



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL



Michelle Cristina dos Reis Braga

**ANÁLISE LOCACIONAL INTEGRADA A UM SISTEMA DE INFORMAÇÕES
GEOGRÁFICAS COMO FERRAMENTA PARA O LICENCIAMENTO AMBIENTAL
DE ATIVIDADES MINERÁRIAS NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO**

TRABALHO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Ouro Preto, 2018

Michelle Cristina dos Reis Braga

**ANÁLISE LOCACIONAL INTEGRADA A UM SISTEMA DE INFORMAÇÕES
GEOGRÁFICAS COMO FERRAMENTA PARA O LICENCIAMENTO AMBIENTAL
DE ATIVIDADES MINERÁRIAS NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Ouro Preto como requisito
parcial para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Ambiental.

Orientador: César Falcão Barella

Coorientador: José Francisco do Prado Filho

Ouro Preto, Fevereiro de 2018

B813a Braga, Michelle Cristina dos Reis.
Análise locacional integrada a um Sistema de Informações Geográficas como ferramenta para o licenciamento ambiental de atividades minerárias no Quadrilátero Ferrífero [manuscrito] / Michelle Cristina dos Reis Braga. - 2018.

111f.: il.: color; grafs; tabs; mapas.

Orientador: Prof. Dr. César Falcão Barella.
Coorientador: Prof. Dr. José Francisco do Prado Filho.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Ambiental.

1. Quadrilátero Ferrífero . 2. Minas e recursos minerais. 3. Zoneamento - Legislação. I. Barella, César Falcão. II. Prado Filho, José Francisco do. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
Universidade Federal de Ouro Preto – Escola de Minas
Colegiado do Curso de Engenharia Ambiental - CEAMB
Campus Universitário Morro do Cruzeiro-S/N - CEP:35400-000 Ouro Preto – MG
Brasil - Tel.: (31) 3559.1542 – e-mail: ceamb@em.ufop.br

Folha de Aprovação

Michelle Cristina dos Reis Braga

ANÁLISE LOCACIONAL INTEGRADA A UM SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS
COMO FERRAMENTA PARA O LICENCIAMENTO AMBIENTAL DE ATIVIDADES
MINERÁRIAS NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

Trabalho Conclusão de Curso defendido e aprovado em 7/02/2018 pela comissão
avaliadora constituída pelos professores:



César Falcão Barella (orientador) – DEAMB/UFOP



Alberto de Freitas Castro Fonseca – DEAMB/UFOP



Frederico Garcia Sobreira – DEAMB/UFOP

AGRADECIMENTOS

Ao Professor César Barella pelo apoio, incentivo e preocupação. Sua competência, paciência e confiança no meu potencial me impulsionaram a fazer mais e melhor.

Ao Professor José Francisco, pelas ideias, contribuições e pelo exemplo dado em todos esses anos de convivência.

À Gloriosa Escola de Minas, pelo aprendizado e crescimento. É um orgulho me formar nesta Escola.

Aos familiares e amigos, pelo suporte e por estarem comigo em todos os momentos.

RESUMO

O Quadrilátero Ferrífero é uma importante província mineral do Estado de Minas Gerais. Além de sua importância econômica, esta região é prioritária para a conservação da biodiversidade pela presença de espécies únicas e ameaçadas de extinção. Neste contexto, surgiu a necessidade de se implementar instrumentos de planejamento e gestão ambiental para garantir que as atividades minerárias se desenvolvam de forma viável. A partir da publicação da DN COPAM 217/2017, critérios locacionais foram explicitamente considerados na triagem de empreendimentos, no âmbito do licenciamento ambiental em Minas Gerais. O mapeamento destes critérios é essencial para a criação de uma base de dados georreferenciados, onde as informações possam ser visualizadas e continuamente atualizadas. Assim, neste estudo, foram compatibilizados dados ambientais, por meio de um Sistema de Informações Geográficas, de modo a se definir as zonas do Quadrilátero Ferrífero mais sensíveis para o estabelecimento de empreendimentos minerários. Foram consideradas as zonas urbanas, as unidades de conservação, as áreas de preservação permanente, os sítios arqueológicos, as cavidades naturais, as áreas prioritárias para conservação e a densidade de barragens nas bacias hidrográficas. Com o uso da técnica AHP (*Analytic Hierarchy Process*), os dados foram hierarquizados, ponderados e integrados produzindo um modelo de zoneamento específico para o desenvolvimento de atividades minerárias no Quadrilátero. Com a identificação das áreas mais críticas do ponto de vista ambiental, foi feita a sobreposição do índice AHP com os processos minerários em andamento na região. Constatou-se que apenas 5% da área de estudo está livre de processos minerários, em contrapartida, as áreas em fase de concessão de lavra não coincidem com os locais mais críticos identificados. O estudo constatou a importância da análise locacional integrada a um sistema de informações geográficas durante o processo de licenciamento ambiental de um empreendimento minerário.

Palavras-chave: Quadrilátero Ferrífero, Mineração, Zoneamento Ambiental, SIG, *Analytic Hierarchy Process*

ABSTRACT

The Quadrilátero Ferrífero is an important mineral province of the State of Minas Gerais. Besides its economic importance, this region is a priority for the conservation of biodiversity, due to the presence of unique and endangered species. In this context, the need arose to implement environmental planning and management tools to ensure that mining activities develop in a viable way. From the publication of DN COPAM 217/2017, locational criteria were explicitly considered in the screening of projects, in the ambit of environmental licensing in Minas Gerais. The mapping of these criteria is essential for the creation of a georeferenced database, where the information can be visualized and continuously updated. Therefore, in this study, environmental data were made compatible, through a Geographic Information System, in order to define the zones of the Quadrilátero Ferrífero more sensitive for the establishment of mining enterprises. Urban areas, conservation areas, permanent preservation areas, archaeological sites, natural cavities, priority areas for conservation and dams density in river basins were considered. With the use of the AHP (Analytic Hierarchy Process) technique, the data were hierarchized, weighted and integrated, producing a specific zoning model for the development of mining activities in the Quadrilátero. With an identification of the most critical areas from the environmental point of view, the AHP index was overlapped with the mining processes underway in the region. It was verified that only 5% of the study area is free of mining processes, in contrast, the areas in concession phase do not coincide with the most critical locations identified. The study noted the importance of integrated locational analysis to a Geographic Information System during the environmental licensing process of a mining enterprise.

Keywords: Quadrilátero Ferrífero, Mining, Environmental Zoning, GIS, *Analytic Hierarchy Process*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Participação das principais substâncias metálicas no valor da produção mineral comercializada (2015).....	17
Figura 2: Distribuição da produção de alguns bens minerais em Minas Gerais.....	18
Figura 3: A - Total de municípios mineradores de Minas Gerais em 2005. B - Principais municípios mineradores de Minas Gerais em 2005.....	19
Figura 4: Etapas do processo de licenciamento ambiental, segundo CONAMA 237/97	27
Figura 5: Critérios iniciais para a composição do fator locacional em Minas Gerais	30
Figura 6: Etapas de geração de um mapa em um SIG	36
Figura 7: Representação de dados raster e vetorial.....	36
Figura 8: Etapas de desenvolvimento da técnica AHP.....	37
Figura 9: Hierarquização de critérios na técnica AHP	38
Figura 10: Categorias de Unidades de Conservação, segundo Lei nº 9.985/2000	42
Figura 11A: Classificação das barragens do Quadrilátero Ferrífero segundo DN COPAM 87/2005. Figura 11B: Situação de Estabilidade das Barragens.....	57
Figura 12: Área de Estudo	59
Figura 13: Valores de CFEM pagos à alguns municípios mineradores de Minas Gerais em 2017	61
Figura 14: Definição da APP de Topo de Morro	64
Figura 15: Relação de mapas utilizados no estudo	65
Figura 16: Objetivo, critérios e subcritérios utilizados na técnica AHP	66
Figura 17: Unidades de Conservação.....	68
Figura 18: Priorização dos subcritérios das Unidades de Conservação	68
Figura 19: Cavidades Naturais.....	69
Figura 20: Cavidades Naturais, por município do Quadrilátero Ferrífero.....	70
Figura 21: Mapa de Cavidades acrescido das cavidades e sua zona de influência.....	71
Figura 22: Priorização dos subcritérios das Cavidades Naturais.....	72
Figura 23: Áreas de Preservação Permanente	73
Figura 24: Priorização dos subcritérios de APPs	74
Figura 25: Quantidade de Sítios Arqueológicos por município do Quadrilátero Ferrífero	75
Figura 26: Priorização das subcategorias de Sítios Arqueológicos	75
Figura 27: Zonas Urbanas e Tendências de expansão	76
Figura 28: Priorização dos subcritérios das Zonas Urbanas	77
Figura 29: Áreas Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade.....	78
Figura 30: Priorização dos subcritérios das Áreas Prioritárias de Conservação.....	78

Figura 31: Distribuição das barragens da mineração por município do Quadrilátero Ferrífero	79
Figura 32: Distribuição das barragens da mineração por bacia de drenagem	80
Figura 33: Priorização dos critérios considerados	82
Figura 34: Áreas ambientalmente sensíveis do Quadrilátero Ferrífero	83
Figura 35: Fases dos Processos Minerários do Quadrilátero Ferrífero	84
Figura 36: Áreas em alguma fase de Processo Minerário	85
Figura 37: Concessões de Lavra	86
Figura 38: Comparação entre áreas contrastantes	87

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Problemas relacionados às principais substâncias minerais extraídas em MG ...	20
Quadro 2: Determinação da classe do empreendimento a partir do potencial poluidor da atividade e do porte (DN COPAM 74/2004)	31
Quadro 3: Modalidade de licenciamento segundo as classes do empreendimento (DN COPAM 74/2004)	31
Quadro 4: Determinação da classe do empreendimento a partir do potencial poluidor da atividade e do porte (DN COPAM 217/2017)	32
Quadro 5: Determinação da classe do empreendimento (DN COPAM 217/2017).....	32
Quadro 6: Determinação da modalidade de licenciamento (DN COPAM 217/2017)	33
Quadro 7: Fatores de vedação e restrição	33
Quadro 8: Escala de importância de Saaty	39
Quadro 9: Regulamentos referentes ao licenciamento em áreas circundantes e zonas de amortecimento de Unidades de Conservação.....	43
Quadro 10: Relação entre a classificação do grau de relevância das cavidades e as obrigações do empreendedor, segundo o Decreto 6.640/2008.....	46
Quadro 11: Possíveis critérios para a definição da área de influência	48
Quadro 12: Categorias de Área de Preservação Permanente	49
Quadro 13: Procedimentos exigidos pelo IPHAN para o licenciamento de empreendimentos, segundo níveis de interferência no patrimônio arqueológico.....	51
Quadro 14: Impactos socioeconômicos causados pela mineração nas comunidades de entorno	52
Quadro 15: Classificação de Barragens segundo o DNPM (Portaria nº 70.389/2017)	55
Quadro 16: Critérios avaliados para determinação da categoria de risco e do dano potencial de barragens.....	55
Quadro 17: Classificação de Barragens segundo a DN COPAM 87/2005.....	56
Quadro 18: Critérios para a classificação de barragens segundo o COPAM.....	56
Quadro 19: Dados dos Municípios do Quadrilátero Ferrífero	60
Quadro 20: Dados alfanuméricos e espaciais primários utilizados.....	62
Quadro 21: Áreas de Preservação Permanente no Quadrilátero Ferrífero	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Exemplo de Matriz de Comparação	39
Tabela 2: Exemplo de Matriz de Comparação Normalizada	40
Tabela 3: Cálculo aproximado do Vetor de Eigen (λ)	40
Tabela 4: Índice de Consistência Aleatório (RI)	41
Tabela 5: Subcritérios da categoria Barragens	81
Tabela 6: Caracterização das Área 1 e 2	87

LISTA DE SIGLAS

AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
ALMG	Assembléia Legislativa de Minas Gerais
APA	Área de Proteção Ambiental
APP	Área de Preservação Permanente
CECAV	Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPAM	Conselho Estadual de Política Ambiental
DN	Deliberação Normativa
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IEF	Instituto Estadual de Florestas
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
LP	Licença Prévia
LI	Licença de Instalação
LSO	Licença Social para Operar
LO	Licença de Operação
MMA	Ministério do Meio Ambiente
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
RPPN	Reserva Particular do Patrimônio Natural
SEMAD	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
UC	Unidade de Conservação
ZA	Zona de Amortecimento
ZEE	Zoneamento Ecológico Econômico

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVOS	15
3. JUSTIFICATIVA.....	16
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
4.1 Panorama da Mineração	17
4.2 Planejamento e Gestão Ambiental	22
4.3 Zoneamento Ambiental aplicado ao Licenciamento Ambiental	26
4.4 Sistemas de Informações Geográficas	34
4.5 Analytical Hierarchy Process	37
4.6 Influências de fatores locacionais no Processo de Licenciamento Ambiental de Atividades Minerárias.....	41
4.6.1 Unidades de Conservação	41
4.6.2 Cavidades Naturais.....	45
4.6.3 Áreas de Preservação Permanente	48
4.6.4 Sítios arqueológicos.....	50
4.6.5 Zonas Urbanas	51
4.6.6 Áreas prioritárias para conservação da biodiversidade.....	53
4.6.7 Barragens.....	54
5. METODOLOGIA.....	59
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	67
6.1 Unidades de Conservação	67
6.2 Cavidades Naturais	69
6.3 Áreas de Preservação Permanente.....	72
6.4 Sítios arqueológicos.....	74
6.5 Zonas Urbanas.....	76
6.6 Áreas prioritárias para conservação da biodiversidade	77
6.7 Barragens.....	79

6.8 Áreas críticas para o licenciamento de atividades minerárias	81
6.9 Comparação entre regiões contrastantes	86
7. CONCLUSÕES.....	90
8. REFERENCIAS	92
APÊNDICE A: Aplicação da Técnica AHP para as Unidades de Conservação	0
APÊNDICE B: Aplicação da Técnica AHP para as Cavidades	1
APÊNDICE C: Aplicação da Técnica AHP para as Áreas de Preservação Permanente	2
APÊNDICE D: Aplicação da Técnica AHP para os Sítios Arqueológicos	3
APÊNDICE E: Aplicação da Técnica AHP para as Zonas Urbanas	4
APÊNDICE F: Aplicação da Técnica AHP para as Áreas prioritárias para conservação da biodiversidade.....	5
APÊNDICE G: Aplicação da Técnica AHP para as Barragens	6
APÊNDICE H: Aplicação da Técnica AHP para a priorização de todos os critérios	7

|

1. INTRODUÇÃO

O licenciamento ambiental é o processo que busca o equilíbrio entre a proteção do meio ambiente e a exploração dos recursos naturais. No Quadrilátero Ferrífero é intensa a exploração mineral, e, portanto, devem ser utilizados instrumentos de planejamento e gestão ambiental para que as atividades minerárias se desenvolvam de forma viável, tanto do ponto de vista econômico e social quanto ambiental.

A complexidade dos impactos ambientais oriundos das atividades minerárias produz, quando aliada ao despreparo de alguns órgãos ambientais, estudos ambientais genéricos, os quais não levam em consideração as especificidades locais. Este fato representa um enorme risco ao negócio de muitas empresas, pois pode culminar na omissão de impactos e no atraso de licenças ambientais, o que pode prejudicar ou paralisar as operações. A partir da Deliberação Normativa COPAM 217/2017, critérios locacionais deverão ser considerados, além do porte e potencial poluidor dos empreendimentos, na definição da modalidade de licenciamento ambiental no Estado de Minas Gerais.

O mapeamento destes critérios locacionais é essencial, pois, com a criação de uma base de dados georreferenciados, as informações podem ser visualizadas espacialmente e atualizadas continuamente. Este mapeamento pode, inclusive, subsidiar a decisão, tanto dos empreendimentos minerários quanto dos órgãos ambientais, a respeito dos estudos ambientais relevantes para a liberação das licenças nas áreas a serem exploradas.

Um dos instrumentos utilizados para esta finalidade é o zoneamento ambiental, onde, a partir do mapeamento de dados ambientais, estabelece-se usos compatíveis com as características e as necessidades de proteção ambiental de cada local. Esta ferramenta está à serviço da administração pública, pois propõem a solução de problemas ligados ao conflito entre o desenvolvimento econômico e a sustentabilidade ecológica.

Assim, neste estudo, serão compatibilizadas algumas variáveis, por meio de um Sistema de Informações Geográficas, de modo a se definir as zonas do Quadrilátero Ferrífero cujo processo de licenciamento ambiental é dificultado pelas características ambientais. Serão consideradas no estudo as zonas urbanas, as unidades de conservação, as áreas de preservação permanente, os sítios arqueológicos, as cavidades naturais, as áreas prioritárias para conservação e a localização de barragens nas bacias hidrográficas. Com o uso da técnica AHP (*Analytic Hierarchy Process*), os dados serão hierarquizados, ponderados e integrados produzindo um modelo de zoneamento específico para o desenvolvimento de atividades minerárias na região do Quadrilátero Ferrífero.

Com isso, serão indicadas as áreas que possuem alta criticidade no que diz respeito ao estabelecimento de atividades minerárias, levando em conta os preceitos do desenvolvimento sustentável. Com o desenvolvimento de um modelo norteador será possível ter conhecimento do conjunto de fatores ambientais que tornam uma área crítica e que poderão dificultar a exploração mineral. Assim, será possível a realização de melhores estudos ambientais, que levem em consideração as características ambientais mais relevantes do local.

Este trabalho contribuirá, também, para que seja feita uma priorização, por parte das grandes mineradoras, dos seus processos de licenciamento ambiental em andamento, de modo que poderão focar nos processos localizados em áreas ambientalmente sensíveis, que exigirão estudos mais detalhados e complexos e o despendimento de maiores recursos.

2. OBJETIVOS

Integrar dados do Quadrilátero Ferrífero, por meio de Sistema de Informação Geográfica, identificando as zonas críticas para o licenciamento de empreendimentos minerários.

Os objetivos específicos são:

- Coletar dados do meio físico, biológico e político-institucionais do Quadrilátero Ferrífero;
- Compilar os dados disponíveis e hierarquizá-los utilizando a técnica AHP;
- Gerar um mapa com áreas críticas do ponto de vista ambiental, utilizando álgebra de mapas;
- Comparar o mapa gerado com os processos minerários (concessões de lavra) do DNPM para o Quadrilátero Ferrífero;
- Comparar duas áreas com índices de conflitos ambientais contrastantes para evidenciar a importância da análise locacional integrada a um sistema de informações geográficas durante o licenciamento ambiental de uma atividade.

3. JUSTIFICATIVA

Apesar da intensa exploração mineral, Minas Gerais ainda possui inúmeras reservas de minério de ferro. Este fato gera um conflito entre a exploração mineral e a conservação ambiental, uma vez que os diversos impactos ambientais gerados neste processo podem afetar negativamente o meio ambiente. Assim, é necessária a implementação de ferramentas de planejamento e gestão ambiental visando o aproveitamento racional e ecologicamente sustentável dos recursos naturais em benefício da sociedade.

O processo de licenciamento ambiental busca proporcionar o desenvolvimento socioeconômico equilibrado das regiões, a gestão responsável dos recursos naturais e a proteção do meio ambiente. Porém, este processo é lento e oneroso, principalmente em empreendimentos de grande porte, causando prejuízos econômicos e ambientais. Uma forma de tornar este instrumento mais efetivo, seria a sua integração com outros instrumentos previstos na Política Nacional do Meio Ambiental, como o zoneamento ambiental, que é um método integrador de informações ambientais.

O zoneamento ambiental pode auxiliar os diagnósticos ambientais dos estudos de impacto ambiental, subsidiando decisões acerca das melhores alternativas para o aproveitamento dos recursos disponíveis. Esta ferramenta, quando aplicada à previsão de conflitos ambientais derivados da implementação de novas atividades minerárias, pode ser de grande valia no processo de licenciamento ambiental, principalmente nas etapas de caracterização e no diagnóstico ambiental prévio.

Assim, justifica-se o desenvolvimento deste estudo pela necessidade de espacialização e compatibilização de dados ambientais, pela falta detalhamento do ZEE-MG e pela obrigatoriedade em se avaliar os critérios locacionais. Assim, através da associação de técnicas de geoprocessamento e de análise multivariada, será avaliada a viabilidade ambiental de empreendimentos minerários no Quadrilátero Ferrífero.

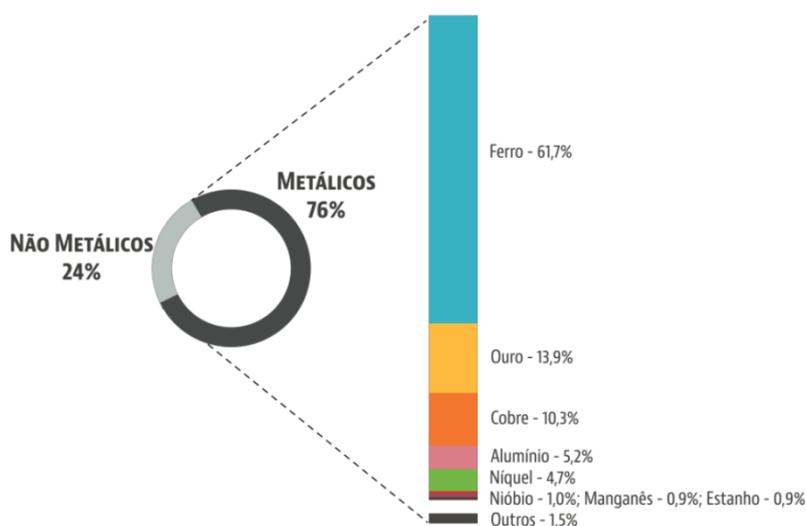
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Panorama da Mineração

As substâncias metálicas têm importância, na indústria mineral brasileira, desde os tempos coloniais, quando os bandeirantes ocuparam o interior do Brasil em busca de metais preciosos. Com o aumento do conhecimento geológico ao longo dos anos, novas descobertas de depósitos minerais metálicos foram feitas, o que impactou a economia nacional e fomentou o processo de industrialização.

Em 2015, as substâncias metálicas representaram 76% do valor total da produção mineral comercializada no país (Figura 1). Dentre as 37 substâncias metálicas cadastradas com títulos de pesquisa e lavra no DNPM, destacaram-se o ferro, o ouro, o cobre, o alumínio, o níquel, o nióbio, o estanho, e o manganês. Estas substâncias representaram 98,5% do valor da produção comercializada da classe, totalizando 67,5 bilhões de reais (DNPM, 2016).

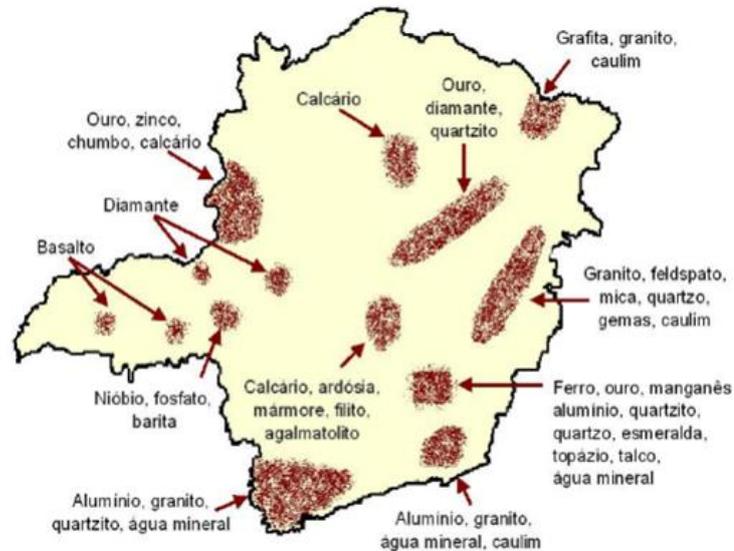
Figura 1: Participação das principais substâncias metálicas no valor da produção mineral comercializada (2015)



Fonte: DNPM (2016)

O minério de ferro é a principal recurso mineral produzido no Brasil. Sua produção se concentra nos estados de Minas Gerais e Pará. Aproximadamente 74% da produção bruta de minério de ferro em 2015 ocorreram em Minas Gerais, totalizando mais de 440,5 milhões de toneladas (DNPM, 2016). A distribuição da produção de outros bens minerais neste Estado pode ser observada na Figura 2.

Figura 2: Distribuição da produção de alguns bens minerais em Minas Gerais

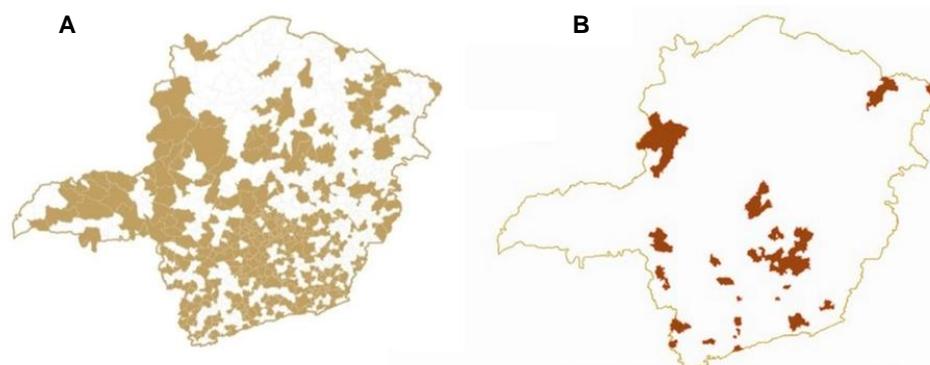


Fonte: ALMG (s.d.) *apud* IBRAM (2015)

Segundo o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM, 2015), existem atividades de mineração em mais de 400 municípios de Minas Gerais (Figura 3). Estes municípios são responsáveis por cerca de 53% da produção brasileira de minerais metálicos e 29% da produção de minérios em geral. Há mais de 300 minas em operação em Minas Gerais, representando 67% das minas com produção superior a três milhões t/ano do país.

A Assembleia Legislativa de Minas Gerais (ALMG) disponibilizou informações sobre os municípios mineradores de Minas Gerais, que apresentaram produção bruta registrada no DNPM em 2005 (Figura 3A). Além disso, foram apontados como os principais municípios mineradores do Estado (Figura 3B) aqueles que concentraram mais de 75% da produção de alguma das 12 substâncias minerais mais relevantes entre 2001 e 2005, a saber: água mineral, alumínio/bauxita, calcário, dolomito, ferro, fosfato, grafita, nióbio, níquel, ouro, rochas ornamentais e zinco.

Figura 3: A - Total de municípios mineradores de Minas Gerais em 2005. B - Principais municípios mineradores de Minas Gerais em 2005



Fonte: ALMG (s.d.)

Segundo o DNPM (2016), cerca de 44% do estado de Minas Gerais se encontra em alguma fase de concessão para mineradoras (o correspondente a praticamente 26 mil km²), deste total, 11% da área do estado já foram concedidos. Dos 40 mil empreendimentos minerários existentes no estado, aproximadamente cinco mil são de minério de ferro. A extração de minério de ferro concentra-se na porção central do estado, na região conhecida como Quadrilátero Ferrífero. Esta é uma região clássica da geologia e da mineração brasileira, se estendendo entre as cidades de Belo Horizonte, Itabira, Ouro Preto e Congonhas, totalizando cerca de 7.000 km² (ROESER *et al.*, 2010). Além da presença de inúmeras riquezas minerais, principalmente de ouro, manganês e ferro, a região abriga espécies endêmicas e ameaçadas de extinção, sendo considerado um ambiente prioritário para a conservação ambiental (DINIZ *et al.*, 2014).

O início da exploração mineral no Quadrilátero Ferrífero se deu no século XVIII, durante o ciclo do ouro. Com a decadência deste ciclo, a exploração do minério de ferro passou a se destacar. A intensa exploração mineral no Quadrilátero gerou inúmeros danos em seu meio físico e biótico (DINIZ *et al.*, 2014). As atividades minerárias impactaram o meio ambiente por meio da poluição do ar, do solo e da água. Outros impactos como a subsidência de terrenos, perda de biodiversidade, erosões, drenagem ácida, impactos paisagísticos, dispersão de metais pesados, conflitos de uso do solo, depreciação de imóveis circunvizinhos, transtornos ao tráfego urbano e conflitos com a comunidade podem ser citados (DINIZ *et al.*, 2014; REZENDE, 2016).

Vale ressaltar que, cada depósito mineral corresponde a uma geologia diferente, apresentando condições de exploração e processamento específicas, e, portanto, os impactos ambientais gerados são diferentes para cada bem mineral extraído, requerendo

estudos específicos para cada caso (NASCIMENTO, 2016). No Quadro 1 são destacados problemas referentes à exploração de ferro, ouro e calcário:

Quadro 1: Problemas relacionados às principais substâncias minerais extraídas em MG

Substância Mineral	Principais Problemas
Ferro	- Antigas barragens de contenção - Poluição de águas superficiais
Ouro	- Rejeitos ricos em arsênio - Aumento da turbidez
Calcário	- Mineração em áreas de cavernas com impactos no patrimônio espeleológico

Fonte: Modificado de Farias (2002)

Para Prado Filho & Souza (2004), a influência da mineração no meio ambiente se dá da seguinte forma:

Em toda a área do Quadrilátero Ferrífero, a influência das atividades da mineração nos recursos ambientais e, principalmente, na qualidade dos mananciais hídricos, é bastante significativa, sendo que um dos mais importantes impactos atualmente verificados é o intenso carreamento de sólidos para as calhas dos rios e córregos, provocado principalmente pelas minerações de ferro, além da constatada degradação da paisagem regional.

No estudo destes autores, foi identificado que em diversos estudos de impacto ambiental de mineradoras do Quadrilátero Ferrífero, as medidas de controle para os impactos gerados eram semelhantes, como por exemplo: a instalação de sistemas de drenagem de águas superficiais, a construção de barragens para contenção de finos, sedimentos e rejeitos, a disposição controlada de estéril em pilhas ou na própria cava, o controle de poeiras fugitivas por aspersão de água, a revegetação de depósitos de estéril, a construção de caixas separadoras de óleos e graxas, a adoção de sistema de tratamento de efluentes sanitários, o controle de ruídos e detonações e o controle de erosões. É importante frisar que a maioria das medidas de controle adotadas são corretivas e não preventivas.

Segundo o estudo feito por Diniz *et al.* (2014), entre os anos de 1985 a 2011, houve o aumento de 213% na área minerada no Quadrilátero Ferrífero. Os autores detectaram também que houve a perda de aproximadamente 3.300 ha de vegetação nativa neste período. Eles afirmaram que os danos causados pela exploração mineral no Quadrilátero se intensificaram com o decorrer dos anos, transformando o meio ambiente não apenas nas áreas mineradas, mas também nas áreas vizinhas, tornando necessária a implantação de programas que monitorem e quantifiquem as áreas degradadas e visem minimizar os impactos ambientais e socioeconômicos causados.

De acordo com Rezende (2016), apesar de existir exploração mineral em Minas Gerais desde o período de colonização no Brasil, este ainda é o Estado que mais possui reservas minerais. Este fato gera um embate entre produção mineral e conservação ambiental, uma vez que diversos impactos ambientais são causados. A autora ressaltou ainda que é preciso rever a política ambiental das grandes minerações e aumentar a fiscalização por parte dos órgãos públicos, para garantir, ao mesmo tempo, as fontes de minério e a qualidade ambiental, e completou:

O estágio atual da atividade mineraria exige instrumentos de controle que condizem com o desenvolvimento sustentável, utilizando-os em benefício do desenvolvimento regional e do envolvimento requerido por esta atividade com a sociedade na qual está inserida. A mineração pode ser uma atividade positiva para os municípios, não apenas pelos impostos que recolhe, mas pelos empregos diretos e indiretos que gera (Rezende, 2016).

A mineração no Brasil é regida por uma série de legislações, com influência dos três níveis de poder, para regulamentar a exploração de recursos e minimizar os problemas derivados da exploração mineral. Segundo Farias (2002), a legislação ambiental, apesar de avançada, é considerada extensa e conflitante, deixando a desejar em sua aplicabilidade. Este autor afirmou ainda que, ao seguir a legislação local não se tem garantia de uma excelente prática ambiental, entretanto, com a concorrência e as exigências do mercado exportador, as práticas predatórias foram minimizadas pela rigorosidade na legislação internacional.

Como os impactos ambientais citados atingem as áreas vizinhas às mineradoras, torna-se necessário a implantação de instrumentos de planejamento e gestão para minimizar as consequências ambientais e socioeconômicas causadas ao meio ambiente e as comunidades envolvidas.

Assim, o zoneamento ambiental pode ser utilizado como instrumento para o planejamento e regulação do uso e ocupação do meio físico, permitindo analisar as implicações da coexistência de atividades distintas ao longo do território. Este tipo de mapeamento, quando aplicado à previsão de conflitos ambientais derivados da implementação de novas atividades minerárias, pode ser de grande valia para o planejamento das atividades de licenciamento ambiental (ATTANASIO, 2005). Em outras palavras, baseado no princípio 14 da Declaração de Estocolmo sobre Meio Ambiente Humano¹ e na ideia de um detalhamento progressivo², o zoneamento ambiental sob a perspectiva da identificação de áreas críticas para o desenvolvimento de atividades minerárias pode auxiliar na tomada de decisão por

¹ Princípio 14 da Declaração de Estocolmo sobre Meio Ambiente Humano: “O planejamento racional constitui um instrumento indispensável para conciliar às diferenças que possam surgir entre as exigências do desenvolvimento e a necessidade de proteger e melhorar o meio ambiente” (UNITED NATIONS, 1972)

² Detalhamento progressivo é a adoção de diferentes escalas de abordagem para a elaboração de cartas e/ou mapas geotécnicos, em três etapas sucessivas com diferentes níveis de detalhe, indo do geral para o particular (CERRI *et al.*, 1996; ZAINÉ, 2000).

parte dos empreendimentos e dos órgãos ambientais, no contexto do licenciamento ambiental, justificando-se, assim, a importância da aplicação deste trabalho.

4.2 Planejamento e Gestão Ambiental

A crise ecológica, fortemente discutida após a segunda metade do século XX, propiciou o surgimento de algumas propostas para dar suporte à proteção ambiental, tendo em vista que o crescimento populacional e as atividades industriais são baseados no consumo de recursos naturais (ATTANASIO, 2005). Neste mesmo período, quando o conceito de desenvolvimento era sinônimo de crescimento econômico, iniciaram-se as discussões sobre o desenvolvimento sustentável e sobre modelo de desenvolvimento empregado. Segundo Attanasio (2005), houve a percepção de que o modelo causava intensa degradação ambiental e progressiva escassez de recursos e que seria necessária a incorporação da questão ambiental nos processos de desenvolvimento.

Em 1987, foi divulgado o documento “*Our Common Future*” que definiu o desenvolvimento sustentável como aquele que satisfaz as necessidades das presentes gerações sem comprometer a capacidade das futuras gerações em satisfazer suas próprias necessidades (UNITED NATIONS, 1987). A Conferência de Estocolmo, realizada em 1972, foi a primeira conferência ambiental que se realizou com o objetivo de discutir a necessidade de se conciliar o desenvolvimento econômico com o uso racional dos recursos naturais, para se atingir o desenvolvimento sustentável (ATTANASIO, 2005). Em conferências ambientais realizadas posteriormente, como a Rio 92, foram firmados acordos para minimizar a degradação ambiental, dada a necessidade de uma avaliação sistêmica sobre o uso dos recursos naturais (FARIAS, 2002).

Sobre o desenvolvimento sustentável, Godinho *et al.* (2016) afirmaram que:

[...] o termo se tornou um conceito chave para o debate ambiental, uma ideia que se multiplica e ganha adjetivações, numa tentativa de combinar eficiência econômica com justiça social e prudência ecológica. Nesse sentido, o termo desenvolvimento sustentável passou a ser utilizado como uma fórmula para solucionar os problemas ambientais e sociais. Entretanto, essa nova forma de modelo econômico não indicou mudança profunda no processo produtivo ou do modelo econômico vigente.

O chamado ecodesenvolvimento requer a harmonização entre objetivos sociais, econômicos e ambientais. Segundo Attanasio (2005), para atingir a sustentabilidade devem ser verificados a capacidade de suporte dos fatores ambientais (meio físico, biológico e

antrópico), o atendimento das necessidades das presentes gerações sem comprometer as futuras gerações e a participação da sociedade nos processos de decisão sobre o meio ambiente (garantindo a legitimidade desses processos e tornando a sociedade corresponsável por seus atos).

A sustentabilidade ecológica, econômica e social tem o objetivo de compatibilizar o crescimento econômico e a proteção dos recursos naturais, em favor das presentes e futuras gerações, por meio da ampla participação democrática (diferentes níveis da administração pública e da sociedade civil) e do conhecimento científico multidisciplinar (BRASIL, 2002a).

O crescimento econômico deve ser implementado por meio de métodos favoráveis ao meio ambiente, visando o aproveitamento racional e ecologicamente sustentável dos recursos naturais em benefício da sociedade. Para tanto, faz-se necessário o uso do planejamento ambiental, alinhando o crescimento econômico com a proteção ambiental (ATTANASIO, 2005). Para Silva & Santos (2004), o planejamento ambiental é um processo contínuo que visa, através da coleta, organização e análise de informações, direcionar decisões acerca das melhores alternativas para o aproveitamento dos recursos disponíveis, bem como, nortear a utilização de instrumentos administrativos, legislativos e de gestão a serem utilizados para o desenvolvimento de atividades. Os mesmos autores afirmaram que no planejamento ambiental devem ser identificados e integrados componentes biofísicos, econômicos, sociais e institucionais, de modo a compatibilizar os sistemas naturais e/ou antrópicos.

Souza (2010) distinguiu planejamento e gestão de forma clara. Segundo ele, planejar sempre remete ao futuro, pois significa tentar prever a evolução de um fenômeno ou desdobramento de um processo, com o objetivo de precaver-se contra prováveis problemas ou ainda, para tirar maior proveito de prováveis benefícios. Já a gestão remete ao presente, pois significa administrar uma situação dentro dos recursos disponíveis, tendo em vista as necessidades imediatas. O mesmo autor afirma que o planejamento é a preparação para a gestão futura e a gestão é a efetivação, ao menos em parte, do planejamento feito no passado. Estes conceitos não são concorrentes ou intercambiáveis, mas distintos e complementares.

A falta de planejamento pode ocasionar, segundo Nascimento (2016), lacunas na gestão e incidentes ambientais que podem causar ao empreendedor multas, paralisações, perdas financeiras, imagem negativa e desgaste do relacionamento com os órgãos públicos e a comunidade.

Segundo o IBRAM (2012), a gestão ambiental na indústria de mineração está em evolução e a maioria dos empreendimentos já adotam, desde os anos 90, políticas explicitando seus compromissos com os temas ambientais. Como exemplo, pode-se destacar os procedimentos para avaliação de riscos e controle de impactos, para o monitoramento de indicadores, para a implementação de medidas de identificação e remediação de passivos ambientais, dentre outros.

Dentro desta perspectiva, foi criada a Política Nacional do Meio Ambiente - PNMA (Lei Nº 6.938/81), objetivando “a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana [...]” (BRASIL, 1981). Na PNMA foram estabelecidos os princípios e instrumentos necessários para garantir a proteção ao meio ambiente e dentre estes instrumentos está o zoneamento ambiental.

No âmbito do planejamento ambiental, é comum a avaliação de um território por meio de seu zoneamento, que é um método integrador de informações ambientais. Este método identifica e delimita unidades em um determinado espaço físico, segundo suas vocações e fragilidades, a partir dos elementos que compõem o meio, de forma que as atividades a serem desenvolvidas sejam viáveis dos pontos de vista econômico, social e ambiental (SILVA & SANTOS, 2004). O zoneamento pode ser entendido como um importante instrumento de ordenamento territorial, pois permite o controle do uso e ocupação do solo. Cada unidade ou zona ambiental é uma porção territorial que representa a integração dos elementos do meio, apresentando uma certa homogeneidade interna em função de suas variáveis ambientais (SILVA & SANTOS, 2004; SANTOS & RANIERI, 2013). As zonas são definidas de acordo com as necessidades de proteção, conservação e recuperação dos recursos naturais, com vistas ao desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2002a).

Segundo Attanasio (2005), este instrumento é apto a promover o desenvolvimento sustentável na medida em que busca proporcionar o desenvolvimento socioeconômico equilibrado das regiões, a gestão responsável dos recursos naturais e a proteção do meio ambiente. O mesmo autor afirma que, o zoneamento ambiental pode orientar através de políticas o manejo e a preservação dos recursos naturais, além de direcionar atividades para áreas específicas, nortear a criação de áreas de preservação permanente, entre outros. Diante disso, considera-se o zoneamento um instrumento de suma importância para o equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e a proteção dos recursos naturais.

Segundo Silva & Santos (2004), a elaboração de um zoneamento ambiental requer um trabalho interdisciplinar passível de análise quantitativa, dentro de um enfoque analítico e

sistêmico, que visa orientar a revisão e/ou formulação de políticas de pesquisa e conservação e manejo integrado de recursos naturais. Geralmente, no planejamento ambiental, as formulações de propostas, implementações e execuções são efetivadas sobre as unidades de planejamento, que podem abranger uma ou mais unidades de zoneamento (SILVA & SANTOS, 2004).

Legalmente, o zoneamento ambiental foi regulamentado pelo Decreto 4.297/02, com a denominação de zoneamento ecológico-econômico (ZEE), duas décadas após ser definido como um instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente (Lei 6.938/81). O Decreto nº 4.297/02 define o ZEE como um:

[...] instrumento de organização do território a ser obrigatoriamente seguido na implantação de planos, obras e atividades públicas e privadas, estabelece medidas e padrões de proteção ambiental destinados a assegurar a qualidade ambiental, dos recursos hídricos e do solo e a conservação da biodiversidade, garantindo o desenvolvimento sustentável e a melhoria das condições de vida da população (BRASIL, 2002a).

No Decreto 4.297/02, afirma-se que o zoneamento ecológico-econômico considera a importância ecológica, as limitações e as fragilidades dos ecossistemas, de modo a estabelecer restrições e alternativas de exploração do território, contribuindo ainda com a realocação de atividades incompatíveis com as funções sociais, ambientais e econômicas do meio. E ainda, que o zoneamento abrange os seguintes princípios do direito ambiental: função socioambiental da propriedade³, da prevenção⁴, da precaução⁵, do poluidor-pagador⁶, do usuário-pagador⁷, da participação informada⁸, do acesso equitativo⁹ e da integração¹⁰ (BRASIL, 2002a).

O Decreto citado, em consonância com os dispositivos constitucionais e princípios fundamentais de proteção ao meio ambiente, bem como com as finalidades objetivadas pela Lei da Política Nacional do Meio Ambiente, prevê que zoneamento ecológico-econômico é

³ “O direito de propriedade deve ser exercido em prol dos interesses individuais do proprietário e em benefício das demandas e interesses sociais” (Ferreira *et al.*, 2008).

⁴ Determina a adoção de políticas públicas de defesa dos recursos ambientais como cautela em relação à degradação ambiental (Farias, 2006).

⁵ Estabelece que intervenções no meio ambiente devem ocorrer quando se tem certeza que as alterações não causarão efeitos adversos (Farias, 2006).

⁶ Estabelece que a iniciativa privada deve internalizar os custos ambientais gerados pela produção e pelo consumo dos recursos ambientais (Farias, 2006).

⁷ Estabelece que os usuários de recursos naturais “sejam obrigados a arcar com a responsabilidade e com os custos da reparação ou da compensação pelo dano causado (Farias, 2006).

⁸ “Assegura ao cidadão o direito à informação e a participação na elaboração das políticas públicas ambientais” (Farias, 2006).

⁹ “O acesso equitativo aos recursos naturais busca a equiparação ao direito de consumir, usufruir, e utilizar tais recursos a todos” (Guerino, 2002).

¹⁰ Reconhece o caráter transversal do ambiente. Deve ser levado em consideração nas políticas públicas, planos, programas ou atividades que possam causar impacto adverso no meio natural (d’Oliveira *et al.*, 2016).

um instrumento de produção obrigatória pelo poder público, nas hipóteses por ele mencionadas (BRASIL, 2002a). Assim, atribui-se ao Poder Público Federal a responsabilidade de elaboração e execução do ZEE em articulação e cooperação com os Estados, além da função de reunir e sistematizar as informações geradas, compatibilizando-as em um único banco de dados e disponibilizando-as publicamente.

Para o planejamento e a implementação de políticas públicas, bem como para o licenciamento, a concessão de crédito oficial ou benefícios tributários, entre outros, as instituições públicas ou privadas deverão observar os critérios, padrões e obrigações estabelecidos no ZEE, quando existir (BRASIL, 2002a).

Silva & Santos (2004) afirmaram que o zoneamento ecológico-econômico é visto hoje como o instrumento básico de planejamento: “[...] sua visão sistêmica propicia a análise de causa e efeito, permitindo o estabelecimento das relações de interdependência entre os subsistemas físico-biótico e socioeconômico”. Este instrumento pode subsidiar decisões de planejamento social, econômico e ambiental e destacar as vocações e as fragilidades do meio natural, organizando as decisões dos agentes públicos e privados quanto aos planos, programas, projetos e atividades que utilizem recursos naturais (BRASIL, 2002a).

Variações do zoneamento ambiental foram criadas, porém verifica-se que apesar do zoneamento apresentar diversas adjetivações, cada uma delas com sua estratégia metodológica específica, todos os tipos de zoneamento devem ser elaborados de forma a representar as interações do meio, segundo um enfoque sistêmico, com o propósito de preservar, conservar e orientar o uso dos recursos, garantindo equidade e melhorando a qualidade do meio (SILVA & SANTOS, 2004). Este instrumento pode dar suporte ao desenvolvimento das atividades econômicas diversas, inclusive minerárias, visando a proteção dos recursos minerais/ambientais para as gerações futuras.

4.3 Zoneamento Ambiental aplicado ao Licenciamento Ambiental

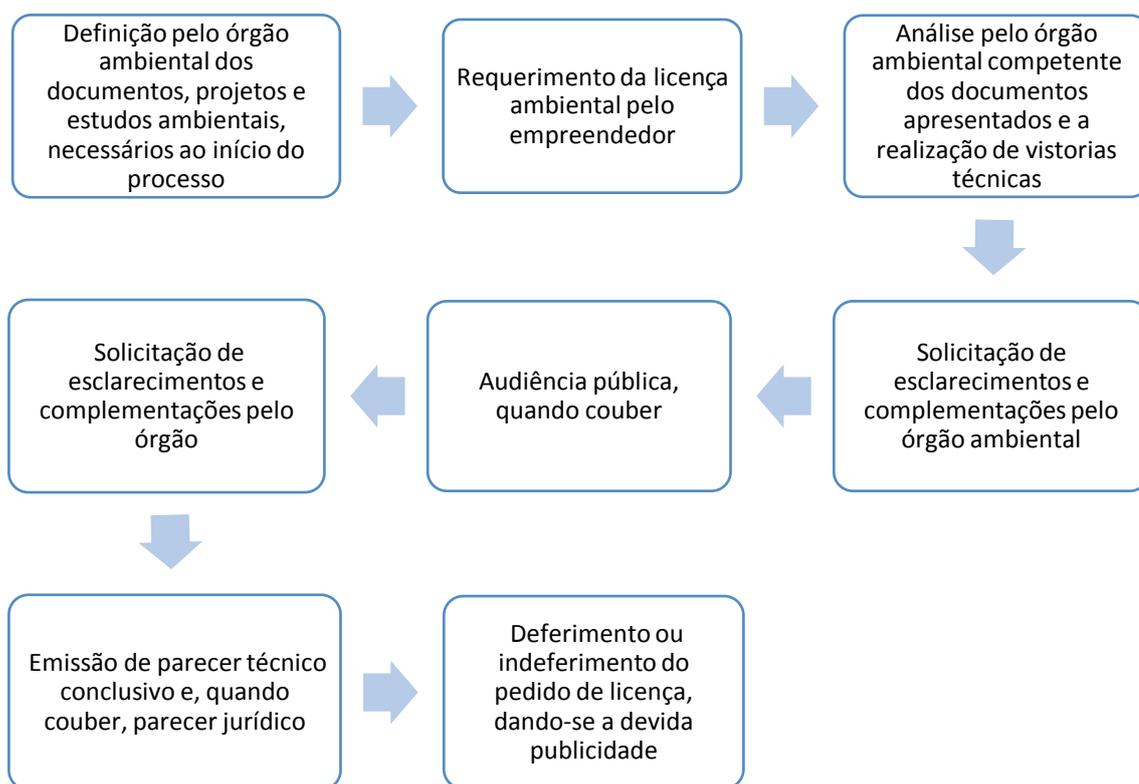
O licenciamento ambiental, como um instrumento de gestão, foi definido pela Resolução CONAMA 237/97 como:

Procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, considerando as disposições legais e regulamentares e as normas técnicas aplicáveis ao caso (BRASIL, 1997).

O licenciamento enquadra-se nos princípios da precaução e da prevenção e obriga o Estado a exercer seu poder de polícia para evitar ou minimizar impactos ambientais gerados por empreendimentos ou atividades. Seu objetivo é assegurar que a atividade econômica se realize sem prejudicar a capacidade do meio ambiente de atender às necessidades de gerações futuras, estando assim, a serviço do desenvolvimento sustentável (ATTANASIO, 2005). O processo de licenciamento ambiental de um dado empreendimento engloba aspectos técnicos, científicos, administrativos e o acompanhamento da execução das medidas ambientais indicadas nos documentos de legalização ambiental (PRADO FILHO & SOUZA, 2004).

Segundo a Resolução CONAMA 237/97, o procedimento de licenciamento ambiental deve obedecer às seguintes etapas:

Figura 4: Etapas do processo de licenciamento ambiental, segundo CONAMA 237/97



Fonte: Brasil (1997)

Esta Resolução definiu também os empreendimentos e as atividades sujeitas ao licenciamento ambiental e, dentre elas, está a extração e o tratamento de minerais. Com isso, essas empresas precisam apresentar ao órgão licenciador informações que caracterizem o projeto, ou seja, indiquem a localização geográfica e a interferência na flora, fauna, recursos hídricos, meio antrópico, etc. Além disso, devem ser apresentadas as medidas para mitigar e/ou compensar as alterações causadas pelo projeto, como os

sistemas de controles ambientais, as medidas de compensação financeira por intervenções em áreas de preservação, as ações de monitoramento da fauna e da flora, o resgate arqueológico, a preservação de patrimônio cultural, dentre outros (SÁNCHEZ, 2006).

O licenciamento ambiental se realiza em um só nível de competência, porém compreende fases distintas, caracterizadas pela emissão das licenças prévia, de instalação e de operação. Nascimento (2016), afirmou que “este processo pode se tornar lento e oneroso causando prejuízos econômicos e socioambientais, principalmente quando se trata de empreendimentos de grande porte”.

No âmbito da licença prévia, vale destacar que nos estudos que atestam a viabilidade ambiental (como o Estudo do Impacto Ambiental – EIA) é imprescindível a avaliação da compatibilidade da localização do empreendimento com o zoneamento ambiental municipal, visando constatar se a área sugerida para sua instalação é tecnicamente e ambientalmente adequada.

Cabe aos órgãos ambientais responsáveis pelo licenciamento ambiental, além do deferimento ou indeferimento da licença, identificar as falhas e os acertos na condução do projeto. Prado Filho & Souza (2004) afirmaram que o licenciamento ambiental prévio de empreendimentos minerários traz benefícios referentes à proteção ambiental e também é importante na gestão ambiental da atividade de mineração, possibilitando uma melhoria significativa nos resultados ambientais e na própria incorporação dos valores ambientais nas atividades de mineração. Segundo Nascimento (2016), a análise das alternativas locais para empreendimentos minerários pode levar à tomada de decisão sobre a melhor tecnologia para o desenvolvimento de uma mina, evitando problemas ambientais nos ecossistemas locais e possibilitando a redução de custos já nas fases iniciais do projeto.

Entretanto, para Attanasio (2005), o processo de licenciamento ambiental é normalmente feito apenas de forma burocrática, a fim de dar cumprimento às exigências legais, o que faz com que este instrumento perca sua característica preventiva, não fornecendo alternativas tecnológicas ou de localização do projeto e nunca cogitando sua não execução.

Uma forma de tornar efetiva e eficiente a utilização deste instrumento seria sua implementação e integração com outros instrumentos previstos na Lei da Política Nacional do Meio Ambiente. Vale ressaltar que, a ausência de negociação entre Poder Público, empreendedor e sociedade civil também colabora para a ineficiência do processo de licenciamento. Outro aspecto apontado por Attanasio (2005) é que, o licenciamento ambiental tem, em sua maioria, cunho nitidamente econômico, podendo gerar

consequências desastrosas ao meio ambiente, ao planejamento espacial e à qualidade de vida da população.

As principais críticas ao licenciamento ambiental no país se devem à morosidade e ao aspecto burocrático do processo. Os processos que exigem a elaboração do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) demandam, em sua maioria, a produção de dados e a elaboração de diagnósticos que requerem tempo e investimentos financeiros (ATTANASIO, 2005). A etapa de diagnóstico poderia ser agilizada se fosse realizado, previamente, um zoneamento ambiental, subsidiando a decisão sobre a localização do empreendimento.

Vale ressaltar, ainda, a importância de se realizar avaliações de impacto ambiental em projetos maduros, pois as mineradoras costumam submeter estudos ambientais referentes a projetos ainda em desenvolvimento. A realidade destes projetos pode se alterar e corre-se o risco de não serem identificados todos os impactos ambientais.

Bons estudos ambientais refletem um menor tempo de análise pelo órgão ambiental, menor tempo de resposta e menos correções e retrabalho, ou seja, há maior chance de se atender os prazos planejados para a aprovação das licenças ambientais. Além disso, a falta de informação nos estudos ambientais diminui a credibilidade dos empreendimentos junto ao órgão ambiental e prejudica as fases subsequentes do processo de licenciamento. Daí surge a necessidade de se conhecer a fundo as áreas de interesse e de se definir corretamente o escopo dos estudos.

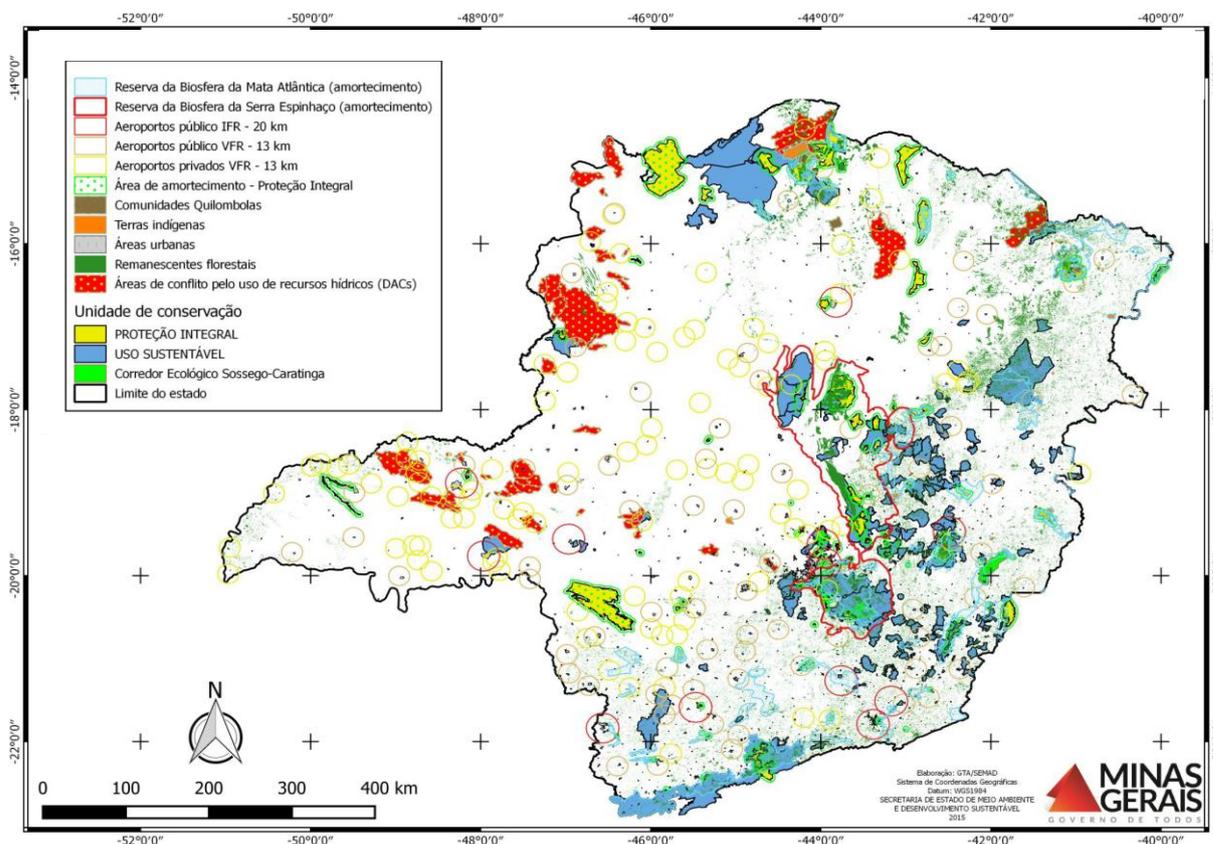
Outro aspecto que coloca em riscos as licenças ambientais é o cumprimento das condicionantes. Assim, cabe aos empreendimentos a gestão das mesmas, garantindo o cumprimento dos prazos, e cabe aos órgãos ambientais o estabelecimento de condicionantes que sejam condizentes e executáveis.

Assim, o zoneamento ambiental pode ser utilizado na caracterização e no diagnóstico ambiental prévio, contribuindo com o processo de licenciamento ambiental de atividades potencialmente degradadoras do meio ambiente, dando maior agilidade e dinamismo ao estudo de impacto ambiental e permitindo a identificação da melhor alternativa locacional do empreendimento. Além disso, pode fornecer ao órgão licenciador subsídios para decidir sobre a viabilidade ambiental de um determinado empreendimento ou atividade, já que fornece uma ideia do grau de complexidade socioambiental do local e pode evidenciar os possíveis conflitos que a implementação de um empreendimento pode causar (ATTANASIO, 2005).

A Deliberação Normativa (DN) 74/2004 do COPAM, que “estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, de empreendimentos e atividades

modificadoras do meio ambiente passíveis de autorização ou de licenciamento ambiental no nível estadual” (MINAS GERAIS, 2004) foi atualizada em 2017 pela DN COPAM 217, que, além do porte e potencial poluidor, passou a considerar, efetivamente, os critérios locais para definição das modalidades de licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades que utilizam os recursos ambientais (MINAS GERAIS, 2004, 2017). O mapa elaborado pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD) ilustra a distribuição dos critérios iniciais utilizados para a composição dos fatores locais (Figura 5).

Figura 5: Critérios iniciais para a composição do fator locacional em Minas Gerais



Fonte: Vale S.A. (2017)

Na DN COPAM 74/2004, o potencial poluidor/degradador geral de uma atividade era obtido em função de suas características intrínsecas, considerando as variáveis ambientais: ar, água e solo. Estas variáveis deveriam ser classificadas em pequeno (P), médio (M) ou grande (G) potencial poluidor e, em seguida, era obtido o potencial poluidor geral pelo cruzamento destes valores. O porte do empreendimento também era considerado P, M ou G, conforme os limites fixados nas listagens da DN COPAM 74/2004. Assim, determinava-se

as classes dos empreendimentos (Quadro 2) e suas respectivas modalidades de licenciamento (Quadro 3).

Quadro 2: Determinação da classe do empreendimento a partir do potencial poluidor da atividade e do porte (DN COPAM 74/2004)

Potencial poluidor/degradador geral da atividade				
		P	M	G
Porte do Empreendimento	P	1	1	3
	M	2	3	5
	G	4	5	6

Fonte: COPAM (2004)

Quadro 3: Modalidade de licenciamento segundo as classes do empreendimento (DN COPAM 74/2004)

Potencial poluidor/degradador geral da atividade				
		P	M	G
Porte do Empreendimento	P	AAF	AAF	LP+LI
	M	AAF	LP+LI	Trifásico
	G	LP+LI	Trifásico	Trifásico

Fonte: COPAM (2004)

Os empreendimentos de classes 1 e 2, podiam ser dispensados do licenciamento estadual, mas estariam sujeitos a Autorização Ambiental de Funcionamento – AAF. Os empreendimentos de classes 3 e 4 poderiam solicitar a Licença Prévia e a Licença de Instalação concomitantemente. Por fim, os empreendimentos de classes 5 e 6 deveriam realizar o licenciamento trifásico, com a solicitação da Licença Prévia (LP), da Licença de Instalação (LI) e da Licença de Operação (LO) separadamente.

A DN COPAM 217/2017 alterou a tabela de classificação dos empreendimentos segundo o porte e potencial poluidor (Quadro 4). Não foi modificada a definição do potencial poluidor da atividade, que ainda considera as variáveis ambientais: ar, água e solo. Os limites fixados nas listagens foram modificados, e, portanto, alterou-se a definição de porte de empreendimento para alguns casos. Foram definidos 11 critérios locacionais e seus respectivos pesos (Quadro 5).

Quadro 4: Determinação da classe do empreendimento a partir do potencial poluidor da atividade e do porte (DN COPAM 217/2017)

Potencial poluidor da atividade				
		P	M	G
Porte do Empreendimento	P	1	2	4
	M	1	3	5
	G	1	4	6

Fonte: COPAM (2017)

Quadro 5: Determinação da classe do empreendimento (DN COPAM 217/2017)

Critérios Locacionais de Enquadramento	Peso
Localização prevista em Unidade de Conservação de Proteção Integral, nas hipóteses previstas em Lei	2
Supressão de vegetação nativa em áreas prioritárias para conservação, considerada de importância biológica "extrema" ou "especial", exceto árvores isoladas	2
Supressão de vegetação nativa, exceto árvores isoladas	1
Localização prevista em zona de amortecimento de Unidade de Conservação de Proteção Integral, ou na faixa de 3 km do seu entorno quando não houver zona de amortecimento estabelecida por Plano de Manejo; excluídas as áreas urbanas.	1
Localização prevista em Unidade de Conservação de Uso Sustentável, exceto APA	1
Localização prevista em Reserva da Biosfera, excluídas as áreas urbanas	1
Localização prevista em Corredor Ecológico formalmente instituído, conforme previsão legal	1
Localização prevista em áreas designadas como Sítios Ramsar	2
Localização prevista em área de drenagem a montante de trecho de curso d'água enquadrado em classe especial	1
Captação de água superficial em Área de Conflito por uso de recursos hídricos.	1
Localização prevista em área de alto ou muito alto grau de potencialidade de ocorrência de cavidades, conforme dados oficiais do CECAV-ICMBio	1

Fonte: COPAM (2017)

Os empreendimentos que estiverem localizados em áreas que não atendem a nenhum critério previsto no Quadro 5, receberão peso nulo. Os empreendimentos que estiverem localizados em áreas que abrangem mais de um critério, receberão o maior peso entre os critérios existentes. Uma crítica aos critérios locacionais definidos é a desconsideração de critérios humanos e socioeconômicos, pois foram considerados apenas aspectos ambientais.

Assim, após a definição dos critérios locacionais e do porte e potencial poluidor, chega-se a determinação da modalidade de licenciamento (Quadro 6).

Quadro 6: Determinação da modalidade de licenciamento (DN COPAM 217/2017)

		Classe por porte e potencial poluidor					
		1	2	3	4	5	6
Critério Locacional	0	LAS Cadastro	LAS Cadastro	LAS RAS	LAC 1	LAC 2	LAC 2
	1	LAS Cadastro	LAS RAS	LAC 1	LAC 2	LAC 2	LAT
	2	LAS RAS	LAC 1	LAC 2	LAC 2	LAT	LAT

Fonte: COPAM (2017)

Sendo:

- LAT: Licenciamento Ambiental Trifásico
- LAC 1: Licenciamento Ambiental Concomitante (fase única LP+LI+LO)
- LAC 2: Licenciamento Ambiental Concomitante (LP+LI e LO/ LP e LI+LO)
- LAS: Licenciamento Ambiental Simplificado (etapa única: Relatório Ambiental Simplificado (RAS) ou Cadastro Eletrônico)

Outra novidade da DN COPAM 217/2017 foi a definição dos fatores de restrição ou vedação (Quadro 7). Estes fatores não conferem pesos para fins de enquadramento dos empreendimentos, mas são considerados na abordagem dos estudos ambientais a serem apresentados.

Quadro 7: Fatores de vedação e restrição

Vedação	Restrição
Área de Preservação Permanente	Área de restrição e controle de uso de águas subterrâneas
Bioma Mata Atlântica	Área de Segurança Aeroportuária
Corpos d'água de Classe Especial	Terras Indígenas
Rio de Preservação Permanente	Terra Quilombola
Unidade de Conservação de Proteção Integral	

Fonte: COPAM (2017)

Desde que se iniciaram as discussões para alteração da DN COPAM 74/2004, com o intuito de melhorar o processo de licenciamento considerando as vulnerabilidades ambientais associadas aos parâmetros locacionais, pensou-se na utilização do Zoneamento Ecológico Econômico de Minas Gerais (ZEE-MG) para basear a análise dos critérios locacionais (MONTAÑO & RANIERI, 2013). Porém não houve uma adequação de escala do ZEE-MG que permitisse a utilização desta ferramenta.

4.4 Sistemas de Informações Geográficas

Sabe-se que o planejamento ambiental é uma tarefa complexa, pois sua efetivação depende da interação dos fatores ambientais e sociais em toda a sua diversidade e complexidade. É um desafio científico compatibilizar diferentes conceitos e escalas (espaciais e temporais) com clareza e com métodos que conduzam, eficientemente, ao cruzamento de todas essas informações (SILVA & SANTOS, 2004).

O geoprocessamento é uma tecnologia extremamente útil, criada para suprir a carência de organização e sobreposição de dados referentes a uma região. Esta tecnologia aplica técnicas matemáticas e computacionais para tratar informações referenciadas geograficamente, indo desde a aquisição até a geração de informação na forma de mapas convencionais, relatórios, etc. Inclui, ainda, armazenamento, gerenciamento, manipulação, análise e processamento de um grande volume de dados (FRANCELINO, 2003).

As aplicações desta tecnologia dependem da existência de um sistema que associe elementos cartográficos a um banco de dados, onde normalmente são aplicados caracteres alfanuméricos. Para Francelino (2003), esta tecnologia interdisciplinar permite a convergência de diversos temas para o estudo de fenômenos ambientais e é amplamente utilizada, pois associa vários itens a uma mesma projeção, mostrando suas inter-relações. Este autor ainda afirmou que, ao realizar análises complexas e integrações de dados de diversas fontes em um mesmo banco de dados, as ferramentas de geoprocessamento automatizam a produção de documentos cartográficos.

Medeiros & Câmara (2001) afirmaram que, na gestão do território “o planejamento, ordenação ou monitoramento do espaço deve incluir a análise dos diferentes componentes do ambiente, incluindo o meio físico-biótico, a ocupação humana, e seu inter-relacionamento”. Neste contexto, o geoprocessamento se apresenta como uma vertente tecnológica importante nas etapas de levantamento de dados, diagnósticos, tomada de

decisões, planejamento, projeto, execução de ações, medição de resultados, avaliação de impacto ambiental, ordenamento territorial e prognósticos ambientais (FRANCELINO, 2003; SOUZA, 2017).

Para Robaina & Trentin (2005), essa “abordagem complexa e integradora das relações entre a natureza e a sociedade é fundamental para a realização de práticas eficientes da gestão ambiental com caráter holístico”. Dessa forma, a grande carência de informações adequadas para a tomada de decisões sobre os problemas (urbanos, rurais e ambientais) de gestão do território pode ser suprida por meio de ferramentas de geoprocessamento, em espacial pelos Sistemas de Informações Geográficas – SIGs (FRANCELINO, 2003).

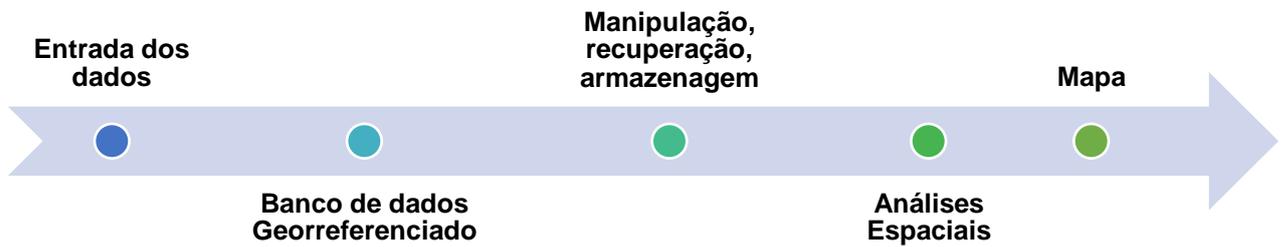
Dentre os instrumentos disponibilizados pelas tecnologias de geoprocessamento podemos citar, além dos SIGs, os Sistemas de Posicionamento Global (GPS) e o Sensoriamento Remoto, que fornecem subsídio para variadas aplicações (SOUZA, 2017).

Silva & Santos (2004) definem os Sistemas de Informações Geográficas como softwares utilizados para “armazenar, analisar, manipular e gerenciar dados geográficos, com ênfase em análises espaciais e modelagens”. Estes autores também afirmaram que esses sistemas se apresentam como “tecnologias para investigação dos fenômenos ambientais que combinam os avanços tecnológicos da cartografia, dos bancos de dados automatizados, do sensoriamento remoto e da modelagem”. Este conceito se diferencia do conceito de geoprocessamento, que é mais abrangente e representa qualquer tipo de processamento de dados georreferenciados.

Já Francelino (2003) define os Sistemas de Informações Geográficas como softwares específicos que possibilitam a associação entre dados gráficos e banco de dados e, ainda, aplicações destinadas à criação e exibição de mapas (cujas etapas estão descritas na Figura 6). Estes sistemas servem de base à gestão espacial e à solução de problemas complexos de determinada área, realizando análises espaciais que fornecem suporte à decisão técnica e/ou política, ou seja, são ferramentas aptas à produzir modelos de zoneamento ambiental (SILVA & SANTOS, 2004).

Dentre os objetivos dos SIGs pode-se destacar: (i) integração, em uma única base de dados, de informações espaciais provenientes de várias fontes (imagens de satélite, dados cartográficos, dados de censo, modelos numéricos de terreno, etc; (ii) armazenamento, recuperação e manipulação de informações espaciais contidas em banco de dados; e (iii) combinação de informações, por meio de algoritmos de manipulação, para gerar cartogramas derivados.

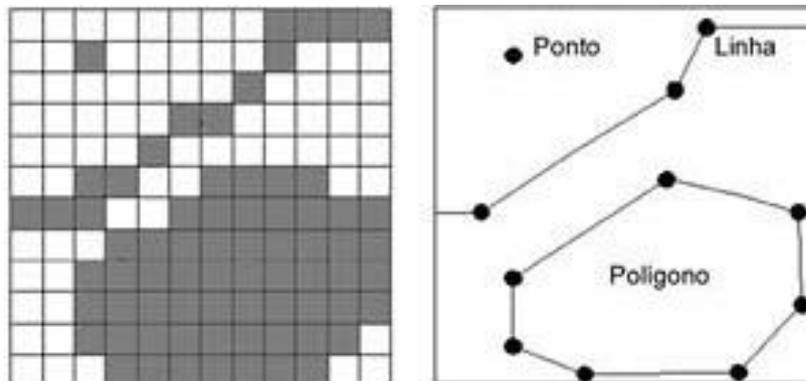
Figura 6: Etapas de geração de um mapa em um SIG



Fonte: Modificado de Francelino (2003)

Dentro da plataforma SIG os dados gráficos podem apresentar estrutura vetorial e raster (Figura 7). Na representação vetorial os dados são descritos por pontos, linhas e polígonos, os quais apresentam elevada precisão na determinação de áreas e comprimentos e permitem associações entre atributos alfanuméricos e entes espaciais. Na representação raster, os dados são representados por uma matriz (m x n), representada por linhas e colunas, composta por células ou pixels que fazem referência à resolução espacial do dado (FRANCELINO, 2003).

Figura 7: Representação de dados raster e vetorial



Fonte: Modificado de Saboya (2005)

Pelo fato de os dados ambientais não serem espacializados, o processo de licenciamento torna-se menos eficiente. Essa espacialização permite uma análise integrada das informações ambientais, a possibilidade de detalhamento progressivo e uma maior agilidade aos processos de licenciamento ambiental. Para a construção de tal espacialização, utiliza-se álgebra de mapas, que é um recurso dos SIGs que integra dados e permite o seu processamento de forma conjunta.

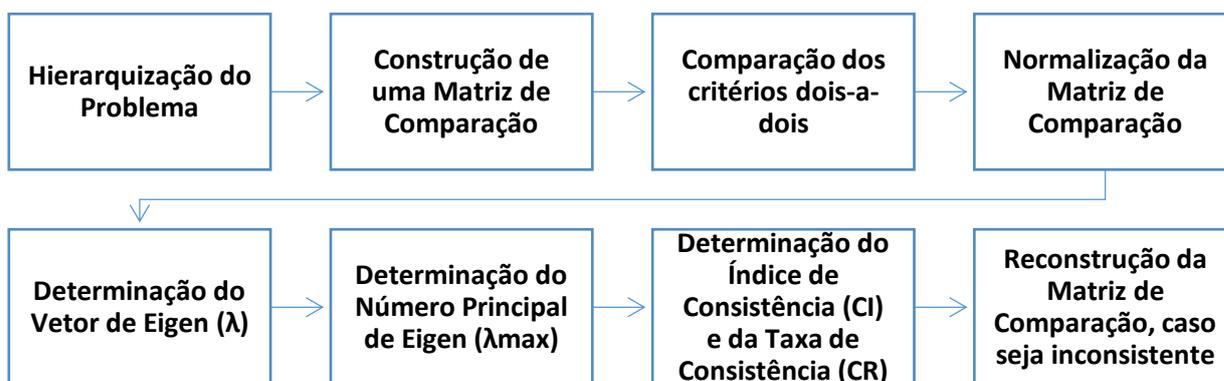
Na maior parte dos modelos de zoneamento elaborados é feita a análise qualitativa de dados ambientais, dando origem a mapas subjetivos, que pouco utilizam abordagens estatísticas e, ainda mais raramente, utilizam análises multivariadas. Para contornar esta situação, surgiram técnicas que associam técnicas de geoprocessamento a técnicas de análise multivariada, para identificação de unidades de zoneamento num dado território (SILVA & SANTOS, 2004).

Uma dessas técnicas é a AHP (*Analytical Hierarchy Process*), que pode ser aplicada em diversas situações, inclusive para dar origem a mapas que consideram diversos fatores e suas diferentes relevâncias no processo analisado, a partir do conhecimento e a experiência de especialistas.

4.5 Analytical Hierarchy Process

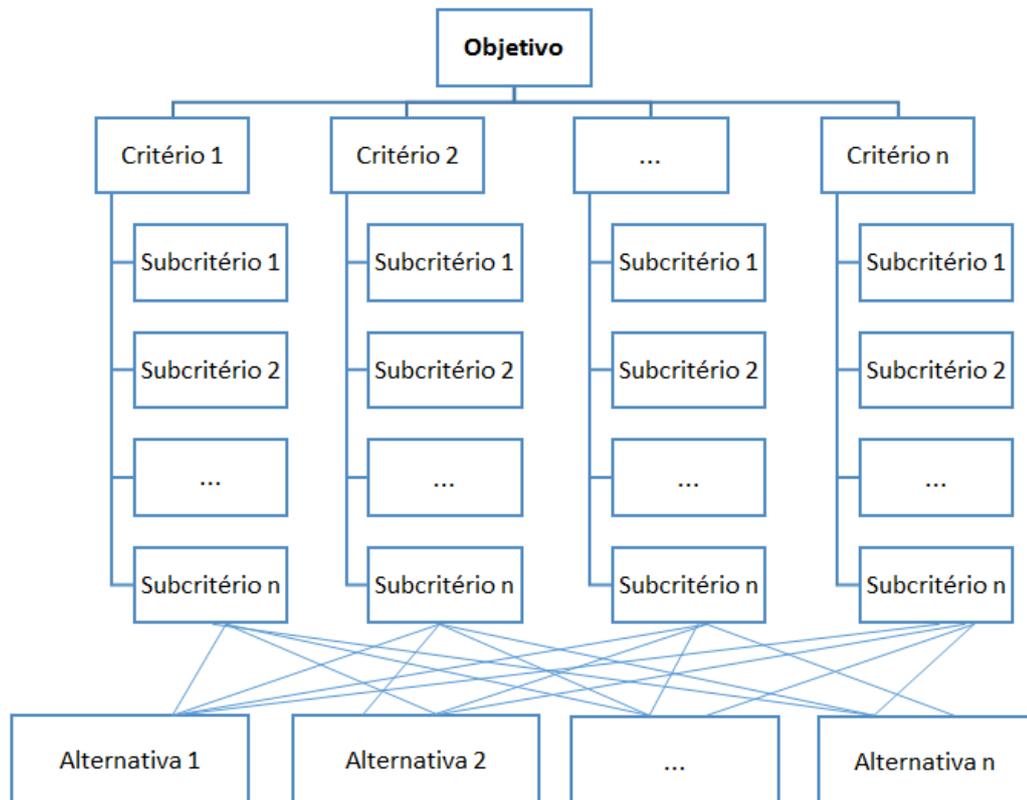
A técnica Analytical Hierarchy Process - AHP, desenvolvida na década de 1970 por Thomas L. Saaty, é um modelo matemático utilizado para dar apoio a decisões complexas, sendo atualmente utilizado em diversas áreas do conhecimento para a solução dos mais variados problemas. O problema a ser estudado deve ser estruturado e hierarquizado em critérios influenciadores (analisáveis e comparáveis de modo independente), os quais serão posteriormente ponderados. O que acaba por diferir a técnica de Saaty de uma simples ponderação de fatores influenciadores reside no fato de sua metodologia permitir o cálculo de um índice de consistência, o que tende a diminuir a subjetividade da análise (SAATY, 1987). As etapas de desenvolvimento da técnica AHP estão descritas na Figura 8.

Figura 8: Etapas de desenvolvimento da técnica AHP



A hierarquização do problema é a primeira etapa para o desenvolvimento da técnica AHP e sua arquitetura envolve a definição de um objetivo, que é o problema a ser solucionado, dos critérios e subcritérios, que são os parâmetros influenciadores no desenvolvimento do objetivo, e as alternativas, que fazem referência as possíveis decisões para alcançar o objetivo pretendido, isto é, solucionar o problema (Figura 9).

Figura 9: Hierarquização de critérios na técnica AHP



Fonte: Saaty (1987,1990)

Após a estruturação e a hierarquização do problema, uma matriz de comparação deve ser construída com o objetivo de permitir a comparação dos critérios dois-a-dois, com base na escala criada por Saaty (Quadro 8). Esta matriz de comparação (Tabela 1) deve ser construída com foco no objetivo do estudo, ou seja, na determinação do grau de importância de um critério/subcritério sobre os demais critérios/subcritérios. Em outras palavras, deve-se fazer a pergunta: “Qual é o grau de importância do critério 1 sobre o critério 2 na busca do objetivo?”. O valor que o critério 2 receberá em relação ao critério 1 corresponde ao valor recíproco.

Quadro 8: Escala de importância de Saaty

Escala	Intensidade da importância	Recíproco
1	Igual importância	1
2	Igual a moderada	1/2
3	Moderada importância	1/3
4	Moderada a forte	1/4
5	Forte importância	1/5
6	Forte a muito forte	1/6
7	Demonstrada importância	1/7
8	Muito forte a extrema	1/8
9	Extrema importância	1/9

Fonte: Saaty (1987,1990)

Tabela 1: Exemplo de Matriz de Comparação

	Critério 1	Critério 2	Critério n
Critério 1	1	$a_{1,2}$	$a_{1,n} = \frac{1}{a_{n,1}}$
Critério 2	$a_{2,1} = \frac{1}{a_{1,2}}$	1	$a_{2,n}$
Critério n	$a_{n,1}$	$a_{n,2} = \frac{1}{a_{2,n}}$	1
Total (Σ)	$\Sigma_1 = 1 + a_{2,1} + a_{n,1}$	$\Sigma_2 = a_{1,2} + 1 + a_{n,2}$	$\Sigma_3 = a_{1,n} + a_{2,n} + 1$

Fonte: Saaty (1987,1990)

Após as comparações e a atribuição de pesos relativos entre os critérios, a matriz de comparação é normalizada, por meio da divisão de cada valor da tabela pelo total da respectiva coluna (Tabela 2).

Tabela 2: Exemplo de Matriz de Comparação Normalizada

	Critério 1	Critério 2	Critério n
Critério 1	$\frac{1}{\sum_1}$	$\frac{a_{1,2}}{\sum_2}$	$\frac{a_{1,n}}{\sum_3}$
Critério 2	$\frac{a_{2,1}}{\sum_1}$	$\frac{1}{\sum_2}$	$\frac{a_{2,n}}{\sum_3}$
Critério n	$\frac{a_{n,1}}{\sum_1}$	$\frac{a_{n,2}}{\sum_2}$	$\frac{1}{\sum_3}$

Fonte: Saaty (1987,1990)

A determinação da contribuição de cada critério no resultado final, ou seja, da probabilidade do critério em atender o objetivo estabelecido, é calculada a partir do Vetor de Prioridade ou Vetor de Eigen (Tabela 3). Este valor pode ser obtido, de forma aproximada, pela média aritmética dos valores normalizados de cada um dos critérios (VARGAS, 2010).

Tabela 3: Cálculo aproximado do Vetor de Eigen (λ)

Vetor Aproximado de Eigen (λ)	
Critério 1	$\lambda_1 = \frac{\frac{1}{\sum_1} + \frac{a_{1,2}}{\sum_2} + \frac{a_{1,n}}{\sum_3}}{n}$
Critério 2	$\lambda_2 = \frac{\frac{a_{2,1}}{\sum_1} + \frac{1}{\sum_2} + \frac{a_{2,n}}{\sum_3}}{n}$
Critério n	$\lambda_3 = \frac{\frac{a_{n,1}}{\sum_1} + \frac{a_{n,2}}{\sum_2} + \frac{1}{\sum_3}}{n}$
Total (\sum)	1

Fonte: Vargas (2010)

Em seguida é feita a verificação da consistência dos valores atribuídos através da Equação 1, que integra o número principal de Eigen λ_{max} e o número de critérios avaliados na matriz de comparação n . O número principal de Eigen (λ_{max}) é calculado através do somatório do produto do vetor de Eigen da cada elemento (Tabela 3) pelo total da respectiva coluna da matriz de comparação (Tabela 1).

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

Por fim, para verificar se o valor de CI é adequado, ou seja, se a atribuição de pesos apresenta uma certa consistência, o Índice de Consistência CI é ponderado pelo Índice de Consistência Aleatório RI (Tabela 4), dando origem a Taxa de Consistência (CR) apresentada na Equação 2.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

Tabela 4: Índice de Consistência Aleatório (RI)

<i>n</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Saaty (1987)

De acordo com Saaty (1987,1990) a matriz de comparação será considerada consistente se CR for menor que 0,1. Caso a matriz apresente inconsistência, os pesos deverão ser retribuídos. As mesmas etapas e os mesmos cálculos deverão ser realizados para a hierarquização dos subcritérios.

Com os critérios e subcritérios consistidos, é previsto pela técnica AHP a integração dos pesos de ponderação com o intuito de conhecer a importância das alternativas e alcançar o objetivo proposto. Nesse contexto, os subcritérios de um parâmetro de influência são multiplicados pelo seu critério (isto é, o próprio parâmetro de influência) e somados a multiplicação dos outros subcritérios pelos seus respectivos critérios.

4.6 Influências de fatores locacionais no Processo de Licenciamento Ambiental de Atividades Minerárias

4.6.1 Unidades de Conservação

A lei nº 9.985/2000 instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) e estabeleceu critérios e normas para a criação, implantação e gestão das unidades de conservação. Estas unidades podem ser definidas como espaços territoriais com características naturais relevantes, com objetivos de conservação e limites definidos, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção (BRASIL, 2000).

O SNUC é gerido pelas três esferas de governo (federal, estadual e municipal) e é composto por 12 categorias (Figura 10), cujos objetivos se diferenciam quanto à forma de proteção e usos permitidos.

Figura 10: Categorias de Unidades de Conservação, segundo Lei nº 9.985/2000



Fonte: Brasil (2000)

Segundo a lei 9.985/2000, as Unidades de Proteção Integral são aquelas que, devido às suas fragilidades e particularidades, devem ser integralmente preservadas. Já as Unidades de Uso Sustentável permitem a exploração, mas de maneira a garantir a perenidade dos recursos ambientais renováveis e dos processos ecológicos, bem como a biodiversidade, de forma socialmente justa e economicamente viável (BRASIL, 2000).

Para Ganem (2015), a criação de unidades de conservação (UCs) pode ser considerada a principal política de conservação da diversidade biológica no Brasil. Segundo a autora, é um grande desafio a gestão das unidades de conservação, tanto por problemas relativos à área da unidade (como regularização fundiária, fiscalização e implantação da infraestrutura) quanto por problemas em seu entorno (como dificuldades de relacionamento com a população e de controle dos impactos das atividades socioeconômicas).

Uma das medidas de controle dos impactos das atividades socioeconômicas é a definição de zonas de amortecimento (ZAs) no entorno das UCs. Nestas áreas as atividades humanas estão sujeitas a normas e restrições específicas, com o propósito de minimizar os impactos negativos sobre as UCs (GANEM, 2015). Assim, pode-se restringir o crescimento urbano, a exploração madeireira, a agricultura, a mineração, a indústria, o turismo, entre outras atividades, nas áreas circunvizinhas às UCs, reduzindo os danos ambientais sobre elas.

O dimensionamento das ZAs está sujeito a uma análise técnica, e poder ser definida no ato de criação da unidade ou posteriormente no Plano de Manejo, até 5 anos após a criação da UC (BRASIL, 2000). O Plano de Manejo deve incluir medidas para a integração das UCs, zonas de amortecimento e corredores ecológicos aos aspectos econômicos e sociais das

comunidades vizinhas (BRASIL, 2000). Pela lei 9.985/2000, este Plano deve contemplar as especificidades ecológicas e socioeconômicas da região onde a UC se insere, as condições de conservação da área do entorno da UC e as normas municipais de uso do solo urbano (Plano Diretor Municipal).

Os principais critérios utilizados na delimitação de ZAs abrangem aspectos ecológicos, marcos geográficos visíveis e o uso do solo. Na medida do possível deve ser englobado nas ZAs: UCs contíguas, áreas naturais preservadas, remanescentes de ambientes naturais, áreas com potencial de conectividade com a UC (como APP, Reserva Legal e RPPN) e as microbacias dos rios que fluem para a UC (GANEM, 2015). Algumas indicações do IBAMA e ICMBio mencionam a não criação de uma ZA em locais com presença de área urbana estabelecida ou locais definidos nos planos diretores como de expansão urbana (GANEM, 2015).

O Quadro 9 apresenta um histórico das leis e resoluções que regularizaram o licenciamento de empreendimentos em áreas circundantes ou em zonas de amortecimento de UCs.

Quadro 9: Regulamentos referentes ao licenciamento em áreas circundantes e zonas de amortecimento de Unidades de Conservação

<i>Legislações</i>	<i>Definições</i>	<i>Observações</i>
Decreto 99.274/1990	Nas áreas circundantes das UCs, num raio de 10 Km, qualquer atividade que possa afetar a biota ficará subordinada as normas editadas pelo CONAMA.	-
CONAMA 13/1990	Nas áreas circundantes, em um raio de 10 Km das UCs, qualquer atividade que possa afetar a biota, deverá ser obrigatoriamente licenciada pelo órgão ambiental competente, sendo que este só será concedido mediante autorização do responsável pela administração da UC.	- Regulamentou o Decreto 99.274/1990
Lei do SNUC 9.985/2000	As unidades de conservação* devem possuir uma zona de amortecimento e, quando conveniente, corredores ecológicos ¹ .	*exceto Área de Proteção Ambiental (APA) ² e Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) ³
CONAMA 428/2010	Licenciamento de empreendimentos (sujeitos a EIA/RIMA) localizados numa faixa de 3 Km a partir do limite da UC (ZA não estabelecida), só poderá ser concedido após autorização do órgão responsável pela administração da UC ou pelo órgão responsável pela sua criação (no caso das RPPNs). Licenciamento de empreendimentos (não sujeitos a EIA/RIMA) o órgão ambiental licenciador deverá dar	*exceto em RPPNs, APAs e Áreas Urbanas Consolidadas - Revogou a CONAMA 13/1990 - Prazos foram alterados pela 473/2015, e passaram a contar 5 anos a partir desta Resolução.

Legislações	Definições	Observações
	ciência ao órgão responsável pela administração da UC quando: o empreendimento puder causar impacto direto em UC, estiver localizado na sua ZA ou estiver localizado em até 2 km da UC (ZA não estabelecida)	

Fonte: Brasil (1990, 2000, 2010a)

¹Corredores ecológicos: "porções de ecossistemas naturais ou seminaturais, ligando unidades de conservação, que possibilitam entre elas o fluxo de genes e o movimento da biota, facilitando a dispersão de espécies e a recolonização de áreas degradadas, bem como a manutenção de populações que demandam para sua sobrevivência áreas com extensão maior do que aquela das unidades individuais" (BRASIL,2000).

² As APAs admitem atividades econômicas em seus limites.

³As RPPNs se situam em terras privadas e são criadas por iniciativa do proprietário.

Assim, foi consolidada a necessidade de proteção do entorno de todas as UCs e explicitou-se um raio de proteção para as UCs que não possuem sua ZA definida. As atividades desenvolvidas na ZA podem sofrer limitações, mas as limitações aplicadas não podem inviabilizar o aproveitamento econômico da propriedade.

As ZAs devem ser definidas caso a caso, seguindo os estudos técnicos que norteiam a criação e a gestão da própria UC e devem ocorrer de forma participativa, pois pode envolver grandes conflitos de interesse, entre a conservação e o uso dos recursos naturais (GANEM, 2015). Dessa forma, o ideal é que a ZA seja definida no próprio momento de criação da UC, que já é precedido de estudos técnicos e consultas públicas.

Um limite genérico, como sugerido pela Resolução 428/2010, poderia deixar de incluir áreas importantes para as UCs ou incluir áreas sem importância ecológica, como, por exemplo, áreas bastante alteradas e áreas urbanas consolidadas, acarretando uma obrigação desnecessária para o órgão gestor, de disciplinar o uso do solo, autorizar licenciamentos ambientais e fiscalizar atividades em regiões de pouca importância para a UC (GANEM, 2015). Portanto, não há como definir, em lei, critérios gerais para delimitação da ZA.

Percebe-se que, na área do Quadrilátero Ferrífero, as áreas de mineração estão dentro ou próximas às unidades de conservação, o que evidencia a forte pressão que as mineradoras exercem nessas áreas (REZENDE, 2016). Diniz *et al.* (2014) verificaram que a menor expansão mineraria na área da APA Sul, localizada na Região Metropolitana de Belo Horizonte, ocorreu nos anos posteriores à sua criação, o que inibiu a exploração mineraria no interior desta unidade de conservação. Porém, quando foram permitidas explorações de forma sustentável nesta unidade, ocorreu uma maior expansão mineraria.

Ainda sobre a influência da mineração nas Unidades de Conservação, Farias (2002) concluiu em seu estudo que:

[...] esse aumento da busca por minério está causando a aproximação, cada vez maior, das mineradoras às Unidades de Conservação do estado, o que, somado a falta de ações de planejamento por parte dos poderes públicos e a carência de adoção de procedimentos técnicos adequados no planejamento e desenvolvimento das minas e as deficiências no controle e recuperação ambiental, gera um importante conflito socioambiental e econômico. Desse modo, se estabelece um conflito complexo em relação ao desenvolvimento da mineração e sua sustentabilidade, sendo preciso assegurar o suprimento futuro de minerais e, ao mesmo tempo, garantir a qualidade das condições ambientais, e a sua coexistência de forma sustentável com outras atividades econômicas e de uso do solo.

4.6.2 Cavidades Naturais

Para Lacerda & Curi (2017), um dos empecilhos que podem modificar o planejamento de uma mina ou mesmo inviabilizar a continuidade da exploração mineral é a presença de cavidades naturais nas áreas dos empreendimentos minerários. Essas cavidades, protegidas por decretos federais e estaduais, conferem uma área de proteção que deve ser respeitada, impedindo sua degradação, bem como de sua área de influência. Para os autores citados, discussões das leis vigentes e análise dos impactos gerados pela atividade mineradora nas cavidades naturais são de grande importância.

O Decreto 6.640/2008 definiu as cavidades naturais subterrâneas como:

[...] todo e qualquer espaço subterrâneo acessível pelo ser humano, com ou sem abertura identificada, popularmente conhecido como caverna, gruta, lapa, toca, abismo, furna ou buraco, incluindo seu ambiente, conteúdo mineral e hídrico, a fauna e a flora ali encontrados e o corpo rochoso onde os mesmos se inserem, desde que tenham sido formados por processos naturais, independentemente de suas dimensões ou tipo de rocha encaixante (Brasil, 2008).

Este Decreto determinou que as cavidades deverão ser protegidas, de modo a permitir estudos e pesquisas de ordem técnico-científica, bem como atividades de cunho espeleológico, étnico-cultural, turístico, recreativo e educativo (BRASIL, 2008). O Patrimônio Espeleológico foi definido na CONAMA 347/2004 como “o conjunto de elementos bióticos e abióticos, socioeconômicos e históricos-culturais, subterrâneos ou superficiais, representados pelas cavidades naturais subterrâneas ou a estas associadas” (CONAMA, 2004). Assim, constata-se a importância da conservação destes locais.

As cavidades podem ser classificadas segundo seu grau de relevância em: máximo, alto, médio ou baixo. A importância de seus atributos pode ser classificada em: acentuada, significativa ou baixa. A Instrução Normativa nº 02/2017, que atualizou a Instrução

Normativa nº 02/2009, dispõe sobre a “metodologia de classificação do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas, conforme previsto no Decreto nº 6640/2008” (BRASIL, 2017a). Esta classificação, introduzida pelo Decreto 6.640/2008 foi de suma importância, pois, até então, não havia normatização a respeito da classificação do grau de relevância das cavidades, o que implicava na obrigação de proteção integral de todas elas, gerando conflitos de interesses em grandes empreendimentos, sobretudo na mineração (MIRANDA, 2016).

As cavidades, dependendo do seu grau de relevância, poderão ou não sofrer impactos negativos. O Quadro 10 apresenta a relação entre a classificação do grau de relevância das cavidades e as obrigações do empreendedor que ocasione nelas impactos negativos irreversíveis. É fato que a localização, construção, instalação, ampliação, modificação e operação de empreendimentos e atividades, efetiva ou potencialmente degradadores de cavidades, bem como de sua área de influência, dependerão de prévio licenciamento pelo órgão ambiental competente (BRASIL, 2008).

Quadro 10: Relação entre a classificação do grau de relevância das cavidades e as obrigações do empreendedor, segundo o Decreto 6.640/2008

<i>Grau de Relevância</i>	<i>Permissões</i>	<i>Obrigações</i>
Máximo	A cavidade e sua área de influência <u>não podem ser objeto</u> de impactos negativos irreversíveis e sua utilização deve fazer-se dentro de condições que assegurem sua integridade física e a manutenção do seu equilíbrio ecológico.	-
Alto, médio ou baixo	A cavidade <u>poderá ser objeto</u> de impactos negativos irreversíveis, mediante licenciamento ambiental.	Grau de relevância alto: o empreendedor deverá adotar medidas e ações para <u>assegurar a preservação permanente de duas cavidades naturais subterrâneas (cavidades testemunho)</u> , com o mesmo grau de relevância, de mesma litologia e com atributos similares à que sofreu o impacto. Não havendo, na área do empreendimento, cavidades testemunho, o ICMBio e o empreendedor definirão outras formas de compensação (prioritariamente criação e implementação de unidade de conservação em área de interesse espeleológico).

<i>Grau de Relevância</i>	<i>Permissões</i>	<i>Obrigações</i>
		<p>Grau de relevância médio: o empreendedor deverá <u>adotar medidas e financiar ações</u>, definidos pelo órgão ambiental competente, que contribuam para a conservação e o uso adequado do patrimônio espeleológico brasileiro, especialmente das cavidades com grau de relevância máximo e alto.</p> <p>Grau de relevância baixo: o empreendedor <u>não</u> estará obrigado a <u>adotar medidas e ações</u> para assegurar a preservação de outras cavidades.</p>

Fonte: Brasil (2008)

Segundo Lacerda & Curi (2017), as cavidades naturais em minério de ferro estão particularmente associadas a grandes concentrações desta substância mineral. Assim, diante da presença de cavidades classificadas como máxima relevância, as mineradoras ficam impossibilitadas de recuperar uma quantidade esperada de recursos minerais.

A Resolução CONAMA 347/2004 definiu a área de influência de cavidades como aquela que “compreende os elementos bióticos e abióticos, superficiais e subterrâneos, necessários à manutenção do equilíbrio ecológico e da integridade física do ambiente cavernícola” (BRASIL, 2004). Assim, ficou a cargo do órgão ambiental competente a definição da área de influência e a análise dos estudos feitos pelo empreendedor. Segundo o CECAV (2013):

Os estudos ambientais capazes de identificar, da melhor maneira possível, a área necessária à proteção (área de influência) das cavernas localizadas no espaço de interferência do empreendimento, precisam considerar todos os aspectos naturais envolvidos, como a vegetação, solo, atmosfera, biologia subterrânea, geologia, geomorfologia entre outros, necessários à manutenção do equilíbrio ecológico e da integridade física do ambiente cavernícola.

Até que sejam feitos estes estudos, a área de influência das cavidades deve ser considerada como a projeção horizontal da caverna acrescida de um entorno de 250 metros, em forma de poligonal convexa (BRASIL, 2004).

No âmbito do licenciamento ambiental, a complexidade técnica do termo “área de influência”, tem levado os empreendedores a submeter estudos ambientais que se limitam a área de influência de 250 m em torno da cavidade natural subterrânea (CECAV, s.d.). Os órgãos responsáveis pelo licenciamento de empreendimentos em áreas de ocorrência de cavernas ainda se deparam com incertezas quanto à definição da área de influência e aos

estudos que devem ser solicitados. A existência dessas feições é considerada um fator limitante ao processo de licenciamento ambiental de empreendimentos minerários, devido sua importância ambiental.

Foi promovido pelo CECAV, em 2013, um encontro técnico para discussão do tema. Foram definidas as diretrizes e orientações técnicas para realização dos estudos necessários à definição das áreas de influência sobre o patrimônio espeleológico (Quadro 11). Porém, o órgão deve avaliar a aplicabilidade dos mesmos em cada situação.

Quadro 11: Possíveis critérios para a definição da área de influência

	<i>Critérios/Estudos</i>
Meio biótico	Conectividade do sistema subterrâneo
	Espécies de morcegos que aportam recursos à caverna
	Contribuição de sistemas radiculares de plantas e de animais acidentais na caverna
Meio abiótico	Caracterização das feições cársticas
	Identificação das zonas de recarga e descarga
	Identificação da suscetibilidade à erosão nas áreas próximas

Fonte: CECAV (2013)

A área de influência de cavidades naturais não deve ser entendida como um espaço onde os impactos não são permitidos. Os estudos para o licenciamento é que deverão analisar a relação entre os impactos e o patrimônio espeleológico e propor alternativas ou medidas de mitigação. Os estudos espeleológicos para definição de área de influência deverão sempre estar integrados aos demais estudos de impacto ambiental do empreendimento (CECAV, 2013).

4.6.3 Áreas de Preservação Permanente

As Áreas de Preservação Permanente (APPs) foram definidas pela Lei nº 12.651/2012, conhecida como Novo Código Florestal, como:

[...] área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (BRASIL, 2012).

Assim, considera-se APP, em zonas rurais ou urbanas, as áreas descritas no Quadro 12:

Quadro 12: Categorias de Área de Preservação Permanente

<i>Categorias</i>	<i>Subcategorias</i>	<i>APP (m)</i>
Faixas marginais de cursos d'água natural (exceto efêmeros)	Até 10 m largura curso d'água	30 m
	Entre 10 e 50 m	50 m
	Entre 50 e 200 m	100 m
	Entre 200 e 600 m	200 m
	Superior a 600 m	500 m
Entorno dos lagos e lagoas naturais	Zona Rural (até 20 ha espelho d'água)	50 m
	Zona Rural (>20 ha)	100 m
	Zona Urbana	30 m
Entorno dos reservatórios d'água artificiais (decorrentes de barramento ou represamento de cursos d'água)	-	Definida na licença ambiental
Entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes	-	Raio mínimo de 50 m
Encostas com declividade superior a 45°	-	Toda a sua extensão
Restingas (fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues)	-	Toda a sua extensão
Manguezais	-	Toda a sua extensão
Bordas dos tabuleiros ou chapada	-	Faixa nunca inferior a 100 m
Topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 m e inclinação >25°	-	1/3 superior do morro
Áreas em altitude superior a 1.800 m	-	Toda a sua extensão
Veredas	-	Largura mínima de 50 m
Áreas cobertas com florestas ou outras formas de vegetação (com diversas finalidades definidas na Lei 12.651/2012.	-	Toda a sua extensão

Fonte: Brasil (2012)

Em decorrência de sua função ambiental, as APPs são de utilização muito restrita, podendo apenas sofrer intervenção nos casos de utilidade pública, interesse social e atividades eventuais ou de baixo impacto ambiental. A CONAMA 369/2006 dispõe sobre estes casos excepcionais que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em APPs. A mineração é considerada uma atividade de utilidade pública, exceto nos casos específicos de extração de areia, argila, saibro e cascalho, que se inclui na categoria de interesse social (BRASIL, 2006), permitindo também intervenções.

A Resolução citada também definiu que a mineração em APPs fica sujeita ao licenciamento ambiental, onde poderá ser exigido o EIA/RIMA ou algum outro estudo ambiental, já que

nem todos os casos de mineração são potencialmente causadores de significativo impacto ambiental. Vale ressaltar que a rigidez locacional, inerente aos empreendimentos minerários, não permite a definição de alternativas locacionais para a extração de minério, o que, inevitavelmente, causa, em maior ou menor grau, intervenções em APPs.

4.6.4 Sítios arqueológicos

Os sítios arqueológicos foram definidos como bens patrimoniais da União na Lei nº 3.924/1961. Segundo o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional – IPHAN (s.d.) o sítio arqueológico é o local onde se encontram vestígios das pessoas que viveram no passado, como restos de construções, de instrumentos de trabalho, de armas, de enfeites, de pinturas, entre outros, revelando suas atividades e características culturais. O levantamento desses sítios arqueológicos possibilita a reconstrução do ambiente e do espaço coletivo ocupado por gerações antepassadas (IPHAN, s.d.).

Em Minas Gerais, a arqueologia pré-histórica trata dos vestígios anteriores à colonização do Estado e a arqueologia histórica trata dos primeiros momentos da colonização (formação dos arraiais, aberturas de estradas, os ciclos da exploração aurífera, as fazendas, os quilombos, a industrialização, as ferrovias, entre outros). Todos os sítios arqueológicos, mesmo os desconhecidos, estão protegidos por lei e sua descaracterização ou destruição pode ser considerada crime (IPHAN, s.d.).

A Resolução CONAMA 01/86 estabeleceu que, para o diagnóstico ambiental dos estudos de impacto ambiental, deveriam ser considerados, dentre outros aspectos, os sítios e os monumentos arqueológicos, históricos e culturais da comunidade (BRASIL, 1986). Segundo Silva (2014), “a inclusão deste trecho na Resolução denota a conscientização da importância destes locais para a humanidade, sendo relevantes para a cultura de um povo a reconstrução de sua memória e identidade”. Ainda, com a Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605/1998), os crimes contra o patrimônio cultural passaram a sofrer sanções penais e administrativas, como o pagamento de multas e reclusão (BRASIL, 1998).

No âmbito dos empreendimentos, a Instrução Normativa do IPHAN nº 1/2015, que revoga as Portarias nº 230/2002 e nº 28/2003, estabeleceu os procedimentos administrativos a serem observados pelo órgão nos processos de licenciamento ambiental. Estabeleceu também os itens mínimos para a elaboração do Relatório de Avaliação de Impacto aos Bens Culturais Tombados, Valorados e Registrados e do Projeto de Avaliação de Impacto ao Patrimônio Arqueológico, dentre outros (BRASIL, 2015).

Os documentos necessários para a avaliação do IPHAN foram definidos a partir do nível do empreendimento, que pode variar de I a IV (Quadro 13). Para a mineração, tanto a implantação de infraestrutura quanto a exploração da jazida fazem referência à classificação de nível III, de acordo com o Anexo II da Instrução Normativa do IPHAN 01/2015.

Quadro 13: Procedimentos exigidos pelo IPHAN para o licenciamento de empreendimentos, segundo níveis de interferência no patrimônio arqueológico.

<i>Classificação do Empreendimento</i>	<i>Caracterização do Empreendimento</i>	<i>Procedimentos Exigidos</i>
Nível I	De baixa interferência sobre as condições vigentes do solo, localizados em áreas alteradas, não coincidentes com sítios arqueológicos cadastrados.	Apresentação de Termo de Compromisso do Empreendedor - TCE, conforme art. 15.
Nível II	De baixa e média interferência sobre as condições vigentes do solo e cujas características e dimensões sejam compatíveis com a adoção de ajustes ou medidas preventivas em campo	Acompanhamento Arqueológico, conforme arts.16 e 17.
Nível III	De média e alta interferência sobre as condições vigentes do solo, grandes áreas de intervenção, com limitada ou inexistente flexibilidade para alterações de localização e traçado.	Elaboração do Projeto de Avaliação de Impacto ao Patrimônio Arqueológico a ser previamente autorizado por Portaria do IPHAN, e procedimentos subsequentes, conforme arts. 18 e 19.
Nível IV	De média e alta interferência sobre as condições vigentes do solo e cujo traçado e localização precisos somente serão passíveis de definição após a fase de Licença Prévia ou equivalente.	Elaboração do Projeto de Avaliação de Potencial de Impacto ao Patrimônio Arqueológico a ser previamente autorizado por Portaria do IPHAN e procedimentos subsequentes, conforme arts. 21 e 22.
Não se aplica - NA	Empreendimentos que o IPHAN, a priori, não exigirá a aplicação desta Instrução Normativa, sem prejuízo da incidência da Lei n.º 3.924 de 26 de julho de 1961.	

Fonte: Brasil (2015)

4.6.5 Zonas Urbanas

A presença de zonas urbanas próximas aos empreendimentos minerários muitas vezes é inevitável, tendo em vista a rigidez locacional que caracteriza o setor minerário. Assim, as empresas precisam dar atenção às comunidades em seu entorno, buscando o melhor

relacionamento possível com as mesmas, tendo em vista a série de impactos ambientais e socioeconômicos gerados. O Quadro 14 destaca os impactos socioeconômicos positivos e negativos causados às comunidades presentes no entorno de empreendimentos minerários.

Quadro 14: Impactos socioeconômicos causados pela mineração nas comunidades de entorno

	Impactos Diretos/Comunidade	Impactos Indiretos/Território
Impactos Negativos	<p>Incômodos no cotidiano Impactos físicos Riscos à saúde e segurança Flutuação demográfica com impactos nos serviços públicos locais Especulação imobiliária</p>	<p>Flutuações demográficas com impactos nos serviços públicos e infraestrutura Aumento do custo de vida Dependência econômica Volatilidade do mercado internacional</p>
Impactos Positivos	<p>Empoderamento e organização comunitária Oportunidades de emprego Investimentos da empresa no desenvolvimento local</p>	<p>Receita tributária Fortalecimento institucional Massa salarial Desenvolvimento empresarial Formalização da economia</p>

Fonte: Vale S.A. (2017)

Neste contexto, surgiu o termo Licença Social para Operar (LSO) e sua não obtenção é classificada, atualmente, como um dos principais riscos para a mineração, segundo Santiago (2017). De acordo com este autor, a LSO é uma estratégia corporativa, resultado de um processo contínuo, através do qual as operações das empresas são submetidas à aceitação dos *stakeholders*¹¹. Esta licença não é concedida por meio de um documento, é algo abstrato, que reflete o relacionamento estável e benéfico entre as partes envolvidas. Este autor também afirmou que o processo de obtenção da LSO vai além da gestão de riscos, estando relacionado também ao gerenciamento de impactos causados pelo empreendimento e à criação de benefícios locais. Vale ressaltar que as avaliações de impactos sociais e ambientais devem ser feitas continuamente.

Segundo a Fundação Dom Cabral (s.d.), a LSO é “uma das justificativas para a incorporação da sustentabilidade como ferramenta estratégica de uma organização, já que sem responsabilidade social e ambiental a licença social pode não ser obtida”.

Apesar da incorporação recente do conceito da LSO, os avanços da indústria mineral nas últimas décadas não foram expressivos na área social. O mau relacionamento com as comunidades presentes na área de influência dos empreendimentos gera impactos negativos sobre a reputação das empresas e um grande custo, decorrentes de paralisações, perda de produtividade, desgastes com processos judiciais, atrasos na obtenção de licenças ambientais, gestão de conflitos, entre outros (SANTIAGO, 2017).

¹¹ São as partes interessadas de um empreendimento: clientes, funcionários, investidores, fornecedores, entre outros.

4.6.6 Áreas prioritárias para conservação da biodiversidade

Segundo Bioversitas *et al.* (2009), Minas Gerais é um dos Estados brasileiros mais ricos em biodiversidade e que muito tem investido em conservação. Entre as publicações mais importantes sobre o tema estão o Atlas das Áreas Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade, que definiu as áreas prioritárias para conservação e as diretrizes para garantir a manutenção da qualidade ambiental e da diversidade biológica, e as Listas Vermelhas das Espécies Ameaçadas de Extinção.

A indicação de áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade se justifica, segundo a Bioversitas (2005) pela “pequena disponibilidade de recursos, humanos e financeiros, frente à grande demanda para a conservação”. O Quadrilátero Ferrífero, que é um ambiente único no Estado, foi classificado como de especial importância biológica, por conta do endemismo de anfíbios e plantas, alta riqueza de vertebrados e presença de campos ferruginosos (BIOVERSITAS, 2005).

O Atlas das Áreas Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade apresenta-se como um instrumento norteador na tomada de decisões e no planejamento de ações e de atividades relacionadas à proteção e à manutenção de espécies nativas e, conjugado a outros instrumentos, fornece subsídios para o delineamento de estratégias de conservação da biodiversidade. Em 2002, a Deliberação Normativa (DN) COPAM nº 55 estabeleceu diretrizes para nortear a conservação da biodiversidade em Minas Gerais com base no Atlas, o que significou seu reconhecimento como um instrumento básico para a formulação das políticas estaduais de conservação (BRASIL, 2002).

A DN 55/2002 determinou também que os estudos ambientais a serem objeto de análise no licenciamento ambiental deverão considerar o Atlas como instrumento norteador. Além disso, as áreas identificadas no Atlas deverão ser consideradas prioritárias para a definição de novas Unidades de Conservação. Porém, como citado pela DN 55/2002, deverão ser realizadas atualizações sistemáticas e periódicas no diagnóstico das áreas para propiciar a contínua consonância com os estudos técnicos e científicos (BRASIL, 2002). Portanto, deve-se realizar investimentos contínuos para aumentar o conhecimento sobre a biodiversidade.

Os empreendimentos devem buscar formas de atuação que impactem minimamente a biodiversidade e os serviços ambientais oferecidos pelos ecossistemas, harmonizando a conservação da biodiversidade com o desenvolvimento social e econômico e a utilização de recursos naturais. Os estudos ambientais a serem realizados no processo de licenciamento

ambiental de empreendimentos nestas áreas precisam ser detalhados e cuidadosos, para que se garanta a conservação da biodiversidade local.

4.6.7 Barragens

A exploração mineral no Quadrilátero tem gerado uma quantidade cada vez maior de rejeitos a serem dispostos. Segundo Fernandes (2017), “as barragens de rejeito são uma opção largamente utilizada para a destinação de resíduos provenientes do processo de extração e beneficiamento do minério”. Essa forma de disposição exige cuidados quanto à segurança e à estabilidade, já que os riscos relacionados a eventuais rupturas desses sistemas de contenção podem gerar grandes prejuízos ambientais (PEREIRA, 2005).

Em 2010 foi criada a Política Nacional de Segurança de Barragens, por meio da Lei nº 12.334. Esta Lei se destina às barragens de acumulação de água para quaisquer usos, às barragens de disposição final ou temporária de rejeitos e às barragens de acumulação de resíduos industriais (BRASIL, 2010). Segundo a Lei, as barragens devem possuir pelo menos uma das seguintes características: altura do maciço maior ou igual a 15 m, capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000 m³, reservatório que contenha resíduos perigosos e categoria de dano potencial associado, médio ou alto, para serem cadastradas segundo a lei supracitada (BRASIL, 2010).

De acordo com Fernandes (2017), todas as barragens devem ser declaradas, anualmente, aos órgãos fiscalizadores (mesmo estando em construção ou desativadas). Assim, segundo a autora, é possível promover o planejamento e a regulação da exploração mineral, assegurando, controlando e fiscalizando o exercício das atividades de mineração. Todavia, existem atualmente dois tipos de classificação de barragens vigentes no país, o que leva a uma grande divergência nas informações cadastradas, reduzindo a efetividade da fiscalização.

O DNPM, por meio da Portaria nº 70.389/2017, classifica as barragens de mineração de acordo com o Quadro 15. A definição da categoria de risco e do dano potencial associado ocorre por meio das matrizes de classificação entre os critérios apresentados do Quadro 16.

Quadro 15: Classificação de Barragens segundo o DNPM (Portaria nº 70.389/2017)

Classificação de Barragens - DNPM			
	Dano Potencial Associado		
Categoria de Risco	Alto	Médio	Baixo
Alto	A	B	C
Médio	B	C	D
Baixo	B	C	E

Fonte: Brasil (2017b)

Quadro 16: Critérios avaliados para determinação da categoria de risco e do dano potencial de barragens

Classificação	Critérios avaliados
Categoria de risco	Características técnicas, do estado de conservação do empreendimento e do atendimento ao Plano de Segurança da Barragem
Dano potencial	Potencial de perdas de vidas humanas e dos impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes da ruptura da barragem.

Fonte: Brasil (2010b)

Em contrapartida, o COPAM (DN 87/2005) classifica as barragens em baixo, médio e alto potencial de dano ambiental, conforme Quadro 17.

Quadro 17: Classificação de Barragens segundo a DN COPAM 87/2005

Classificação de Barragens - COPAM		
Classes	Potencial de Dano Ambiental	Somatório (V)
I	Baixo	$V \leq 2$
II	Médio	$2 < V \leq 5$
III	Alto	$(V > 5)$

Fonte: Minas Gerais (2005)

O somatório utilizado nesta classificação considera a altura da barragem, o volume do reservatório, a ocupação humana a jusante, o interesse ambiental a jusante e as instalações na área de jusante, conforme o Quadro 18.

Quadro 18: Critérios para a classificação de barragens segundo o COPAM.

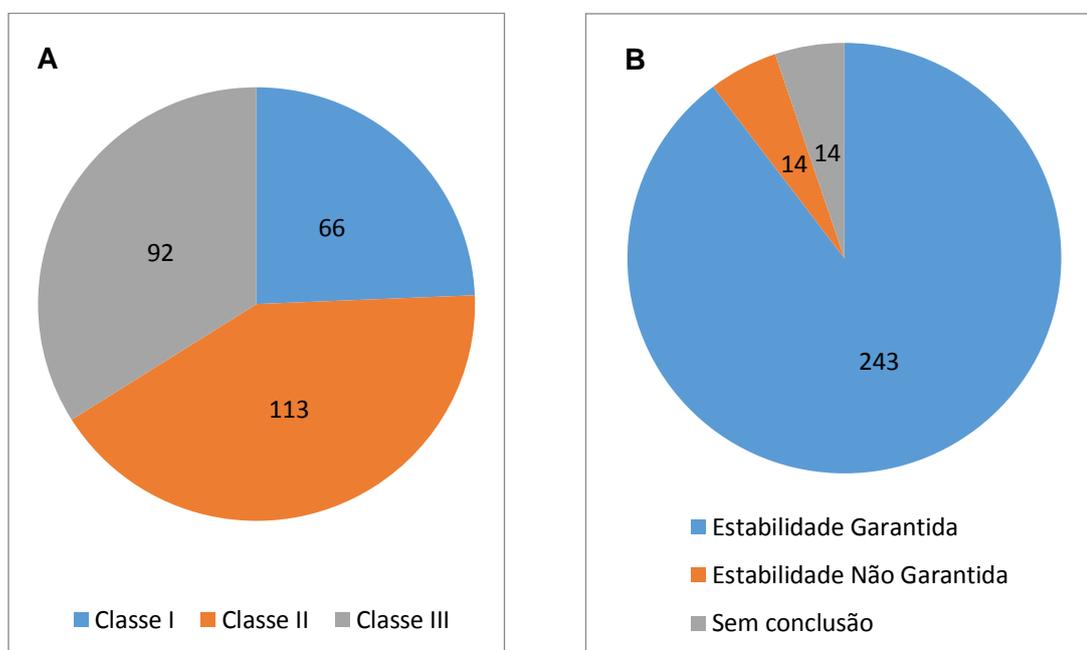
Critérios para classificação das barragens									
Altura da barragem (m)		Volume do Reservatório ($\times 10^6 \text{ m}^3$)		Ocupação humana a jusante		Interesse ambiental a jusante		Instalações na área de jusante	
$H < 15$	$V = 0$	$V_r < 0,5$	$V = 0$	Inexistente	$V = 0$	Pouco significativo	$V = 0$	Inexistente	$V = 0$
$15 \leq H \leq 30$	$V = 1$	$0,5 \leq V_r < 5$	$V = 1$	Eventual	$V = 2$	Significativo	$V = 1$	Baixa concentração	$V = 1$
$H > 30$	$V = 2$	$V_r > 5$	$V = 2$	Existente	$V = 3$	Elevado	$V = 3$	Alta concentração	$V = 2$
-	-	-	-	Grande	$V = 4$				-

Fonte: Minas Gerais (2005)

A DN COPAM 87/2005, estabeleceu, a partir da classificação, a periodicidade de Auditorias Técnicas de Segurança, sendo: a cada 1 ano para barragens de Classe III, a cada 2 anos para as de Classe II e cada 3 anos para as de Classe I (MINAS GERAIS, 2005).

O Inventário de Barragem do Estado de Minas Gerais publicado pela Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM (2016) foram registradas 271 barragens no Quadrilátero Ferrífero (cerca de 40% do total de barragens em Minas Gerais). A classificação das barragens segundo a DN COPAM 87/2005 é mostrada na Figura 11A e a situação de estabilidade na Figura 11B. A maioria das barragens são Classe II e possuem estabilidade garantida.

Figura 11A: Classificação das barragens do Quadrilátero Ferrífero segundo DN COPAM 87/2005. Figura 11B: Situação de Estabilidade das Barragens



Fonte: FEAM (2016)

O rompimento da barragem de Fundão em 2015, no município de Mariana, levantou uma grande discussão sobre as questões de segurança de barragens e sobre os impactos que esta forma de disposição de rejeitos causa ao meio ambiente. Segundo Pereira (2005), os impactos ambientais associados às rupturas de sistemas de contenção de rejeitos causam:

A modificação do relevo local, a degradação e remoção de camadas de solo superficial, a supressão e o comprometimento de áreas de vegetação, o assoreamento das águas e mananciais, a indução e aceleração de processos erosivos e de movimentos de massa secundários são exemplos destes impactos [...], o aumento da quantidade de sólidos em suspensão (turbamento dos corpos hídricos), as interferências sobre o nível freático local, a introdução de soluções

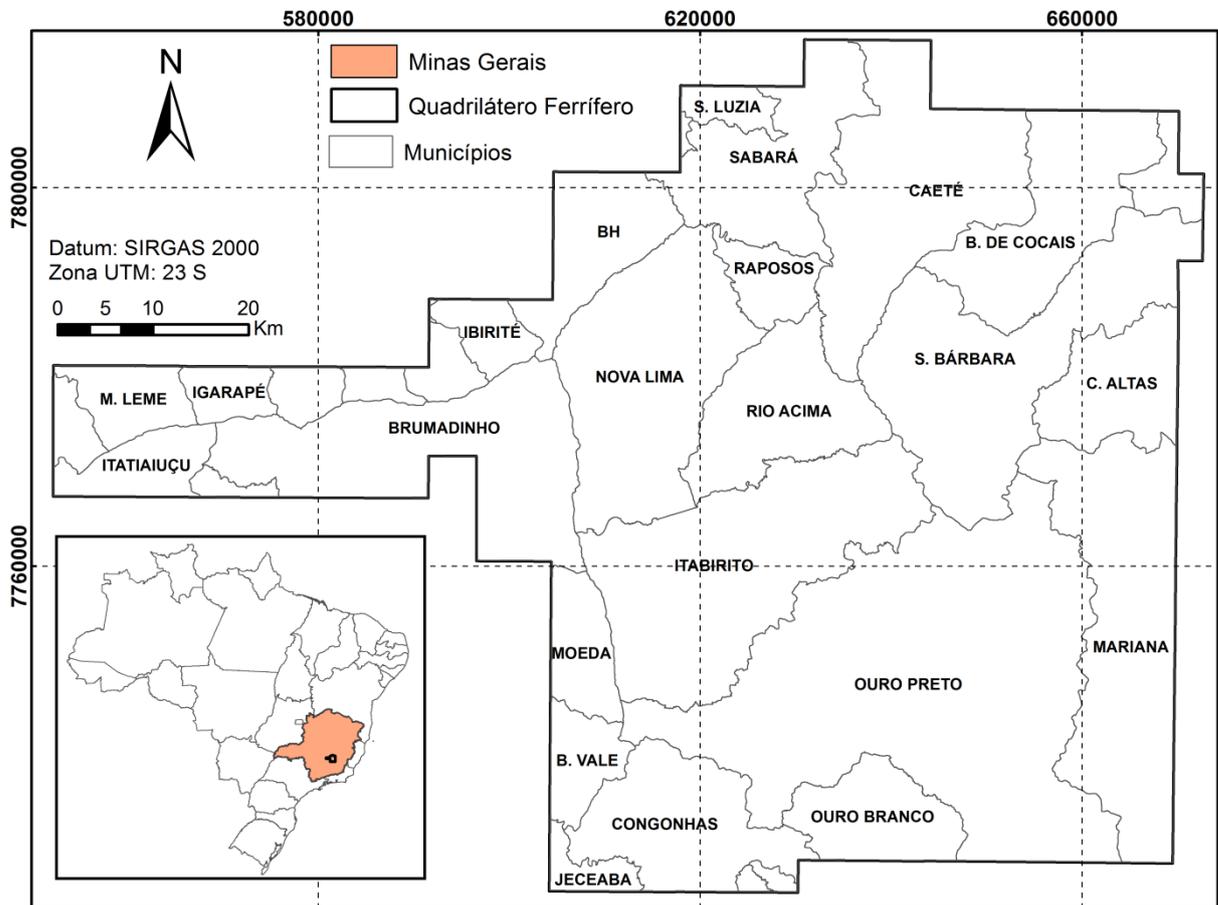
ácidas e precipitação de sulfatos nas águas superficiais e subterrâneas e o comprometimento da qualidade do ar [...], riscos associados à degradação ou comprometimento de áreas destinadas às habitações e edificações, reduções de vazão de cursos d'água, comprometimento da qualidade das águas destinadas ao abastecimento público e efeitos de vibrações. Questões socioeconômicas, inclusive associadas à perda de vidas humanas, constituem elementos preponderantes para a consideração da segurança das estruturas de contenção de rejeitos.

Assim, uma forma de se evitar os impactos cumulativos e sinérgicos em uma bacia hidrográfica causados pelo rompimento de barragens seria o estudo e a definição de locais mais apropriados para sua construção. Logo, a partir de uma melhor gestão do território, pode ser restringida a acumulação, ao longo de um mesmo recurso hídrico, de inúmeras barragens, evitando danos ambientais, e, em caso de fatalidade, de rompimentos em cascata.

5. METODOLOGIA

O Quadrilátero Ferrífero, localizado na região centro-sul do Estado de Minas Gerais, foi definido como área de estudo por sua importância minero-ambiental, abrangendo 31 municípios, conforme Figura 12. A área ocupada por cada um desses municípios bem como o detalhamento dos minerais explorados em cada um deles se encontram descritos na Quadro 19.

Figura 12: Área de Estudo



Quadro 19: Dados dos Municípios do Quadrilátero Ferrífero

Município	Área no Quadrilátero (km ²)	Minério explorado ¹
Barão de Cocais	275,7	Ferro e Ouro
Belo Horizonte	165,7	Areia e Cascalho, Areia Industrial, Dolomito
Belo Vale	76,1	Manganês
Betim	0,7	Areia e Cascalho, Pedras Britadas
Brumadinho	433,4	Ferro
Caeté	430,7	Alumínio (Bauxita)
Catas Altas	164,9	Ferro e Serpentinó Industrial
Congonhas	244,1	Ferro
Conselheiro Lafaiete	6,6	Manganês
Ibirité	57,5	Ferro
Igarapé	49,9	Ferro e Filito
Itabirito	542,4	Ferro
Itatiaiuçu	88,0	Ferro
Itaúna	35,4	
Jeceaba	37,1	
Mariana	456,1	
Mário Campos	25,7	
Mateus Leme	84,1	Algomatolito, Ferro, Grafita
Moeda	92,9	
Nova Lima	428,8	Ferro, Ouro e Serpentinó Industrial
Ouro Branco	155,0	
Ouro Preto	1091,5	Dolomito e Ferro
Raposos	72,2	Ouro
Rio Acima	229,7	Ferro
Rio Manso	17,0	
Sabará	260,8	Pedras Britadas, Ferro e Ouro
Santa Bárbara	491,4	Alumínio (Bauxita), Ferro e Ouro
Santa Luzia	40,0	Pedras Britadas
São Gonçalo do Rio Abaixo	48,6	Ferro
São Joaquim de Bicas	40,7	
Sarzedo	41,6	

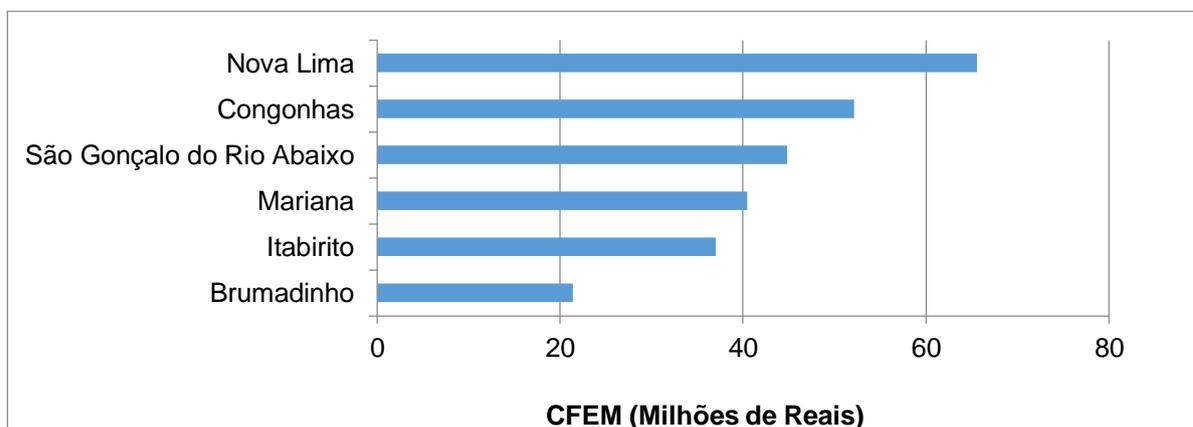
¹ Dados publicados no "Índice de Fatores Condicionantes do ZEE para Mineração no Estado de Minas Gerais", que não apresentou dados de todos os municípios.

Fonte: Pereira *et al.* (s.d.)

Os valores de Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM) pagos em 2017 pelos empreendimentos minerários localizados nos municípios do Quadrilátero comprovam a importância desta região para a economia de Minas Gerais e do Brasil. Os valores pagos aos municípios de Brumadinho, Itabirito, Mariana, São Gonçalo do

Rio Abaixo, Congonhas e Nova Lima ultrapassam 52% total pago em todo o Estado no ano de 2017, totalizando cerca de 261,5 milhões de reais, conforme Figura 13.

Figura 13: Valores de CFEM pagos à alguns municípios mineradores de Minas Gerais em 2017



Fonte: DNPM (2018)

Após a definição da área de estudo, foi feita a busca por informações sobre os temas inerentes à pesquisa: importância do Quadrilátero Ferrífero, instrumentos de planejamento e gestão ambiental, zoneamento ambiental, licenciamento ambiental de empreendimentos minerários, SIG, entre outros. Por meio da consulta em artigos científicos, livros, teses e dissertações, foi possível obter o embasamento teórico para o desenvolvimento do estudo, o aperfeiçoamento das técnicas de geoprocessamento utilizadas e a interpretação dos resultados.

A partir do estabelecimento do objetivo do trabalho, buscou-se em sites governamentais e em órgãos ambientais (MMA, IBGE, SEMAD, etc) os dados cartográficos e alfanuméricos disponíveis para o Quadrilátero Ferrífero que poderiam estabelecer algum vínculo com o propósito do estudo. Foram definidas algumas variáveis influentes para o desenvolvimento de conflitos ambientais e que poderiam interferir no processo de licenciamento ambiental de empreendimentos minerários ao longo do Quadrilátero Ferrífero.

Os dados foram organizados em camadas funcionais na plataforma SIG com o intuito de auxiliar as próximas etapas de desenvolvimento da pesquisa. Todos os cartogramas foram recortados para o formato do Quadrilátero Ferrífero e convertidos para o Datum SIRGAS 2000, por meio do software ArcGIS 9.3. Durante a inventariação dos dados buscou-se a aquisição dos produtos com as maiores escalas disponíveis, todavia, nem sempre escalas

adequadas ao cumprimento do objetivo deste trabalho foram encontradas. A relação dos dados espaciais, com suas respectivas estruturas, fontes e escalas, está descrita no Quadro 20.

Quadro 20: Dados alfanuméricos e espaciais primários utilizados

<i>Dados/Informações</i>	<i>Estrutura</i>	<i>Fonte</i>	<i>Escala</i>
Imagem SRTM	Raster	USGS	Resolução: 30 m
Unidades de Conservação	Vetor - Polígono	IEF	Sem informação*
Áreas urbanas	Vetor - Polígono	Embrapa	1:50.000
Tendência de expansão das áreas urbanas	Vetor - Polígono	ZEE-MG	Sem informação*
Processos Minerários	Vetor - Polígono	DNPM	Sem informação*
Concessões de Lavra	Vetor - Polígono	DNPM	Sem informação*
Cadastro Nacional de Barragens	Dados Alfanuméricos	DNPM	Não Aplicável
Cavidades	Vetor - Ponto	CECAV/ICMBio	Sem informação*
Potencialidade de ocorrência de cavidades	Vetor-Polígono	Jansen <i>et al.</i> (2012)	1:2.500.000
Limites municipais	Vetor - Polígono	DCGOT/IGTEC	1:10.000
Áreas Prioritárias para Conservação da Biodiversidade	Vetor - Polígono	Bioversitas	1:1.750.000
Sítios Arqueológicos	Vetor - Ponto	IPHAN	Sem informação*

* Os sites governamentais em que os dados foram retirados não apresentaram informação sobre a escala.

Após a aquisição de dados, iniciou-se a elaboração de produtos cartográficos intermediários necessários para o zoneamento ambiental proposto. No mapa das unidades de conservação, todas as categorias de unidades de conservação de proteção integral foram compiladas em um único polígono, bem como as de uso sustentável, excetuando-se apenas a categoria APA, que, devido às suas características, recebeu um peso diferenciado na análise. Foi criado um buffer de 3 km em torno de todas as unidades de conservação, excluindo-se as zonas urbanas, de forma que as zonas de amortecimento pudessem ser consideradas. Dada à importância das unidades de conservação, elas serão uma das variáveis mais relevantes para a determinação das zonas críticas do Quadrilátero Ferrífero.

O mapa de áreas prioritárias para a conservação foi adaptado do estudo "Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para sua conservação", que identificou as áreas mais importantes para a conservação da biodiversidade no estado de Minas Gerais, considerando dados de fauna e flora. As áreas foram classificadas segundo sua importância biológica em: Alta, Muito Alta, Extrema e Especial. Assim, obtiveram-se para a área do Quadrilátero as classificações quanto à importância de conservação da biodiversidade. Este mapa, assim

como o de Unidades de Conservação, devido sua importância, receberão pesos elevados na análise.

O Mapa de Potencialidade de Ocorrência de Cavernas no Brasil foi feito na escala 1:2.500.000, e, pela classificação litológica, foram geradas cinco classes de grau de potencialidade: Muito Alto, Alto, Médio, Baixo e Ocorrência Improvável (Jansen *et al.*, 2012). Este mapa foi utilizado em conjunto com o mapa da localização das cavidades mantidas na base de dados do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV). Além disso, em torno das cavidades foi aplicado um buffer de 250 m, representando a área de influência.

O mapa de áreas urbanas envolveu a integração das zonas urbanas consolidadas e das zonas passíveis de expansão, ambas em estrutura poligonal. Acrescido a essas duas zonas, foi realizado o cálculo da distância euclidiana, que mensura a distância linear dessas entidades poligonais ao limite do Quadrilátero Ferrífero. Por fim, as distâncias euclidianas foram classificadas arbitrariamente em duas classes, uma variando de 0 a 6 km e outra de 6 a 11,9 km (distância máxima encontrada). Essas classes permitiram a consideração de que as áreas mais distantes das zonas urbanas são preferidas para a instalação de empreendimentos minerários, evitando-se a geração de impactos nessas áreas.

Os sítios arqueológicos considerados neste estudo se encontram inscritos no Cadastro Nacional de Sítios Arqueológicos. O mapa obtido traz apenas a informação sobre o total de sítios por município. Assim, este critério recebeu um peso inferior na análise, já que não foram obtidos dados mais precisos sobre a localização destes sítios, sua extensão, etc.

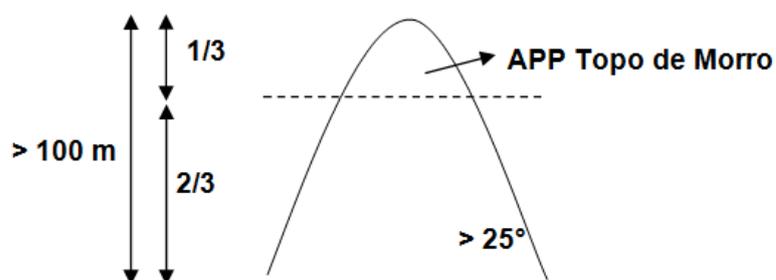
Para a análise das bacias hidrográficas mais impactadas pela mineração foi considerada a densidade de barragens, ou seja, a quantidade de barragens presentes em cada bacia hidrográfica que drena para fora do Quadrilátero Ferrífero. O produto final desse equacionamento foi categorizado em classes de densidade variando de muito baixa a muito alta, de acordo com o número de barragens por km² presentes em cada classe. A densidade de barragens recebeu na análise um peso mais elevado que as APPs, porém não foi considerado como um fator extremamente crítico.

A partir da imagem SRTM foram derivadas as seguintes informações: Bacias Hidrográficas, Drenagens e Declividade, que foram utilizados posteriormente para a elaboração do mapa de Áreas de Preservação Permanente, que considerou as seguintes APPs: Declividade, Elevação, Drenagem, Topo de Morros, Montes, Montanhas e Serras.

A inclusão da APP de drenagem na análise se justificou pelo caráter preventivo do modelo de zoneamento proposto. Logo, como o calibre dos corpos d' água da região não puderam

ser determinados, a delimitação da APP levou em consideração o espaçamento mínimo aplicável pela legislação, isto é, 30 m. Gerou-se a APP das áreas em altitude superior a 1.800 m, diretamente da imagem SRTM. Com o mapa de declividade, foi possível obter as APP referentes às encostas com declividade superior a 45°. Para as APPs de topo de morros foram consideradas as áreas com declividade maior que 25° e as feições com alturas maiores que 100 m. Assim, o terço superior dos morros foram classificados como APP, conforme Figura 14. O mapa final das APPs, considerando as quatro categorias citadas, não recebeu um peso elevado na técnica AHP, visto que não há para a mineração impedimentos legais para a intervenção ambiental em áreas de preservação permanente.

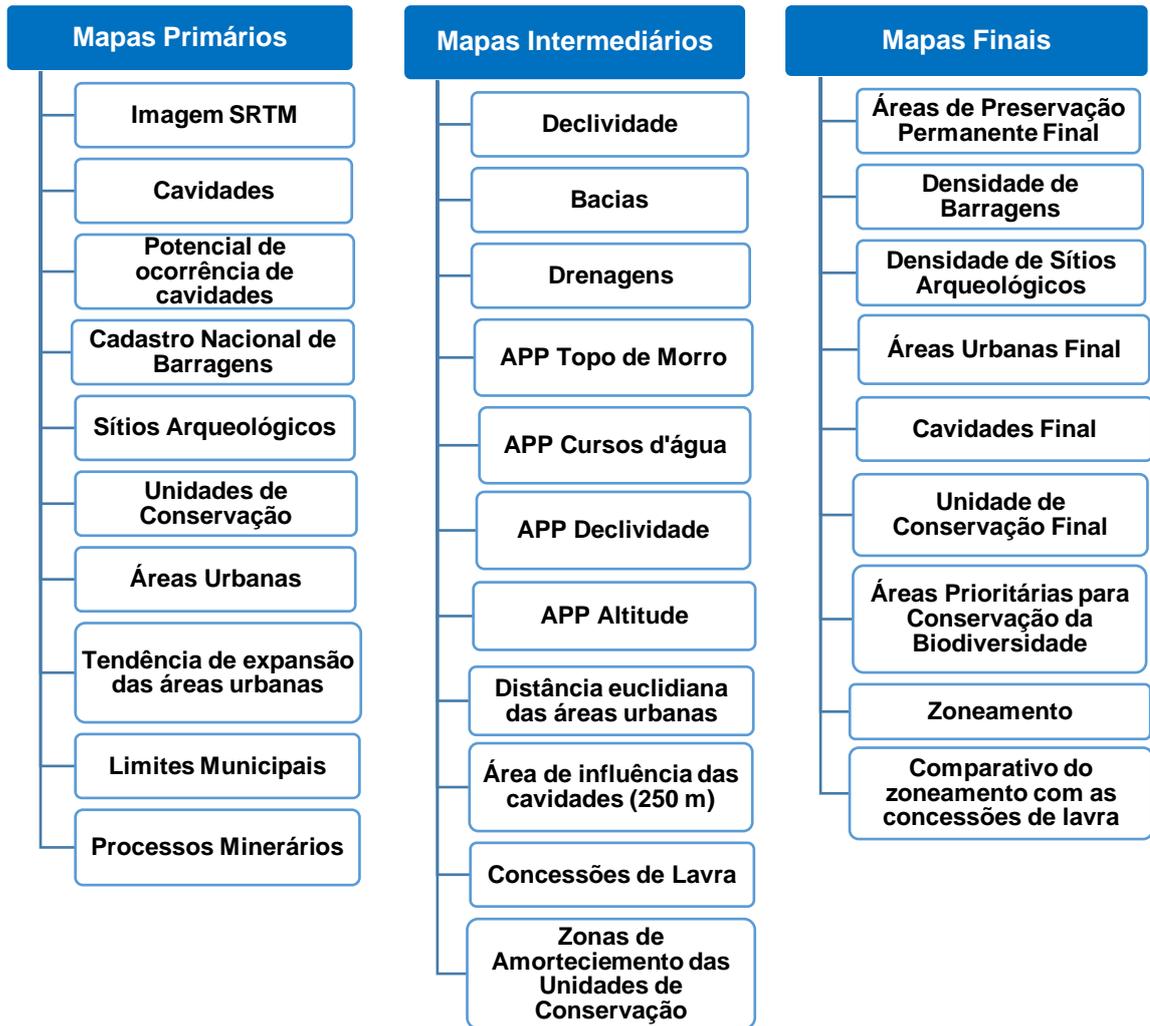
Figura 14: Definição da APP de Topo de Morro



Fonte: Brasil (2012)

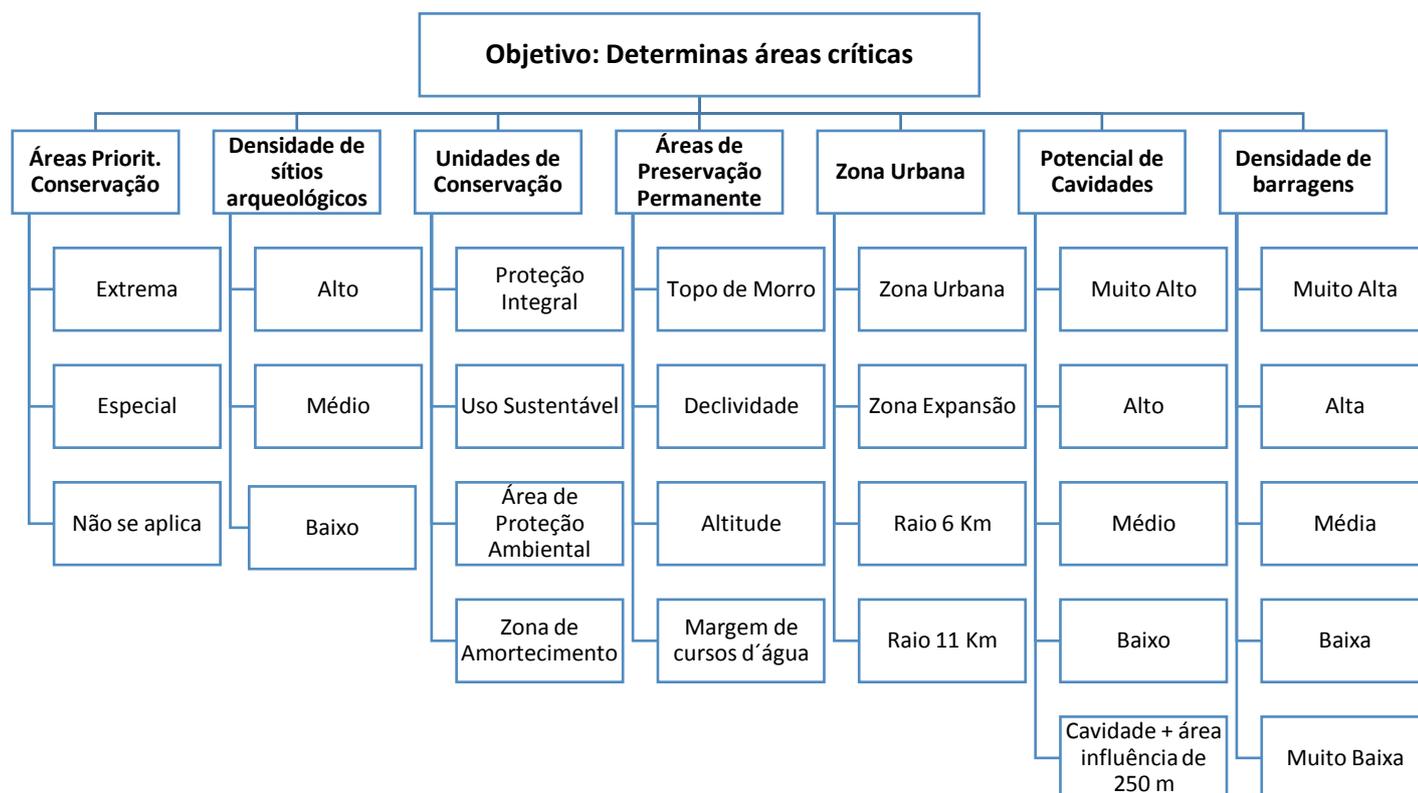
A Figura 15 apresenta um detalhamento dos mapas primários utilizados para a derivação dos mapas intermediários e finais.

Figura 15: Relação de mapas utilizados no estudo



Após a finalização de todos os mapas, aplicou-se a técnica AHP (*Analythic Hierarchy Process*), por meio de uma matriz de comparação que utiliza a escala de importância de Saaty, para quantificar o grau de importância relativa de cada critério e subcritério. A hierarquia considerada na técnica AHP está detalhada na Figura 16.

Figura 16: Objetivo, critérios e subcritérios utilizados na técnica AHP



Com a devida atribuição de pesos aos critérios e subcritérios, o processamento do modelo de zoneamento ambiental proposto foi realizado a partir da soma algébrica dos pesos dos subcritérios multiplicados pelos seus respectivos critérios. Esse processamento produziu um índice variando de 0 a 1, onde 1 representa as áreas mais complexas do ponto de vista ambiental, ou seja, que necessitam de estudos mais aprofundados para o estabelecimento de um empreendimento mineral.

Por fim, foi realizada a comparação espacial do modelo de zoneamento elaborado para o Quadrilátero Ferrífero com os dados referentes aos processos minerários do DNPM, com o intuito de verificar visualmente os empreendimentos que pretendem se instalar em regiões críticas. Ainda, para demonstrar a aplicabilidade do modelo de zoneamento proposto, foram selecionadas duas áreas, situadas em regiões contrastantes do modelo, para se discutir a ocorrência de critérios locais que poderão impactar o processo de licenciamento ambiental.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir serão apresentados os resultados e as discussões de cada critério considerado no estudo, bem como da integração dos mesmos.

6.1 Unidades de Conservação

Como pode ser observado na Figura 17, grande parte do Quadrilátero Ferrífero encontra-se delimitado por unidades de conservação. As áreas cobertas por unidades de conservação de proteção integral totalizam 616 km², enquanto as de uso sustentável, 217 km², excetuado as Áreas de Proteção Ambiental (APAs) que, apesar de serem unidades de conservação de uso sustentável, foram deixadas isoladas durante a construção dos mapas intermediários. As APAs ocupam cerca de 1876 km², sendo que, apenas a APA Sul, representa aproximadamente 87% deste total.

De acordo com os pesos atribuídos na técnica AHP (Apêndice A), as unidades de proteção integral contribuíram com 55,5% para a identificação das zonas ambientalmente mais sensíveis para o desenvolvimento de atividades minerárias, enquanto as unidades de uso sustentável, as APAs e as zona de amortecimento contribuem, respectivamente, com 25,2%, 9,7% e 9,7% (Figura 18). As áreas que não abrangem nenhum tipo de unidade de conservação receberam peso nulo.

Figura 17: Unidades de Conservação

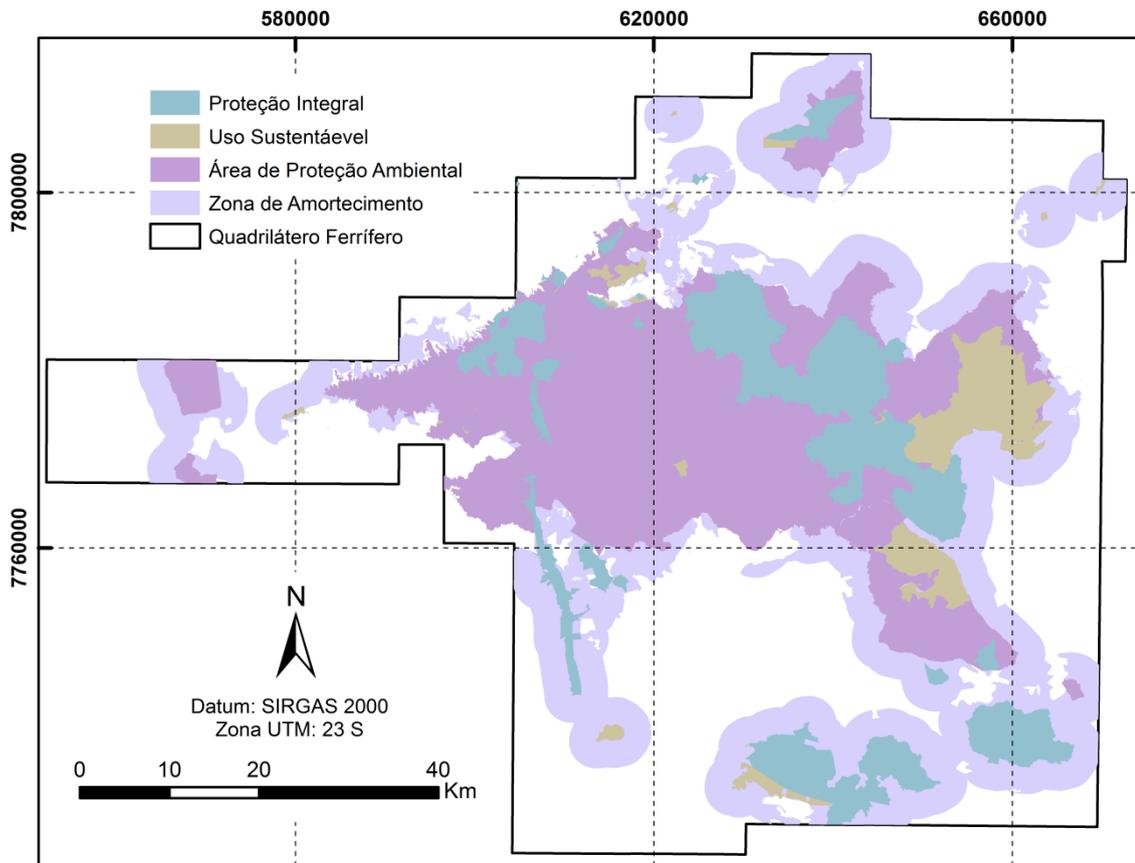
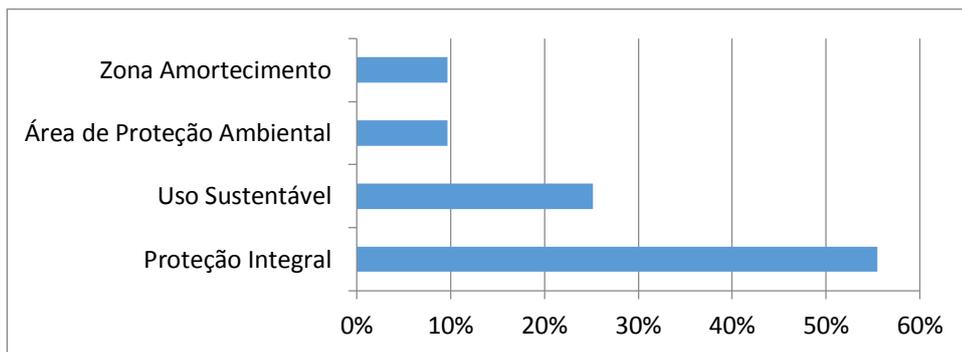


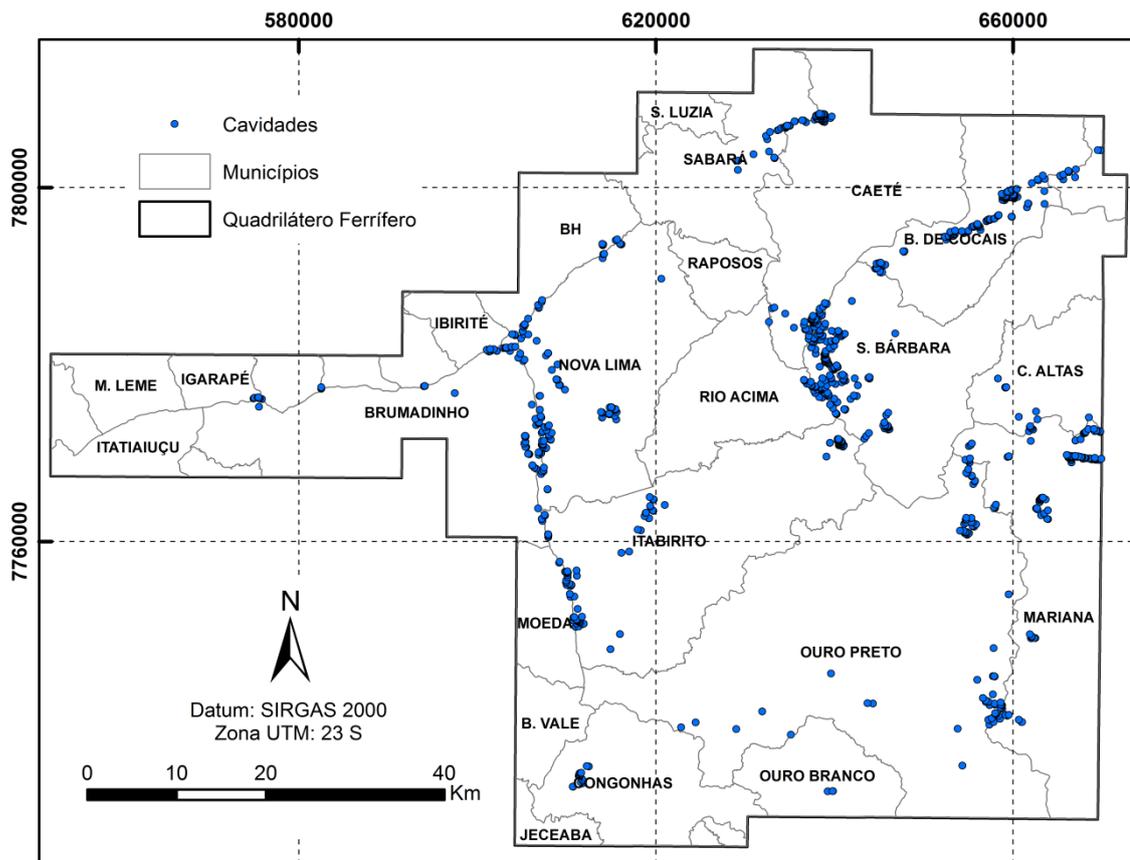
Figura 18: Priorização dos subcritérios das Unidades de Conservação



6.2 Cavidades Naturais

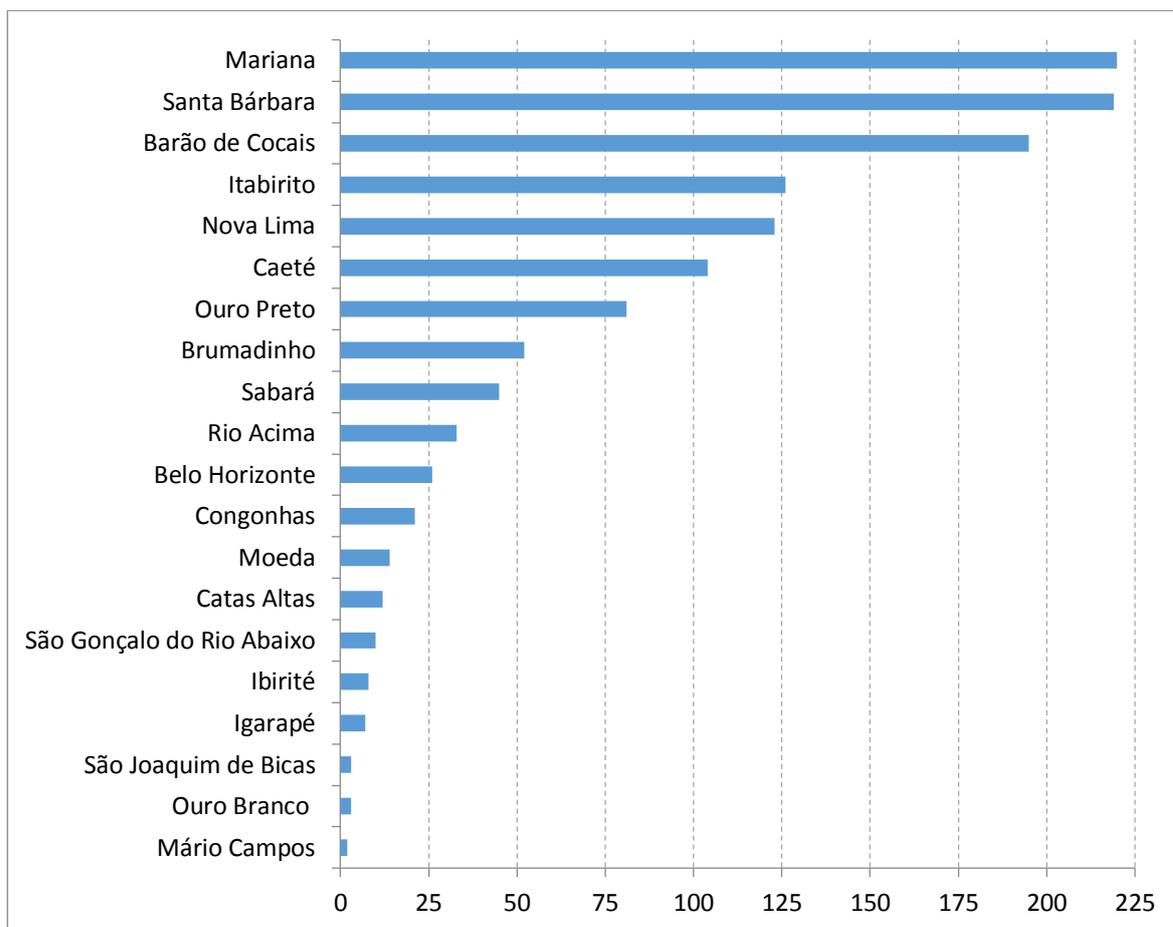
Pela base de dados do CECAV, existem 1304 cavidades naturais na área de estudo (Figura 19), e, dessas, 944 se encontram em litologias associadas ao ferro, como cangas, formação ferrífera bandada e rocha ferríferas.

Figura 19: Cavidades Naturais



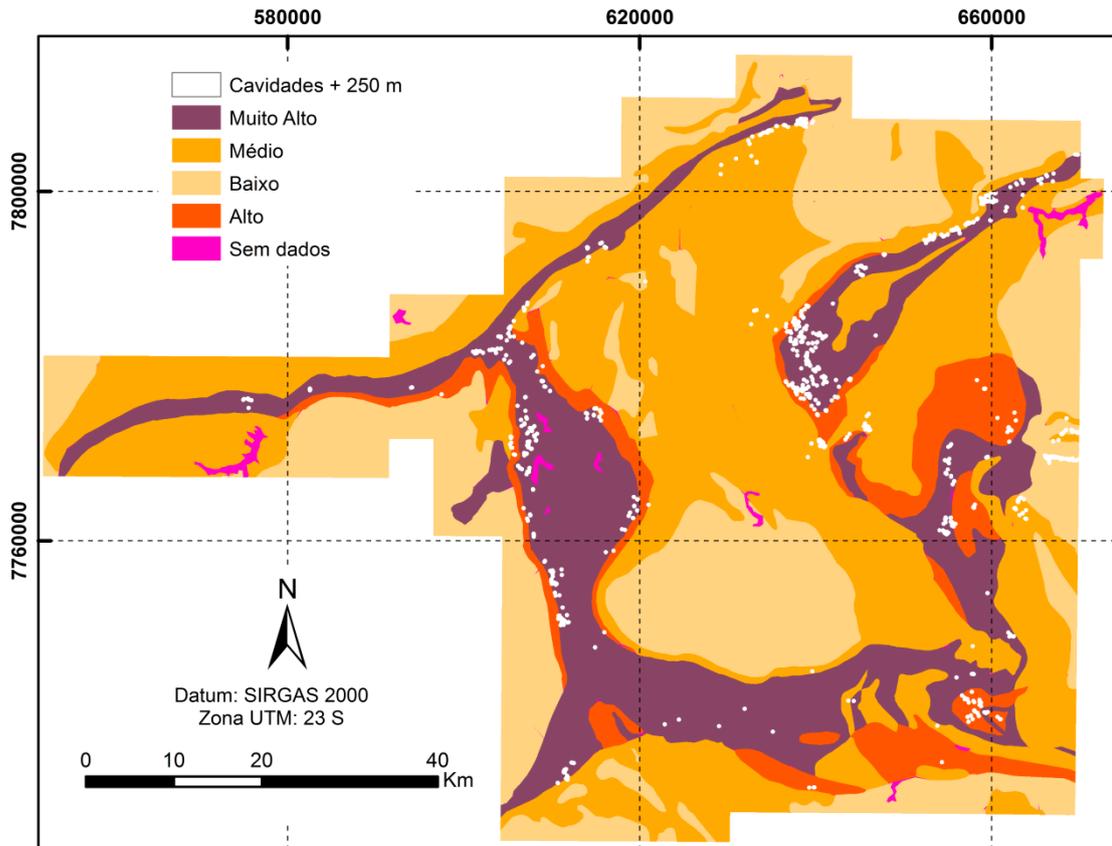
Cerca de 50% das cavidades naturais prospectadas no Quadrilátero Ferrífero se localizam nos municípios de Barão de Cocais, Santa Bárbara e Mariana (conforme Figura 20).

Figura 20: Cavidades Naturais, por município do Quadrilátero Ferrífero

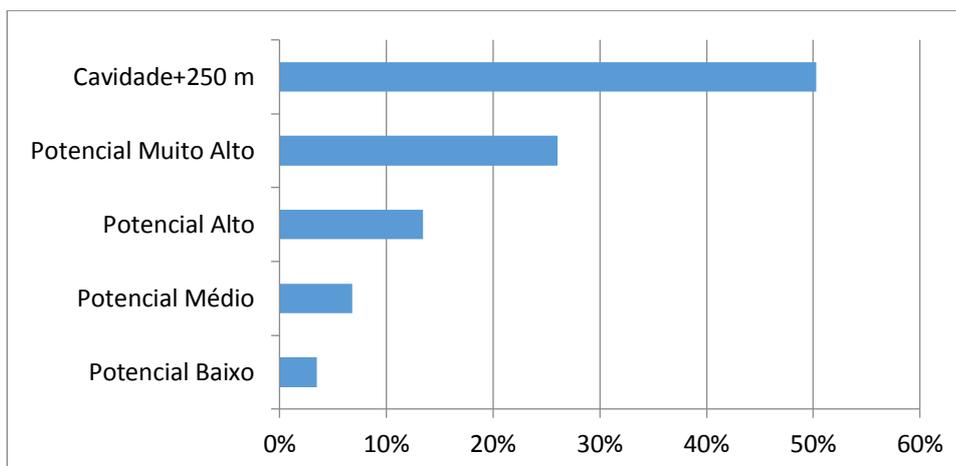


No Quadrilátero Ferrífero, aproximadamente 28% do território são áreas com graus de potencialidade de ocorrência de cavidades muito alto e alto. Cerca de 41% da área foi classificada como de média potencialidade e 30% como de baixa potencialidade. Para este estudo, o mapa de potencialidade de ocorrência de cavidades foi modificado (Figura 21), de modo que as cavidades naturais e sua área de influência de 250 m também fossem consideradas na técnica AHP.

Figura 21: Mapa de Cavidades acrescido das cavidades e sua zona de influência



São poucas as áreas no Quadrilátero que, devido à sua constituição geológica e geomorfológica, não tenham algum potencial para o desenvolvimento de cavidades naturais. Pela técnica AHP atribuiu-se a importância de 50,3% para os locais com presença de cavidade (considerando o raio de 250 m) dada a sua relevância, 26% para as áreas com potencial muito alto de ocorrência, 13,4% para as áreas com alto potencial de ocorrência, 6,8% para as áreas com médio potencial de ocorrência e 3,5% para as áreas com baixo potencial de ocorrência (Figura 22 e Apêndice B). As regiões em que não haviam dados sobre a presença de cavidades ou seu potencial de ocorrência receberam peso nulo.

Figura 22: Priorização dos subcritérios das Cavernas Naturais

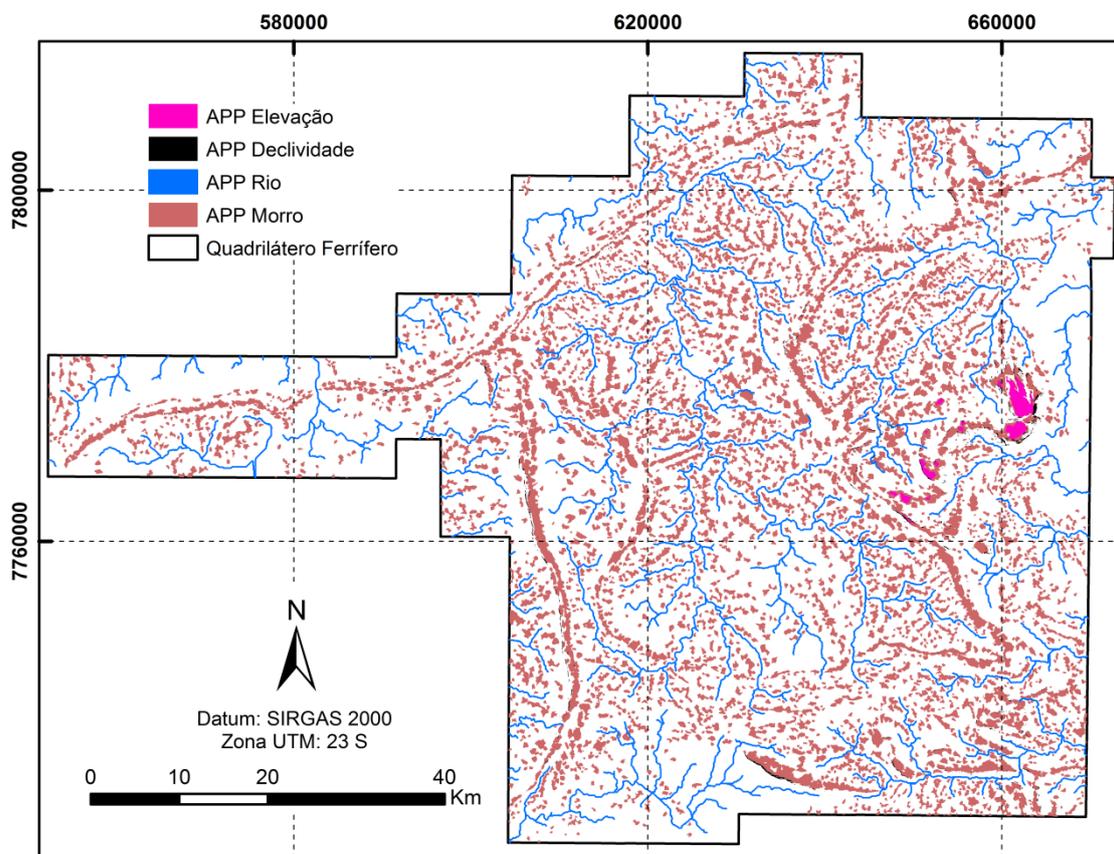
6.3 Áreas de Preservação Permanente

Foi possível constatar que mais de 20% do Quadrilátero Ferrífero é formado por áreas de preservação permanente (APPs) (Quadro 21). As APPs mapeadas referentes à área de estudo podem ser observadas na Figura 23.

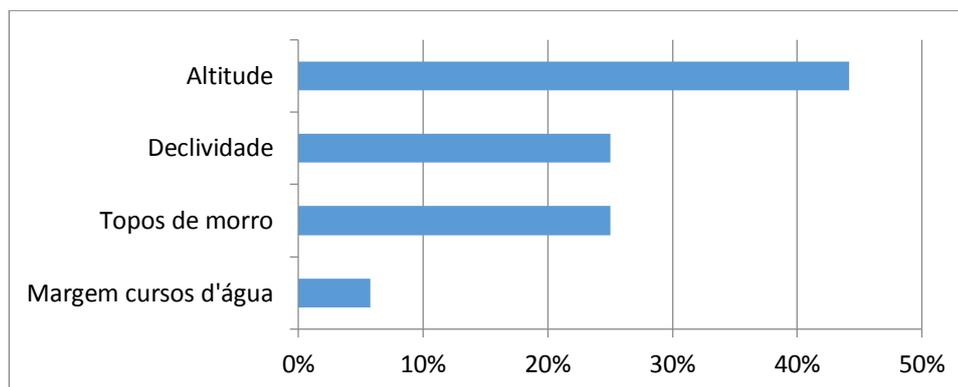
Quadro 21: Áreas de Preservação Permanente no Quadrilátero Ferrífero

Categoria	Total em km²	% no Quadrilátero
APP Elevação	14,8	0,24
APP Declividade	12,5	0,20
APP Rio	112,3	1,81
APP Morro	1186,5	19,15
Total	1326,1	21,4

Figura 23: Áreas de Preservação Permanente



Pela baixa precisão das APPs de margem de cursos d'água, estas receberam o menor peso no cálculo da AHP (5,8%). As APPs de Topo de Morro e as de Declividade receberam o mesmo peso (25%), visto que seus processamentos derivam de técnicas de conversão entre formatos rasters que perdem precisão em baixas resoluções (elevação - declividade). As APPs de Elevação receberam um maior peso (44,2%) por sua maior precisão em relação às outras (Figura 24 e Apêndice C).

Figura 24: Priorização dos subcritérios de APPs

6.4 Sítios arqueológicos

Foram consideradas na técnica AHP as categorias (Figura 25): Baixa incidência (0 a 12 sítios identificados), Média incidência (12 a 30 sítios identificados) e Alta incidência (30 a 76 sítios identificados), com os respectivos pesos de 7,4%, 28,3% e 64,3% (Figura 26 e Apêndice D).

Estes locais incluem aquedutos, fazendas, garimpos, núcleos de mineração, entre outros. Apesar da baixa precisão, uma vez que os mapas apresentados não individualizam pontualmente os sítios arqueológicos e apenas apresentam o número de sítios identificados no âmbito municipal, os dados obtidos fornecem um alerta quanto aos locais com maior incidência de sítios arqueológicos.

Figura 25: Quantidade de Sítios Arqueológicos por município do Quadrilátero Ferrífero

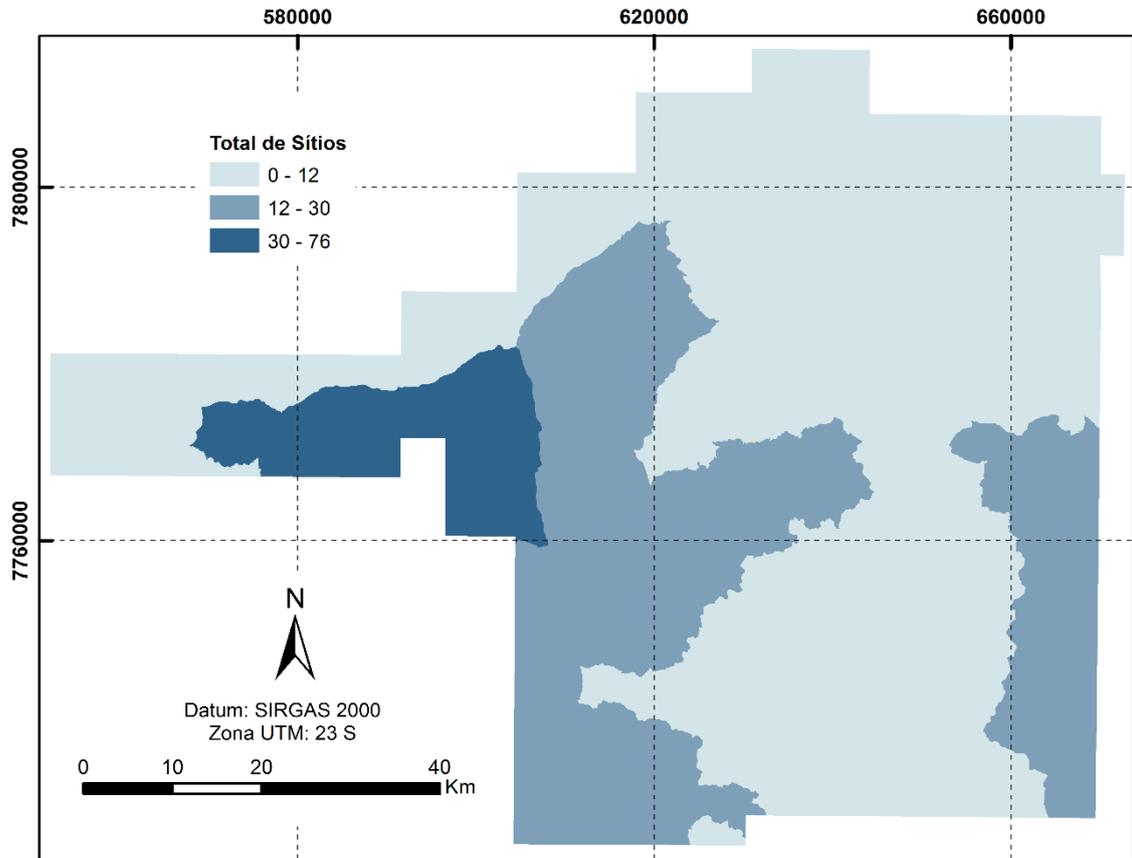
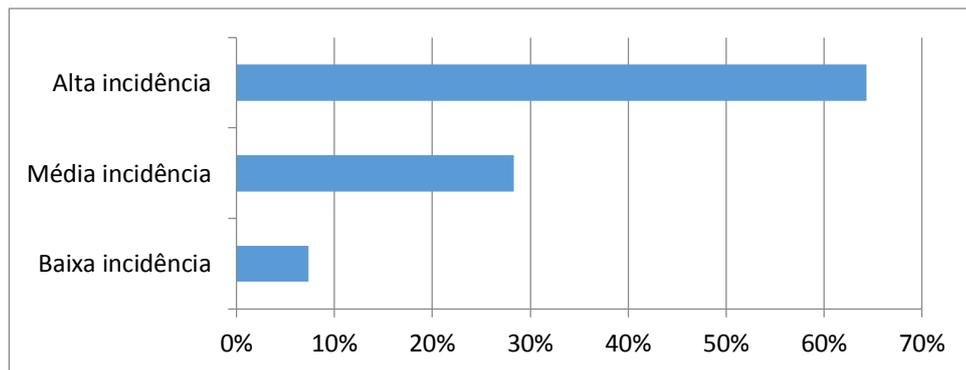


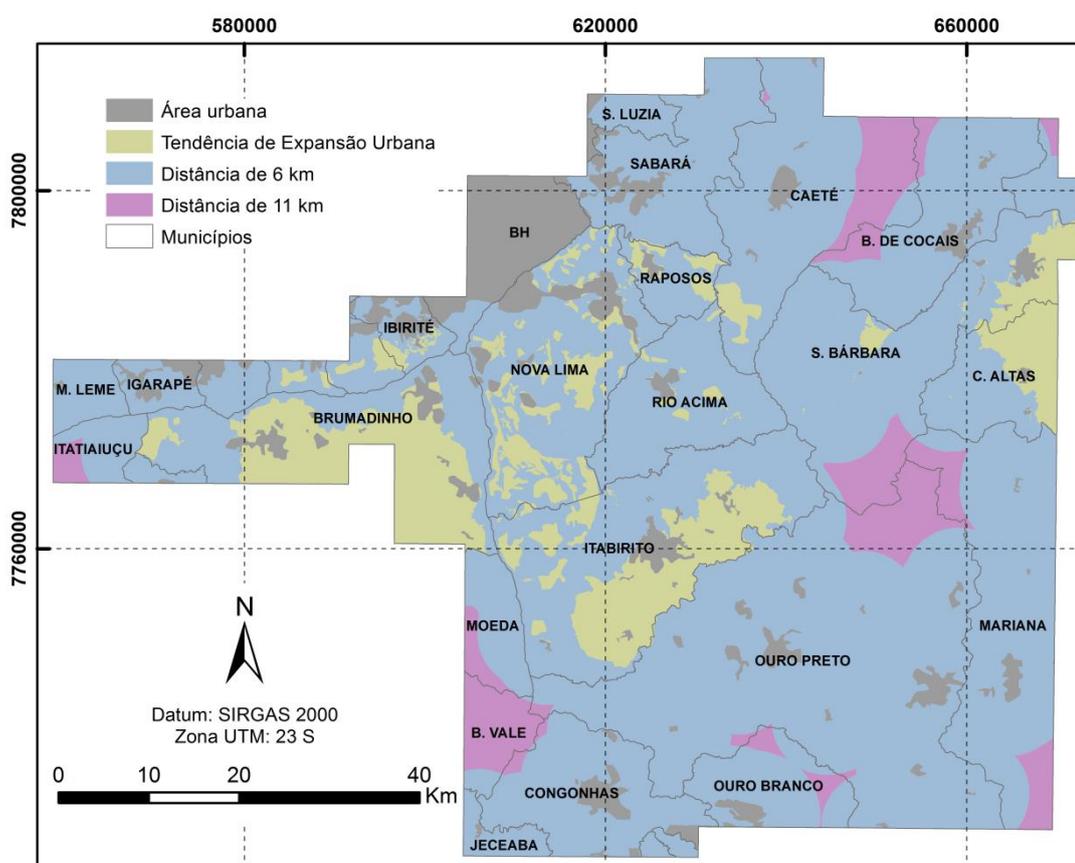
Figura 26: Priorização das subcategorias de Sítios Arqueológicos



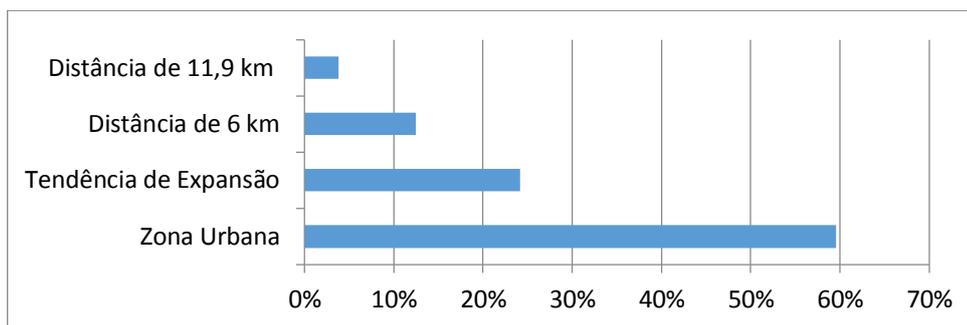
6.5 Zonas Urbanas

Em relação às áreas urbanas, observa-se uma grande mancha urbana em Belo Horizonte e região metropolitana e fragmentos espaçados ao longo da área de estudo, totalizando 472,3 km². As áreas mapeadas como tendência de expansão urbana somam 821,2 km², localizadas principalmente nas cidades de Brumadinho, Itabirito, Nova Lima, Rio Acima, Catas Altas, Raposos, Caeté e Santa Bárbara, como pode ser observado na Figura 27.

Figura 27: Zonas Urbanas e Tendências de expansão



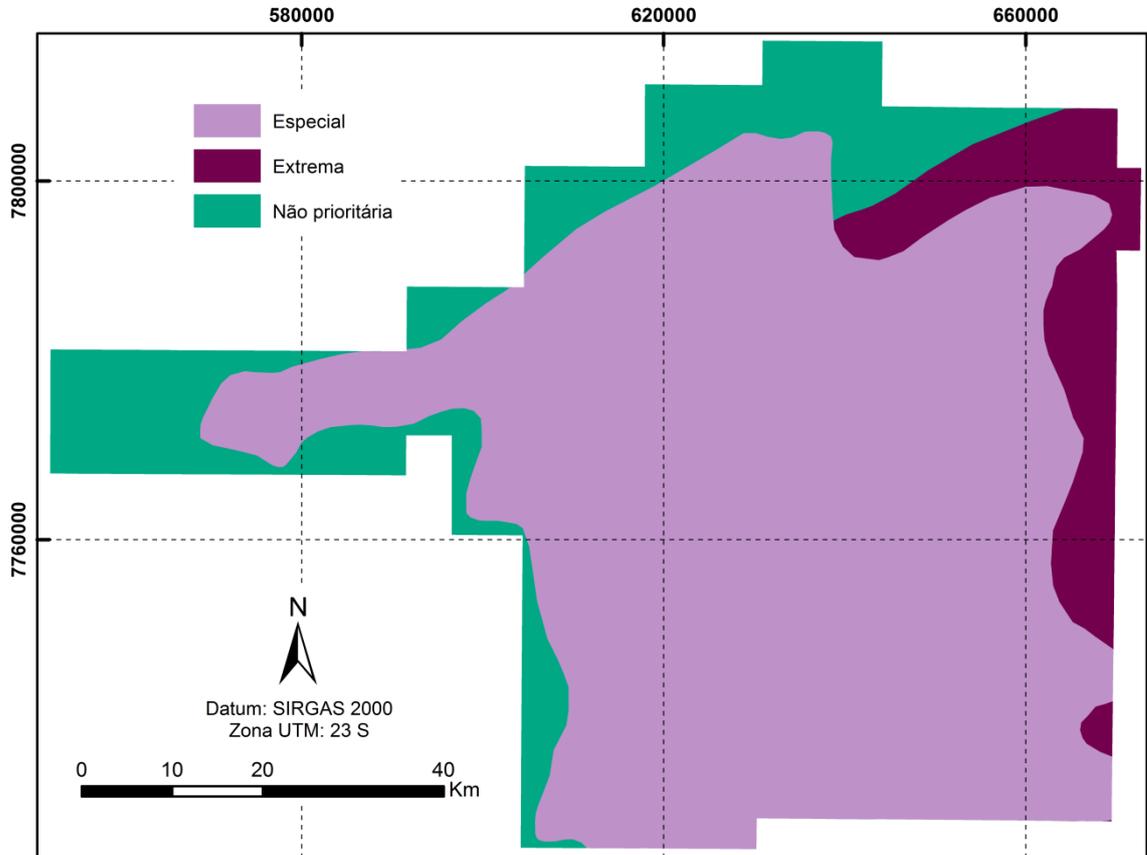
Como dito anteriormente, foram estabelecidas as zonas de expansão urbana e as distâncias das zonas urbanas/expansão urbana para atribuição de pesos na técnica AHP. Assim, as áreas urbanas receberam o peso de 59,6% e as áreas com tendência de expansão urbana receberam o peso de 24,2%. As zonas mais afastadas, como apresentam menor influência sobre o desenvolvimento dos conflitos socioambientais, receberam pesos mais baixos. Logo, as áreas com até 6 km de distância das áreas urbanas/expansão urbana apresentaram uma importância no desenvolvimento da análise da ordem de 12,4% e as áreas localizadas entre 6 e 11,9 km apresentam uma importância igual a 3,8%, como mostra a Figura 28 e o Apêndice E.

Figura 28: Priorização dos subcritérios das Zonas Urbanas

6.6 Áreas prioritárias para conservação da biodiversidade

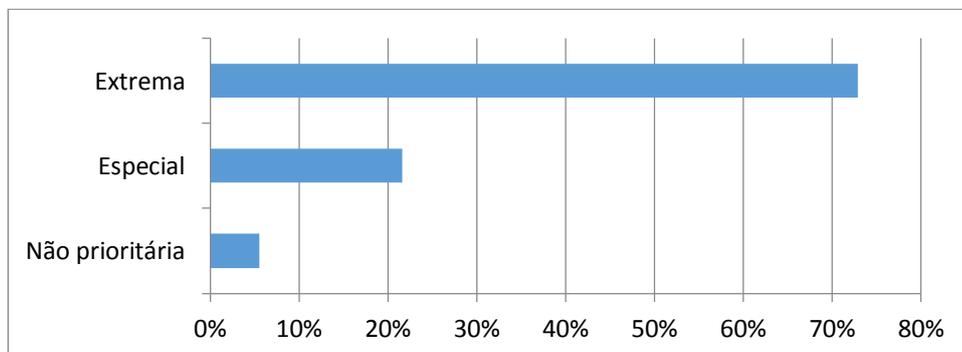
Aproximadamente 75% do território do Quadrilátero Ferrífero é constituído por áreas de prioridade especial para a conservação da biodiversidade e apenas 9% por áreas extremamente prioritárias. As áreas não prioritárias representam 6% do seu território (Figura 29).

Figura 29: Áreas Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade



Na técnica AHP, as áreas classificadas como extremas receberam o peso de 72,9% e as especiais o peso de 21,6% (Figura 30). Foi necessária a atribuição de peso para as áreas consideradas não prioritárias para a conservação, pois a técnica AHP não se aplica quando existem apenas dois critérios/subcritérios a serem priorizados (neste caso $n=2$ e $R1=0$, não sendo possível avaliar a consistência dos dados).

Figura 30: Priorização dos subcritérios das Áreas Prioritárias de Conservação

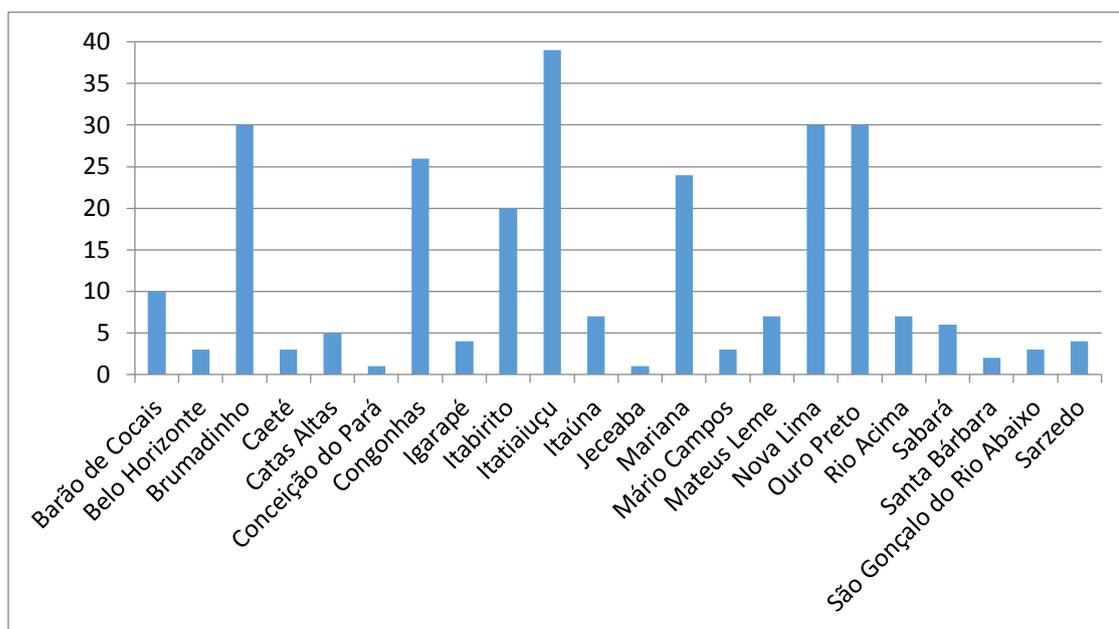


As áreas prioritárias para conservação da biodiversidade são um importante critério, pois a implantação de empreendimentos minerários pode afetar negativamente estas áreas, que já se encontram degradadas e que precisam, em função da importância biológica das espécies de fauna e flora que abriga, de ações para conservar e preservar a sua biodiversidade.

6.7 Barragens

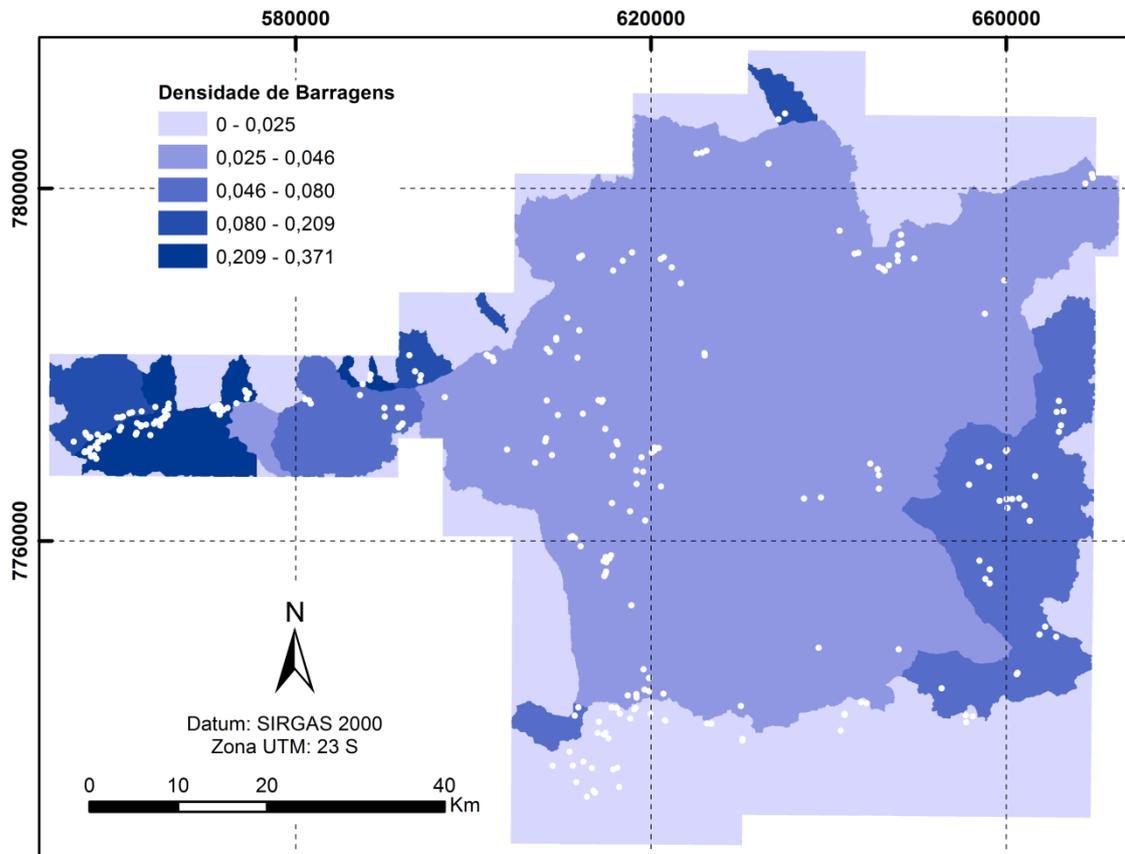
Pelos dados disponibilizados pelo DNPM, existem 265 barragens na área considerada neste estudo, sendo que cerca de 75% delas estão localizadas nos municípios de Brumadinho, Congonhas, Itabirito, Itatiaiuçu, Mariana, Nova Lima e Ouro Preto, conforme Figura 31.

Figura 31: Distribuição das barragens da mineração por município do Quadrilátero Ferrífero



Para a definição das bacias de drenagem mais impactadas pela mineração, foi calculada a densidade de barragens existentes por km². A distribuição das barragens por bacia de drenagem pode ser observada na Figura 32.

Figura 32: Distribuição das barragens da mineração por bacia de drenagem



Os valores de densidade de barragens variaram entre 0 e 0,371 barragem/km². Assim, a fim de se estabelecer os subcritérios, estes valores foram classificados em cinco categorias de densidade, de Muito Baixa à Muito Alta. A faixa de densidade de cada categoria e seu respectivo peso na AHP são apresentados na Tabela 5 (e no Apêndice G). Os pesos foram atribuídos considerando que, quanto maior a densidade de barragens de uma bacia, mais impactada pela mineração ela está e mais sensível ela se torna.

Tabela 5: Subcritérios da categoria Barragens

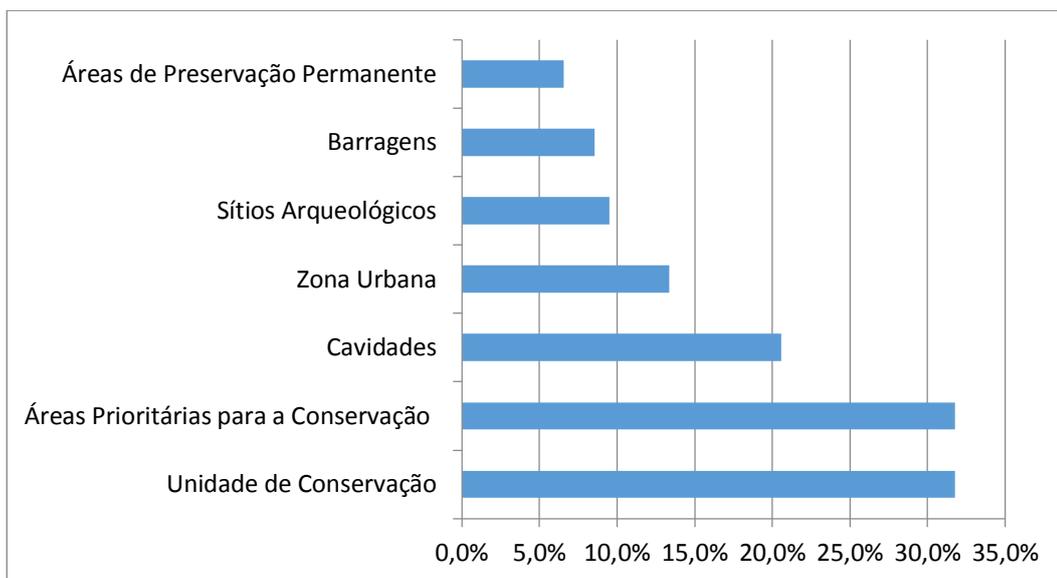
Densidade (Barragens/km ²)	Subcritério	Peso na AHP
0 - 0,025	Muito Baixa	3,5%
0,025 - 0,046	Baixa	6,8%
0,046 - 0,080	Média	13,4%
0,080 - 0,209	Alta	26,0%
0,209 - 0,371	Muito Alta	50,3%

6.8 Áreas críticas para o licenciamento de atividades minerárias

De forma análoga aos subcritérios, foi feita a priorização e a comparação dos critérios considerados neste estudo (Figura 33 e Apêndice H). Atribuiu-se o peso de 31,8% tanto para as Unidades de Conservação quanto para as Áreas Prioritárias para a Conservação, tendo em vista a importância destes locais para a preservação da biodiversidade.

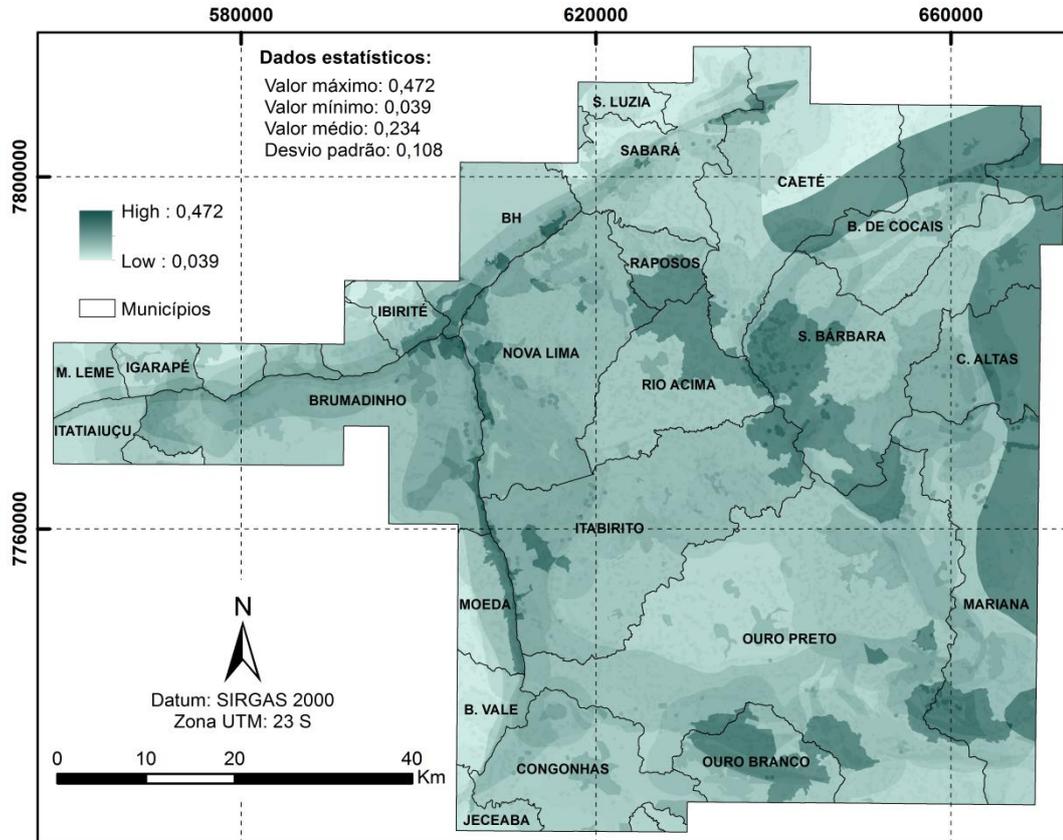
As cavidades receberam o peso de 20,6%, pois, apesar da extrema importância destas feições, a supressão e a compensação nessas áreas é permitida, a depender da classe de relevância. As zonas urbanas contribuíram com 13,4% para o resultado, considerando a série de impactos que podem atingir as zonas urbanas próximas a empreendimentos minerários. Os sítios arqueológicos receberam um peso menor, não devido à sua importância no contexto analisado, mas pela falta de detalhamento dos dados utilizados, que apenas informaram o total de sítios por município.

As barragens contribuíram com 8,6% para o resultado final, pois, apesar do impacto decorrente da acumulação de diversas barragens em uma mesma bacia, com os devidos controles, é possível minimizar os riscos e os impactos associados a estas estruturas de contenção. Por fim, com o menor percentual, estão as APPs, que por lei, podem ser alteradas por atividades de mineração.

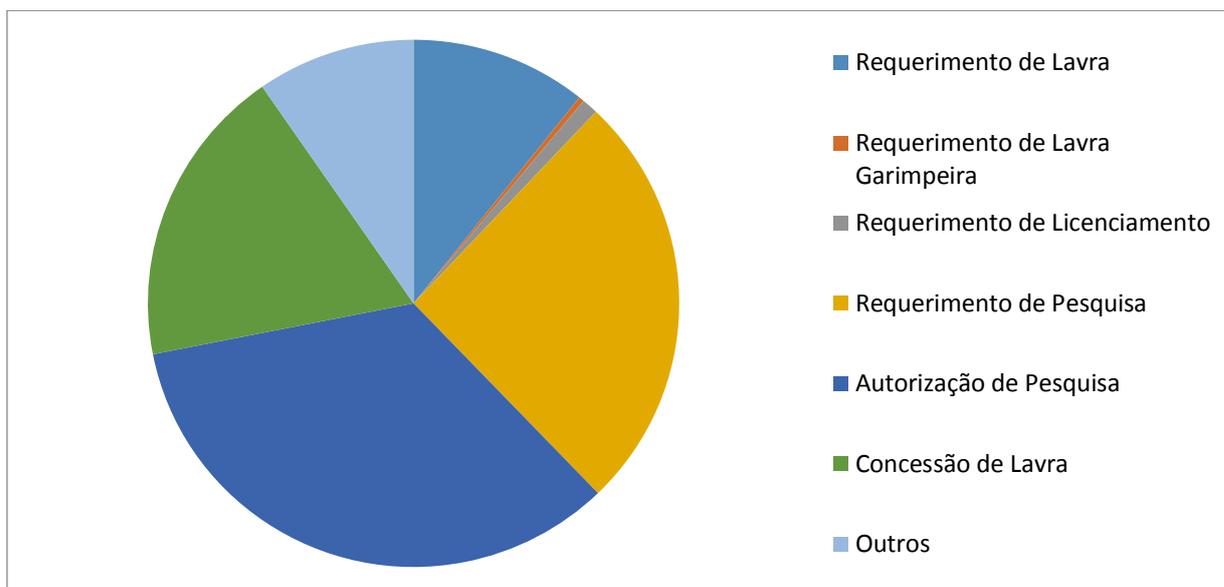
Figura 33: Priorização dos critérios considerados

A soma algébrica dos mapas, considerando os valores da AHP apresentados anteriormente para os critérios e subcritérios, deu origem ao mapa apresentado na Figura 34. Observa-se que boa parte das cidades de Mariana, Catas Altas, Santa Bárbara e Ouro Branco podem ser consideradas áreas mais sensíveis em relação às outras, de acordo com os critérios analisados.

Figura 34: Áreas ambientalmente sensíveis do Quadrilátero Ferrífero



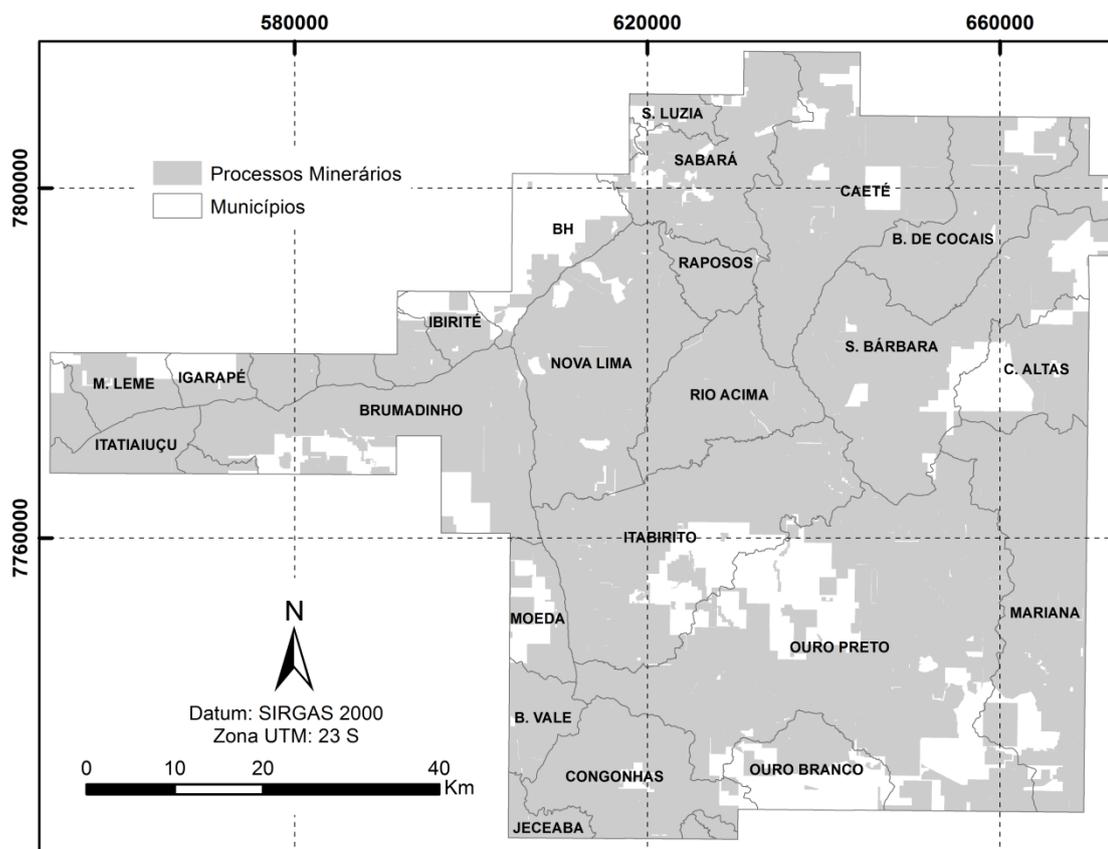
Estão cadastradas no DNPM mais de 2000 áreas do Quadrilátero Ferrífero em alguma fase de processo minerário. Deste total, 1124 áreas estão relacionadas à processos minerários cuja substância de interesse é o minério de ferro. Pode-se afirmar que 34% das áreas estão na fase de Autorização de Pesquisa, 18% em Concessão de Lavra, 11% em Requerimento de Lavra e Requerimento de Lavra Garimpeira, 1% em Requerimento de Licenciamento e 26% Requerimento de Pesquisa. Os outros 10% se referem às áreas classificadas pelo DNPM como: Disponibilidade, Licenciamento, Registro de Extração e Requerimento de Registro de Extração (Figura 35).

Figura 35: Fases dos Processos Minerários do Quadrilátero Ferrífero

Fonte: DNPM (2016)

Como pode ser observado na Figura 36, menos de 5% da área total do Quadrilátero Ferrífero (6194 km²), está isenta de processos minerários cadastrados no DNPM. Estas áreas correspondem à área urbana consolidada de Belo Horizonte, à uma parte da cidade de Caeté, e a pequenas regiões entre Itabirito e Ouro Preto, Ouro Branco e Mariana e Santa Bárbara e Catas Altas. Apenas a região entre Ouro Branco e Mariana pode ser considerada mais sensível, as outras regiões se localizam em áreas menos críticas (Figura 34).

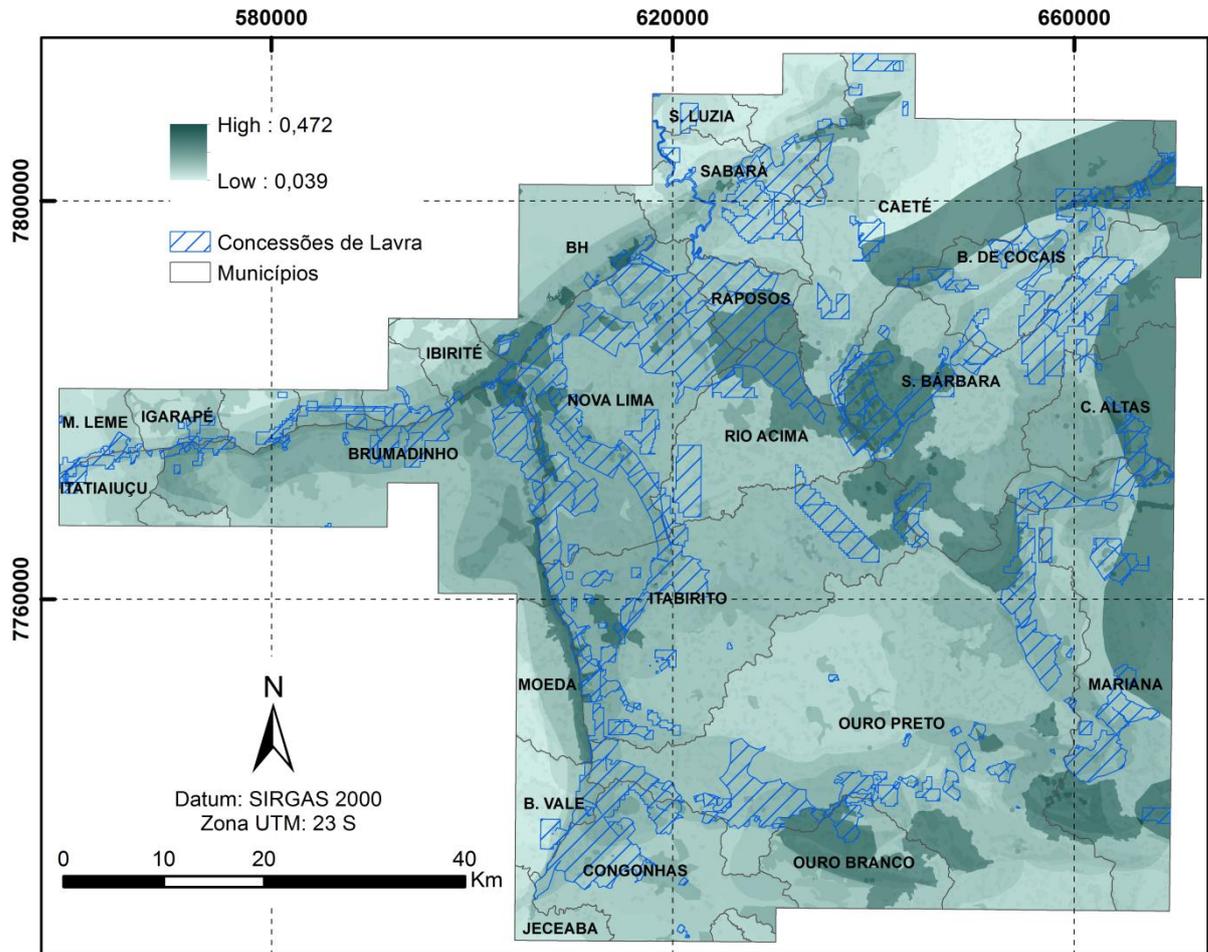
Figura 36: Áreas em alguma fase de Processo Minerário



Para a autorização da extração e da comercialização das substâncias minerais, deve-se, após diversas etapas, requerer a concessão de lavra. A Figura 37 mostra que, dentre as diversas áreas em processo de concessão de lavra, alguns se localizam em áreas ambientalmente mais sensíveis, dentre as quais estão parte da cidade de Santa Bárbara e uma região entre Nova Lima e Belo Horizonte.

Satisfatoriamente, observa-se que a maioria das lavras requeridas se localizam em áreas chamadas neste estudo de “menos sensíveis”. Mas, como visto na Figura 36, praticamente toda a extensão do Quadrilátero Ferrífero está em alguma fase do processo mineralizador. Logo, cabe aqui um alerta quanto ao estabelecimento destes empreendimentos, que devem adotar medidas de controle eficazes e específicas ao local de implantação do empreendimento para que os bens naturais da região sejam preservados.

Figura 37: Concessões de Lavra



6.9 Comparação entre regiões contrastantes

A fim de comprovar o modelo produzido, foram selecionadas duas áreas com 104 km² cada em regiões contrastantes, com índices AHP predominantemente destoantes (Figura 38). Para corroborar o estudo apresentado foi realizada a caracterização de cada uma dessas áreas, segundo os critérios e subcritérios considerados neste estudo (Tabela 6).

Figura 38: Comparação entre áreas contrastantes

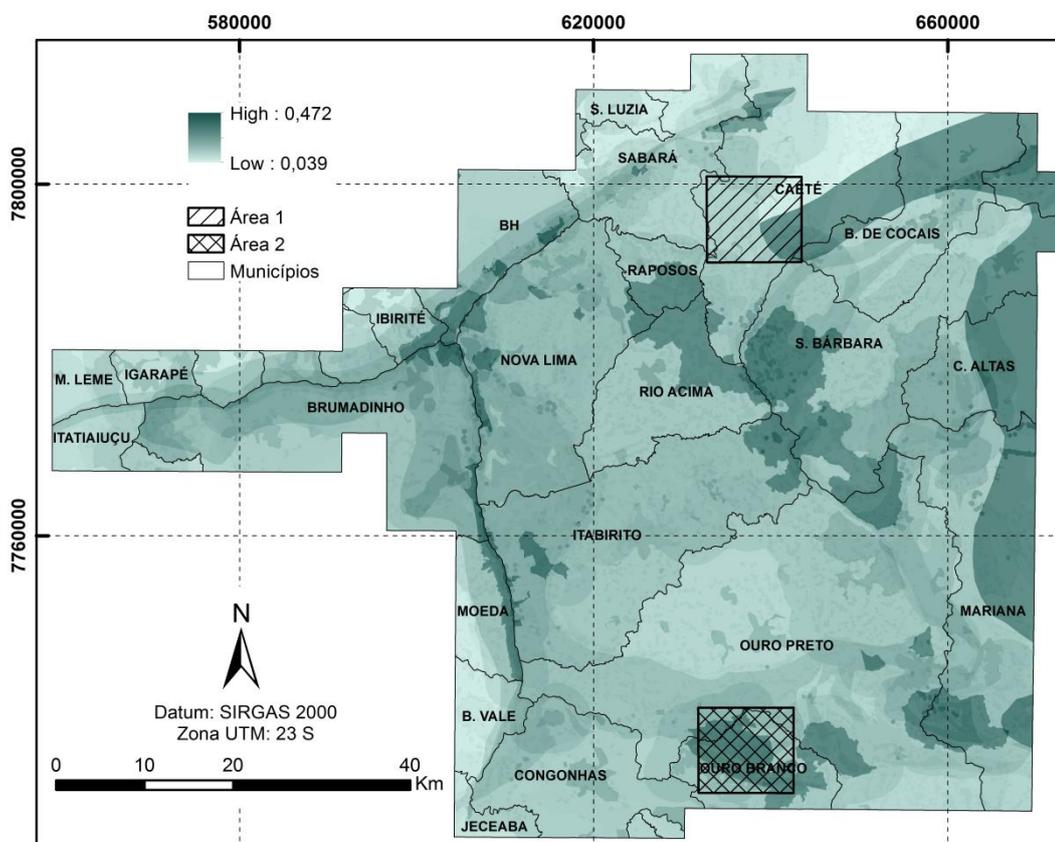


Tabela 6: Caracterização das Área 1 e 2

Critérios	Porcentagem ocupada pelos subcritérios na Área 1	Porcentagem ocupada pelos subcritérios na Área 2
Unidade de Conservação	ZA = 21,3% APA = 1,2% Área sem Unidade de Conservação = 77,5%	Proteção Integral = 57,5% Uso Sustentável = 7,4% ZA = 29,9% Área sem Unidade de Conservação = 5,2%
Áreas Prioritárias para a Conservação	Extrema = 19,1% Especial = 61,8% Não prioritária = 19,1%	Especial = 100%
Cavidades Naturais	Sem dados = 0,02% Potencial Alto = 0,3% Potencial Médio = 56,2% Potencial Baixo = 43,5%	Sem dados = 0,06% Cavidade + 250 m = 0,6% Potencial Muito Alto = 54,1% Potencial Alto = 22,5% Potencial Médio = 22,7% Potencial Baixo = 0,09%
Zona Urbana	Área Urbana = 7,6%	Área Urbana = 4,6%

Crêterios	Porcentagem ocupada pelos subcritérios na �rea 1	Porcentagem ocupada pelos subcritérios na �rea 2
	Expansão Urbana = 0,2% Faixa de 6 km = 91,7% Faixa de 11 km = 0,5%	Faixa de 6 km = 89,3% Faixa de 11 km = 6,1%
Sítios Arqueológicos	Baixo = 100%	Baixo = 100%
Barragens	Baixo = 98,9% Muito Baixo = 1,1%	Baixo = 7,1% Muito Baixo = 92,9%
�reas de Preserva�o Permanente	Declividade = 0,02% Topo Morro = 20,6% Rio = 2,1% Sem APP = 77,3%	Declividade = 0,9% Topo Morro = 25,4% Rio = 1,4% Sem APP = 72,3%
AHP	Máximo = 0,336 Mínimo = 0,051 Média = 0,178 Desvio Padrão = 0,087	Máximo = 0,391 Mínimo = 0,109 Média = 0,232 Desvio Padrão = 0,08

Como pode ser observado, os valores da AHP foram condizentes com as características das duas áreas, principalmente se for considerado a amplitude do  ndice ao longo do Quadrilátero Ferrífero. A  rea 1, que apresenta um  ndice AHP inferior (Figura 38), está localizada em uma região que, predominantemente, não possui unidades de conserva o, mas que praticamente 80% do seu território diz respeito a áreas de prioridade extrema ou especial para a conserva o da biodiversidade. As áreas de preserva o permanente abrangem cerca de 22,70% do seu limite territorial. A  rea não possui cavidades naturais mapeadas, mas possui em sua maioria, potencial médio para a ocorrência de cavidades. A  rea 1 possui apenas 7,6% de áreas urbanas e está localizada na faixa de 6 a 11,9 km de distância de áreas urbanas. Possui baixa incidência de sítios arqueológicos. A  rea também possui classes de baixa e muito baixa densidade de barragens.

Em contrapartida, a área 2 abrange unidades de conserva o de prote o integral (57,5%) e de uso sustentável (7,4%). Toda sua área é considerada especial para a conserva o da biodiversidade. Este local possui algumas cavidades mapeadas e mais de 50% da mesma possui potencial muito alto para a ocorrência de cavidades. Assim como a área 1, a área 2 se encontra predominantemente na faixa de 6 a 11,9 km de distância das zonas urbanas e em áreas com baixa incidência de sítios arqueológicos. A densidade de barragens observada foi muito baixa ou baixa. Ainda, a área 2 possui menos áreas de preserva o permanente que a  rea 1.

Dessa forma, de acordo com os pesos considerados para os subcritérios e critérios, as áreas 1 e 2 evidenciam que, a depender dos fatores ambientais existentes nestas

localidades, a sensibilidade à implantação de empreendimentos minerários pode ser verificada.

Logo, é esperado, em função da localização dos empreendimentos, uma maior restrição durante o processo de licenciamento de atividades a serem desenvolvidas na Área 2, que apresenta um índice AHP superior à Área 1, por exemplo. Ainda, é perceptível, pelo ferramental utilizado, a possibilidade de direcionamento e refinamento dos estudos ambientais a depender da área analisada.

7. CONCLUSÕES

A pressão ambiental exercida pelos empreendimentos minerários demanda a criação de ferramentas que avaliem, de forma multicriterial e quantitativa, a importância das variáveis ambientais relevantes para a determinação do critério locacional a ser considerado na definição da modalidade de licenciamento ambiental em Minas Gerais.

A integração dos dados ambientais do Quadrilátero Ferrífero permitiu, apesar das diferentes escalas utilizadas, a identificação das zonas críticas para o licenciamento de empreendimentos minerários a partir da hierarquização feita por meio da técnica AHP.

Por meio da comparação do mapa gerado com as concessões de lavra da região analisada, constatou-se que a grande maioria das concessões não se encontra nas áreas mais críticas. Porém, 95% do Quadrilátero Ferrífero está em alguma fase do processo minerário, abrangendo as áreas mais sensíveis do ponto de vista ambiental. Logo, num intervalo de tempo ainda indefinido, espera-se, caso o órgão ambiental não seja atuante, o acirramento dos conflitos ambientais na região.

Com as Áreas 1 e 2, aleatoriamente definidas entre as áreas mais e menos sensíveis, foi possível comparar de imediato a contribuição de cada critério/subcritério e atestar a importância do ferramental aplicado. A caracterização dessas áreas reflete o reconhecimento da relevância atribuída durante a aplicação da técnica AHP no contexto considerado. Logo, a caracterização dos pesos distribuídos em cada área reflete, em maior ou menor grau, o conhecimento especialista do técnico responsável. Nesse sentido, pode-se perceber que o método utilizado dá margem para a atribuição tendenciosa de pesos, o que pode ser minimizado com a participação de outros especialistas, para que, a partir de um consenso, os pesos sejam atribuídos.

Como sugestões para futuros trabalhos, está a consideração de outros critérios, como os sugeridos pela DN COPAM 217/2017 para análise de critérios locacionais no processo de licenciamento ambiental. Outras considerações são a comparação de dados de bacias de mesma ordem, a consideração do grau de risco das barragens e a presença de comunidades à jusante, bem como a aquisição de dados em uma escala maior. Foi visualizado na comparação feita entre as duas áreas, que a amplitude do resultado foi baixa, ou seja, os valores máximos e mínimos estão próximos. Assim, pode-se sugerir um aumento da amplitude dos resultados da técnica AHP, na tentativa de aumentar o desvio padrão entre os ambientes mais sensíveis e os menos sensíveis, facilitando a identificação das áreas mais problemáticas. Vale ressaltar que, raramente, licenças ambientais são negadas

pelos órgãos ambientais e que, historicamente, os grandes empecilhos deste processo são os aspectos antrópicos (presença de grupos ativistas, associações de moradores, etc) e não biofísicos. Assim, destaca-se a importância da racionalização dos aspectos sociais.

De forma geral, o presente estudo permitiu a geração de informações sobre as áreas potencialmente sensíveis do Quadrilátero Ferrífero do ponto de vista ambiental, evidenciando a necessidade de estudos mais aprofundados e direcionados a realidade de cada ambiente durante a avaliação de impactos ambientais. A metodologia utilizada se aplica a todos os tipos de empreendimentos, não somente aos minerários, visto que a necessidade de enxergar os fatores locacionais é global.

8. REFERENCIAS

ALMG. Principais municípios mineradores, Minas Gerais - 2005 (s.d). Disponível em: <https://politicaspUBLICAS.almg.gov.br/temas/mineracao/dados_indicadores/dado_indicador2.html?tagNivel1=20&tagAtual=20>. Acesso em: 10 out. 2017.

ALMG. Municípios produtores de bens minerais, Minas Gerais - 2005 (s.d). Disponível em: <https://politicaspUBLICAS.almg.gov.br/temas/mineracao/dados_indicadores/dado_indicador1.html?tagNivel1=20&tagAtual=20>. Acesso em: 10 out. 2017.

ATTANASIO, G. M. C. Avaliação da obrigatoriedade do zoneamento ecológico-econômico, no contexto do licenciamento ambiental. São Paulo, USP, 2005. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-27122005-114448/pt-br.php>> Acesso em: 20 nov. 2017.

BIOVERSITAS. Biodiversidade em Minas Gerais. 2005. 2ª edição. Disponível em: <<http://www.biodiversitas.org.br/atlas/sintese.pdf>> Acesso em: 05 jan. 2018

BIOVERSITAS. Diagnóstico do Conhecimento sobre a Biodiversidade no Estado de Minas Gerais - Subsídio ao Programa BIOTA MINAS. Belo Horizonte. 2009. 624 p. Disponível em: <<http://www.biodiversitas.org.br/biotaminas/publicacao/biotaminas.pdf>>. Acesso em: 27 nov. 2017.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de ago. de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, ago. 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm>. Acesso em: 25 out. 2017.

BRASIL. Resolução Conama nº 01, de 23 de jan. de 1986. Implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. Brasília, jan. 1986. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>. Acesso em: 10 dez. 2017.

BRASIL. Decreto nº 99.274, de 06 de jun. de 1990 (a). Regulamenta a Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1981, e a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõem, respectivamente sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental e sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, e dá outras providências. Brasília, jun. 1990. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/antigos/d99274.htm>. Acesso em: 09 dez. 2017.

BRASIL. Resolução Conama nº 13, de 06 de dez. de 1990 (b). Normas referentes ao entorno das Unidades de Conservação visando a proteção dos ecossistemas ali existentes. Brasília, dez. 1990. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res1390.html>>. Acesso em: 19 dez. 2017.

BRASIL. Resolução nº 237, de 19 de dez. de 1997. Dispõe sobre licenciamento ambiental. Brasília, dez. 1997. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fev. de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Brasília, fev. 1998. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/CCivil_03/leis/L9605.htm>. Acesso em: 19 jan. 2017.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de jul. de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília, jul. 2000. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9985.htm>. Acesso em: 20 dez. 2017. o em: 15 mar. 2017.

BRASIL. Decreto nº 4.297, de 10 de jul. de 2002 (a). Regulamenta o art. 9º, inciso II, da Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981, estabelecendo critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil - ZEE, e dá outras providências. Brasília, jul. 2002. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/D4297.html>. Acesso em: 15 mar. 2017.:

BRASIL. Portaria IPHAN nº 430, de 17 de dez. de 2002 (b). Dispõe sobre procedimentos para obtenção de licenças ambientais de empreendimentos que afetem o patrimônio espeleológico. Brasília, dez. 2012. Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/mg/pagina/detalhes/639/>>. Acesso em: 30 nov. 2017.

BRASIL. Resolução nº 347, de 10 de set. de 2004. Dispõe sobre a proteção do patrimônio espeleológico. Brasília, set. 2004. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=452>>. Acesso em: 05 dez. 2018.

BRASIL. Resolução Conama nº 369, de 28 de mar. de 2006. Dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente-APP. Brasília, p. 94-101, mar. 2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=489>>. Acesso em: 10 jan. 2018.

BRASIL. Decreto nº 6.640, de 07 de nov. de 2008. Dá nova redação aos arts. 1o, 2o, 3o, 4o e 5o e acrescenta os arts. 5-A e 5-B ao Decreto no 99.556, de 1º de outubro de 1990, que dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional. Brasília, nov. 2008. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/decreto/d6640.html>. Acesso em: 10 jan. 2018.

BRASIL. Resolução nº 428, de 17 de dez. de 2010 (a). Dispõe, no âmbito do licenciamento ambiental sobre a autorização do órgão responsável pela administração da Unidade de Conservação (UC), de que trata o § 3º do artigo 36 da Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000, bem como sobre a ciência do órgão responsável pela administração da UC no caso de licenciamento ambiental de empreendimentos não sujeitos a EIA-RIMA e dá outras providências. Brasília, dez. 2010. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=641>>. Acesso em: 20 dez. 2017.

BRASIL. Lei nº 12.334, de 20 de set. de 2010 9 (b). Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4o da Lei no 9.984, de 17 de julho de 2000. Brasília, set. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12334.htm>. Acesso em: 09 jan. 2017.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, maio. 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em: 07 jan. 2018.

BRASIL. Instrução Normativa IPHAN nº 001, de 25 de mar. de 2015. Estabelece procedimentos administrativos a serem observados pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional nos processos de licenciamento ambiental dos quais participe. Brasília, mar. 2015. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/uploads/legislacao/INSTRUCAO_NORMATIVA_001_DE_25_DE_MARCO_DE_2015.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2017.

BRASIL. Instrução Normativa nº 02, de 30 de ago. de 2017(a). Define a metodologia para a

classificação do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas, conforme previsto no art. 5o do Decreto no 99.556, de 1o de outubro de 1990. Brasília, ago. 2017. Disponível em: <<http://williamfreire.com.br/periodicos/diario-ambiental/instrucao-normativa-no-2-de-30-08-2017/>>. Acesso em: 05 jan. 2018.

BRASIL. Portaria DNPM nº 70.389, de 17 de maio de 2017 (b). Cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração, o Sistema Integrado de Gestão em Segurança de Barragens de Mineração e estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem, das Inspeções de Segurança Regular e Especial, da Revisão Periódica de Segurança de Barragem e do Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração, conforme art. 8º, 9º, 10, 11 e 12 da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB. Brasília, p mar. 2015. Disponível em: <<http://www.anm.gov.br/portaria-dnpm-no-70-389-de-17-de-maio-de-2017-seguranca-de-barragens-de-mineracao>>. Acesso em: 15 jan. 2017.

CALIJURI, M. C.; CUNHA, D. G. F. Engenharia Ambiental - Conceitos, Tecnologia e Gestão . 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. 832 p.

CECAV. Área de influência sobre o patrimônio espeleológico (s.d.). Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/cecav/orientacoes-e-procedimentos/area-de-influencia.html>>. Acesso em: 13 dez. 2018.

CECAV. Oficina sobre área de influência de cavidades naturais subterrâneas - Relatório final, 2013. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/cecav/projetos-e-atividades/pan-cavernas-do-sao-francisco.html>> (acessada em jan/2017)>

CERRI, L.E.S.; AKIOSSI, A.; AUGUSTO FILHO, O. & ZAINÉ, J.E. Cartas e mapas geotécnicos de áreas urbanas: reflexões sobre as escalas de trabalho e proposta de elaboração com o emprego do método de detalhamento progressivo. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 8., Rio de Janeiro, 1996. Anais. Rio de Janeiro, ABGE, v.2, p. 537-548. Disponível em: <<http://cbge2015.hospedagemdesites.ws/trabalhos/trabalhos/385.pdf>> Acesso em: 13 dez. 2018.

DINIZ, J. M. F. S.; REIS, A. A.; ACERBI, F. W. J.; GOMIDE, L.R. Detecção Da Expansão Da Área Minerada No Quadrilátero Ferrífero , Minas Gerais , no período de 1985 a 2011 através de técnicas de sensoriamento remoto. BDG - Boletim de Ciências Geodésicas, v. 20, p. 683–700, Curitiba, 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1982-1702014000300683&script=sci_abstract&lng=pt. Acesso em: 15 outubro 2017.

DNPM. Anuário Mineral Brasileiro. Brasília, 2016. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/anuario-mineral-brasileiro-2016-metalicos>> Acesso em: 15 outubro 2017.

DNPM. Arrecadação CFEM do Estado: MG e Ano: 2017. 2018. Disponível em: <https://sistemas.dnpm.gov.br/arrecadacao/extra/Relatorios/arrecadacao_cfem_muni.aspx?ano=2017&uf=MG> Acesso em: 24 outubro 2017.

D'OLIVEIRA, R. L. D. O Princípio da Integração Ambiental e a Simplificação do Estado. 2016. Disponível em: <https://www.ij.fd.uc.pt/publicacoes/estudos_serieM/pub_3/M_numero3_resumo.pdf>. Acesso em: 03 dez. 2017.

FARIAS, C. E. G. Mineração e Meio Ambiente no Brasil, 2002. Disponível em: <http://oglobo.globo.com/brasil/bertha-koiffmann-becker-deixa-legado-para-geografia-nacional-9034138%5Cnhttp://amazonia.org.br/2013/07/morre-bertha-becker-a-cientista-da-amazonia/%5Cnhttp://www.abc.org.br/article.php?id_article=2541> Acesso em 05 jan 2018.

FARIAS, T. Q. Princípios gerais do direito ambiental. In: Âmbito Jurídico, Rio Grande, IX, n. 35, dez 2006. Disponível em: <http://www.ambitojuridico.com.br/site/index.php?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=1543>. Acesso em 05 jan 2018.

FEAM. Inventário de Barragem do Estado de Minas Gerais. 2016. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/2016/RESIDUOS_MINERA%C3%87%C3%83O/Invent%C3%A1rio_de_Barragens_2015_Final_V01.pdf> Acesso em 05 jan 2018.

FERNANDES, R. B. Metodologia para unificação do sistema de classificação de barragens de rejeito. 2017. 172 p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia), Núcleo de Geotecnia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017. Disponível em: <http://www.nugeo.com.br/uploads/nugeo_2014/teses/arquivos/dissertacao-rafaela-baldi.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2018.

FERREIRA, L. B. C. ; DIAS, E. C. A função sócio-ambiental da propriedade. 2008. Disponível em: <http://www.ambito-juridico.com.br/site/index.php?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=2489>. Acesso em: 12 jan. 2018.

FRANCELINO, R. R. Introdução ao geoprocessamento. 2003. Caratinga. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/22773204/introducao-ao-geoprocessamento>> Acesso em: 13 dez. 2018.

FUNDAÇÃO DOM CABRAL. Licenciamento Social (s.d). Disponível em: <http://www.institutoorior.com.br/images/artigospdf/raimundo/livro/temas-emergentes/dimen-sao-sociedade/licenciamento-social.html> Acesso em: 24 nov. 2017.

GANEM, R. S. Zonas de amortecimento de unidades de conservação. Brasília, 2015. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/a-camara/documentos-e-pesquisa/estudos-e-notas-tecnicas/areas-da-conle/tema14/2015-515-zonas-de-amortecimento-de-unidades-de-conservacao-roseli-ganem>> Acesso em: 13 dez. 2018.

GODINHO, C. P.; VIANA, E. M.; ROSA, H. D. S.; ZHOURI, A. Conflitos ambientais e as contradições do desenvolvimento sustentável: o caso da Mineração em Conceição do Mato Dentro / MG e suas consequências, 2016. Disponível em: <<http://abep.org.br/xxencontro/files/paper/849-852.pdf>> Acesso em: 13 dez. 2018.

GUERINO, F. T. Princípio do acesso equitativo aos recursos naturais. 2002. Disponível em: <<https://www.webartigos.com/artigos/principio-do-acesso-equitativo-aos-recursos-naturais/88571>>. Acesso em: 13 dez. 2018.

IBRAM. Gestão para a sustentabilidade na mineração. 2012. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00002130.pdf>> Acesso em: 17 out. 2017.

IBRAM. Informações sobre a Economia Mineral do Estado de Minas Gerais. 2015. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00005483.pdf>>. Acesso em: 26 out. 2017.

IBRAM. Dados sobre Brasil e Estado de Minas Gerais. 2017. Disponível em: <<http://portaldaminerao.com.br/wp-content/uploads/2017/10/economia-mineral-mg.pdf?x73853>>. Acesso em: 30 out. 2017.

IPHAN. Patrimônio Arqueológico - MG (s.d). Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/mg/pagina/detalhes/639/>>. Acesso em: 30 nov. 2017.

JANSEN, D.C; CAVALCANTI, L. F. LAMBLÉM, H. S. Mapa de Potencialidade de Ocorrência de Cavernas no Brasil, na escala 1:2.500.000. Revista Brasileira de Espeleologia, Brasília, 2012, v. 2, n.1.

LACERDA, S. G.; CURI, A. Análise da influência da presença de cavidades naturais nos projetos de mineração: Confronto entre a concessão de lavra e APP da Gruta da Igrejinha. Ouro Preto, 2017. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais34cbe/34cbe_477-486.pdf> Acesso em: 30 nov. 2017.

MEDEIROS, J. S.; CÂMARA, G. Geoprocessamento para projetos ambientais. In: Introdução à Ciência da Geoinformação. São José dos Campos, 2001 Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/> Acesso em: 15 nov. 2017.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM nº 55, de 13 de jun. de 2002. Estabelece normas, diretrizes e critérios para nortear a conservação da Biodiversidade de Minas Gerais. Belo Horizonte, jun. 2002. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=137>>. Acesso em: 07 jan. 2018.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM nº 74, de 09 de set. de 2004. Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, de empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente passíveis de autorização ou de licenciamento ambiental no nível estadual, determina normas para indenização dos custos de análise de pedidos de autorização e de licenciamento ambiental, e dá outras providências. Belo Horizonte, set. 2004. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=37095>>. Acesso em: 10 jan. 2018.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM nº 87, de 17 de jun. de 2005. Altera e complementa a Deliberação Normativa COPAM nº 62, de 17/12/2002, que dispõe sobre critérios de classificação de barragens de contenção de rejeitos, de resíduos e de reservatório de água em empreendimentos industriais e de mineração no Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, jun. 2005. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8251>>. Acesso em: 17 jan. 2018.

MINAS GERAIS. Lei nº 20.922, de 16 de out. de 2013. Dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade no Estado. Belo Horizonte, out. 2013. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=30375>>. Acesso em: 15 jan. 2017.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM nº 217, de 06 de dez. de 2017. Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, bem como os critérios locais a serem utilizados para definição das modalidades de licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais no Estado de Minas Gerais e dá outras providências. Belo Horizonte, dez. 2017. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=45558>>. Acesso em: 12 jan. 2018.

MIRANDA, M. P. S. Cavernas, patrimônio cultural e licenciamento ambiental. 2016. Disponível em: <<https://www.conjur.com.br/2016-jul-30/ambiente-juridico-cavernas-patrimonio-cultural-licenciamento-ambiental>>. Acesso em: 07 dez. 2017.

MONTAÑO, M.; RANIERI, V. E. L. O zoneamento ambiental e a sua importância para a localização de atividades. Disponível em: <http://www.revista-ped.unifei.edu.br/documentos/V05N01/n06_art04.pdf> Acesso em: 24 nov. 2017.

NASCIMENTO, E. A. DO. Estratégias para otimizar o processo de licenciamento ambiental em empreendimentos de grande porte: estudo de caso em um complexo mineral em Minas Gerais. Universidade Federal de Santa Catarina, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/172332>> Acesso em: 07 dez. 2017.

PEREIRA, E. L. Estudo do potencial de liquefação de rejeitos de minério de ferro sob carregamento estático. 2005. 210 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Programa de Pós Graduação do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005. Disponível em: <http://www.nugeo.ufop.br/uploads/nugeo_2014/teses/arquivos/dissertacao-eleonardo-2005.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2018.

PEREIRA, J. R.; LIMA, J. B.; REZENDE, J. B.; SILVA, S. S.; BOTELHO, D. O.; PEREIRA, N. C. Índice de Fatores Condicionantes do ZEE para Mineração no Estado de Minas Gerais(s.d.) Disponível em: < http://www.zee.mg.gov.br/pdf/zoneamento_e_cenarios_exploratorios/9indice_de_fatores_condicionantes_do_zee_para_mineracao_no_estado_de_mg.pdf> Acesso em: 20 jan. 2018.

PRADO FILHO, J. F. DO; SOUZA, M. P. DE. O licenciamento ambiental da mineração no Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais: uma análise da implementação de medidas de controle ambiental formuladas em EIAs/RIMAs. Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 9, p. 343–349, 2004. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522004000400012> Acesso em: 09 jan. 2018.

PORTAL DA MINERAÇÃO. Licença social para operar: transformando riscos em valor. 2017. Disponível em: <<http://portaldamineracao.com.br/artigo-licenca-social-para-operar-transformando-riscos-em-valor/>>. Acesso em: 09 jan. 2018.

REZENDE, V. L. A mineração em Minas Gerais: uma análise de sua expansão e os impactos ambientais e sociais causados por décadas de exploração. Sociedade & Natureza, v. 28, n. 3, p. 375–384, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1982-45132016000300375&script=sci_abstract> Acesso em: 15 out. 2018.

ROBAINA, L. E. S.; NARDIN, R. T. D.; CRISTO, S. S. V. Método e Técnicas Geográficas Utilizadas na Análise e Zoneamento Ambiental. Disponível em:

<<http://www.igc.ufmg.br/portaldeperiodicos/index.php/geografias/article/view/486>> Acesso em: 15 nov. 2018

ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R. Metodologia para mapeamento geoambiental no oeste do Rio Grande do Sul. 2005. Disponível em: <<http://coral.ufsm.br/lageolam/arquivos/romario.pdf>>. Acesso em: 05 nov. 2017.

ROESER, H. M. Peter; ROESER. P. A.. O Quadrilátero Ferrífero - MG, Brasil: Aspectos sobre sua história, seus recursos minerais e problemas ambientais relacionados. 2010. Disponível em: <http://igc.ufmg.br/geonomos/PDFs/1.06_Hubertetal_33_37.pdf> Acesso em: Acesso em: 15 nov. 2018

SAATY, R. W. The Analytic Hierarchy Process - What it is and how it is used. *Mathl Modelling*, v. 9, p. 161–176, 1987. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0270025587904738>> Acesso em: 10 nov. 2017.

SAATY, T. L. How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, North-Holland, p. 9-26, jan. 1990. Disponível em: <<https://www.ida.liu.se/~TDDD06/literature/saaty.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

SABOYA, R. T. Uma introdução aos Sistemas de Informações Geográficas no planejamento urbano. *Arquitextos*, São Paulo, Vitruvius, abr. 2005 Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/05.059/479>> Acesso em: 15/012/2017.

SÁNCHEZ, L. E. Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 495p.

SANTIAGO, A. L. F. Licença social para operar: transformando riscos em valor. 2017. Disponível em: <<http://portaldaminerao.com.br/artigo-licenca-social-para-operar-transformando-riscos-em-valor/>>. Acesso em: 05 jan. 2018.

SANTOS, M.R.R; RANIERI, V. E. R. Critérios para análise do zoneamento ambiental como instrumento de planejamento e ordenamento territorial. *Ambiente & Sociedade*, São Paulo, p. 43-62, out. 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/asoc/v16n4/04.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2017.

SILVA, M. M. DA. O conceito de sítio arqueológico: breve histórico da sua evolução conceitual e considerações sobre a sua aplicação na pesquisa arqueológica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/105143>> Acesso em: 10 out. 2017.

SILVA, J. S. V.; SANTOS, R. F. Zoneamento para planejamento ambiental: vantagens e restrições de métodos e técnicas. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, v. 21, n. 2, p. 221–263, 2004. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/113810/zoneamento-para-planejamento-ambiental-vantagens-e-restricoes-de-metodos-e-tecnicas>> Acesso em: 15 out. 2017.

SOUZA, M. L. Mudar a cidade: uma introdução crítica ao planejamento e à gestão urbanas. 6. ed. Rio de Janeiro, RJ: Bertrand Brasil, 2010. p.46

SOUZA, M. A. P. Importância do Geoprocessamento no Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos. Salvador, Universidade Católica do Salvador, 2017. Disponível em: <http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UCSAL-1_e1a8a5cac50142e636f55a982d55f9f3> Acesso em: 10 jan. 2017.

UNITED NATIONS. Our Common Future. World Commission on Environment and Development. 1987. Disponível em: <<http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>>. Acesso em: 31 jan. 2018.

UNITED NATIONS. Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment. 1972. Disponível em: <<http://www.un-documents.net/unchedec.htm>>. Acesso em: 04 jan. 2018.

VALE S.A., 2017. Grupo de Discussão: Novas normas do licenciamento ambiental em Minas Gerais. 2017.

VARGAS, R. Utilizando a programação multicritério (AHP) para selecionar e priorizar projetos na gestão de portfólio. 2010. Disponível em: <<https://ricardo-vargas.com/pt/articles/analytic-hierarchy-process/>> Acesso em: 04 jan. 2018.

VILAÇA, T. R. O. Caracterização do meio físico do distrito de Antônio Pereira, Ouro Preto (MG): Proposta de zoneamento ecológico-econômico como base para o planejamento ambiental. 2013. 92 p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.

ZAINE, J. E. Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP). 2000. 189 p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente)- Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000. Disponível em: <<http://www.biodiversitas.org.br/biotaminas/publicacao/biotaminas.pdf>>. Acesso em: 24 nov. 2017

APÊNDICE A: Aplicação da Técnica AHP para as Unidades de Conservação

MATRIZ COMPARATIVA					
	Proteção Integral	Uso Sustentável	Área de Proteção Ambiental	Zona Amortecimento	
Proteção Integral	1	3	5	5	
Uso Sustentável	1/3	1	3	3	
Área de Proteção Ambiental	1/5	1/3	1	1	
Zona Amortecimento	1/5	1/3	1	1	
Total (Soma)	1,733	4,667	10,000	10,000	
MATRIZ NORMATIZADA					Vetor Aproximado de Eigen (%)
Proteção Integral	0,577	0,643	0,500	0,500	55,5
Uso Sustentável	0,192	0,214	0,300	0,300	25,2
Área de Proteção Ambiental	0,115	0,071	0,100	0,100	9,7
Zona Amortecimento	0,115	0,071	0,100	0,100	9,7
Vetor de Eigen	0,555	0,252	0,097	0,097	
Total (Soma)	1,733	4,667	10,000	10,000	
Vetor Principal Eigen (λ_{max})=	4,070				
Índice de Inconsistência (CI) =	0,023				
CR=CI/RI	0,026				

APÊNDICE B: Aplicação da Técnica AHP para as Cavidades

MATRIZ COMPARATIVA						
	Potencial Baixo	Potencial Médio	Potencial Alto	Potencial Muito Alto	Cavidade+ 250 m	
Potencial Baixo	1	1/3	1/5	1/7	1/9	
Potencial Médio	3	1	1/3	1/5	1/7	
Potencial Alto	5	3	1	1/3	1/5	
Potencial Muito Alto	7	5	3	1	1/3	
Potencial Baixo	9	7	5	3	1	
Total (Soma)	25	16,333	9,533	4,676	1,787	
MATRIZ NORMATIZADA						Vetor Aproximado de Eigen (%)
Potencial Baixo	0,040	0,020	0,021	0,031	0,062	3,5
Potencial Médio	0,120	0,061	0,035	0,043	0,080	6,8
Potencial Alto	0,200	0,184	0,105	0,071	0,112	13,4
Potencial Muito Alto	0,280	0,306	0,315	0,214	0,187	26,0
Cavidade+250 m	0,360	0,429	0,524	0,642	0,560	50,3

Vetor de Eigen	0,035	0,068	0,134	0,260	0,503
Total (Soma)	25,000	16,333	9,533	4,676	1,787

Vetor Principal Eigen (λ_{max})=	5,374
Índice de Inconsistência (CI) =	0,093
CR=CI/RI	0,083

APÊNDICE C: Aplicação da Técnica AHP para as Áreas de Preservação Permanente

MATRIZ COMPARATIVA					
	Margem cursos d'água	Topos de morro	Declividade	Altitude	
Margem cursos d'água	1	1/5	1/5	1/6	
Topos de morro	5	1	1	1/2	
Declividade	5	1	1	1/2	
Altitude	6	2	2	1	
Total (Soma)	17,000	4,200	4,200	2,167	
MATRIZ NORMATIZADA					Vetor Aproximado de Eigen (%)
Margem cursos d'água	0,059	0,048	0,048	0,077	5,8
Topos de morro	0,294	0,238	0,238	0,231	25,0
Declividade	0,294	0,238	0,238	0,231	25,0
Altitude	0,353	0,476	0,476	0,462	44,2

Vetor de Eigen	0,058	0,250	0,250	0,442
Total (Soma)	17,000	4,200	4,200	2,167

Vetor Principal Eigen (λ_{max})=	4,041
Índice de Inconsistência (CI) =	0,014
CR=CI/RI	0,015

APÊNDICE D: Aplicação da Técnica AHP para os Sítios Arqueológicos

MATRIZ COMPARATIVA			
	Baixa incidência	Média incidência	Alta incidência
Baixa incidência	1	1/5	1/7
Média incidência	5	1	1/3
Alta incidência	7	3	1
Total (Soma)	13,000	4,200	1,476

MATRIZ NORMALIZADA				Vetor Aproximado de Eigen (%)
Baixa incidência	0,077	0,048	0,097	7,38
Média incidência	0,385	0,238	0,226	28,28
Alta incidência	0,538	0,714	0,677	64,34

Vetor de Eigen	0,074	0,283	0,643
Total (Soma)	13,000	4,200	1,476

Vetor Principal Eigen (λ_{max})=	3,097
Índice de Inconsistência (CI) =	0,048
CR=C/RI	0,083

APÊNDICE E: Aplicação da Técnica AHP para as Zonas Urbanas

MATRIZ COMPARATIVA				
	Zona Urbana	Tendência de Expansão	Distância de 6 km	Distância de 11,9 km
Zona Urbana	1	5	7	9
Tendência de Expansão	1/5	1	5	7
Distância de 6 km	1/7	1/5	1	7
Distância de 11,9 km	1/9	1/7	1/7	1
Total (Soma)	1,454	6,343	13,14	24,00

MATRIZ NORMALIZADA					Vetor Aproximado de Eigen (%)
Zona Urbana	0,688	0,788	0,533	0,375	59,59
Tendência de Expansão	0,138	0,158	0,380	0,292	24,18
Distância de 6 km	0,098	0,032	0,076	0,292	12,44
Distância de 11,9 km	0,076	0,023	0,011	0,042	3,79

Vetor de Eigen	0,596	0,242	0,124	0,038
Total (Soma)	1,454	6,343	13,143	24,000

Vetor Principal Eigen (λ_{max})=	4,944
Índice de Inconsistência (CI) =	0,314
CR=CI/RI	0,350

APÊNDICE F: Aplicação da Técnica AHP para as Áreas prioritárias para conservação da biodiversidade

MATRIZ COMPARATIVA			
	Não prioritária	Especial	Extrema
Não prioritária	1	1/7	1/9
Especial	7	1	1/7
Extrema	9	7	1
Total (Soma)	17,000	8,143	1,254

MATRIZ NORMALIZADA				Vetor Aproximado de Eigen (%)
Não prioritária	0,059	0,018	0,089	5,50
Especial	0,412	0,123	0,114	21,62
Extrema	0,529	0,860	0,797	72,88

Vetor de Eigen	0,055	0,216	0,729
Total (Soma)	17,000	8,143	1,254

Vetor Principal Eigen (λ_{max})=	3,609
Índice de Inconsistencia (CI) =	0,305
CR=CI/RI	0,525

APÊNDICE G: Aplicação da Técnica AHP para as Barragens

MATRIZ COMPARATIVA					
	Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
Muito Baixo	1	1/3	1/5	1/7	1/9
Baixo	3	1	1/3	1/5	1/7
Médio	5	3	1	1/3	1/5
Alto	7	5	3	1	1/3
Muito Alto	9	7	5	3	1
Total (Soma)	25,000	16,333	9,533	4,676	1,787

MATRIZ NORMALIZADA						Vetor Aproximado de Eigen (%)
Muito Baixa	0,040	0,020	0,021	0,031	0,062	3,48
Baixa	0,120	0,061	0,035	0,043	0,080	6,78
Média	0,200	0,184	0,105	0,071	0,112	13,44
Alta	0,280	0,306	0,315	0,214	0,187	26,02
Muito Alta	0,360	0,429	0,524	0,642	0,560	50,28

Vetor de Eigen	0,035	0,068	0,134	0,260	0,503
Total (Soma)	25,000	16,333	9,533	4,676	1,787

Vetor Principal Eigen (λ_{max})=	5,374
Índice de Inconsistência (CI) =	0,093
CR=CI/RI	0,083

APÊNDICE H: Aplicação da Técnica AHP para a priorização de todos os critérios

	UC	APC	Cavidades	Zona Urbana	Patrimônio Arqueológico	Barragens	APP	
Unidade de Conservação	1	1	5	6	7	8	9	
Áreas Prioritárias para a Conservação	1	1	5	6	7	8	9	
Cavidades	1/5	1/5	1	5	6	7	8	
Zona Urbana	1/6	1/6	1/5	1	3	5	7	
Sítios Arqueológicos	1/7	1/7	1/6	1/3	1	2	5	
Barragens	1/8	1/8	1/7	1/5	1/2	1	5	
Áreas de Preservação Permanente	1/9	1/9	1/8	1/7	1/5	1/5	1	
Total (Soma)	2,746	2,746	11,635	18,676	24,700	31,200	44,000	
MATRIZ NORMALIZADA								Vetor Aproximado de Eigen (%)
Unidade de Conservação	0,364	0,364	0,430	0,321	0,283	0,256	0,205	31,77
Áreas Prioritárias para a Conservação	0,364	0,364	0,430	0,321	0,283	0,256	0,205	31,77
Cavidades	0,364	0,073	0,086	0,268	0,243	0,224	0,182	20,57
Zona Urbana	0,364	0,061	0,017	0,054	0,121	0,160	0,159	13,38
Sítios Arqueológicos	0,364	0,052	0,014	0,018	0,040	0,064	0,114	9,52
Barragens	0,364	0,046	0,012	0,011	0,020	0,032	0,114	8,55
Áreas de Preservação Permanente	0,364	0,040	0,011	0,008	0,008	0,006	0,023	6,58
Vetor de Eigen	0,318	0,318	0,206	0,134	0,095	0,086	0,066	
Total (Soma)	2,746	2,746	11,635	18,676	24,700	31,200	44,000	
Vetor Principal Eigen (λ_{max})= 14,550		Índice de Inconsistência (CI) =1,258				CR =0,953		