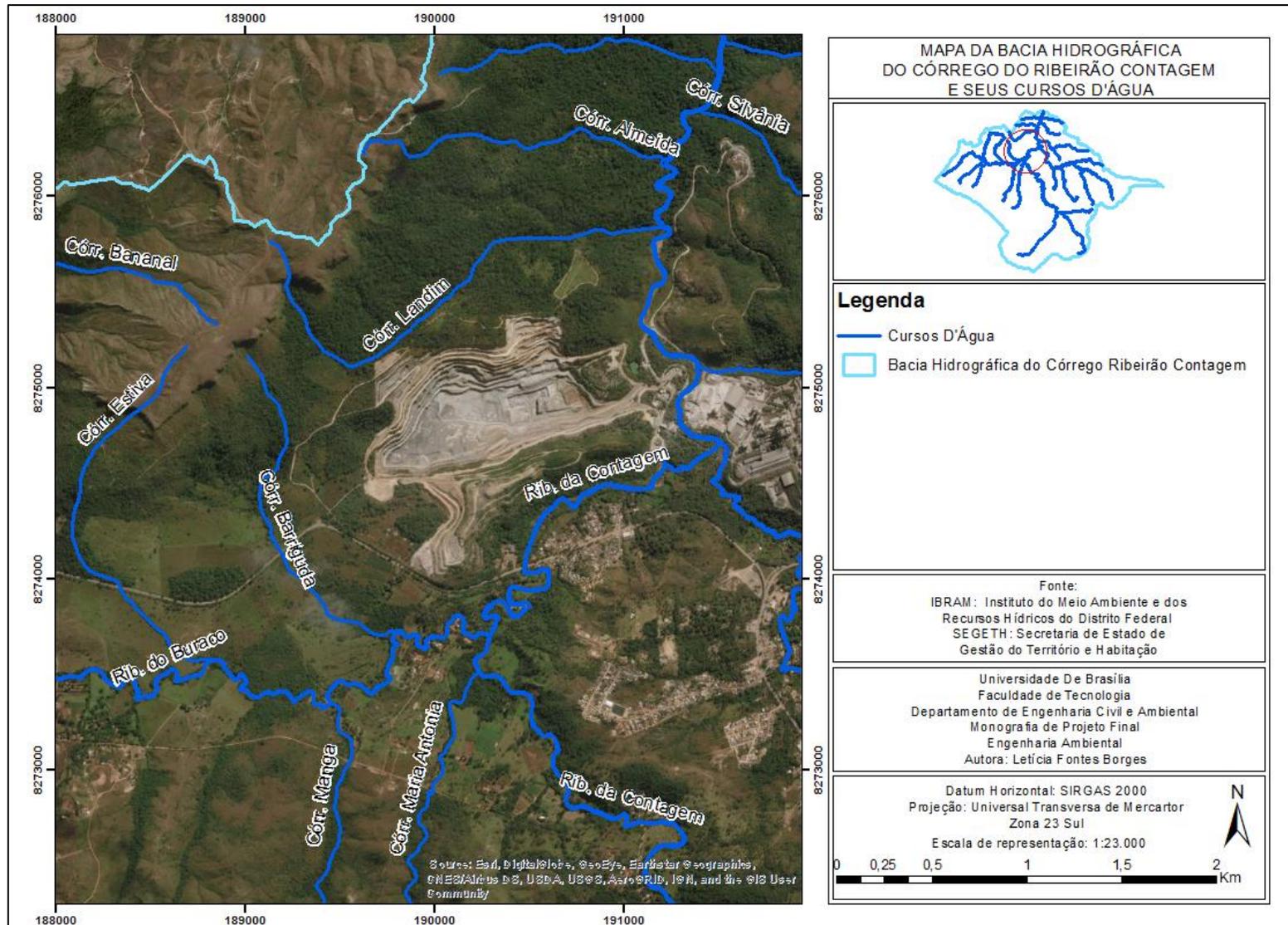
## APÊNDICE F

Futura configuração da cava de exploração de rochas calcárias. Fonte: Google, 2017.



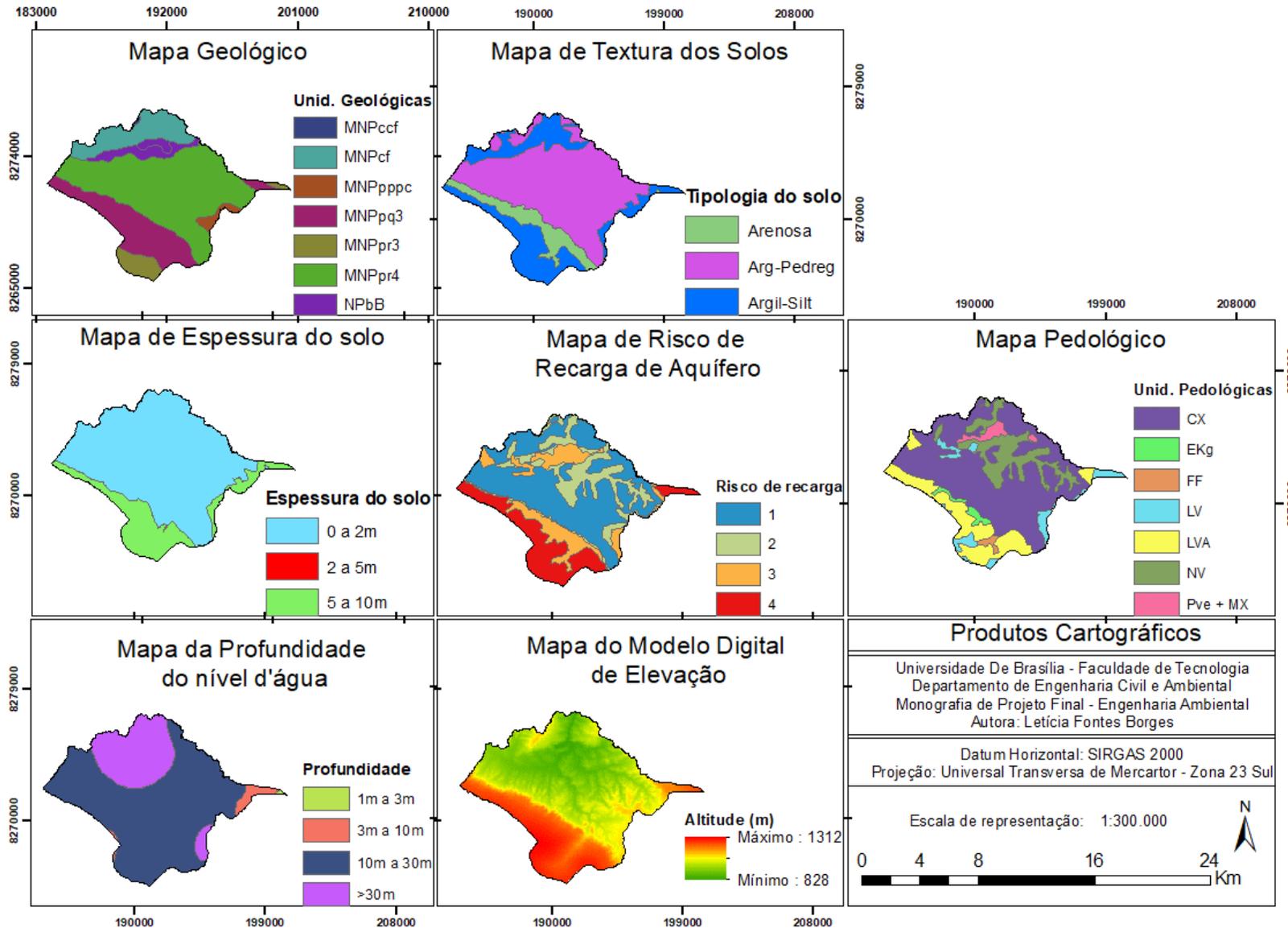
## APÊNDICE G

Cursos d'água da bacia hidrográfica do Córrego da Contagem. Fonte: Google, 2017



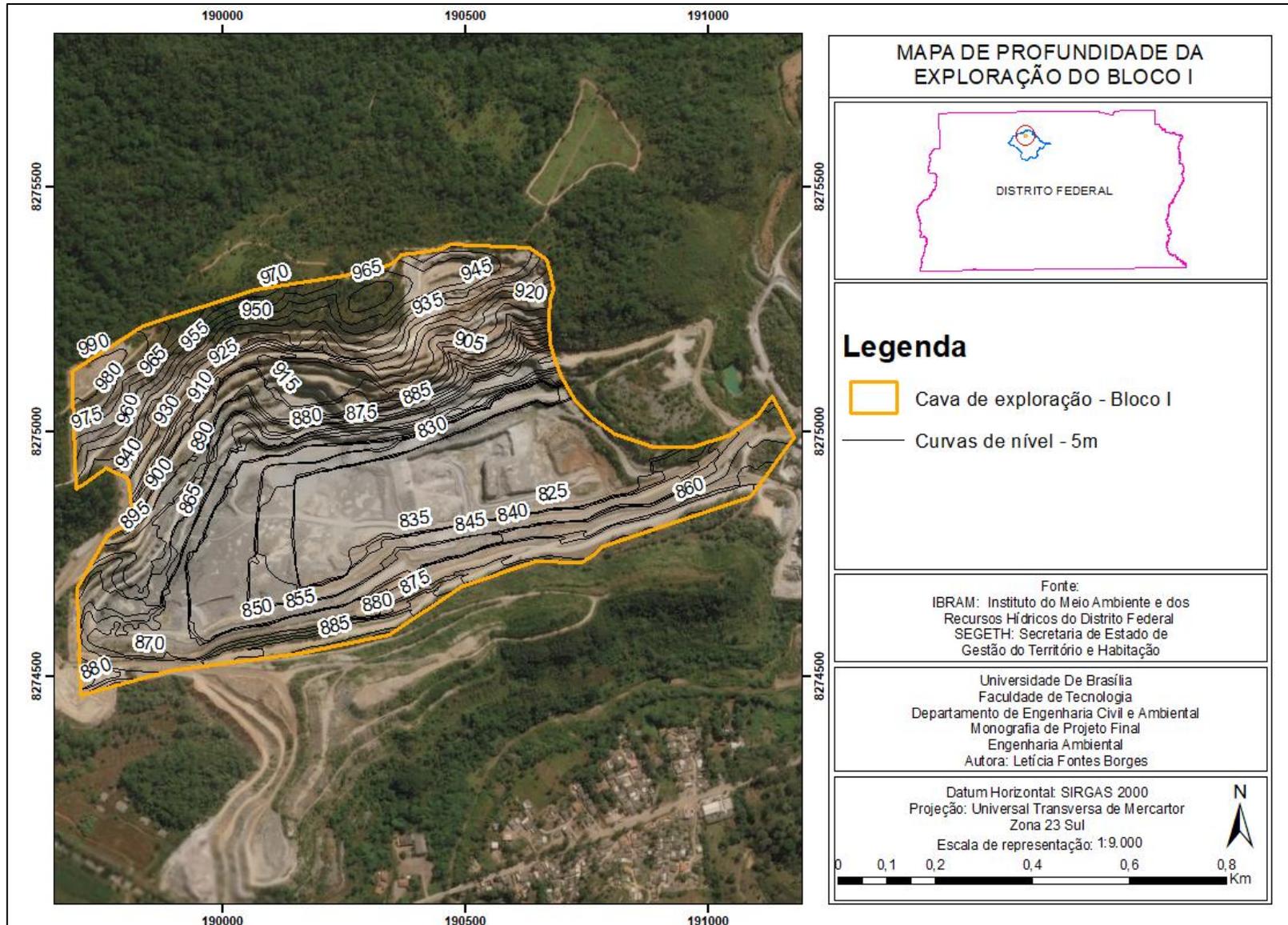
# APÊNDICE H

## Produtos cartográficos utilizados



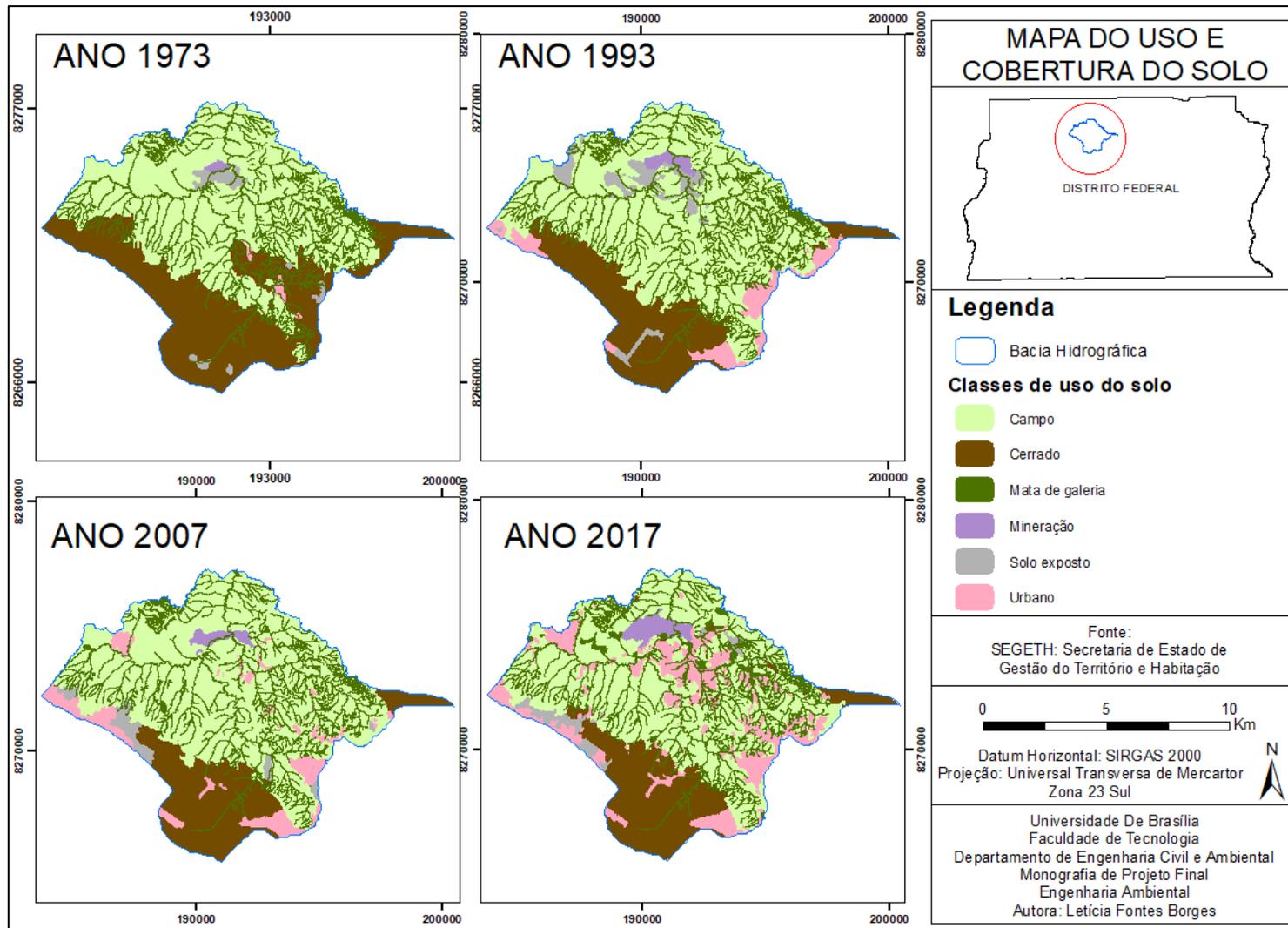
# APÊNDICE I

Ilustração das cotas na área de exploração do Bloco I. Fonte: Google, 2017.



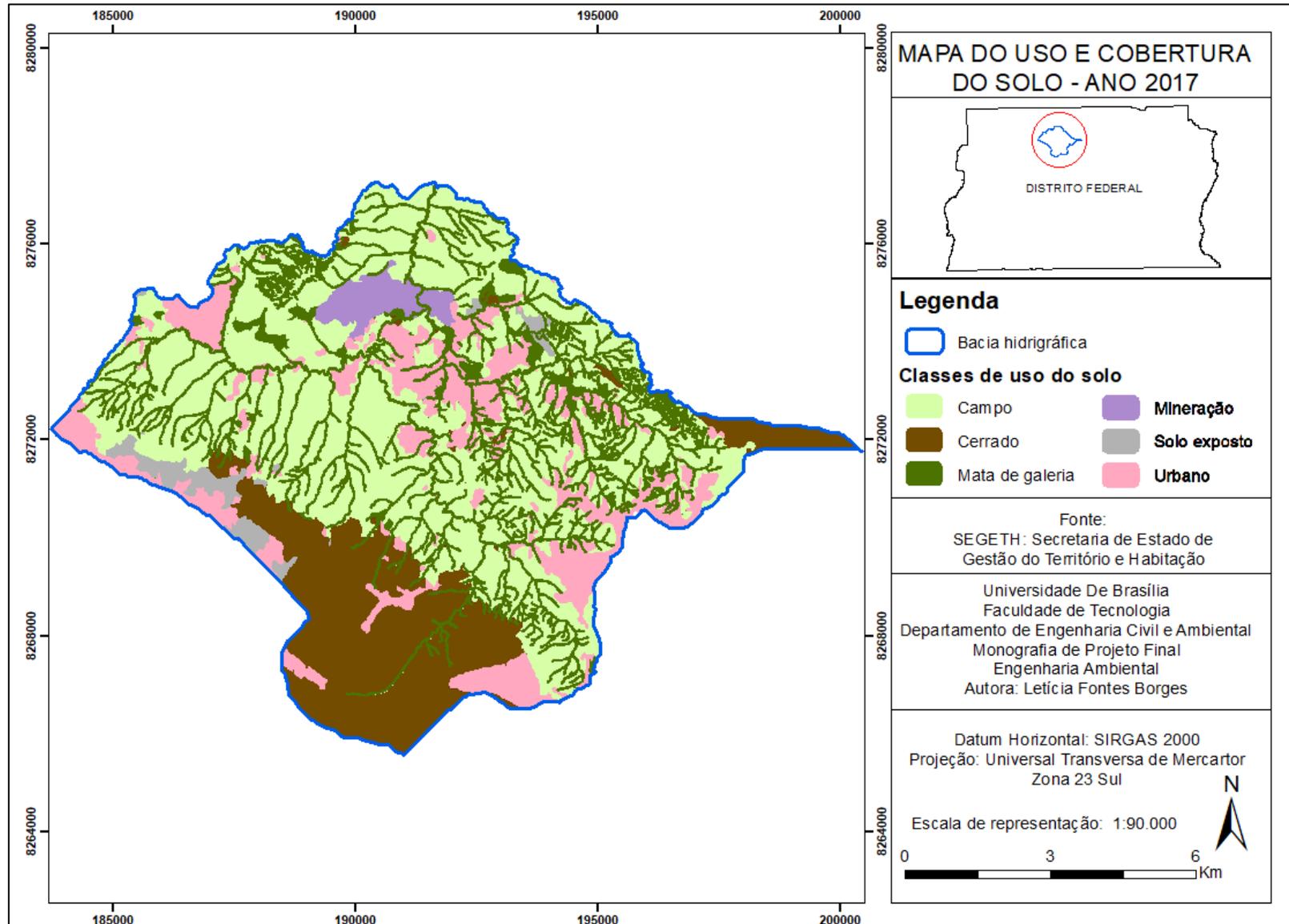
## APÊNDICE J

Mapas temporais de uso e cobertura do solo



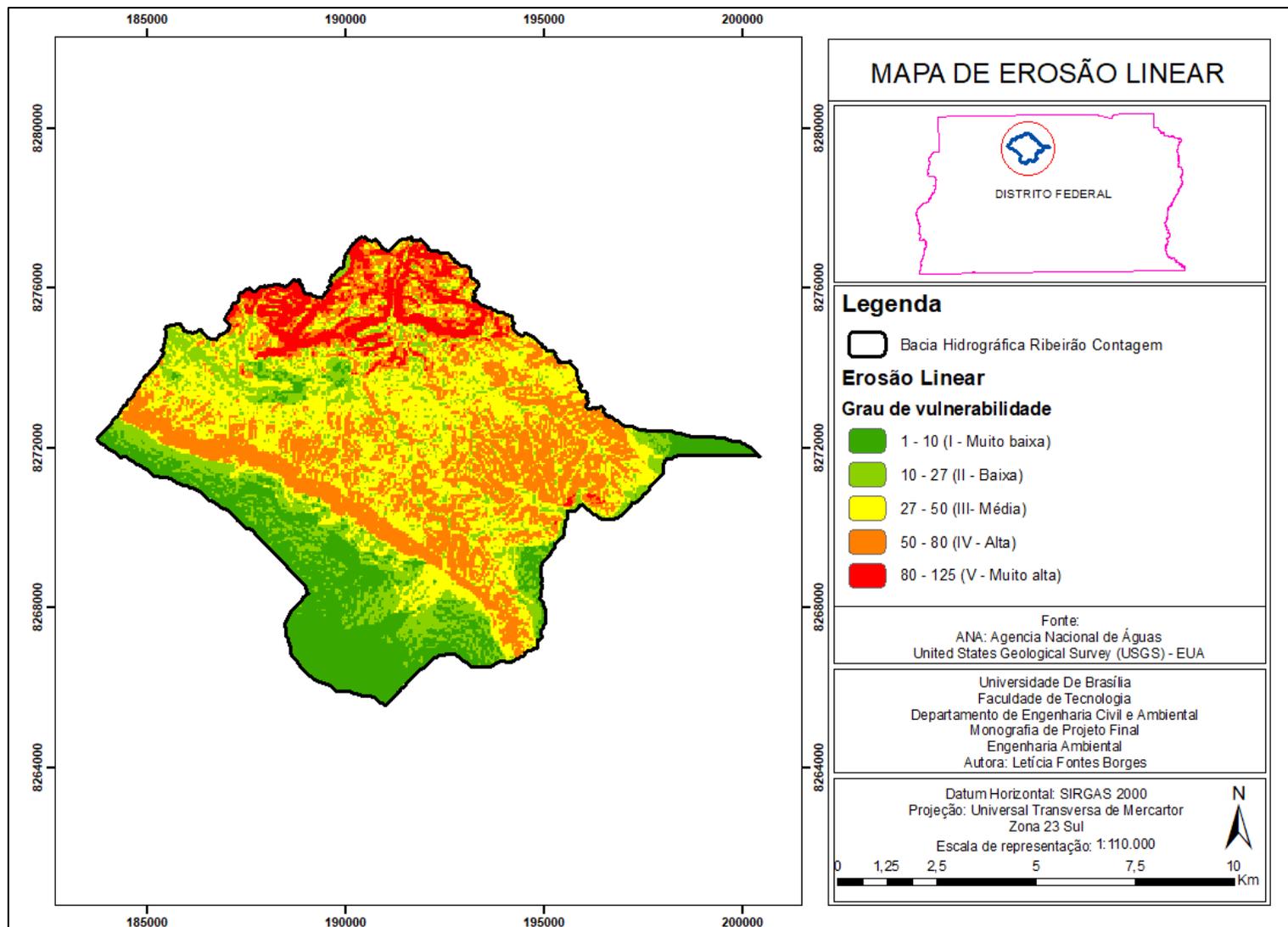
## APÊNDICE K

Mapa de uso e cobertura do solo para o ano de 2017.



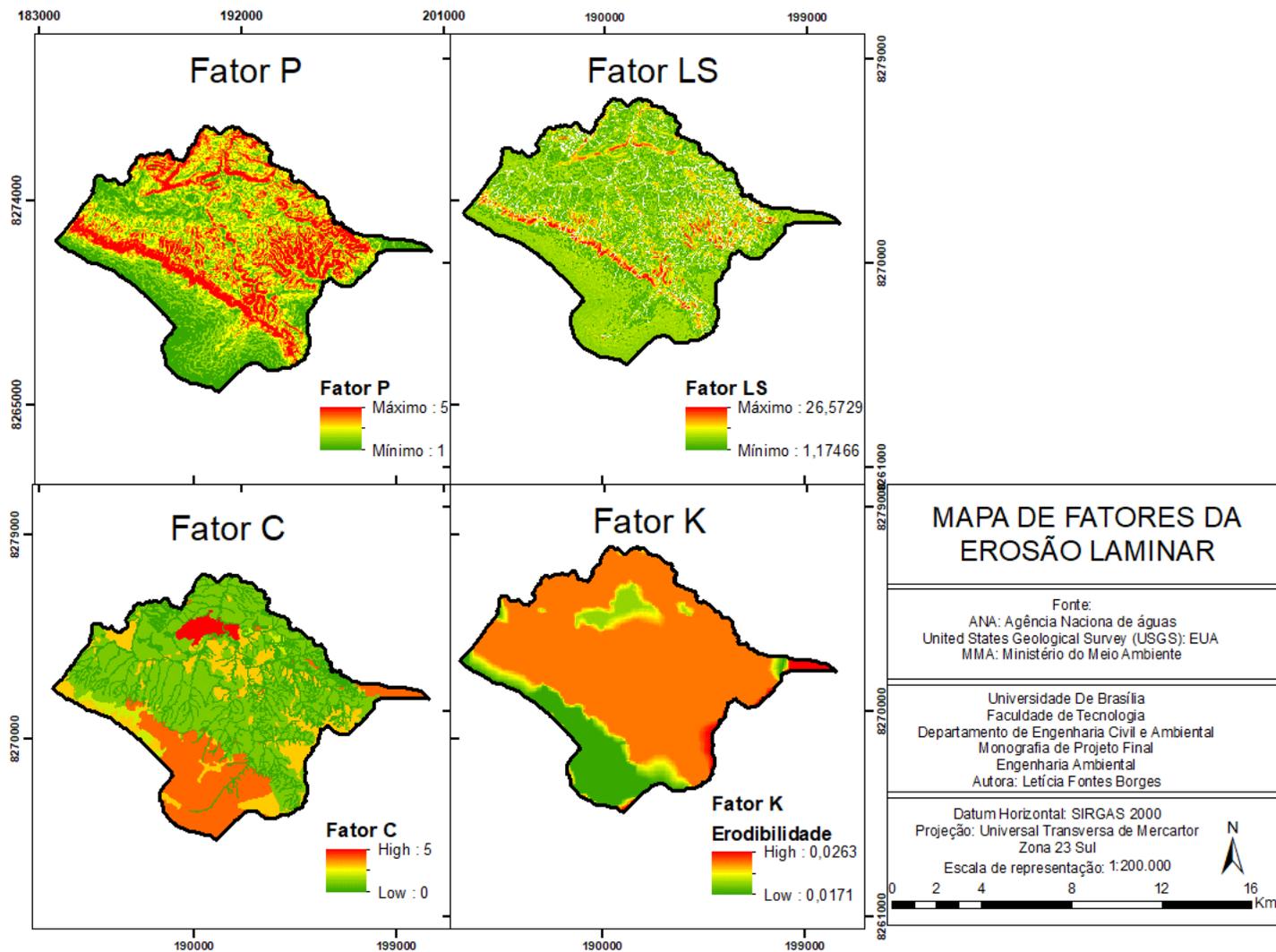
# APÊNDICE L

Mapa final de erosão linear.



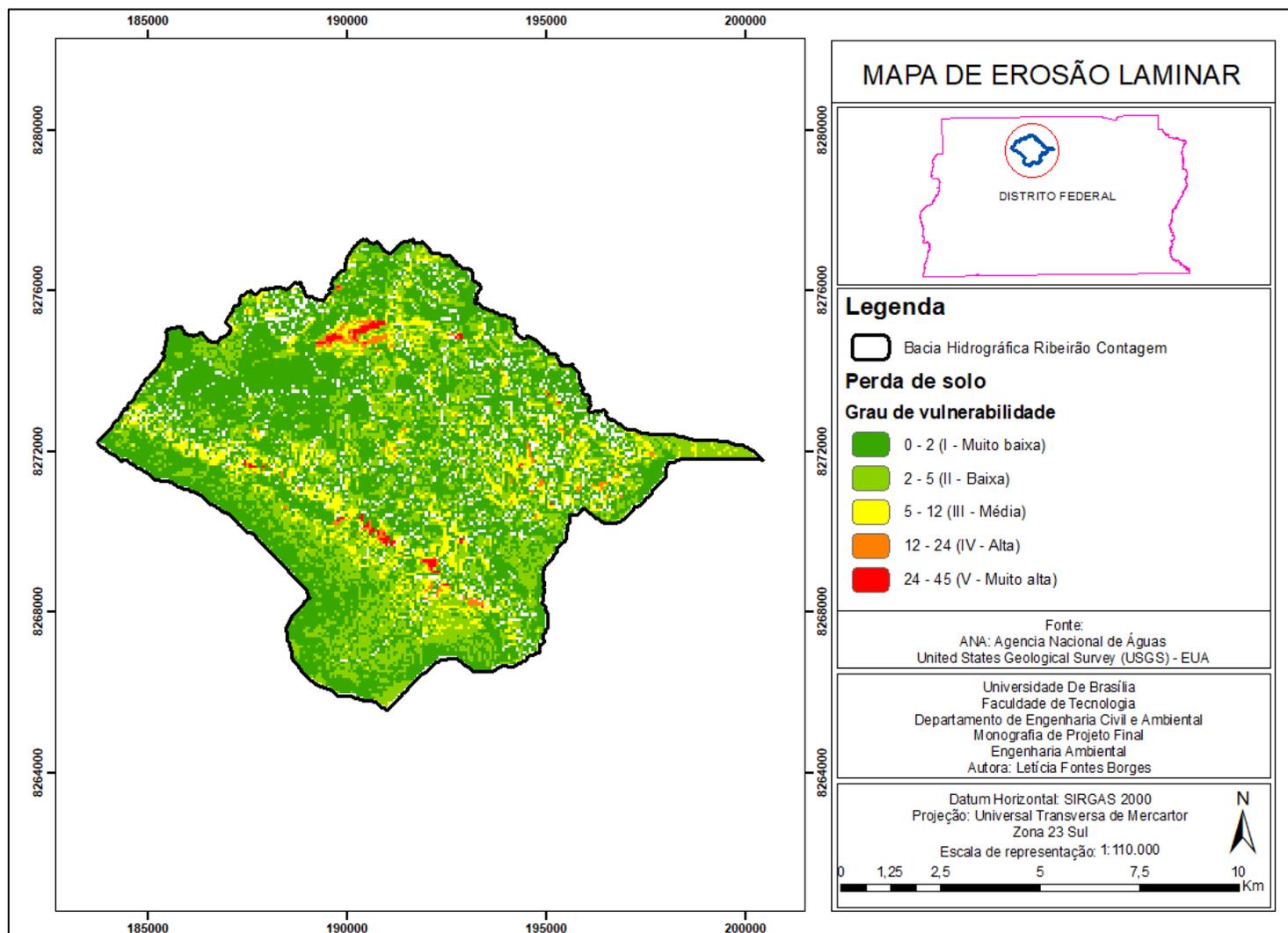
## APÊNDICE M

Etapas de processamento de fatores da perda de solo



## APÊNDICE N

### Mapa final de erosão laminar



## APÊNDICE O

### Mapa de vulnerabilidade ambiental à mineração

Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muito alta
0 a 0,3	0,3 a 0,7	0,7 a 1	1 a 3	3 a 6,75

