

Ana Carolina Nicolau Costa de Souza

Geoprocessamento aplicado a análise de
melhores opções locais para
estruturas de empreendimentos
minerários

Curso de Especialização em
Geoprocessamento



UFMG

Instituto de Geociências

Departamento de Cartografia

Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha

Belo Horizonte

cartografia@igc.ufmg.br

ANA CAROLINA NICOLAU COSTA DE SOUZA

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO A ANÁLISE DE MELHORES OPÇÕES
LOCACIONAIS PARA ESTRUTURAS DE EMPREENDIMENTOS
MINERÁRIOS**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Especialista em Geoprocessamento. Curso de Especialização em Geoprocessamento. Departamento de Cartografia. Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª Úrsula Ruchkys de Azevedo

BELO HORIZONTE

2014

S731g Souza, Ana Carolina Nicolau Costa de.
2014 Geoprocessamento aplicado a análise de melhores opções
locais para estruturas de empreendimentos minerais
[manuscrito] / Ana Carolina Nicolau Costa de Souza. – 2014.
44 f., enc. : il. color.

Orientador: Úrsula Ruchkys de Azevedo.
Monografia (especialização) - Universidade Federal de Minas Gerais,
Instituto de Geociências, 2014.
Bibliografia: f. 42-44.

1. Geoprocessamento. 2. Análise multicritério. 3. Projetos
minerários. I. Azevedo, Úrsula Ruchkys II. Universidade Federal de
Minas Gerais, Instituto de Geociências. III. Título.

CDU: 528

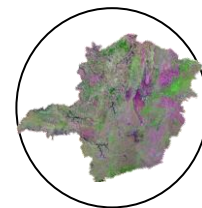


Curso de Especialização em Geoprocessamento
UNIVERSIDADE FEDERAL
DE MINAS GERAIS

Av. Antonio Carlos 6627,
Belo Horizonte, MG, 31.270-901

Tel: 55 31 3409-5416

www.csr.ufmg.br/geoprocessamento



FOLHA DE APROVAÇÃO

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO A ANÁLISE DE MELHORES OPÇÕES
LOCACIONAIS PARA ESTRUTURAS DE EMPREENDIMENTOS
MINERÁRIOS**

ANA CAROLINA NICOLAU COSTA DE SOUZA

Monografia defendida em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do título de Especialista em Geoprocessamento.

Aprovada em 03 de dezembro de 2014, pela Banca Examinadora constituída pelos seguintes membros:

Prof^a. Dr^a. Úrsula Ruchkys de Azevedo
UFMG

Prof^a. Dr^a. Maria Márcia M. Machado
UFMG

Dedico este trabalho ao meu marido Geraldo Jr.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus por me dar discernimento, persistência e força.

Ao meu marido por estar ao meu lado em todos os momentos, não me deixando desanimar.

Aos meus queridos pais que me mostraram o valor do estudo e ao meu irmão por estar sempre ao meu lado, me apoiando.

Ao meu amigo e gerente Júlio Neves por ser um incentivador.

À minha professora Úrsula pela confiança e dedicação durante o desenvolvimento deste estudo.

A todos os amigos, em especial Alice Vasconcelos, Kelly Ferreira e Erika de Oliveira, que fizeram parte deste projeto, ora como orientadores e ora como ouvintes.

Muito obrigada!

“A vida é uma linda viagem cujo roteiro nós mesmos traçamos no dia a dia.

Aproveita cada momento desta viagem, pois a passagem é só de ida”

(Autor Desconhecido)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1	Geoprocessamento e o Sistema de Informação Geográfica	16
2.2	Análise Multicritério.....	18
2.3	Uso do Geoprocessamento no Setor Mineral	21
3	ÁREA DE ESTUDO	25
3.1	Caracterização	25
3.2	Morro do Pilar e a Mineração.....	27
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
4.1	Materiais	29
4.1.1	Delimitação da área de estudo	29
4.1.2	Base de dados	30
4.2	Métodos	30
4.2.1	Identificação das variáveis a serem consideradas na modelagem em questão...31	
4.2.2	Preparação da base de dados	31
4.2.3	Seleção de critérios limitantes	32
4.2.4	Reclassificação das classes das variáveis utilizadas.....	32
4.2.5	Determinação de pesos dos critérios e limites de discriminação.....	34
4.2.6	Cruzamento das variáveis no Software ArcGis10.0.....	35
5	RESULTADOS	36
5.1	Resultado Parcial	36
5.2	Resultado Final e Discussão	38
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
7	REFERÊNCIAS BEBLOGRÁFICAS	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Distribuição das Companhias Mineradoras no Brasil	13
Figura 02: Conjunto de Informações de um SIG	17
Figura 03: Sobreposição de rasters e aritmética simples	19
Figura 04: Álgebra de Mapas	20
Figura 05: Localização do município de Morro do Pilar	25
Figura 06: Principais acessos ao município de Morro do Pilar	26
Figura 07: Limite da área de estudo	29
Figura 08: Mapa de potencialidade de áreas para implantação da mina	36
Figura 09: Mapa de potencialidade de áreas para implantação da planta de beneficiamento e barragem de rejeitos	37
Figura 10: Mapa de potencialidade de áreas para implantação da pilha de estéril	38
Figura 11: Mapa indicativo das áreas ótimas para cada estrutura do Plano Diretor do Empreendimento	39

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração
PIB	Produto Interno Bruto
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
CFEM	Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais
AID	Área de Influência Direta
GPS	Sistema de Posicionamento Global
PDI	Processamento Digital de Imagens
SIG	Sistema de Informação Geográfica
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
SUCAM	Superintendência de Campanhas de Saúde Pública
CODEMIG	Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
UFOP	Universidade Federal de Ouro Preto
CEFET	Centro Federal de Educação Tecnológica
CETEC	Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
MMA	Ministério do Meio Ambiente
IEF	Instituto Estadual de Florestas
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão de Águas
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias
SRTM	Missão Topográfica Radar Shuttle
UTM	Universal Transversa de Mercator
SAD	South American Datum
APP	Área de Preservação Permanente

APA Área de Preservação Ambiental

UC Unidades de Conservação

RESUMO

Nos últimos anos os mais variados campos de atuação da mineração, desde a pesquisa mineral ao fechamento de mina, têm utilizado mecanismos capazes de melhorar a manipulação de informações e dados com o intuito de contribuir no conhecimento e gestão racional do território. Dentre estes mecanismos merece destaque o Geoprocessamento, um conjunto de técnicas e métodos que implica na aquisição, arquivamento, processamento e representação de dados georreferenciados. O objetivo deste estudo é orientar os responsáveis pelo desenvolvimento de projetos minerários, apresentando técnicas de geoprocessamento juntamente com o emprego do método de análise multicritério, a fim de identificar as melhores alternativas locais para as estruturas de empreendimentos minerários, já que um dos grandes desafios de um projeto deste porte é a definição de onde ficarão as estruturas como: cava, planta de beneficiamento, barragem de rejeitos, pilhas de estéril e outras estruturas comuns.

1 INTRODUÇÃO

A Indústria Mineral Brasileira registrou nos últimos dez anos um aumento na produção mineral. Esse crescimento deve-se, principalmente, às grandes mudanças socioeconômicas e de infraestrutura que o país tem passado.

Segundo o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM, 2012) muito embora a atividade mineral tenha sofrido redução em suas expectativas em razão da crise internacional, houve um rigoroso crescimento a partir dos anos 2000 impulsionado pelo processo de urbanização em países emergentes com expressivas áreas territoriais, alta densidade demográfica e alto Produto Interno Bruto (PIB).

A China é um bom exemplo de país emergente que a partir de 2009, ultrapassou os Estados Unidos como o principal parceiro comercial do Brasil, tornando-se o maior comprador do minério de ferro e do aço brasileiro, segundo o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC). A sua demanda por matérias primas, nos dias atuais, continua como um dos maiores estimulantes para o setor da mineração.

Outro dado que aponta o crescimento no setor mineral foi o registro feito em 2012, pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 2012), que mostra 8.870 empresas mineradoras no Brasil. Na figura 01 é apresentado um mapa com a quantidade de companhias mineradoras por região.

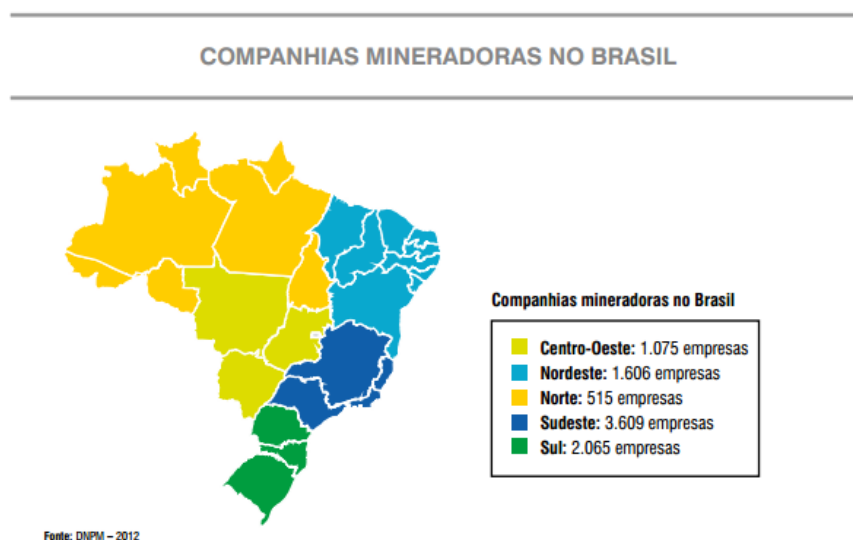


Figura 01: Distribuição das Companhias Mineradoras no Brasil

Fonte: DNPM, 2012

A maior parte das empresas mineradoras se concentra na região sudeste (com 3609 empresas). De acordo com o recolhimento da Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM), os maiores produtores são: MG (53,2%), PA (28,6%), GO (4,1%), SP (2,8%), BA (2,0%) e outros (9,3%) (IBRAM, 2012).

O setor de mineração é um dos principais responsáveis pelo crescimento econômico do Brasil, um país caracterizado por grande diversidade de recursos minerais. As características naturais juntamente com a conformação do mercado e cenário mundial atual, tornam o Brasil um país interessante para investimentos no setor mineral.

Segundo a *Global Business Reports* (2011)

Cada vez mais a necessidade por minerais tem contribuído para o aumento da produção mineral no Brasil. “Como exemplo o ferro é o principal minério em que os investimentos são feitos, responsável por cerca de 70% do total.”
(*Global Business Reports*)

Considerando esse cenário, o empreendimento minerário Morro do Pilar, cujo objetivo será extrair e beneficiar o minério de ferro a fim de atender ao mercado interno e externo, pretende se instalar no município de Morro do Pilar, região central do estado de Minas Gerais. O município situa-se ao norte do Quadrilátero Ferrífero, onde se localizam as maiores reservas de Minério de Ferro do estado.

Um dos grandes desafios deste projeto minerário, é a definição das áreas onde ficarão as estruturas do empreendimento: cavas, pilhas de estéril, barragem de rejeitos, planta de beneficiamento e outras estruturas comuns. Esta preocupação não se restringe apenas à viabilidade técnica e econômica, mas também a viabilidade ambiental, pois é na Área de Influência Direta (AID)¹ pela instalação das estruturas que ocorrerá a mudança objetiva do uso e ocupação do solo pré-existente.

¹ “A Área de Influência Direta (AID) corresponde conceitualmente à área geográfica passível de ser afetada pelos impactos diretos positivos ou negativos decorrentes do empreendimento.” (GEONATURE, 2012)

Mas para projetar as estruturas é importante compreender e dominar o espaço em que elas serão inseridas. E, para isso, as equipes responsáveis pelo desenvolvimento dos projetos utilizam ferramentas que viabilizam este processo. Uma das ferramentas utilizadas é o geoprocessamento, que por meio de técnicas computacionais e matemáticas, possibilita analisar, manipular e tratar a informação geográfica de forma automatizada.

O geoprocessamento é indispensável nas etapas desenvolvidoras de um Projeto Conceitual e Executivo Minerário, pois permite que os projetistas avaliem e determinem, com fundamento, onde serão e como serão as estruturas da mina.

Portanto, o objetivo deste estudo é apresentar o geoprocessamento como ferramenta de planejamento, focada na escolha da melhor alternativa locacional das estruturas do Empreendimento Minerário Morro do Pilar, propostas pelo Plano Diretor da Mina.

Para desenvolver o estudo, será adotada a técnica de análise multicritério e a de álgebra de mapas ligadas ao Sistema de Informação Geográfica. A aplicação desses métodos resultará em um mapa que indicará áreas ótimas para a instalação das estruturas do Empreendimento orientando a equipe multidisciplinar, responsável pelo Plano Diretor, a tomar decisões corretas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Geoprocessamento e o Sistema de Informação Geográfica

O geoprocessamento é um conjunto de técnicas e métodos que implica na aquisição, arquivamento, processamento e representação de dados georreferenciados.

De acordo com CÂMARA e DAVIS et. al., (2004):

Geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas computacionais para o tratamento da informação geográfica e vem influenciando de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional.

É uma tecnologia formada pela interação de outras tecnologias: Sistema de Posicionamento Global (GPS); Sensoriamento Remoto; Processamento Digital de Imagens (PDI); Sistema Gerenciadores de Bancos de Dados e Sistema de Informação Geográfica (SIG), sendo que o SIG é a principal ferramenta desse conjunto.

O SIG é um sistema de *hardware, software*, informação espacial, procedimentos computacionais e recursos humanos que permite e facilita a análise, gestão ou representação do espaço e dos fenômenos que nele ocorrem. (WIKIPÉDIA, 2014)

Por se tratar de uma tecnologia multidisciplinar, vários autores a definem de acordo com a compreensão que possuem diante dos diversos usos dessa tecnologia.

SIG é um poderoso conjunto de técnicas e procedimentos capazes de coletar armazenar, recuperar, transformar e exibir dados espaciais do mundo real (BURROUGH, 1986);

SIG é um banco de dados indexados espacialmente, sobre o qual opera um conjunto de procedimentos para responder a consultas sobre entidades espaciais (SMITH et al., 1987);

SIG é um sistema de suporte à decisão que integra dados referenciados espacialmente em um ambiente de respostas a problemas (COWEN, 1988).

Já para CÂMARA et. al., (1996):

Os SIGs são sistemas de informações construídos para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica seja inerente e indispensável para tratá-los.

O SIG é a ferramenta mais adequada para a análise espacial de dados geográficos e para a produção de mapas.

Para CÂMARA e DAVIS et. al., (2004):

As ferramentas computacionais para geoprocessamento são chamadas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar banco de dados georreferenciados. Tornam ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos.

Esse sistema permite ao usuário integrar em uma única base de informações geográficas dados como imagens de satélites, relevo, vegetação, hidrografia, rede viária, dados censitários e outros (Figura 02).

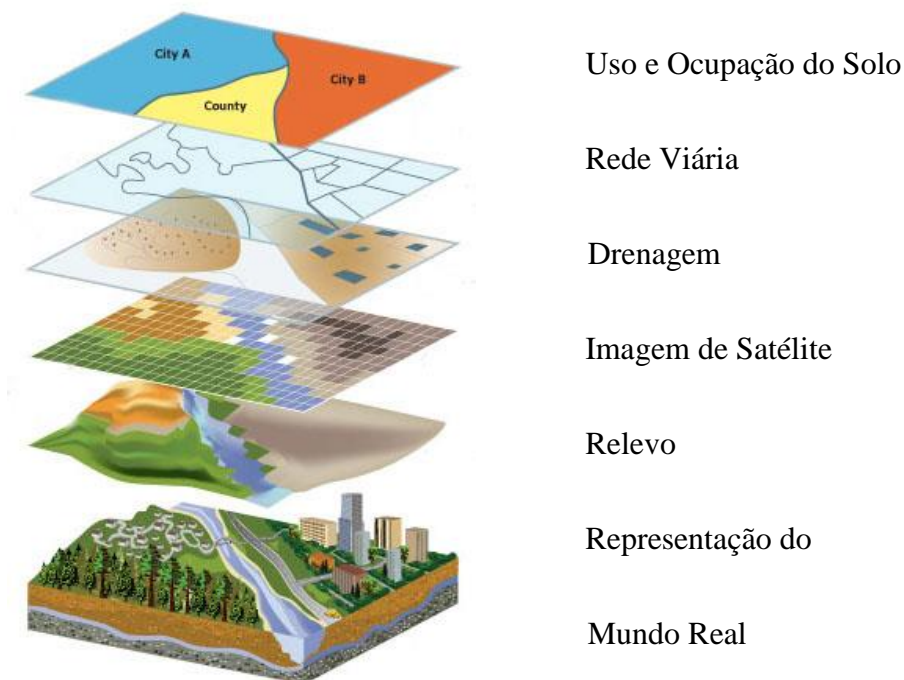


Figura 02: Conjunto de Informações de um SIG.

Fonte adaptada: ENGTEC, Engenharia e Tecnologia

O geoprocessamento não se restringe somente ao ambiente acadêmico. A utilização desta ferramenta está cada vez mais frequente em organizações governamentais e não governamentais, ou seja, nos mais variados setores de atividades. Isso ocorre porque as técnicas e métodos abordados permitem ao agente de decisões tornar sua escolha plausível e fundamentada baseado na representação gráfica da realidade.

Segundo SILVA et. al., (1999):

O uso do Sistema de Informação Geográfica (SIG) em problemas de tomadas de decisão é uma ferramenta poderosa e eficiente nas diversas áreas do conhecimento, porque possibilita que processo de tomada de decisão seja realizado de maneira mais fundamentada. Desta forma o agente de decisão tem à sua disposição dados e informações mais acessíveis, mais facilmente combinados e modificados, além de utilizar argumentos mais claros para a decisão.

Existem atualmente vários métodos que podem ser aplicados a pesquisas envolvendo geoprocessamento, dentre estes merece destaque a análise multicritério, que vem sendo amplamente utilizada em modelagens ambientais para auxiliar na tomada de decisão.

2.2 Análise Multicritério

A técnica de análise multicritério surgiu em 1960 com o objetivo de auxiliar os processos decisórios. Geralmente nestes processos estão envolvidos o objeto a ser analisado, influências desconhecidas, as ações que podem afetar o resultado e o próprio resultado das análises.

Segundo VILAS BOAS et. al., (2006):

As abordagens multicritérios funcionam como uma base para discussão, principalmente nos casos onde há conflitos entre os decisores, ou ainda, quando a percepção do problema pelos vários atores envolvidos ainda não está totalmente consolidada.

A maioria dos resultados de análises realizadas servem de orientação nas decisões de caráter operacional ou para recomendações de atividades futuras. Para que, após o resultado, sejam tomadas as decisões é importante que se tenha opções que oriente a escolha final.

De acordo com MEDEIROS, 2013:

A análise é empregada para retratar o raciocínio e as convicções subjetivas das diferentes partes interessadas (pessoas, instituições, fatores naturais, etc) sobre cada questão em particular. É, geralmente, usada para sintetizar opiniões expressadas, para determinar prioridades, para analisar situações de conflito, para formular recomendações ou proporcionar orientações de natureza operacional.

A análise multicritério é uma técnica de comparação detalhada que considera vários pontos de vista, sendo prático diante de questões complexas.

Para FREITAS, MARINS E SOUZA (2006)

Os métodos multicritérios agregam um valor significativo na tomada de decisão, na medida em que não somente permitem a abordagem de problemas considerados complexos e, por isso mesmo, não tratáveis pelos procedimentos intuitivo-empíricos usuais, mas também conferem ao processo de tomada de decisão, uma clareza e conseqüentemente transparência não disponíveis, quando esses procedimentos ou outros métodos de natureza monocritérios são utilizados.

Este tipo de análise é realizada por meio da álgebra de mapas que é uma linguagem computacional usada para viabilizar análise espacial cartográfica utilizando dados raster em um determinado *software*.

De acordo com BORTOLOTTI (2014):

De uma forma mais simples, álgebra de mapas é matemática aplicada a rasters, uma prática que é possível porque rasters são geograficamente cadeias de números referenciados. Se você empilhar rasters um sobre o outro com se eles fossem um sanduíche matemático, você pode realizar de aritmética simples aos mais sofisticados algoritmos com eles (Figura 03).

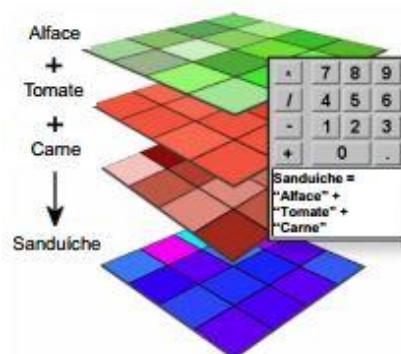


Figura 03: Sobreposição de rasters e aritmética simples

Esse método de análise é uma das aplicações de um SIG. É uma técnica elaborada a partir da análise do valor de cada pixel de um raster quando esses estão sobrepostos/fundidos desde que possuam dimensões matriciais idênticas (Figura 04).

Para FRANCO (2008):

Os SIGs subsidiam esta análise através de vários operadores matemáticos entre os pontos, vizinhança e regiões dos pixels do raster, semelhante às equações da álgebra. Com isso, o processamento destas informações – através de técnicas matemáticas – geram novos produtos cartográficos que contém ricas informações espaciais passíveis de interpretação.

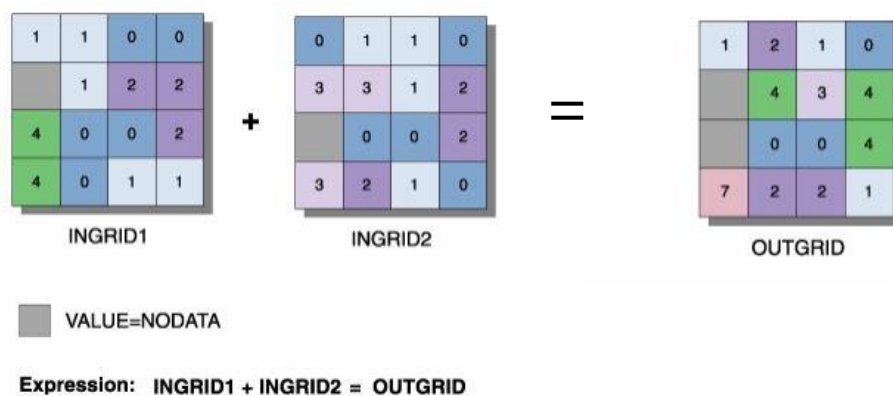


Figura 04: Álgebra de Mapas

Fonte: ESRI 2008

Após a fusão dos pixels, é possível desenvolver expressões contendo operadores e funções com os dados raster. Para isso é importante atribuir valores quantitativos (pesos) que definam o grau de importância correspondente a cada característica dos dados em análise e assim um produto cartográfico final será gerado.

Esses pesos devem ser definidos de acordo com a experiência do pesquisador e análises em campo.

Para CORDEIRO, BARBOSA e CÂMARA (2007):

Os elementos da álgebra de mapas, consistem de mapas que associam a cada local de uma dada área de estudo um valor quantitativo (escalar, ordinal, cardinal ou intervalar) ou qualitativo (nominal). Dito de outra forma, o modelo de dados adotado por Tomlin consiste desses tipos de dados, ficando o significado das operações a eles aplicadas ao encargo do modelador.

O método de álgebra de mapas juntamente com o de análise multicritérios é utilizado por planejadores que necessitam identificar, agrupar e classificar áreas que apresentem potencial para as mais variadas aplicações.

2.3 Uso do geoprocessamento no setor mineral

O uso do geoprocessamento, ligado as atividades minerais no Brasil, começou na década de 70 quando a diretoria da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM)² resolveu investir e desenvolver os sistemas de processamento de dados e na aquisição de equipamentos de informática.

Nos anos de 1973 foram adquiridos equipamentos, periféricos e *softwares* voltados para o desenvolvimento do Sistema de Processamento de Dados Aerogeofísicos, do Sistema Estatístico de Amostragem Geoquímica e do Sistema de Hidrologia. Em 1975 a empresa pública já tinha toda a tecnologia para que mapas fossem confeccionados segundo os padrões cartográficos brasileiros.

De acordo com uma das equipes de geólogos da CPRM (2004):

A operação desses sistemas, a aquisição dos equipamentos e dos *softwares*, e o estabelecimento de procedimentos e padrões no seu uso contribuíram para o desenvolvimento das atividades de geoprocessamento na CPRM nos 30 anos subseqüentes.

No ano de 1985, o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) implantou a base de dados geocientíficos.

Segundo a CPRM (2004):

(...) o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) solicitou a implantação das Bases de Dados Geocientíficos: BIBL (Acervo Bibliográfico da CPRM), AFLO (Descrição de Afloramentos de Rochas), PETR (Descrição Petrográfica de Rochas), META (Ocorrências Minerais) e PALE (Paleontologia). Foram desenvolvidos a modelagem dos dados, os procedimentos de alimentação, crítica e armazenamento, e os aplicativos correspondentes. Em poucos anos, praticamente todo o acervo de dados geocientíficos da CPRM estava armazenado em Bases de Dados.

² “A CPRM é a responsável por gerar e difundir o conhecimento geológico e hidrogeológico básico para o desenvolvimento sustentável do Brasil.” (CPRM,2004)

As aplicações do geoprocessamento no setor mineral foram surgindo, merecendo destaque as atividades que viraram marco no processo evolutivo (CPRM, 2004):

- Primeira digitalização da drenagem simplificada de uma carta topográfica 1:100.000 no Brasil em 1977;
- Desenvolvimento do GeoQUANT, primeiro sistema brasileiro de análise de dados geológicos de uso em microcomputador (1986);
- Organização e armazenamento digital das primeiras Bases de Dados Geocientíficos no Brasil (1987);
- Primeira apresentação remota de uma aplicação de SIG (Sistema de Informações Geográficas) no Brasil, efetuada para a SUCAM (Superintendência de Campanhas de Saúde Pública), em Roraima, com conexão remota com o Rio de Janeiro (1989);
- Primeira modelagem em ambiente de SIG, no Brasil, aplicada à exploração mineral no Vale da Ribeira (1993);
- Primeira visualização, em micro, das áreas de pesquisa mineral no Brasil, mediante o sistema Títulos Minerários (1993).

Na década de 90, devido a evolução da tecnologia de equipamentos de informática, a aplicação do SIG se tornou rotineira e permitiu ao Serviço Geológico do Brasil construir modelos da realidade dando suporte a gestão do Meio Físico. No DNPM foi concluída a primeira versão do sistema voltado à automação das rotinas de outorga de títulos minerários. Nos dias atuais, este sistema adotado pelo DNMP ainda é utilizado com técnicas mais avançadas (DNPM, 2014):

“Com avançadas técnicas de geoprocessamento integradas com atividades de campo, é possível contribuir com ações de controle e monitoramento ambiental, e também das atividades da mineração. Técnicas de geoprocessamento são utilizadas pelo órgão no controle de áreas, controle de rotas, mapeamento de minas, utilização de Sistemas de Posicionamento Global para checagem de áreas, além de *softwares* e rotinas para o controle de títulos minerários.”

No ano de 1994, utilizando técnicas de geoprocessamento, a Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (CODEMIG) deu início ao Mapeamento Geológico do Estado em escala de 1:100.000. O avanço veio com o projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero em parceria com a Universidade Federal de Minas Gerais

(UFMG), que resultou em mapas que seguem a articulação de 1:50.000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Em 2004, a CPRM elaborou a Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo:

“A Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo constitui-se no maior produto da área das geociências do Brasil, sendo único no mundo por reunir o conhecimento de um século de levantamentos geológicos no país e de cinco décadas de pesquisas acadêmicas. Tornou-se um marco importante na história do Serviço Geológico do Brasil, pois representa a consolidação do novo paradigma da geologia, baseado nos bancos de dados, no geoprocessamento avançado e nos Sistemas de Informações Geográficas.”
CPRM, 2004

A CODEMIG, de 2010 aos dias atuais, vem elaborando o Levantamento Aerogeofísico de Minas Gerais utilizando instrumentos geofísicos transportados por aviões ou helicópteros. Os dados resultantes são tratados em softwares que permitem uma minuciosa pesquisa do subsolo com alta resolução.

No meio acadêmico, estudos vem sendo realizados com o objetivo de mostrar as diversas aplicabilidades das geotecnologias no setor mineral. Algumas dissertações sobressaem, pois levam em seu escopo a importância do uso dessas técnicas com o objetivo de orientar as pessoas envolvidas nos variados setores da mineração.

Em 2008, Sérgio Eustáquio Neto, mestre em Engenharia Geotécnica pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) defendeu sua tese propondo o descomissionamento e a criação de uma unidade de conservação ambiental para a Mina de Gongo Soco da empresa Vale, após o esgotamento do minério previsto para o ano de 2014. A análise e elaboração dos mapas da dissertação foram trabalhados em *softwares* de SIG. As imagens aerofotogramétricas e a topografia gerada por sistema laser serviram de base para estudo.

A especialista em geoprocessamento pela UFMG, Valéria da Rocha (2011), apresentou um estudo, também no município de Morro do Pilar, cuja proposta foi simular a reconstituição do relevo após atividades de mineração, criando um modelo tridimensional das áreas relacionadas a futura exploração e sugerindo, através de um modelo digital de terreno, o preenchimento das cavas e assim a redução de impactos ambientais.

Humberto Pereira de Almeida, em 2014, através do Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional, pelo Centro Federal de Educação Tecnológica (CEFET), usou das ferramentas do SIG, técnicas de sensoriamento remoto e imagens do satélite CBERS-2B, para fazer o reconhecimento de áreas de mineração a céu aberto no município de Nova Lima.

Diante deste panorama de aplicações do geoprocessamento no setor mineral, nos setores público e privado, além do meio acadêmico, compreende-se que o SIG é uma ferramenta poderosa que proporciona a otimização nos custos das pesquisas minerais, redução de riscos e descoberta de novas jazidas minerais. No caso de empresas privadas, pode ser amplamente utilizado desde a fase da pesquisa mineral até o descomissionamento de minas.

3 ÁREA DE ESTUDO

3.1 Caracterização

O empreendimento minerário Morro do Pilar está projetado para o município de Morro do Pilar, situado na região central do estado de Minas Gerais, microrregião de Conceição do Mato Dentro. Esse município situa-se ao norte do Quadrilátero Ferrífero, onde localizam-se as maiores reservas de minério de ferro do estado.

De acordo com os dados do IBGE - Censo/2010, o município tem uma área territorial de 477,548 Km² e possui uma população de 3.399 habitantes (Figura 05).

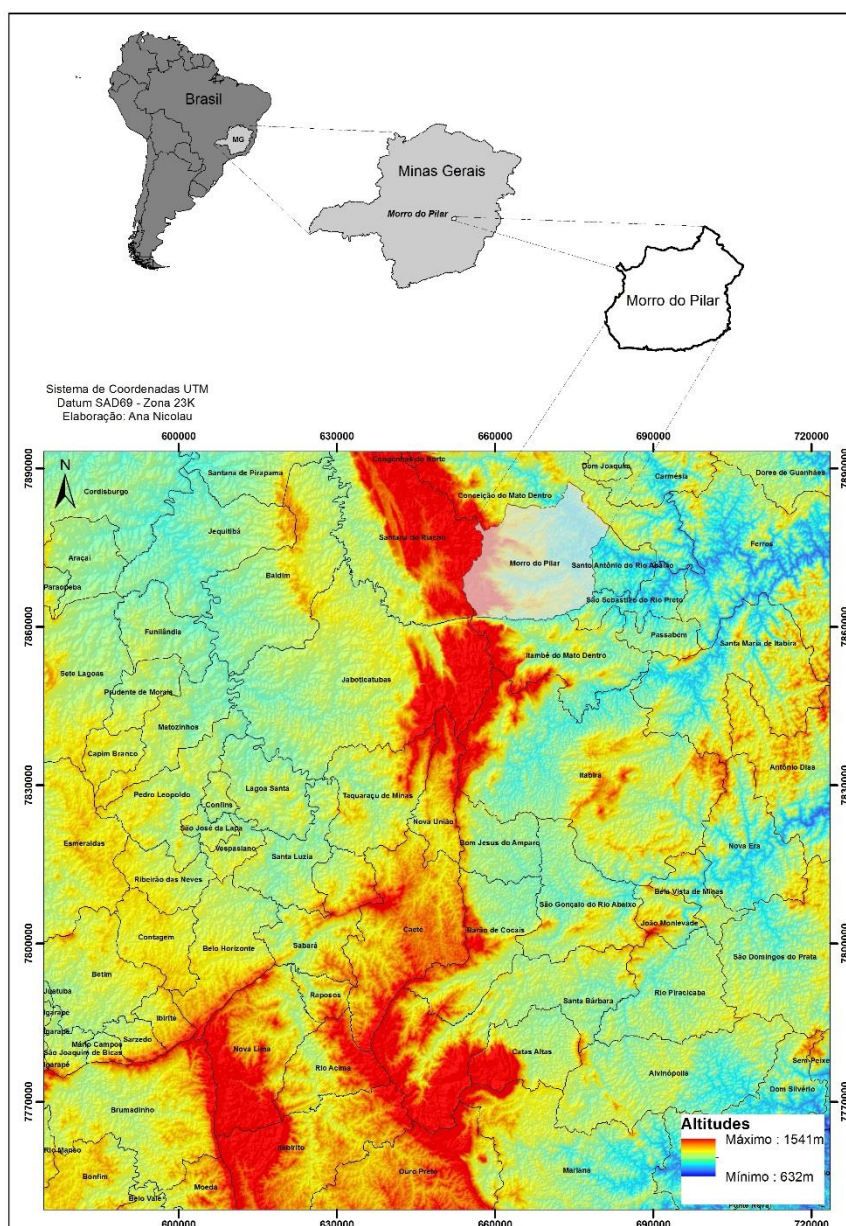


Figura 05: Localização do município de Morro do Pilar

Os municípios limítrofes de Morro do Pilar são: Conceição do Mato Dentro, Santana do Riacho, Itambé do Mato Dentro, São Sebastião do Rio Preto e Santo Antônio do Rio Abaixo.

O principal acesso a partir de Belo Horizonte, é pela rodovia MG-10 passando pela cidade de Lagoa Santa até o município de Santana do Riacho (Serra do Cipó). Em seguida segue pela MG-232, por aproximadamente 50 Km, até a Sede de Morro do Pilar (Figura 06).

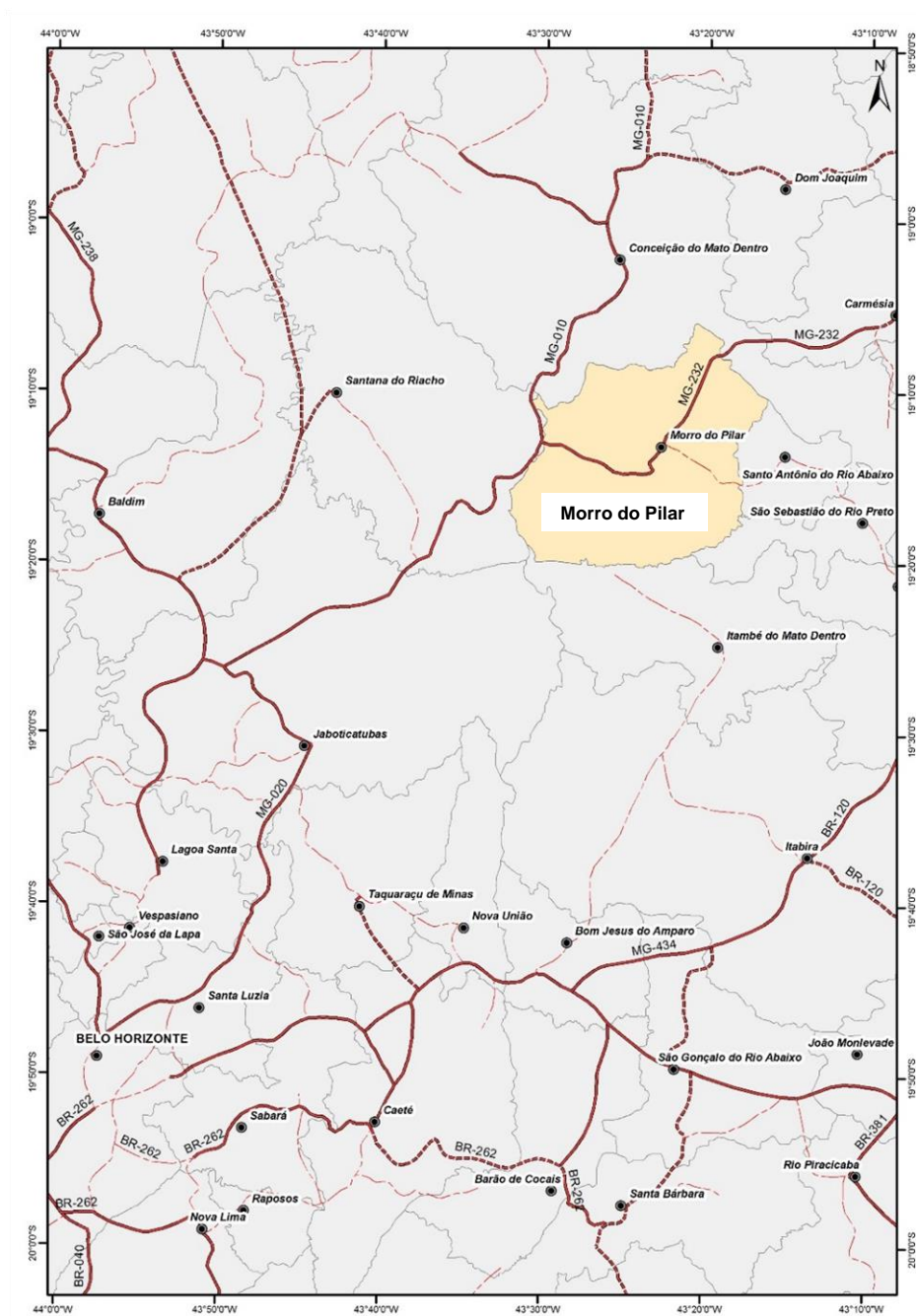


Figura 06: Principais acessos ao município de Morro do Pilar

Geologicamente o município é caracterizada pelos seguintes grandes conjuntos de rochas: complexos metamórficos de rochas cristalinas de idade arqueana composto pelo Complexo Gouvêa caracterizado por granitos, migmatitos e granodioritos (Geonature, 2012) e pelo Complexo Dona Rita composto por ortognaisses e gnaisses migmatíticos (Guimarães et al., 1996); Grupo Guanhões, também de idade arqueana, constituído por itabiritos laminados a magnetita, xistos, quartzitos ferruginosos e gnaisses bandados de composição granítica-granodiorítica; sequência Vulcanosedimentar Rio Mata Cavalo (Dussin, 1985); sequências metassedimentares do Proterozóico Inferior e Médio representadas por rochas quartzíticas e itabiritos do Grupo Serra da Serpentina (Vilela & Santos, 1983) e por espessas camadas de quartzitos, lentes de quartzo-muscovita xistos e corpos máficos do Supergrupo Espinhaço (Dussin & Dussin, 1995). Segundo Machado e Penha (1997), ainda ocorrem na região diques e *sills* de rochas máficas de idade Mesozóica, intrusivos nas litologias acima descritas.

Está localizado na bacia hidrográfica do Rio Doce. A geomorfologia é bastante diversificada, apresenta uma grande quantidade de formas e processos, diretamente associados às suas características litológicas e estruturais. Segundo o CETEC (1989), podem ser identificadas as seguintes unidades de relevo: Serra do Espinhaço, Planaltos Dissecados do Centro-Sul e Leste de Minas-Zona das Colinas e a Depressão do Rio Doce.

3.2 Morro do Pilar e a Mineração

Segundo dados históricos da prefeitura de Morro do Pilar, o município foi um centro de mineração no início de 1700. A origem e desenvolvimento do arraial se deu em função da exploração do ouro, mas no início do século XIX já havia sido praticamente abandonado, por razões desconhecidas.

Um fato importante ocorreu quando o intendente dos diamantes Manuel Ferreira da Câmara Bitencourt e Sá, desenvolveu a fabricação de ferro líquido na primeira fábrica de ferro do Brasil, chamada de Real Fábrica de Ferro. A fundição do ferro em Morro do Pilar ocorreu no período de 1809 à 1830.

Segundo VIEIRA, 2013:

Morro do Pilar tem raízes no setor minerometalúrgico, embora a vocação tenha ficado esquecida. O município é conhecido pelos especialistas da área por ter sido o local em que Manoel Ferreira Câmara Bitencourt e Sá, o Intendente Câmara, pioneiro da siderurgia no Brasil, realizou a primeira corrida de ferro-gusa (matéria-prima da fabricação de aço) em alto-forno na América Latina. A cidade comemora, neste ano, o aniversário de 200 anos da façanha, empenhada em construir uma réplica do equipamento e lançar um livro contendo documentos que relatam a história dos morrenses.

A iniciativa do intendente dos diamantes, está marcada nas ruínas da Real Fábrica de Ferro e é considerado o marco do empreendedorismo siderúrgico mineiro.

Assim, o município possui uma relação intrínseca com a mineração, indo do ciclo do ouro ao do ferro entre os anos de 1700 a 1830. Atualmente sua economia está reduzida a atividade agrícola e agropecuária tradicional. A população se ocupa da produção de queijos, hortaliças, leguminosas, cana-de-açúcar e reflorestamento de eucalipto o que gera poucas oportunidades de emprego para os moradores.

E, neste contexto, de baixo dinamismo econômico e pouco investimento da prefeitura no local, o empreendimento minerário Morro do Pilar pretende se instalar visando a exploração do minério de ferro.

Este investimento colocará novamente o município no cenário da exploração mineral.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

4.1.1 Delimitação da área de estudo

A empresa, detentora dos direitos minerários, disponibilizou o limite da área a ser trabalhada, mais precisamente a Área de Influência Direta do empreendimento minerário Morro do Pilar localizado na região central de Minas Gerais (Figura 07).

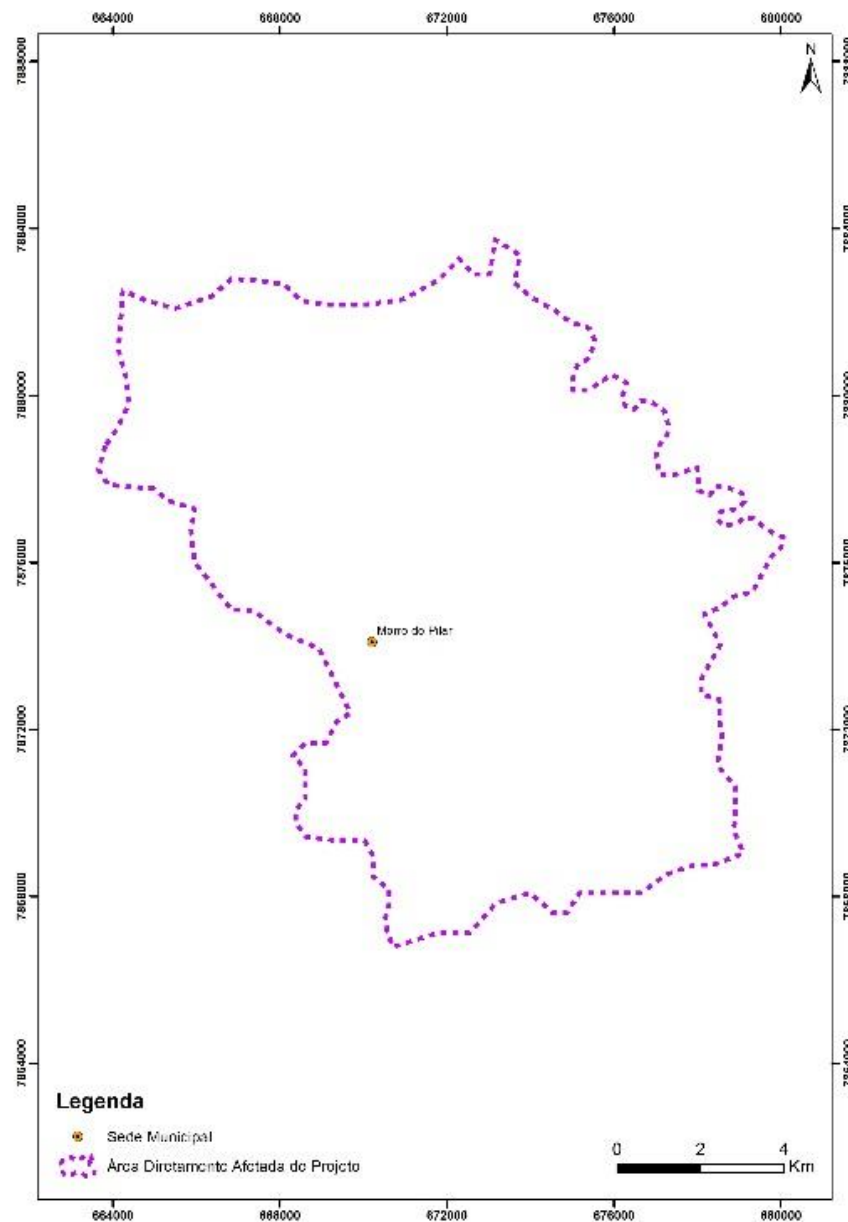


Figura 07: Limite da área de estudo

4.1.2 Base de Dados

Os dados utilizados foram obtidos das seguintes fontes:

- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE): Carta Topográfica da folha de Conceição do Mato Dentro – Escala 1:100.000;
- Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (CODEMIG): dados vetoriais da geologia da folha de Conceição do Mato Dentro/ Projeto Espinhaço - Escala 1:100.000;
- Ministério do Meio Ambiente (MMA) / Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) / Instituto Estadual de Florestas (IEF): arquivo contendo todas as Unidades de Conservação de Estado de Minas Gerais;
- Instituto Mineiro de Gestão de Águas (IGAM): principais cursos d'água do Estado de Minas Gerais;
- Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA): Modelo Digital de Terreno - Missão Topográfica *Radar Shuttle* (SRTM / Nasa) - resolução espacial de 90m;
- Satélite WORLDVIEW2: Imagem de Satélite com Composição Colorida Natural RGB 123, resolução espacial de 0,50m, ortorretificada.

4.2 Métodos

Neste trabalho foi utilizado o método de análise de multicritério para avaliar as melhores opções locacionais para as estruturas do plano diretor do empreendimento minerário com base em determinados critérios (ambientais, legais e técnicos). Esta análise foi realizada em ambiente SIG envolvendo as seguintes etapas:

4.2.1 Identificação das variáveis a serem consideradas na modelagem em questão

A primeira etapa consistiu numa análise das variáveis que poderiam interferir na proposição das melhores opções locacionais para a cava da mina de ferro bem como para a planta de beneficiamento, pilha de estéril e para a barragem de rejeitos. Foram identificadas as seguintes variáveis: geologia, declividade, uso e ocupação do solo, unidades de conservação, áreas de preservação permanente e estradas/aceessos.

4.2.2 Preparação da base de dados

O *software* utilizado para o tratamento dos dados foi o ArcGis 10.0 e as principais extensões usadas foram *Spatial Analyst Tools*, *3D Analyst Tools* e *Image Classification*. Todos os dados tiveram que ser compatibilizados com o *software* para uma correta operacionalização.

Os mapas temáticos das variáveis de entrada foram georreferenciados e os que estavam originalmente em formato vetorial, fez-se necessária a conversão para o formato raster e, posteriormente a atribuição do sistema de coordenadas UTM em SAD69.

O mapa de declividade foi gerado a partir da extração das curvas de nível da Imagem SRTM pela ferramenta *Surface Slope*, já em formato raster.

Já o mapa de uso e ocupação do solo foi elaborado a partir da imagem de satélite pelo método de classificação de imagens, ferramenta *Image Classification*, com ajuste manual. Foram identificadas as seguintes classes: vegetação, pastagem, solo exposto, área plantada e área urbana.

Após realizar o processo de vetorização do mapa de estradas/aceessos, com base na imagem de satélite e carta topográfica, foi criada uma área de influência direta com o objetivo de delimitar a largura da rede viária.

E, para criação do mapa de áreas de preservação permanente, foi necessário realizar operações de geração de área de influência em torno de nascentes e rede de drenagem.

4.2.3 Seleção de critérios limitantes

Considerou-se, como critérios limitantes para a indicação de áreas propícias para a cava, planta de beneficiamento, pilha de estéril e barragem de rejeitos, os fatores legal/ambiental derivados de determinações legais:

- a) Áreas de Preservação Permanente: definidas segundo o Artigo 2º do Código Florestal Brasileiro, Lei Federal nº 4.771/65. Assim, foram delimitadas áreas de proteção (*buffers*) ao redor de nascentes com uma largura mínima de 50 m e, ao longo de rios, uma faixa de proteção de 30 m.
- b) Áreas de Uso Restrito (existência de unidades de conservação de proteção integral e de uso sustentável): foi identificado no limite do projeto a Área de Proteção Ambiental Municipal de Uso Sustentável Rio Picão, Lei nº 402, 23/08/99.

4.2.4 Reclassificação das classes das variáveis utilizadas

O processo de reclassificação foi determinante para unir as classes com atributos comuns, portanto notas foram atribuídas para cada uma das classes das variáveis utilizadas de acordo com sua importância relativa na análise em questão.

As notas estabelecidas para todas as classes variam de 01 a 05, sendo que os valores mais altos indicam maior adequação para disposição das estruturas do plano diretor.

NOTA	CLASSIFICAÇÃO
1	Inapto
2	Analisar
3	Regular
4	Bom
5	Ótimo

Geologia

Disposição para a Cava

CLASSE	NOTA
Formação ferrífera bandada	5
Canga	4
Quartzitos com lâminas ricas em hematita	3
Rochas metaultramáficas de formação ferrífera	2
Filitos e filitos ferruginosos	1
Metadiabásios e anfíbolitos	1
Microgranitos e metariolitos	1
Moscovita-xistos	1
Ortognaisses porfiríticos e gnaisses migmatíticos	1
Quartzitos finos e sericita xistos	1

Disposição para a pilha de estéril

CLASSE	NOTA
Formação ferrífera bandada	5
Canga	5
Quartzitos com lâminas ricas em hematita	5
Rochas metaultramáficas de formação ferrífera	5
Filitos e filitos ferruginosos	4
Metadiabásios e anfíbolitos	4
Microgranitos e metariolitos	4
Moscovita-xistos	3
Ortognaisses porfiríticos e gnaisses migmatíticos	1
Quartzitos finos e sericita xistos	1

Uso e ocupação do solo

Disposição para a planta de beneficiamento, pilha de estéril e barragem de rejeitos

CLASSE	NOTA
Pastagem	5
Solo Exposto	4
Área Plantada	2
Vegetação	1
Área Urbana	1

Declividade

Disposição para a planta de beneficiamento e barragem de rejeitos

CLASSE	NOTA
0 – 10%	5
10 – 20%	4
>20%	1

Unidades de conservação

CLASSE	NOTA
APA Municipal	1
Fora da APA	5

Áreas de proteção permanente

CLASSE	NOTA
Buffer 30 metros	1
Buffer 50 metros	1
Fora do buffer	5

Estradas/acessos

CLASSE	NOTA
Estrada	2
Estrada Real	1
Fora do limite da estrada	5

4.2.5 Determinação de pesos dos critérios e limites de discriminação

Os pesos traduzem numericamente a importância relativa de cada critério e foram definidos a partir de consulta aos especialistas que trabalham no empreendimento.

		ESTRUTURAS			
		CAVA	PLANTA DE BENEFICIAMENTO	PILHA DE ESTÉRIL	BARRAGEM DE REJEITOS
VARIÁVEIS	GEOLOGIA	50%	10%	40%	10%
	USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	20%	30%	30%	30%
	DECLIVIDADE	-	30%	-	30%
	UC	10%	10%	10%	10%
	APP	10%	10%	10%	10%
	ESTRADAS	10%	10%	10%	10%

4.2.6 Cruzamento das variáveis no *software* ArcGis 10.0

O cruzamento das variáveis, através da ferramenta *Raster Calculator*, gerou três equações multicritério para os dados reclassificados.

1ª equação - identificar a melhor área para a cava

$$(\text{geologia} * 50) + (\text{uso do solo} * 20) + (\text{app} * 10) + (\text{uc} * 10) + (\text{estrada} * 10)$$

2ª equação - identificar a melhor área para a planta de beneficiamento e barragem de rejeitos

$$(\text{geologia} * 10) + (\text{uso do solo} * 30) + (\text{declivid} * 30) + (\text{app} * 10) + (\text{uc} * 10) + (\text{estrada} * 10)$$

3ª equação - identificar a melhor área para pilha de estéril

$$(\text{geologia} * 40) + (\text{uso do solo} * 30) + (\text{app} * 10) + (\text{uc} * 10) + (\text{estrada} * 10)$$

5 RESULTADOS

5.1 Resultado Parcial

Cada equação multicritério gerou um mapa temático com as cinco classes denominadas: áreas inaptas, áreas a serem analisadas, áreas regulares, áreas boas e áreas ótimas.

1ª equação - identificação das melhores áreas para a cava (Figura 08)

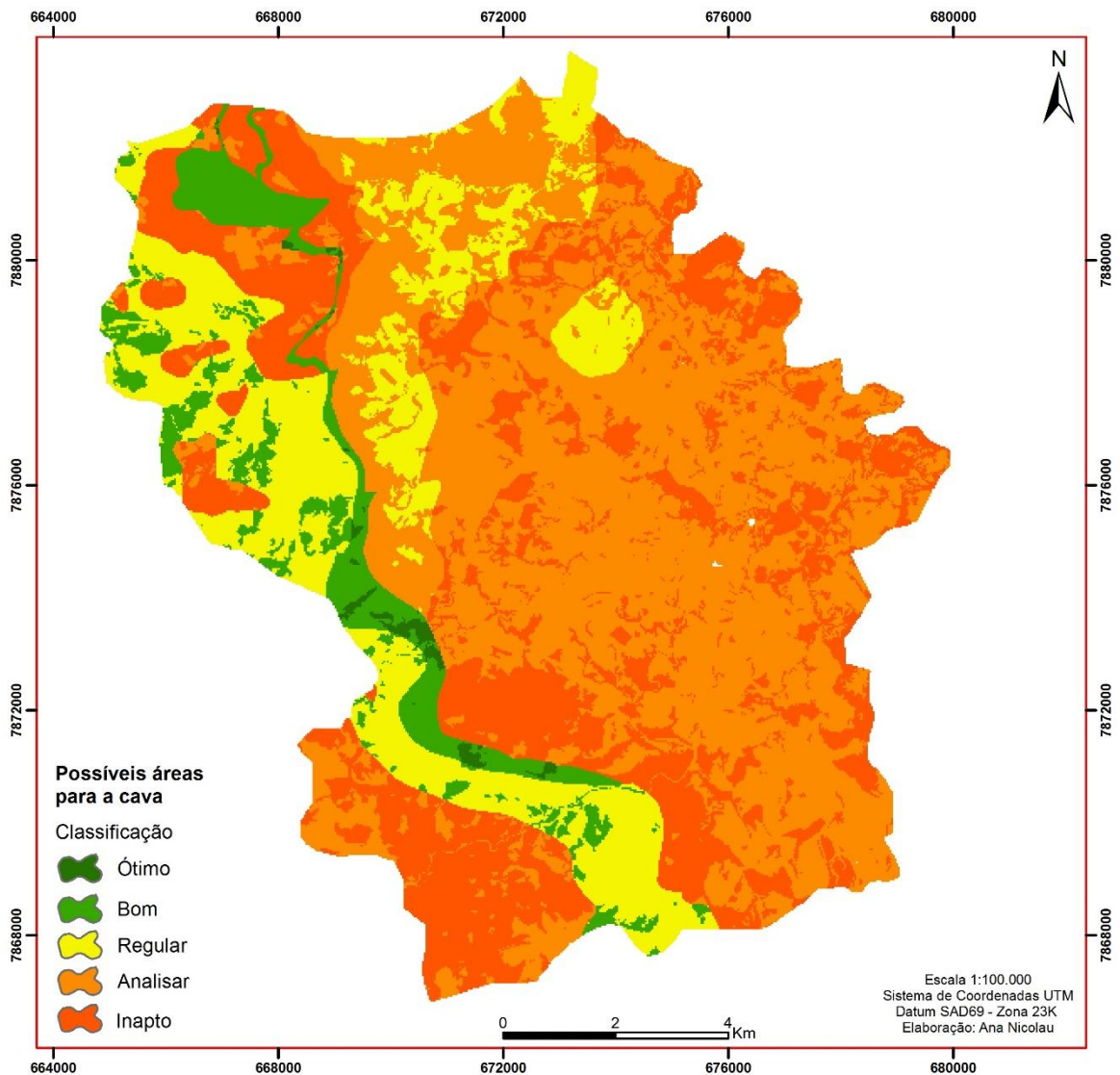


Figura 08: Mapa de potencialidade de áreas para implantação da mina

2ª equação - identificação das melhores áreas para a planta de beneficiamento e barragem de rejeitos (Figura 09)

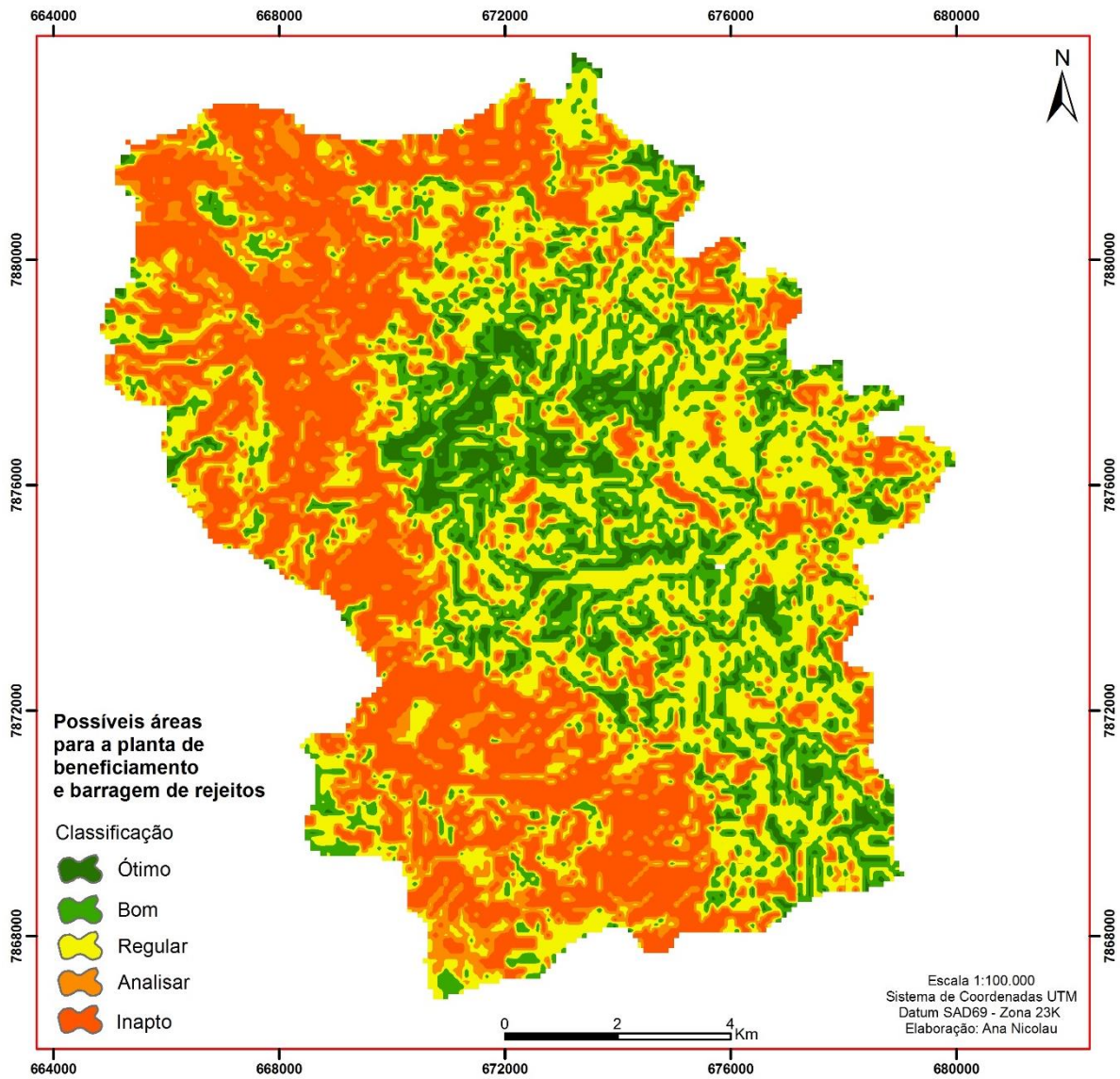


Figura 09: Mapa de potencialidade de áreas para implantação da planta de beneficiamento e barragem de rejeitos

3ª equação - identificação das melhores áreas para a pilha de estéril (Figura 10)

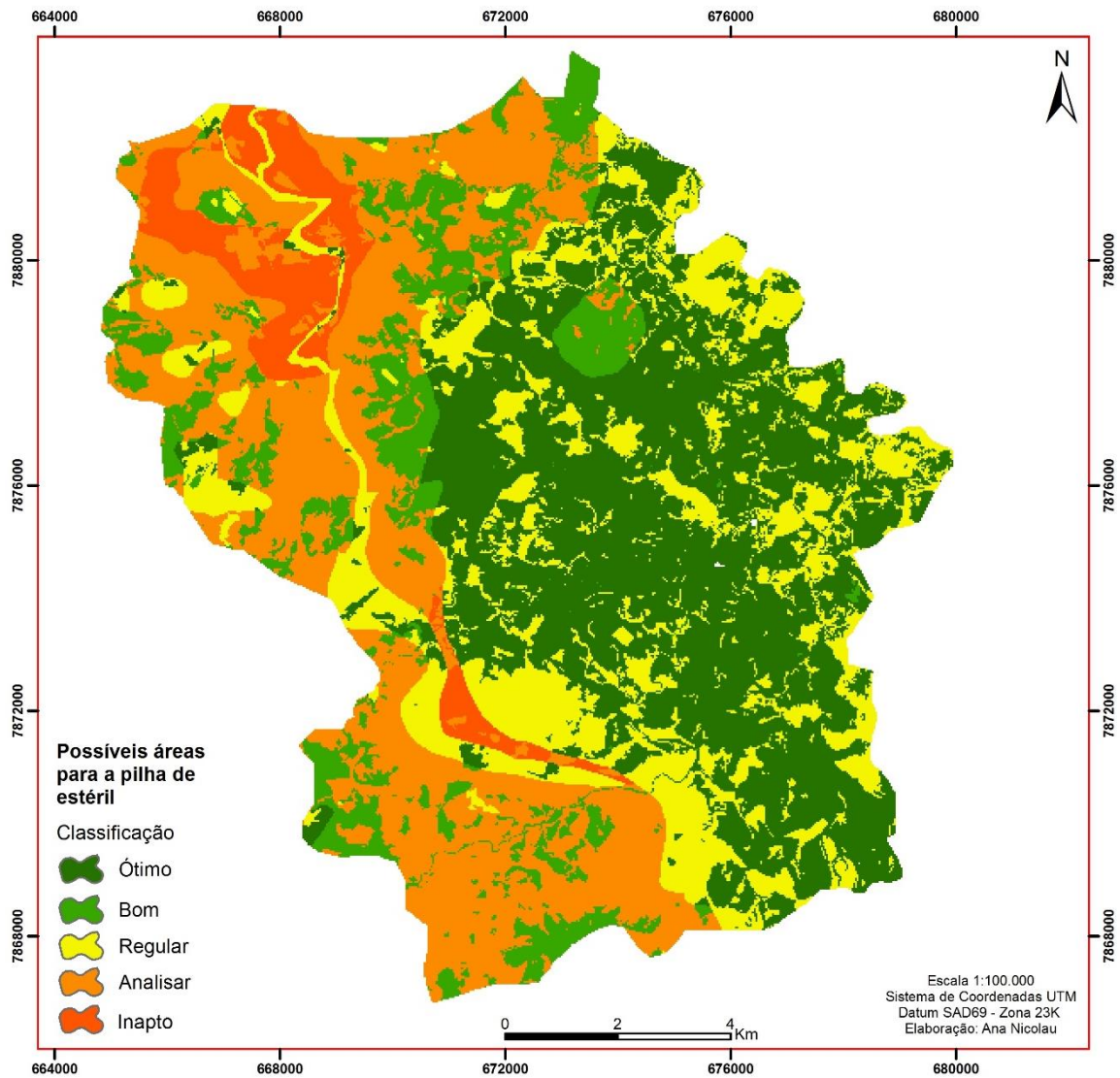


Figura 10: Mapa de potencialidade de áreas para implantação da pilha de estéril

5.2 Resultado final e Discussão

A sobreposição dos mapas resultantes das equações multicritério permitiu gerar um mapa final apontando as áreas ótimas para cada estrutura dentro do limite da área de estudo (Figura 11).

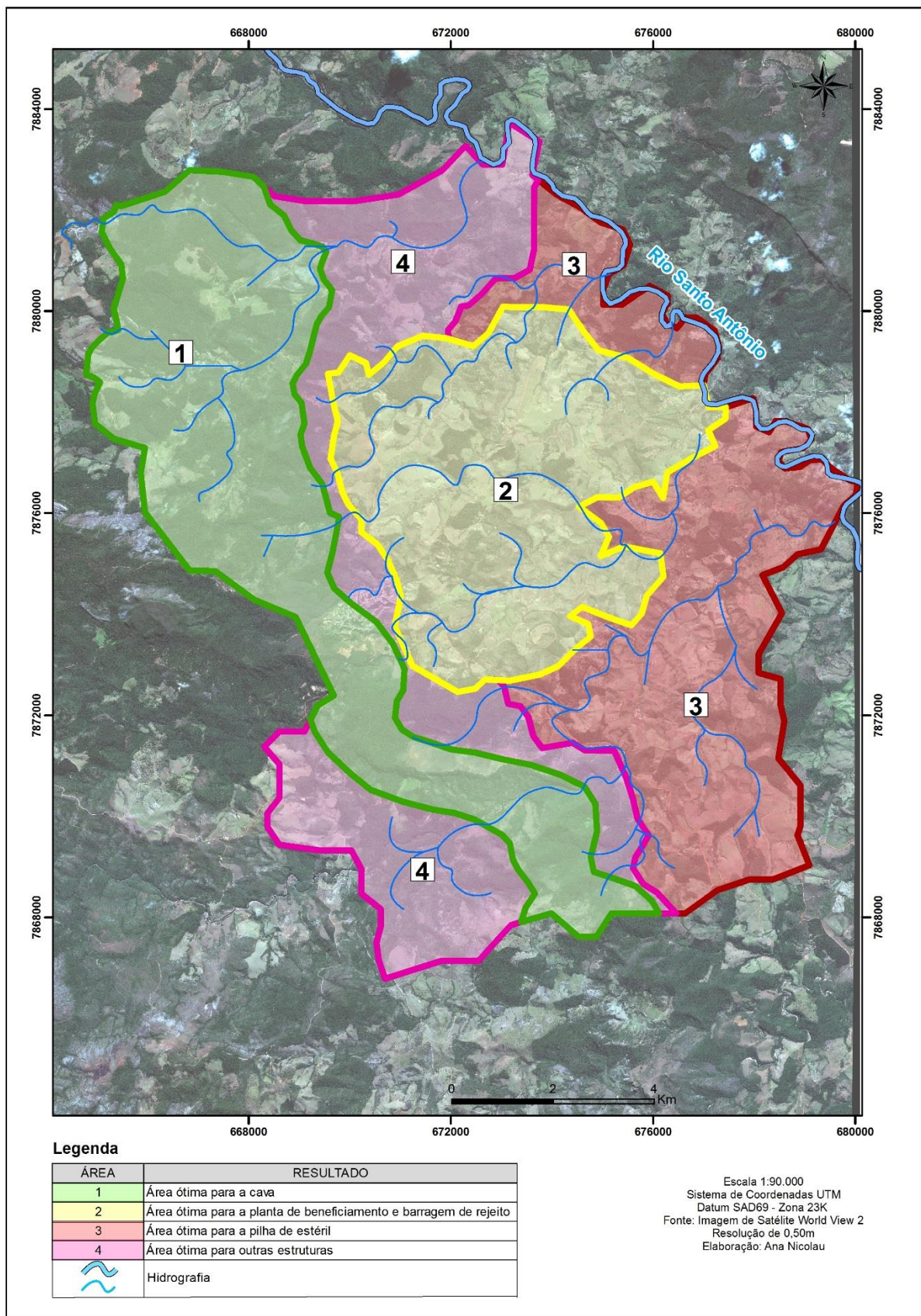


Figura 11: Mapa indicativo das áreas ótimas para cada estrutura do plano diretor do empreendimento

A faixa referente a **área 1** indica o trecho onde o limite da cava deverá ser planejado. Pelas análises do mapa geológico verifica-se que a maior parte das ocorrências de ferro se restringem nesta área onde afloram a formação ferrífera bandada, a canga e os quartzitos com lâminas ricas em hematita. No limite definido como melhor área para locação da cava existem algumas nascentes e é importante salientar que o projeto prevê medidas compensatórias como a recuperação das Áreas de Proteção Permanente (APP) do tipo topo de morro, encostas e matas ciliares e a participação do empreendedor no controle a qualidade da água na Bacia do Rio Doce. Uma pequena parte da área mais indicada para a cava está inserida em uma Unidade de Conservação de Uso Sustentável, o que permite diversos usos dos recursos naturais. As condições para esse uso serão estabelecidas pelo órgão gestor da Unidade.

Na **área 2**, é possível perceber um agrupamento de áreas ótimas indicando as melhores opções locais para a instalação da planta de beneficiamento e barragem de rejeitos. Nesta faixa, a declividade máxima foi de 20%, pois essas estruturas são preferencialmente localizadas em áreas planas ou de meia encosta. As rochas aflorantes predominantes são o ortognaisses porfiríticos; gnaisses migmatíticos e metadiabásios e anfibolitos. Um estudo geotécnico está previsto para conhecer a mecânica dos solos e das rochas a fim de compreender como o meio se comportará com a construção das obras de infraestrutura da planta de beneficiamento e barragem de rejeitos. Não foram identificadas UC de Uso Sustentável ou de Proteção Integral. Quanto as drenagens, serão adotadas as mesmas ações compensatórias da área 1.

As áreas identificadas como **área 3**, são interessantes para a formação das pilhas de estéril. Para se chegar a esse resultado as características das rochas identificadas foram relevantes. Essas são metaultramáficas de formação ferrífera; filitos ferruginosos; metadiabásios e anfibolitos; microgranitos e metariolitos. São rochas que não sofreram processos intempéricos físicos e químicos, portanto possuem grande resistência e suportam pesos de grandes estruturas. Como na barragem de rejeitos um estudo geotécnico também será realizado a fim de se alcançar os mesmos objetivos. Nessa área também não foram identificadas UC de Uso Sustentável ou de Proteção Integral e as ações compensatórias em relação as drenagens serão as mesmas adotadas na área 1 e área 2.

As **áreas 4** não apresentaram fatores relevantes para a instalação das estruturas significativas do projeto, portanto elas ficarão destinadas ao apoio operacional.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O geoprocessamento e suas mais diferentes técnicas e formas de abordagem tem merecido especial atenção nos últimos anos pela comunidade científica e também por empresas do setor de mineração.

A metodologia de análise multicritério, utilizada nesse estudo, permitiu estabelecer a indicação locacional das estruturas do plano diretor, do empreendimento minerário Morro do Pilar na região central de Minas Gerais, por meio da integração de critérios objetivos.

O resultado obtido para melhores opções locacionais das estruturas do empreendimento minerário aqui estudado pode ser considerado satisfatório e sua representação, por meio de um mapa, servirá, em um primeiro momento, para orientar as equipes multidisciplinares a tomar as decisões, quanto ao formato e posição das estruturas do Empreendimento, com maior clareza e fundamento.

O município de Morro do Pilar é caracterizado por um rico patrimônio cultural e natural sendo fundamental que empreendimentos que possam causar qualquer tipo de impacto levem em considerações opções locacionais que minimizem estes impactos e ao mesmo tempo aproveitem ao máximo os recursos minerais (no caso da mineração).

Sugere-se que outros empreendimentos desta natureza façam uso desta e de outras metodologias que empregam técnicas de geoprocessamento, como ferramenta de apoio ao processo de tomada de decisão, durante o desenvolvimento de projetos estruturais.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GEONATURE, 2012. Estudo de Impacto Ambiental (EIA), Morro do Pilar Minerais S.A. Belo Horizonte, 2012. Doc. no. EIA-MOPI-001-03/12-v1 e Doc. no. EIA-MOPI-003-03/12-v1.

SANTOS, R.G. DOS, 2006. Uso do Geoprocessamento para Identificação de Possíveis Áreas Favoráveis à Formação de Pilha de Estéril em Torno da Mina de Brucutu. Belo Horizonte, 2006. VI, 20f.: il. Monografia (Especialização), Universidade Federal de Minas Gerais.

ALMEIDA, H.P., 2014. Reconhecimento de áreas de mineração a céu aberto utilizando o sensoriamento remoto e imagens do satélite CBERS-2B: estudo de caso de localização de minas no município de Nova Lima/MG. Belo Horizonte, 2014. Monografia (mestrado), Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais.

EUSTÁQUIO NETO, S., 2008. Avaliação mínero-geoambiental da mina de Gongo Soco para fins de descomissionamento – propostas. Belo Horizonte, 2008. Monografia (mestrado), Universidade Federal de Ouro Preto.

OLIVEIRA, M.C., 2005. Aplicação de Geoprocessamento em Estudo de Rota para Gasoduto. Belo Horizonte, 2005. x, 24f.: il. Monografia (Especialização), Universidade Federal de Minas Gerais.

ROCHA, V. DA, 2011. Utilização do Geoprocessamento para Simular a Reconstituição do Relevo após Atividades de Mineração. Belo Horizonte, 2011. x, 39f.: il. Monografia (Especialização), Universidade Federal de Minas Gerais.

CORDEIRO, J.P., BARBOSA, C.C.F., CÂMARA, G. 2007. Álgebra de campos e objetos. Revista Análise Espacial de Dados Geográficos. São Paulo, 2007. p. 8-26.

CALAZANS, P.M.P., 2000. Geoprocessamento Aplicado à Pesquisa Mineral. Belo Horizonte, 2000. x, 33f.: il. Monografia (Especialização), Universidade Federal de Minas Gerais.

SILVA, A.B., 1999. Sistema de Informações Georreferenciadas: conceitos e fundamentos. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 1999, 235p.

FRANCO, G.G., 2008. O uso do Geoprocessamento para estudos conceituais de rotas de mineroduto de concentrado de ferro. / Guilherme Gandra Franco. Belo Horizonte, 2008. 30f. Monografia (Especialização), Universidade Federal de Minas Gerais.

GROHMANN, C.H.; RICOMINI, C.; STEINER, S.S., 2008. Aplicações dos Modelos de Elevação SRTM em Geomorfologia. Revista Geográfica Acadêmica, v.2 n.2, p.73-83.

ZALOTI JR, O.D.; FREITAS, C.C.; SANT'ANNA, S.J.S.; ANDRADE, R.A.M., 2007. Avaliação do Modelo Digital do Terreno Extraído de Dados do SRTM – Uma Abordagem Baseada na Declividade, Aspecto e Uso/Cobertura do Solo. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 5043-5050.

CAVALCANTE, L.V.B., 2008. Mapeamento das Unidades Geomorfológicas da Serra do Caraça/MG: uma proposta baseada na interpretação de mapas temáticos. Belo Horizonte, 2008.VI, 73f. Monografia (pós-graduação), Universidade Federal de Minas Gerais.

CÂMARA, G., DAVIS, C. DE, 2004 Introdução à Ciência da Geoinformação. São José dos Campos, 2004, INPE.

VILAS BOAS, C. DE L., 2006. Análise da aplicação de métodos multicritérios de apoio à decisão (MMAD) na gestão de recursos hídricos. Brasília, 2006. 141f. Monografia (mestrado), Universidade Federal de Brasília.

IBRAM, 2012 – Instituto Brasileiro da Mineração Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira, 7ª edição - <http://www.ibram.org.br/> - acesso virtual em 13/11/2013.

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral - <https://www.dnpm.org.br/> - acesso virtual em 18/11/2013 e 21/11/2013.

WIKIPEDIA -

http://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Sistema_de_informa%C3%A7%C3%A3o_geogr%C3%A1fica&oldid=40203318, acesso virtual em 03/10/2014.

BORTOLOTTI, F.D., 2006. ARCGIS Aplicado a Bacias Hidrográficas. Aula 7 - www.ltc.ufes.br/gisbasins/Aula_01.pdf - Acesso virtual em 07/10/2014

MEDEIROS, A. - <http://andersonmedeiros.com/analise-multicriterio-em-sig-1/>- acesso virtual em 20/10/2014.

IBGE

<http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?lang=&codmun=314370&search=|morro-do-pilar>, acesso virtual em 21/10/2014.

MUNDO GEO - <http://mundogeo.com/blog/2004/10/30/geoprocessamento-na-mineracao-brasileira/>, acesso virtual em 22/10/2014.