



UNIVERSIDADE AGOSTINHO NETO
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE MINAS



TRABALHO DE FIM DO CURSO PARA A OBTENÇÃO DA LICENCIATURA
EM ENGENHARIA DE MINAS

**APLICAÇÃO DO SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG) PARA A
DETERMINAÇÃO DO MELHOR LOCAL PARA CONSTRUÇÃO DE BACIAS DE
REJEITADOS**

(Estudo de Caso na Mina de CATOCA)

AUTOR: VÂNIA PALMIRA DOS SANTOS FRANCISCO

MATRICULA Nº 113027

LUANDA, 2023

UNIVERSIDADE AGOSTINHO NETO

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE MINAS

TRABALHO DE FIM DO CURSO PARA A OBTENÇÃO DA LICENCIATURA
EM ENGENHARIA DE MINAS

**APLICAÇÃO DO SIG PARA A DETERMINAÇÃO DO MELHOR LOCAL
PARA CONSTRUÇÃO DE BACIAS DE REJEITADOS.**

AUTOR: VÂNIA PALMIRA DOS SANTOS FRANCISCO

MATRICULA Nº 113027

ORIENTADOR: MSC. EMMANUEL SATURNINO

LUANDA, 2023

DEDICATÓRIA

Sem a direcção dada por Deus, a conclusão deste trabalho não seria possível, por isso dedico esta monografia a Ele com muita gratidão.

Aos meus pais, a sua força foi a mola propulsora que permitiu o meu avanço, mesmo nos momentos mais difíceis, agradeço do fundo do meu coração.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e por ter me mantido na trilha certa durante este projecto de pesquisa, com saúde e forças para chegar até ao final.

Agradeço aos meus pais **João José Francisco e Palmira Santos Vieira** por todo esforço investido na minha educação e por toda motivação ao longo desses anos.

Agradeço aos meus irmãos: **Júlia Francisco, João Júnior Francisco e Palmira Vieira**, pelo apoio que sempre me deram ao longo da minha vida.

Ao meu noivo **Isaias Cuvula**, pela compreensão e paciência demonstrada durante o período do projecto.

Agradeço ao meu orientador, **Emmanuel Saturnino** pela disponibilidade e pela forma como conduziu o meu trabalho.

Aos meus Colegas/irmãos da Faculdade: **Adilson Lemos, Doriana da Mata, Jorge Pinto, Esmeraldo Pinto, Afonso Eurico, Hermenegildo Mendes, Adelaide Adriano, Benvindo Quiassungu** e a todos os outros colegas que directa ou indirectamente contribuíram para a conclusão dos meus estudos.

Ao corpo de docentes da FE – U.A.N especialmente aos professores **António Alexandre, João de Carvalho** (em memória), **Mboko Kassongo, Nlandu Kinkela, Augusto Casola, e Jorgete Makiesse**, por me inspirarem e terem compartilhado os seus conhecimentos.

A todos, **Muito obrigado.**

“Nada te perturbe, nada te espante.

Tudo passa. Deus não muda, a paciência tudo alcança.

Quem a Deus tem, nada lhe falta. Só Deus Basta!”

(Sta. Teresa de Jesus)

RESUMO

A aplicação de métodos que contemplem alternativas de redução dos impactos ambientais na deposição dos rejeitados provenientes do tratamento de minério, sem comprometer o crescimento da atividade, permitirá a criação de um meio sustentável e economicamente estável.

Atendendo a dinâmica actual, a utilização de tecnologias avançadas de extração mineral e tratamento de minério representa um fator importante para solucionar os problemas socio-ambientais. O SIG pela sua capacidade de armazenar, exibir e manipular dados espacialmente distribuídos, pode ser uma das ferramentas a serem utilizadas na resolução desses problemas.

As barragens de rejeitados são estruturas construídas para armazenar os rejeitados e a água do processo de tratamento. Compostas por um sistema de barramento maciço constituído de material compactado, rochas e areia. Essas estruturas possuem um sistema de drenagem, impermeabilização e sensores para verificação de estabilidade e saturação de sua estrutura.

Diante das observações discutidas sobre as principais causas de acidentes em barragens de contenção de rejeitos, entende-se que a concepção do projeto de um sistema de disposição de rejeitos de mineração exige o conhecimento de todas as características dos materiais com os quais serão realizadas as obras.

O presente trabalho, apresenta um estudo sobre a utilização de um sistema de informação geográfica (SIG) para seleção do melhor local para construção de uma bacia de rejeitados, evidenciando as potencialidades do sistema na localização do referido local.

Palavras-chave: *Sistema de Informações Geográficas (SIG); Localização do melhor local; Bacia de rejeitados.*

ABSTRACT

The application of methods that consider alternatives to reduce environmental impacts in the disposal of waste from ore processing, without compromising the growth of the activity, will allow the creation of a sustainable and economically stable environment. Given the current dynamics, the use of advanced mineral extraction and ore processing technologies is an important factor in addressing socio-environmental issues. GIS, due to its ability to store, display, and manipulate spatially distributed data, can be one of the tools to be used in solving these problems. Waste dams are structures built to store waste and process water. Composed of a massive dam system made up of compacted material, rocks, and sand. These structures have a drainage system, waterproofing, and sensors to check stability and saturation of their structure. Based on the discussions about the main causes of accidents in waste containment dams, it is understood that the design of a mining waste disposal system requires knowledge of all the characteristics of the materials with which the works will be carried out. This paper presents a study on the use of a Geographic Information System (GIS) to select the best location for the construction of a waste basin, highlighting the potential of the system in locating the aforementioned site.

Keywords: *Geographic Information System (GIS); Best Location Selection; Waste Basin.*

TEMA: APLICAÇÃO DO SISTEMA DE INFORMAÇÃO
GEOGRÁFICA PARA DETERMINAÇÃO DO MELHOR
LOCAL PARA CONSTRUÇÃO DE BACIAS DE
REJEITADOS

SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	5
ÍNDICE DE TABELAS	6
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	7
INTRODUÇÃO.....	8
CAPÍTULO I- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	10
1.1- Rejeitados.....	10
1.1.1- Principais características geotécnicas dos rejeitados	10
1.1.2- Comportamento dos Rejeitados	12
1.1.3- Segregação hidráulica.....	14
1.2- Bacias de rejeitados	15
1.2.1- Concepção do projeto de bacias de rejeitados	16
1.2.2- Métodos de construção de Bacias de rejeitados.....	18
1.2.2.1- Método a montante	18
1.2.2.2- Método à jusante	19
1.2.2.3- Método da linha de centro	20
1.2.3- Operação de bacias de rejeitados.....	21
1.2.4- Manutenção das Bacias de Rejeitados	23
1.2.5- Fase de desativação das bacias de rejeitados	23
1.3- Fatores que influenciam a escolha do local de implantação de bacia de rejeitados	24
1.3.1- Brawner e Campbell	24
1.3.2- Vick (1981-1983).	26

1.3.3- Ritcey (1989).	27
1.3.4- Zuquette e Gandolfi (2004), Liporaci e Zuquette (1995).	28
1.4- Sistema.....	31
1.4.1- Dado vs Informação	32
1.4.2- Sistema de Informação.....	32
1.5- Informação Geográfica	32
1.5.1- Feições da Informação Geográfica	33
1.5.2- Modelação de dados geográficos	35
1.5.2.1- O diagrama E-R na modelação de dados geográficos	36
1.5.3- Modelos.....	36
1.5.3.1- Modelo relacional para dados geográficos: o modelo geo-relacional	37
1.5.3.2- O UML na modelação de dados geográficos	38
1.6- Sistemas de informação geográfica SIG (GIS)	42
1.6.1- Características do SIG	43
1.6.2- Componentes do GIS	44
1.6.3- O GIS no sector geológico mineiro	45
1.6.4- Aplicabilidade e Importância do SIG	47
1.6.5- O SIG na tomada de decisão	47
1.7- Teledeteção.....	48
1.8- Georreferenciação.....	49
1.8.1- Fases da georreferenciação.....	50
1.9- Geologia dos kimberlitos	50
CAPÍTULO II- METODOLOGIA.....	52
2.1- Objectivos.....	52
2.1.1- Objectivo Geral.....	52
2.1.2- Objectivos Específicos	52
2.2 - Problemática.....	52

2.2.1 – Problema	53
2.2.2 - Causas	53
2.2.3 - Consequências.....	53
2.2.4 - Solução.....	53
2.3- Questões	53
2.4- Hipótese	54
2.5- Delimitação.....	54
2.6- A Empresa.....	54
2.7 - Localização geográfica e vias de acesso	55
2.8- Bacia de rejeitados de Catoca	56
2.9- Encontrar o melhor local para construção de uma bacia de rejeitados	57
2.9.1- Descrição do processo em linguagem natural	57
2.9.1.1- Processo AS-IS	57
<i>Quadro 8: Localização do melhor local sem o SIG</i>	<i>57</i>
2.9.1.2- Processo TO-BE.....	59
2.10 - Parametrização do SIG a implementar	60
2.11- Metodologia vs Método	61
2.12- Métodos Utilizados em Pesquisa Científica	62
2.12.1- Método indutivo	62
2.12.2- Método dedutivo	62
2.12.3- Método dialético	63
2.12.4- Método quantitativo	63
2.12.5- Método qualitativo	63
2.12.6- Método de estudo de caso	64
2.12.7- Método fenomenológico	64
2.12.8- Método hipotético-dedutivo	64
2.13- Design Science Research (DSR).....	64

2.13.1- Fases da <i>DSR</i>	65
2.14- Metodologia Usada no Projecto	68
CAPÍTULO III- RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	70
3.1 – Implementação do Sistema	70
3.1.1- Software Utilizado.....	70
3.1.2- Entrada e Armazenamento dos Dados (INPUT)	71
3.1.3- Geração da Informação.....	71
3.1.4- Processamento da Informação	72
3.1.4.1- Mapa de Declividade	72
3.1.4.2- Mapa Hidrográfico	74
3.1.4.3 - Mapa Geológico	75
3.1.5- Análise Espacial	76
CAPÍTULO IV- CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	77
4.1- Conclusões.....	77
4.2- Recomendações.....	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Métodos de descarga perimetral “pontos múltiplos”	6
Figura 2- Métodos de descarga perimetral “descarga pontual”	6
Figura 3- Variação do coeficiente de permeabilidade em função da distância do ponto de lançamento na praia	7
Figura 4- Zonas de diferentes permeabilidades causadas por segregação hidráulica.....	8
Figura 5- Método à montante.....	10
Figura 6: Método à jusante.....	10
Figura 7- Método da linha de centro.....	11
Figura 8- Programa de planeamento e projeto de uma barragem de rejeitos.....	14
Figura 9- Aspectos técnicos que relacionam a barragem de rejeito e o meio ambiente.....	17
Figura 10 – Ponto.....	20
Figura 11- Linha.....	21
Figura 12 -Polígono.....	21
Figura 13 - Diagrama E-R na modelação de dados espaciais.....	23
Figura 14- Modelo georelacional.....	23
Figura15 - Entidades básicas do UML.....	25
Figura 16- Relacionamentos existentes em UML.....	25
Figura17: Mapa com a localização geográfica da mina de CATOCA.....	40
Figura 18: Vias de acesso de Mina de CATOCA.....	40
Fig. 19: Modelação do processo AS-IS	42
Fig. 20: Modelação do processo “TO BE”	43

Figura 21: Mapa de declividade.....	73
Figura 22: Mapa hidrográfico.....	74
Figura 23: Mapa Geológico.....	75
Figura 24: mapa final com destaque a melhor zona para implantação da bacia de rejeitados	76

ÍNDICE DE TABELAS

Quadro 1- Importância do fenômeno durante o ciclo de operabilidade (adotado do Lopes de Oliveira e Zyl, 2006)	6
Quadro 2- simbologia e significados	7
Quadro 3- Comparação dos métodos de alteamento	11
Quadro 4- Fatores que influenciam a escolha do local para barragem de rejeitos (Vick 1981-1983, modificado)	15
Quadro 5- Critérios para a escolha do local para implantação de uma barragem de rejeitos (Ritcey 1989)	16
Quadro 6- Atributos para definição e seleção de áreas para disposição de resíduos.	19
Quadro 7 - Métodos que podem ser empregados para a avaliação dos artefactos desenvolvidos a partir da metodologia DSR	37
Quadro 8- Localização do melhor local sem o SIG.....	41
Quadro 9- Localização do melhor local com o SIG.....	42
Quadro 10 - Parametrização do SIG.....	43

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

SIG(GIS)	Sistema de Informação Geográfica (Geographic Information System)
DSR	Design Science Research (Pesquisa Científica De Design)
AS-IS	Antes do SIG
TO-BE	Depois do SIG
E-R	Entidades e Relacionamentos
UML	Unified Modeling Language (Linguagem De Modelagem Unificada)
BD	Base de Dados
SGBD	Sistema Gestor de Base de Dados
OO	Object-Oriented (Orientado d Objeto)
ISSO	International Standard Organisation (Organização Internacional de Padrões)
GPS	Sistema de Posicionamento Global (Global Positioning System)
SMC	Sociedade Mineira da Catoca
INPUT	Entrada de Dados
MDT	Modelo Digital do Terreno
TIN	Triangular irregular network (Redes irregulares triangulares)

INTRODUÇÃO

A exploração mineral é uma das actividades mais antigas, exercida pelo homem como fonte necessária para o desenvolvimento das sociedades e das indústrias. Porém, quando não são aplicados os métodos correctos ela pode causar impactos negativos ao meio ambiente.

Os rejeitados originados pelo tratamento de minérios, contêm elevado grau de toxicidade, além de partículas dissolvidas e em suspensão, metais pesados e reagentes, que alteram significativamente o ambiente. Assim, para minimizar os impactos ambientais, garantindo condições de segurança das populações circunvizinhas, os rejeitados são conduzidos e armazenados em estruturas as quais chamamos bacias de rejeitados.

Observa-se que as bacias de rejeitados representam uma grande fonte de poluição, portanto sua construção, desde a escolha do local, o projeto de instalação, construção, operação até o fechamento definitivo, deve seguir as normas ambientais e os critérios, geotécnicos, estruturais, sociais, e econômicos de segurança e risco.

Portanto, a falta de controlo ambiental na mineração, pode gerar conflitos sócio ambientais, devido à sua interferência nos ecossistemas e nas comunidades. É imprescindível desenvolver novas tecnologias e/ou aplicar metodologias já disponíveis que minimizem esses impactos.

Actualmente é notória a preocupação das empresas de mineração com as questões ambientais, tendo consciência da necessidade de investimentos adicionais relacionados ao controle ambiental desde o início ao final do projecto.

O presente trabalho, visa apresentar a possibilidade de utilização de um plano estratégico de exploração mineral que contemple alternativas de redução dos impactos na deposição dos rejeitados provenientes do tratamento de minério ao ambiente, sem comprometer o crescimento econômico da atividade, utilizando como base o sistema de informação geográfica (SIG), para determinar o melhor local para a construção da bacia de rejeitados.

No primeiro capítulo, abordaram-se as questões teóricas que se enquadram com o caso em estudo. No segundo capítulo, é apresentado o problema e suas causas, isto é, as razões que nos levaram a escrever sobre o tema.

Após análise do problema, foram traçados os objectivos, definidas as hipóteses, justificadas as razões da escolha do tema e adoptada uma metodologia para a resolução do problema.

No terceiro capítulo, apresentamos o processo para a determinação do local para a construção da bacia de rejeitados, visando o levantamento de requisitos "AS IS" dos processos e dos dados. Após o levantamento de requisitos apresentamos ainda no mesmo capítulo o processo "To Be", (processo de selecção com o SIG). No quarto capítulo apresentamos o nosso protótipo.

No quinto e último capítulo, conclui-se o trabalho, apresentando as recomendações, as referências bibliográficas e os anexos.

CAPÍTULO I- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1- Rejeitados

Rejeito é qualquer tipo de resíduo pelo qual já foram feitos todos os tipos de reutilização e reaproveitamento, sendo esgotado todo e qualquer tipo de utilização com viabilidade econômica. Na mineração os rejeitos são originados de processos de beneficiamento do minério, utilizando um resíduo sólido e água. Trata-se de um processo de separação de material com melhor qualidade de um material estéril, cuja utilização não é adequada para o processo (CHAMMAS, 1989).

Campos, Medeiros e Gerken (2017) definem o processo de beneficiamento de minério como a adequação da granulometria dos grãos, seguida de eliminação de ganga (fração constituída de minerais sem valor econômico). As etapas que englobam o beneficiamento são: peneiramento, britagem, moagem, deslamagem e flotação.

O rejeito gerado é o subproduto do processo de tratamento de minério que será descartado, podendo apresentar-se em forma de polpa (sólido e água), granular (granulometria de areias médias e finas) ou lama (granulometria de siltes e argilas). Segundo Boscov (2008), a cada tonelada de minério de ferro produzida é gerado em média 0,5 tonelada de rejeito, sendo a razão gravimétrica entre o produto final e os rejeitos produzidos de 2:1.

1.1.1- Principais características geotécnicas dos rejeitados

Os rejeitos são definidos como a fração do minério destituída de mineral útil ou de valor econômico, obtida por processo de beneficiamento mineral. Como neste processo a britagem e a moagem são etapas praticamente obrigatórias para a liberação dos minerais de interesse, as partículas geradas são angulosas, com bordas cortantes e superfícies rugosas exibindo fraturas frescas.

Os rejeitos resultantes das diversas etapas do beneficiamento lavagem, peneiramento, deslamagem, concentração gravítica e magnética, flotação, lixiviação, dentre outras são constituídos em proporções variadas de gases, líquidos e sólidos. Em função do tipo de minério processado e do método de beneficiamento adotado, os rejeitos, em geral, exibem características variáveis. Sob o aspecto granulométrico, esses são tidos como materiais finos, variando de colóides a areias.

Assim, o projeto e construção de barragens utilizando rejeitos deve buscar informações capazes de definir os parâmetros de controle de qualidade desses rejeitos em substituição aos procedimentos empíricos comumente adotados.

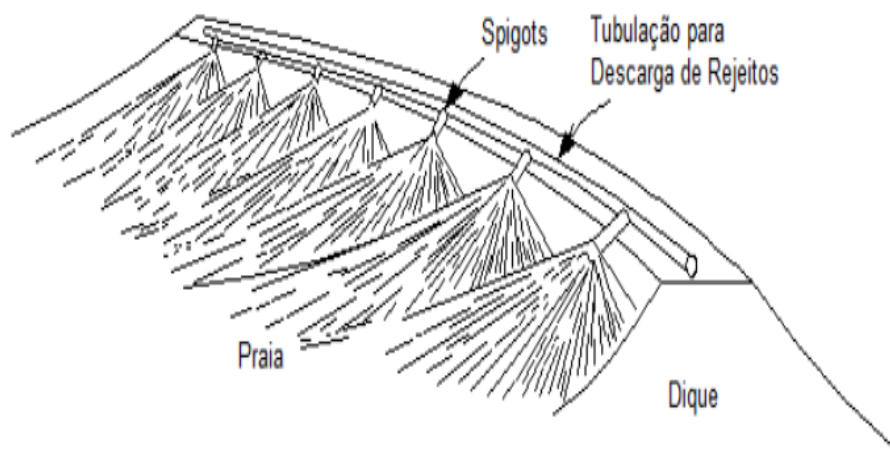


Figura 1: Métodos de descarga perimetral “pontos múltiplos” (spigotting).

Fonte: CHAMMAS (1989).

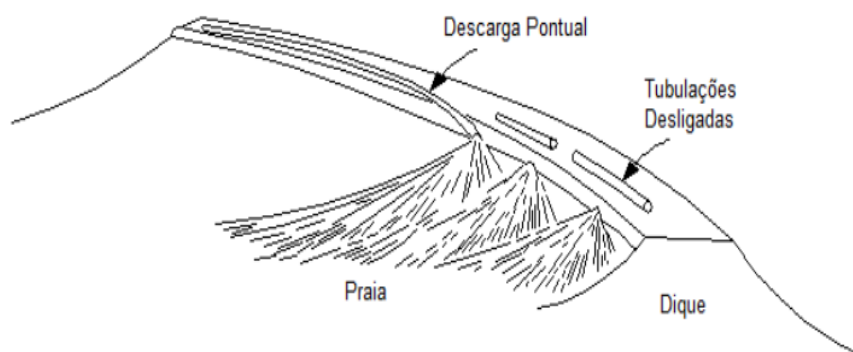


Figura 2: Métodos de descarga perimetral “descarga pontual” (spigotting).

Fonte: CHAMMAS (1989).

1.1.2- Comportamento dos Rejeitados

O rejeitado passa por uma série de transformações físicas ao longo do tempo durante sua disposição, conforme apresentado no quadro 1.

Quadro 1: Importância do fenômeno durante o ciclo de operabilidade (adotado do Lopes de Oliveira e Zyl, 2006).

Estado	Fenômeno	Rejeitos		
		Finos	Médios	Granulares
Durante o tempo de construção	Sedimentação	/	/	x
	Adensamento	*	/	x
	Compressão Imediata	x	/	*
	Filtração	NA	NA	/
Após terminados os trabalhos de disposição de rejeitos	Adensamento	*	/	NA
	Filtração	x	/	*
Comportamento ao longo do tempo	Dessecação	*	/	NA
	Desaturação	x	/	*

O quadro 2 apresenta o significado da simbologia utilizada no quadro 1.

Quadro 2: simbologia e significados.

Simbologia	Significado
/	Influi no processo
*	Predominante no processo
x	Pouca influência no processo
NA	Não aplicável

O comportamento geotécnico dos rejeitados está ligado às características do material, à natureza do depósito e à forma como foi depositado. Estes depósitos resultam em duas classes distintas de material: areias lançadas por mecanismos hidráulicos e lamas depositadas por sedimentação.

A granulometria é a característica mais importante e determina o comportamento dos rejeitos.

Apresentamos um gráfico com a representação das diferentes zonas de permeabilidades causadas pelo processo de segregação hidráulica.

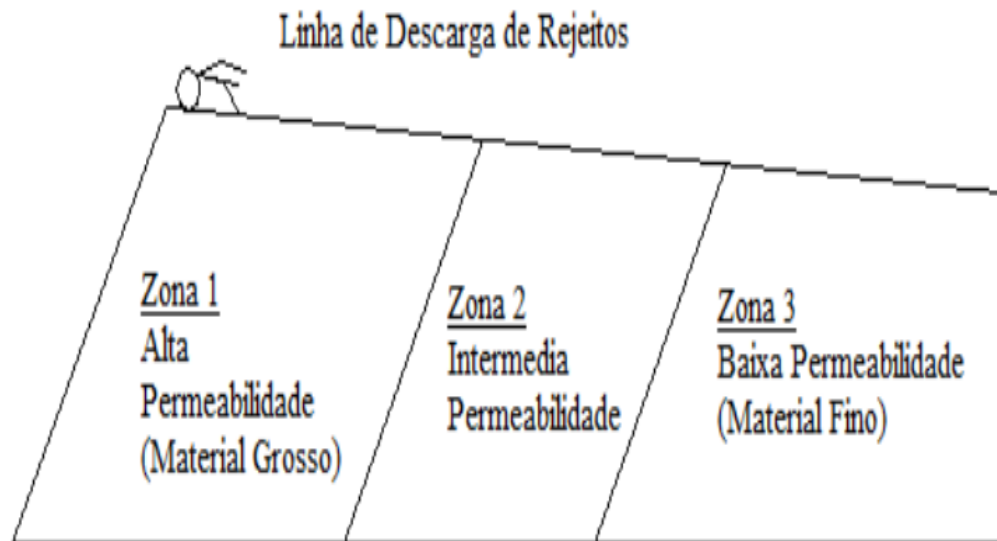


Figura 3: Variação do coeficiente de permeabilidade em função da distância do ponto de lançamento na Praia (Blight, 1994).

Fonte: Blight, 1994.

1.1.3- Segregação hidráulica

A segregação hidráulica é um processo de disposição onde partículas de diferentes tamanhos são dispostas a distâncias específicas em relação ao ponto de lançamento. A segregação hidráulica apresenta um efeito direto na distribuição granulométrica e nas condições de fluxo ao longo da praia (Bhering, 2006).

De acordo com Vick (1983), durante o processo de disposição hidráulica se espera uma zona de alta permeabilidade nas áreas próximas ao ponto de descarga (rejeitos granulares), assim como uma zona de baixa permeabilidade situada mais distante do ponto de lançamento (rejeitos finos) com uma zona de permeabilidade intermediária entre as mesmas (figura 3). A disposição hidráulica cria também características estruturais típicas como estratificação, acamamentos, micro-estruturas, etc.

A condutividade hidráulica média k foi estimada por aquele autor em função da distribuição granulométrica e a equação de Sherard (1984): $(\frac{1}{k})^{1/5} = 35.0 d_{15}^{-1/5}$ onde k representa a condutividade hidráulica em (cm/s) e d_{15} o diâmetro efetivo em milímetros.

Segundo Blight (1994) em rejeitos arenosos a segregação granulométrica ocorrida na praia gera o arraste das partículas finas para locais mais distantes do ponto de lançamento dos rejeitos, com redução da condutividade hidráulica em função da distância do ponto de lançamento, conforme figura 4.

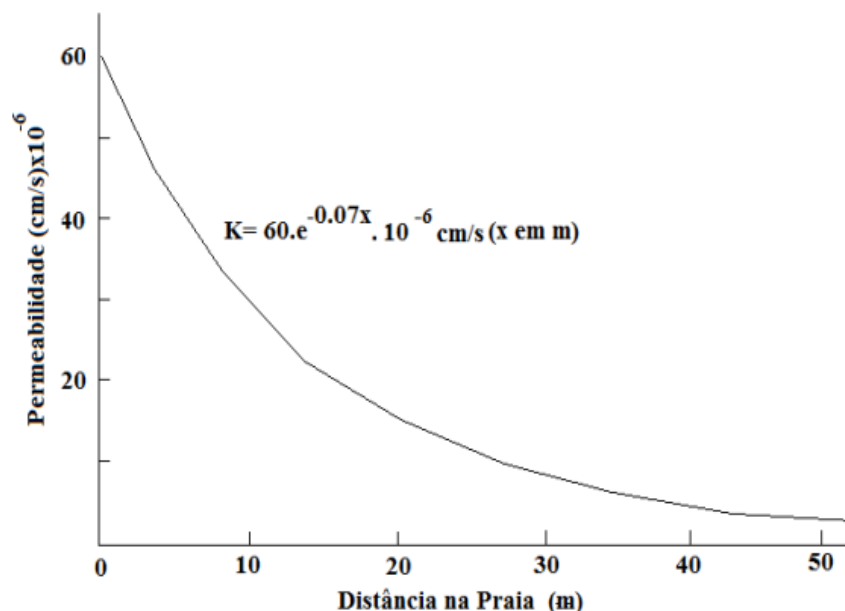


Figura 4: Zonas de diferentes permeabilidades causadas por segregação hidráulica.

Fonte: Blight, 1994

1.2- Bacias de rejeitados

As barragens de rejeito são estruturas construídas para armazenar os rejeitos e a água do processo de beneficiamento. Compostas por um sistema de barramento maciço constituído de material compactado, rochas e areia. Essas estruturas possuem um sistema de drenagem, impermeabilização e sensores para verificação de estabilidade e saturação de sua estrutura.

Segundo Soares (2010), o método mais usual de armazenamento de rejeito da mineração é através de seu lançamento em lagos de decantação, ou aterros hidráulicos, represados por barragens. Em decorrência do aumento da demanda por produtos minerais nos últimos anos, essas estruturas sofreram ampliações em suas dimensões, o que exige um estudo mais aprofundado das mesmas e mais atenção ao seu monitoramento, devido ao seu alto potencial de dano em caso de falhas.

As características dos rejeitos variam de acordo com o tipo de mineral e de seu tratamento em planta (beneficiamento). Podem ser finos, compostos de siltes e argilas, depositados sob forma de lama, ou formados por materiais não plásticos, (areias) que apresentam granulometria mais grossa e são denominados rejeitos granulares (Espósito, 2000). Os rejeitos granulares são altamente permeáveis e contam com uma boa resistência ao cisalhamento, enquanto os rejeitos de granulometria fina, abaixo de 0.074mm (lamas), apresentam alta plasticidade, alta compressibilidade e são de difícil sedimentação.

1.2.1- Concepção do projeto de bacias de rejeitados

A crescente geração de rejeitos tem conduzido a um aumento significativo das estruturas armazenadoras, fazendo com que, atualmente, as barragens de rejeitos encontrem-se entre as importantes obras da mineração. Concomitantemente ao aumento das dimensões dessas barragens, os vários acidentes ocorridos com as mesmas despertam a atenção da comunidade técnico-científica e de autoridades governamentais para a questão de segurança destas obras.

A disposição controlada dos rejeitos parece causar um aumento do custo de produção sem trazer benefícios imediatos para a empresa mineradora. Ademais, a tecnologia aplicada ao projeto e construção de barragens não acompanha a evolução tecnológica dos projetos de mineração, inclusive a evolução dos projetos e construção de barragens convencionais.

Como consequência, esta atividade tem sido negligenciada durante muito tempo na área de mineração. O projeto de barragens de contenção de rejeitos constitui-se em uma especialização inserida no contexto da construção de barragens convencionais.

Existem, contudo, algumas diferenças fundamentais entre as tecnologias aplicadas ao projeto e construção das barragens de terra convencionais e as barragens construídas com rejeitos. Normalmente, os materiais de construção empregados em barragens de terra são mais adequados, melhor caracterizados e passam sempre por controle de compactação.

Diante das observações discutidas sobre as principais causas de acidentes em barragens de contenção de rejeitos, entende-se que a concepção do projeto de um sistema de disposição de rejeitos de mineração exige o conhecimento de todas as características dos materiais com os quais serão realizadas as obras.

Na elaboração do projeto de barragem, além dos dados disponíveis, devem ser considerados os riscos associados aos custos do projeto e as disponibilidades orçamentárias.

Os rejeitos resultantes das diversas etapas do beneficiamento lavagem, peneiramento, deslamagem, concentração gravítica e magnética, flotação, lixiviação, dentre outras são constituídos em proporções variadas de gases, líquidos e sólidos. Em função do tipo de minério processado e do método de beneficiamento adotado, os rejeitos, em geral, exibem características variáveis. Sob o aspecto granulométrico, esses são tidos como materiais finos, variando de colóides a areias.

Assim, o projeto e construção de barragens utilizando rejeitos deve buscar informações capazes de definir os parâmetros de controle de qualidade desses rejeitos em substituição aos procedimentos empíricos comumente adotados.

1.2.2- Métodos de construção de Bacias de rejeitados

Muitas vezes em uma mineração é necessário aumentar a capacidade de armazenamento de uma barragem de rejeito existente, através da construção de alteamentos de acordo com os seguintes métodos construtivos: a) método à montante; b) método à jusante; c) método da linha de centro.

1.2.2.1- Método a montante

O método à montante em sua etapa inicial consiste na construção de um dique de partida, formado geralmente de materiais argilosos ou enrocamento compactado. Após esta etapa, os rejeitos são depositados hidraulicamente da crista do dique de partida, formando uma praia de rejeito que, com o tempo, adensará e servirá de fundação para futuros diques de alteamento, estes executados com o próprio material de rejeito.

O processo é repetido até atingir à cota de ampliação prevista (figura 5). Se, por um lado, o método à montante apresenta como vantagens a simplicidade e o baixo custo de construção, por outro está associado à maioria das rupturas em barragens de rejeitos em todo o mundo (Engels & Dixon-Hardy, 2008).

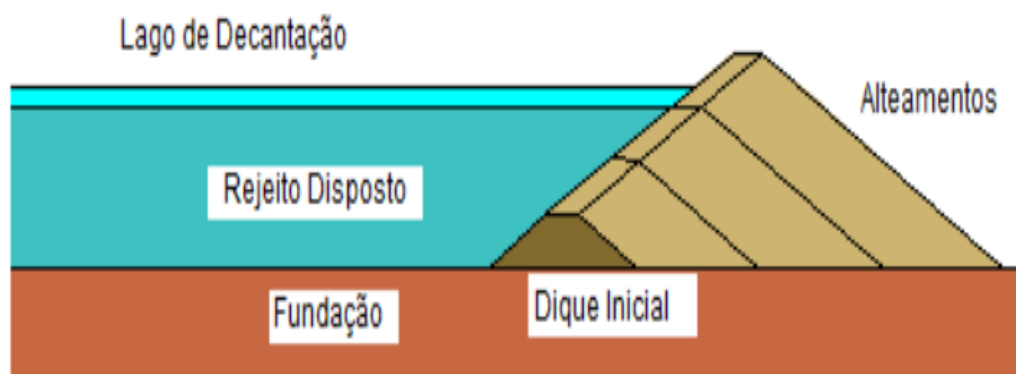


Figura 5: Método à montante.

Fonte: CHAMMAS (1989).

A melhor forma de diminuir este risco é ter uma vasta praia entre a crista da barragem e o reservatório (Gomes, 2010), além de contar com um sistema de drenagem interno eficiente para abatimento da superfície freática (Icold & Unep, 2001; Gomes, 2010). Excessos na velocidade do alteamento pode também induzir o mecanismo de liquefação estática. Para zonas de alta atividade sísmica, não é recomendado o alteamento de barragem de rejeito pelo método à montante pois aumenta significativamente a probabilidade de liquefação dinâmica induzida por terremotos.

1.2.2.2- Método à jusante

É um método mais conservador do que o método à montante, desenvolvido para reduzir os riscos de liquefação em zonas de atividade sísmica. Depois da construção do dique de partida, os alteamentos subsequentes são realizados à jusante do mesmo, até atingir a cota de projeto (figura 6).

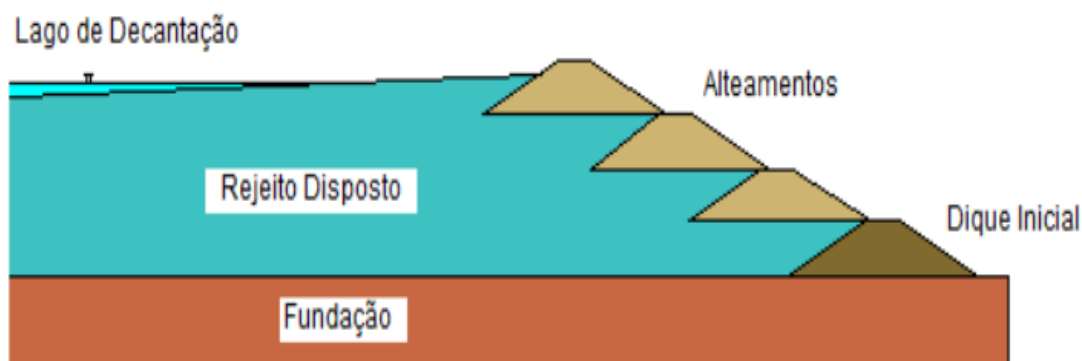


Figura 6: Método à jusante.

Fonte: CHAMMAS (1989).

Neste processo construtivo, cada alteamento é estruturalmente independente da disposição do rejeito, melhorando assim a estabilidade da estrutura. Todo o alteamento da barragem pode ser construído com o mesmo material do dique de partida, assim como os sistemas de drenagem internos podem ser também instalados durante o alteamento, permitindo um melhor controle da superfície freática.

A principal desvantagem deste método é o custo de sua implantação, devido ao grande volume de aterro que necessita e a grande área que sua construção ocupa.

1.2.2.3- Método da linha de centro

Este método é uma solução intermediária entre os dois métodos apresentados anteriormente, possuindo uma estabilidade maior que a barragem alteada somente com o método à montante, porém não requerendo um volume de materiais tão significativo como no alteamento somente com o método à jusante. O sistema de disposição é similar ao método à montante, com rejeitos lançados a partir da crista do dique de partida. A construção prossegue de modo similar, com alteamentos com diques sucessivos, porém permanecendo o eixo de simetria da barragem constante (figura 7).

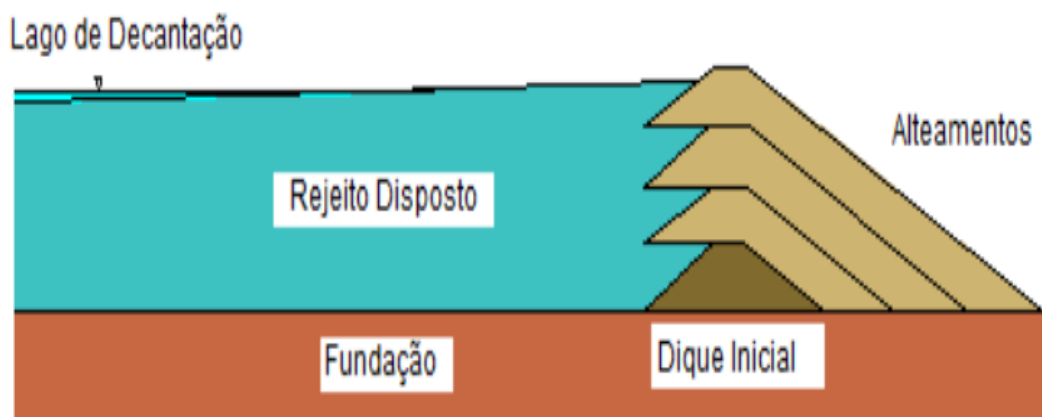


Figura 7: Método da linha de centro.

Fonte: CHAMMAS (1989).

Se a parte superior do talude perder eventualmente o confinamento, podem aparecer fissuras, causando problemas de erosão, e aumentos de poropressões. (Troncoso, 1997).

O quadro a seguir lista e compara as principais vantagens entre estes métodos de alteamento de barragens de rejeito.

Quadro 3: Comparação dos métodos de alteamento.

Método	Vantagens	Desvantagens	Observações
Jusante	. Menor probabilidade de ruptura interna. . Superfície provável de ruptura passando sempre ao longo de material resistente e compactado. . Abatimento da linha freática, uma vez que se impõe um sistema de drenagem.	. Custo mais elevado. . Menor aproveitamento da área disponível. . Maior volume de material compactado.	. O alteamento pode ser realizado com o próprio rejeito. No entanto, é mais comum o uso de materiais provenientes de áreas de empréstimo.
Montante	. Menor custo. . Maior velocidade de construção. . Melhor aproveitamento da área. . Menor vazão V_{areia} / V_{lama}. . Não existe erosão eólica e hidráulica nos taludes.	. Superfície freática elevada. . Maior risco de ruptura por <i>piping</i>. . Superfície provável de ruptura passando pelo material de baixa resistência ao cisalhamento. . Dificuldade de implementação de sistema de drenagem eficiente.	. Aterro hidráulico com o próprio rejeito bombeado. . Diques geralmente construídos com o rejeito escavado na periferia do lago.
Linha de centro	. Economia de espaço físico. . Menor volume de material compactado. . Drenagem interna eficiente.	. Possibilidade de ocorrência de fissuras no corpo da barragem. . Maior risco de ruptura por <i>piping</i>. . Dificuldade de implementação de sistema de drenagem eficiente.	. Caso particular do método à jusante.

1.2.3- Operação de bacias de rejeitados

O primeiro estágio de construção das barragens de contenção de rejeitos compreende a implantação de um dique inicial, que poderá servir para estocar a água necessária ao início das operações da mina [CHAMMAS (1989)].

Consequentemente, a barragem inicial é projetada e construída de acordo com a prática tradicional de construção de barragens de terra para armazenamento de água.

Fora o local de implantação da obra e de todas as condições ambientais de seu entorno, tem-se como premissa, a construção de depósitos de rejeitos com máxima economia e segurança.

Dentre os fatores econômicos destacam-se:

- a) A localização da barragem deve ser o mais próximo possível da área de beneficiamento e em nível mais baixo que esta, de forma que as necessidades energéticas sejam mínimas;
- b) A barragem necessita do menor volume de material de construção possível;
- c) possibilidade de recuperação de água para reutilização de forma mais prática e econômica possível.

Os fatores de segurança mais relevantes são:

- a) O lago de decantação no qual serão lançadas as lamas, deve localizar-se o mais longe possível da barragem;
- b) A água deve ser removida do reservatório para minimizar a saturação dos rejeitados, melhorando, assim, sua estabilidade;
- c) As fundações devem oferecer resistência, compressibilidade e permeabilidade condizentes com as boas técnicas construtivas;
- d) A barragem deve ser construída com materiais adequados, colocados em áreas adequadas;
- e) Os materiais menos resistentes e mais compressíveis devem ser mantidos o mais longe possível da barragem;
- f) Os taludes da barragem devem ser os mais seguros possíveis, dentro das características de altura, do nível da água e dos materiais disponíveis;
- g) Não deve haver consequência séria, principalmente, ao ser humano, advinda da ocorrência de ruptura total ou parcial.

1.2.4- Manutenção das Bacias de Rejeitados

Durante a fase de implantação ou de operação, os trabalhos de manutenção sistemática de barragens de contenção de rejeitos podem ser facilitados pela permanência de pessoal e equipamentos de terraplanagem ao longo de toda vida útil do empreendimento mineiro.

Embora o pessoal técnico esteja familiarizado com os processos de construção da barragem, é de fundamental importância que haja treinamento continuado de uma equipe para realizar os trabalhos de inspeção e a manutenção da obra.

Estas atividades são conduzidas conforme instruções contidas em manuais elaborados pela projetista e/ou empresa de mineração. Os problemas que eventualmente venham a ocorrer podem, assim, ser corrigidos sem colocar a segurança da obra em risco.

Na fase de desativação, devem ser executadas todas as atividades relacionadas à segurança e à proteção definitiva da massa de rejeitos acumulada e do meio ambiente.

1.2.5- Fase de desativação das bacias de rejeitados

Os planos para a desativação destas obras deverão ser elaborados durante a fase de viabilidade do projeto e enviados ao MIRMP (Ministério dos recursos minerais e petróleo), com o propósito de se obter o decreto da lavra.

Entretanto, deve-se comprovar a viabilidade e a disponibilidade financeira para execução das obras, conforme estabelecido em lei. Em relação aos aspectos estruturais da obra, nesta fase deve ser dada especial atenção às características de estabilidade do maciço da barragem e de sua bacia de acumulação de rejeitos.

Neste contexto, deve-se buscar o conhecimento completo e detalhado das águas que alimentarão a barragem e as possíveis consequências de ocorrência de transbordamento.

Geralmente, a principal consideração ambiental durante a operação e desativação é manter a qualidade das águas de superfície e subterrâneas, em particular quando os rejeitos produzem efluentes tóxicos, ácidos, alcalinos, metais pesados ou com outras características que impactam o meio ambiente.

Emprego de produtos químicos para reagir com os rejeitos finos, favorecendo a formação de crostas estáveis. Revegetação da área da barragem, com a recomposição do solo e o plantio de vegetais, com prioridade para aquelas pertencentes à flora local.

1.3- Fatores que influenciam a escolha do local de implantação de bacia de rejeitados

São muitas as variáveis que se consideram na escolha de locais para a implantação de barragens de rejeitos. A seguir, é apresentada uma revisão dos principais fatores a considerar neste tipo de tomada de decisões a partir da experiência de alguns autores reconhecidos, que servirá de base para a aplicação da metodologia de tomada de decisões por análise hierárquica na seleção de áreas para barragens de rejeitos. (artigo seleção do local da bacia de rejeitados).

1.3.1- Brawner e Campbell

Brawner e Campbell enfatizam que cada mina e cada local tem características diferentes e únicas, e sugerem um guia que serve como base para o projeto e planejamento da construção da barragem de rejeitos, apresentado na Figura. É importante notar que cada projeto tem que minimizar as perdas e maximizar os benefícios dentro dos requerimentos de estabilidade, segurança e aspectos ambientais, e deve ser baseado nas condições do local, nos custos e tempo de construção, e na produção da mina (Brawner e Campbell 1973).

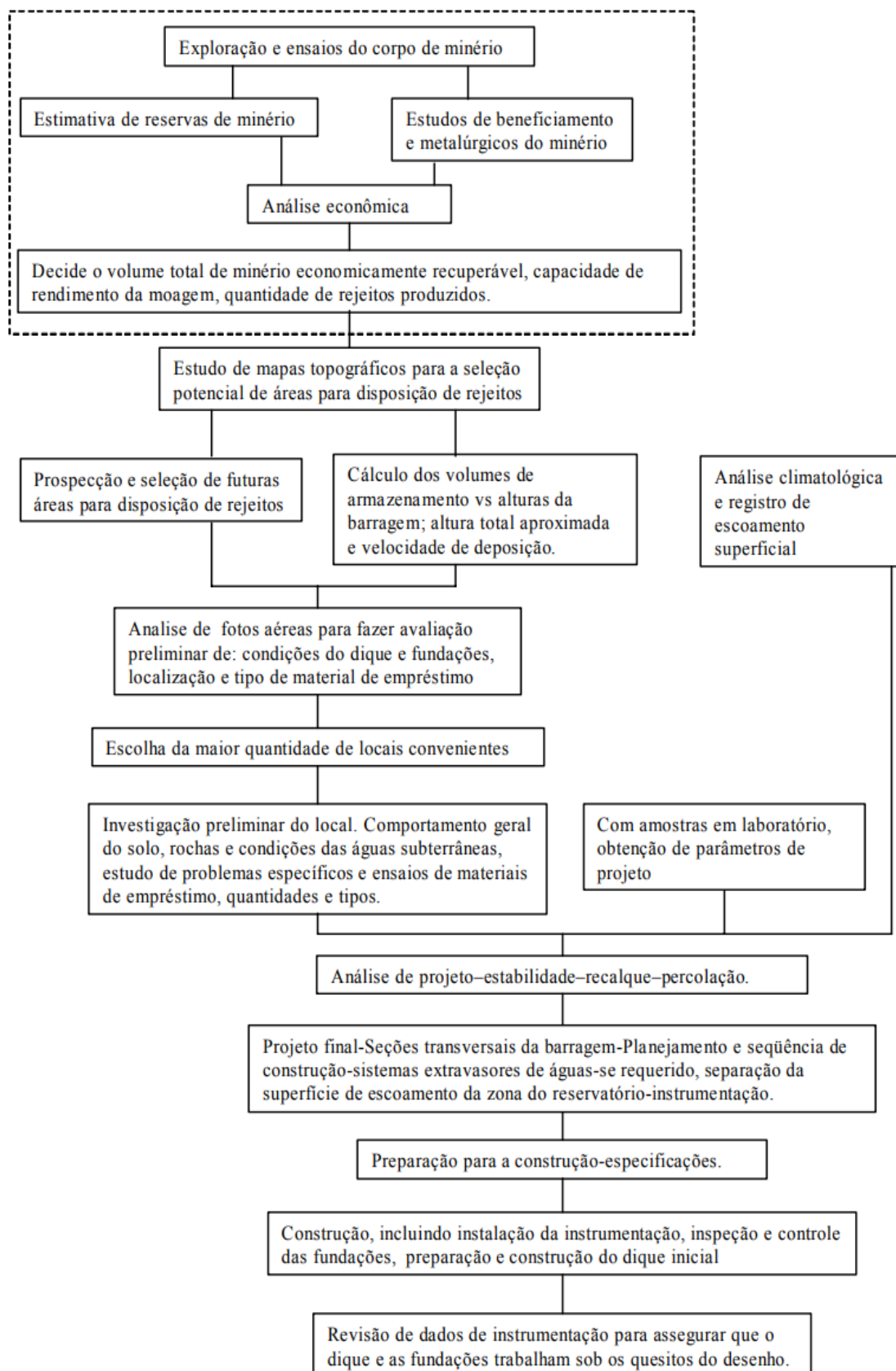


Figura 8: Programa de planejamento e projeto de uma barragem de rejeitos (Brawner e Campbell, 1973).

Fonte: Artigo “Seleção do local para a construção de barragem de rejeitos”

1.3.2- Vick (1981-1983).

Os fatores que determinam o local da barragem não são fixos. A descoberta de aspectos geológicos e/ou condições das águas subterrâneas adversos, ou ainda a incapacidade de identificar locais em superfície viáveis econômica e tecnicamente, fazem necessário avaliar outras formas de disposição de rejeitos, como a disposição subterrânea, em pilhas controladas.

No quadro 4, são apresentados os fatores que, segundo Vick (1981-1983), influenciam a escolha do local para a construção da barragem de rejeitos.

Quadro 4: Fatores que influenciam a escolha do local para barragem de rejeitos (Vick 1981-1983, modificado)

Parâmetro	Efeitos
Local e elevação relativa da usina de beneficiamento	-Comprimento da tubulação de condução dos rejeitos e retorno de água. -Custos de operação dos mecanismos de bombeamento.
Topografia	-Arranjo da barragem -Especificações de deposição e preenchimento da barragem. -Facilidade de mudança na disposição
Hidrologia e área de captação	-Tempo de acumulação de água suficiente para permitir a sedimentação. - Especificações de manejo de inundações
Geologia	-Viabilidade de materiais de empréstimo, tipos e quantidades. -Perdas por percolação, permeabilidades. -Estabilidade das fundações -Falhas, sismicidade, estruturas de contenção de taludes de corte
Águas subterrâneas	-Vazão e direção de percolação -Potencial de contaminação -Teor de umidade de materiais de empréstimo.
Clima	-Taxa anual de precipitação e evaporação.

1.3.3- Ritcey (1989).

Os problemas ambientais, dependendo da mineralogia dos rejeitos, podem ser de anos (rejeitos com enxofre ou metais base) a centenas de anos (rejeitos de minérios de urânio).

Quadro 5: Critérios para a escolha do local para implantação de uma barragem de rejeitos (Ritcey 1989).

CRITÉRIO	OBSERVAÇÕES
SELEÇÃO DO LOCAL (dependendo da geração de potencial ácido dos rejeitos)	-Depois do fechamento da barragem, o fluxo de água sobre os rejeitos deve ser mínimo. -Fundações de baixa permeabilidade, para reduzir percolação e poluição das águas subterrâneas. -Se possível, presença ou proximidade de minerais calcários, com alto teor de carbonatos nas águas subterrâneas, para haver precipitação de metais pesados das águas percoladas dos rejeitos. -Evitar a possibilidade de geração de ácidos em rejeitos sólidos com pirita. -Cuidado no projeto e construção de filtros (materiais), evitando a possibilidade de obstrução resultante da precipitação, por hidrólise, de substâncias contaminantes. -Efeitos negativos por alterações na permeabilidade, resistência e compressibilidade de algumas argilas pela percolação de águas com elementos quimicamente ativos.
PREPARAÇÃO DO LOCAL	1. Rejeitos • Características físicas e químicas • Possíveis variações com o tempo • Viabilidade de transporte • Programa de volumes de disposição • Necessidades e/ou vantagens da mistura de diferentes rejeitos. 2. Geologia e extração de minério • Historia geológica e atividades atuais ▪ Características topográficas ▪ Potencial de riscos naturais ▪ Informações para localizar e projetar estruturas de porte maior • Fundações ▪ Custos de escavação e perdas ▪ Tipo e profundidade das camadas ▪ Resistência ao intemperismo ▪ Resistência ao ataque ácido ▪ Custos de escavação ▪ Mergulho e direção das camadas afetam o fluxo de águas subterrâneas. 3. Características e viabilidade do solo • Tipo de solo ▪ Residual ▪ Glacial ▪ Coluvial ▪ Aluvionar • Quantidades e locação ▪ Cobertura natural adequada ▪ Viabilidade como material final de cobertura ▪ Material adequado para drenagem ▪ Boas reservas e disponibilidade ▪ Boa estabilidade • Ação do intemperismo. ▪ Modificações nas características do solo com o tempo e exposição • Mineralogia ▪ Troca de cátions e capacidade de renovação por lixiviação 4. Águas superficiais • Correntes, fluxos ▪ Custos iniciais altos para controle de escoamento superficial e correntes de águas ▪ Considerar os efeitos do fluxo da água no local e nas estruturas ▪ Desenvolver uma base de dados para controle de águas antes da deposição dos rejeitos • Escoamento superficial ▪ Quando possível, desviar as águas superficiais para longe da zona de deposição, com valas periféricas e tubulações de drenagem ▪ Infiltração da água de chuva na área de deposição ▪ Considerar o uso de material de cobertura impermeável ▪ Manter uma declividade final dos rejeitos para rápido escoamento superficial. ▪ Valas impermeáveis e resistentes à erosão para desvio das águas para fora da área 5. Águas subterrâneas ▪ Poluição por percolação ▪ As medidas para remediar ou eliminar a percolação de águas lixiviadas nas águas subterrâneas são praticamente impossíveis ou muito caras. ▪ Minimizar a contaminação de águas subterrâneas por vedação do terreno original, vedar a superfície dos rejeitos, e coletar as águas antes que entrem no sistema de águas subterrâneas.

Ritcey (1989) classifica os sistemas de projeto e tratamento global em quatro classes principais:

1. Seleção do local
2. Preparação e projeto do local
3. Preparação física dos rejeitos
4. Preparação química dos rejeitos na usina de beneficiamento.

A seleção do local para as barragens de rejeitos de mineração engloba vários aspectos, incluindo a capacidade de armazenamento, a disponibilidade do local, hidrologia, custos iniciais, facilidade de operação, condições geológicas e geotécnicas.

No quadro 5 são apresentados os critérios que, para Ritcey (1989), tem mais relevância na escolha dos locais.

1.3.4- Zuquette e Gandolfi (2004), Liporaci e Zuquette (1995).

Baseado em mapas geotécnicos, os autores apresentam atributos mais específicos para a disposição de resíduos, sendo o primeiro trabalho direcionado à de seleção de locais para aterros sanitários e o segundo para a disposição de rejeitos de mineração. Os atributos definidos na escolha de locais para aterros sanitários são uma excelente base para a seleção de locais de rejeitos de mineração.

Mesmo que os resíduos (lixo ou rejeito) sejam diferentes, as condições gerais para a seleção dos locais apresentam características que servem na escolha do local para barragens de rejeitos. Zuquette e Gandolfi (2004) apresentam um esquema dos aspectos técnicos que relacionam o aterro sanitário com o meio ambiente que é facilmente aplicável a barragens de rejeitos, já que os rejeitos, como os resíduos, constituem uma fonte de poluição que contamina diretamente o meio físico (materiais inconsolidados, águas sub e superficiais e substrato rochoso), e que a contaminação varia não só em função da quantidade do rejeito ou lixo, mas principalmente quanto ao tipo. Na Figura 9 se apresenta o esquema voltado a barragens de rejeitos

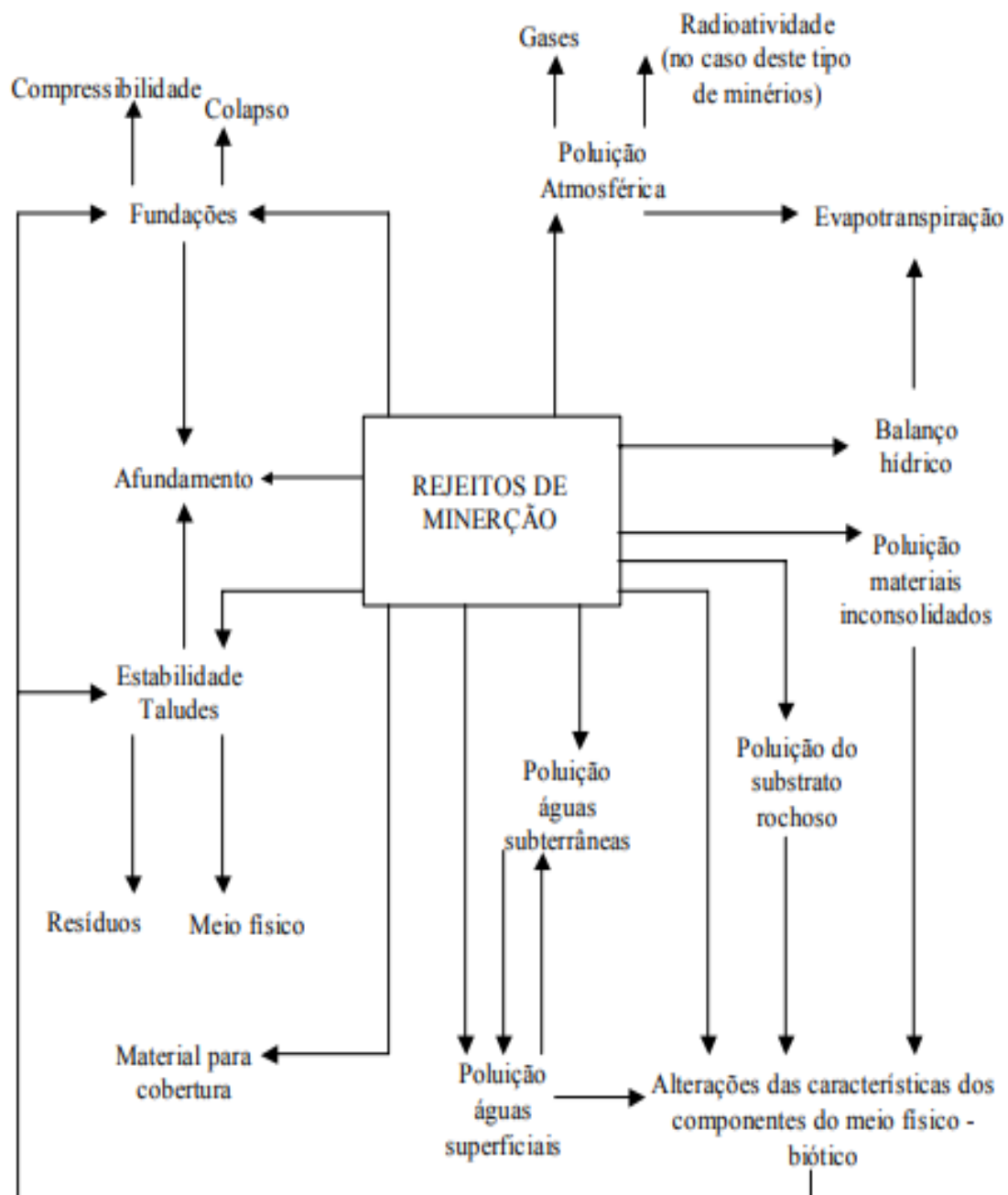


Figura 9. Aspectos técnicos que relacionam a barragem de rejeito e o meio ambiente. Fonte: Zuquette– Gandolfi 2004, Modificado.

Fonte: Artigo “Seleção do local para a construção de barragem de rejeitos”

Os autores propõem, com base nas relações da Figura 9, uma lista de atributos que devem ser considerados nos procedimentos de seleção de locais para disposição de resíduos. Estes atributos são apresentados em nível geral, e se definem classes associadas a intervalos quanto ao grau de restrições de meio físico, como se observa na Tabela 6.

Quadro 6: Atributos para definição e seleção de áreas para disposição de resíduos.

Componente	ATRIBUTO	PARÂMETRO	CLASSES			
			Favorável	Moderada	Severa	Restritiva
Substrato Rochoso		-Resistência Mecânica -Mineralogia -Cimentação -Arranjo	Gnaisses, migmatitos, siltitos e argilitos	Granitos	Conglomerados	Arenitos
	Profundidade (m)		>15	5-10	<5	<3
Materiais Inconsolidados	Descontinuidade (juntas/m ³)	Contador volumétrico de juntas (JV)	<3	3-30	>30	>60
	Classificação textural	ASTM (1994)	Areia argilosa	Argila arenosa	Arenosa	Muito arenosa
	Varição vertical		Heterogêneo	Heterogêneo	Homogêneo	Homogêneo
	Mineralogia	Argilominerais. Minerais inertes	Argilominerais 2X1	Argilominerais 1X1	Minerais inertes	Minerais inertes
	Matações	Tamanho (maior dimensão)	Não	< 1m	1 a 2m	> 2m
		Frequência		2/1000m ³	2 a 5/1000m ³	>5/1000m ³
		Profundidade		> 2m	< 2m	< 0.5m
	pH/ Δ pH(*)		>4/negativo	>4/negativo	>5/negativo	<5/positivo
	Salinidade (mhos/cm)	Condutividade elétrica	<16	<16	>16	Alto
	Capacidade de Troca Catiônica (C.T.C) (meq/100g)		>15	5 – 15	<5	<2
	Camada compressível	Espessura profundidade	Não	Não	Camada superficial	Camada superficial
	Material colapsível	Espessura profundidade	Não	Camada superficial (2m)	Camada superficial (4m)	Camada superficial (6m)
	Índice de erodibilidade		Baixo	Baixo	Alto	Muito alto
	Fator de retardamento		Alto	Intermediário	Baixo	Baixo
	Características de compactação	Proctor normal	adequada	adequada	inadequada	inadequada
Água	Profundidade de zona saturada (m)	Metros	>10	>6	<4	<2
		Variações anuais	<1	<1	1 a 2	>1
	Direção do fluxo saturado	Numero de direções	1	1	2 ou 3	>3
	Fluxo superficial		laminar	laminar	Laminar/concentrado	Concentrado

	Condutividade hidráulica (cm/s)		$<10^{-4}$	$10^{-3} - 10^{-4}$	$>10^{-3}$	Muito alta ($>10^{-2}$)
	Áreas de recarga		Não	Não	Não	Ocorre
	Distância da nascente (m)		>500	400 – 500	400 – 300	<300
	Drenagem	Carta específica	Adequada	Adequada	inadequada	inadequada
Processos (feições)	Erosão	Frequência	Não	Não	Susceptibilidade	Alta susceptibilidade
		Intensidade			$1/\text{km}^2$	$>5/\text{km}^2$
	Movimentos de massa gravitacionais	Frequência	Não	Não	Susceptibilidade e.	Ocorre
		Intensidade			$<3/\text{km}^2$	$>3/\text{km}^2$
	Subsidências	Frequência	Não	Não	Não	Ocorre
		Intensidade				$1/\text{km}^2$
	Processo cársticos	Frequência	Não	Não	Não	Ocorre
		Intensidade				$1/\text{km}^2$
Relevo	Formas de relevo		Encostas planas (inclinação $<15^\circ$)		Encostas íngremes (inclinações 45 a 60°). Zonas marginais de inundação	Zonas marginais de inundação
	Distância do limite entre bacias hidrográficas		$>200\text{m}$	Entre 200m e 100m	$<100\text{m}$	Coincidente
	Zonas úmidas		Não	Não	Não	Ocorre
	Declividade (%)		2 – 5	>5 , $<2/5$	>15	>20
Características climáticas	Evapotranspiração	Total anual	Alto ($<1000\text{mm}$)	Intermediário (800 – 1000mm)	Baixo (800 – 600 mm)	Muito baixo ($<600\text{mm}$)
	Direção do vento					Em direção à zona urbana
	Pluviosidade (mm)	Total anual			$>200\text{mm/ano}$	$>3000\text{mm/ano}$

* $\Delta \text{pH} = \text{pH KCl} - \text{pH H}_2\text{O}$

1.4- Sistema

Um Sistema é entendido como um conjunto de objetos que interagem entre si em busca de um propósito lógico. Actualmente é comum utilizar o conceito de sistema para modelar o conhecimento que se tem das diversas áreas da experiência humana.[PINTO & PINTO, 2005].

1.4.1- Dado vs Informação

Dado é uma sequência de símbolos quantificados ou quantificáveis. Portanto, um texto é um dado. De facto, as letras são símbolos quantificados, já que o alfabeto por si só constitui uma base numérica. Também são dados imagens, sons e animação, pois todos podem ser quantificados a ponto de alguém que entra em contato com eles ter eventualmente dificuldade de distinguir a sua reprodução, a partir da representação quantificada. [SETZER, 1999].

Informação é o resultado do processamento, organização e manuseamento de dados, representando um sentido, ou também a interpretação e compreensão de dados. [BOTELHO, 2013; GOUVEIA, 1993].

Vale destacar que a existência de informação não significa necessariamente a existência de conhecimento de modo que envolve, além disso de modo que modo envolve , além disso, uma correcta inter-relação de dados compreensíveis que permita explicar uma interpretação fidedigna da realidade objectiva.

1.4.2- Sistema de Informação

O Sistema de Informação é uma componente que suporta o fluxo de informação entre o sistema tanto internamente como externamente. O sistema de informação tem como objectivo, orientar a tomada de decisão nos três níveis de responsabilidade descritos; operacional, tácito e estratégico. [GOUVEIA, 1993]

Estruturar um sistema de informação dentro de uma empresa é essencial para automatizar tarefas trazendo mais agilidade aos processos e facilitando o dia a dia das equipas. Com isso garante menos falhas e melhores resultados.

1.5- Informação Geográfica

Informação Geográfica refere-se a informação sobre lugares na superfície da Terra; Conhecimento sobre onde determinada coisa está; Conhecimento sobre o que existe numa determinada localização; Como é que duas entidades estão relacionadas no espaço; Como determinados acontecimentos se relacionam com o local onde ocorrem; Pode ser muito detalhada ou mais grosseira; Pode ser estática ou mudar rapidamente. [CARREIRAS, 2009].

1.5.1- Feições da Informação Geográfica

a) O ponto

As feições pontuais são utilizadas para representar elementos do mundo real, que conforme a escala possui área e comprimento de inviável representação gráfica, ou que ainda para atender os objetivos, sua área e comprimento não necessitam ser graficamente representados. Uma feição pontual possui apenas um par de coordenadas (x, y). [FERREIRA, 2006].



Figura 10- ponto

Fonte: [FERREIRA, 2006].

b) A linha

As feições lineares são utilizadas para representar elementos do mundo real, que conforme as escalas possuem comprimento, porém sua área é de inviável representação gráfica, ou que ainda para atender os objetivos, sua área não necessita ser graficamente representada. Uma feição linear é graficamente definida por um conjunto de coordenadas (x1, y1, x2, y2,...,xn, yn), sendo que o primeiro e o último pares de coordenadas são denominados nós e desempenham a função de terminais e/ou conectores das feições lineares, enquanto isso, os pares de coordenadas intermediárias são os vértices da feição linear.

Através dos pares de coordenadas que formam o conjunto de feições lineares, é possível obter as propriedades topológicas de comprimento, direção, conectividade e adjacência. [FERREIRA, 2006].



Figura 11- linha

Fonte: [FERREIRA, 2006].

c) O polígono

As feições poligonais são utilizadas para representar elementos do mundo real, que possuem área e perímetro e podem ser representados graficamente. Uma feição linear é graficamente definida um conjunto de feições lineares ($L_1, L_2, \dots, L_n$), que por sua vez são graficamente definidas por conjuntos de coordenadas ($x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_n, y_n$). [FERREIRA, 2006].



Figura 12- Polígono

Fonte: [FERREIRA, 2006].

1.5.2- Modelação de dados geográficos

Um modelo de dados integra um conjunto de conceitos, utilizados para descrever a estrutura de uma Base de Dados (BD), assim como o conjunto de operações que podem ser executadas sobre a mesma [Navathe 1992]. Por estrutura entende-se tipos de dados, relacionamentos e restrições, que definem como a BD se encontra organizada.

Um modelo de dados é utilizado para definir modelos de aplicação, que constituem a descrição de uma BD para um dado domínio de aplicação.

A modelação de dados é a actividade que "debruçando-se sobre a totalidade dos requisitos de informação de um sistema de informação, tenta encontrar um modelo que traduza a estrutura lógica dos dados que satisfaz esses requisitos" ([Pereira 1997] p. 16).

A modelação de dados, vista como o conjunto de actividades que conduz ao desenho da BD, passa por três etapas [Adam e Gangopadhyay 1997] [Navathe 1992]:

1º Desenho Conceptual

Consiste na construção do modelo conceptual de dados, o qual reflecte a percepção que os utilizadores têm dos dados, sendo independente de qualquer implementação física. Uma das abordagens mais utilizadas na modelação conceptual de dados são os diagramas E-R (Entidades e Relacionamentos) [Chen 1976].

2º Desenho Lógico

Corresponde à transformação do modelo conceptual no modelo lógico de dados, isto é, em estruturas de dados que são implementáveis no Sistema Gestor de Base de Dados (SGBD) seleccionado. O modelo relacional tem sido o modelo mais utilizado na modelação lógica de dados [Codd 1970].

3º Desenho Físico

Passa pela definição dos detalhes físicos que serão considerados na implementação do modelo lógico. Permite definir os métodos de acesso aos dados e os detalhes associados à organização física dos ficheiros, e que são específicos do SGBD adoptado.

1.5.2.1- O diagrama E-R na modelação de dados geográficos

O diagrama E-R como técnica de modelação de dados geográficos [Laurini e Thompson 1992] permite representar objectos espaciais como entidades, cujas propriedades estruturais e topológicas com outros objectos espaciais, são representadas através de relacionamentos entre entidades.

1.5.3- Modelos

O conceito de modelo tem como objectivo permitir retratar diferentes perspectivas dos dados, ou alterações no domínio de aplicação, que requerem a re-interpretação dos mesmos. Os modelos permitem indicar o contexto em que os factos são válidos. Esta especificação é conseguida acrescentando o nome do modelo, seguido de um qualificador ('), antes da definição do facto: celsius'temperatura_congelação(0)(X). Este facto indica que na escala Celsius, a temperatura de congelção do objecto X é de 0°.

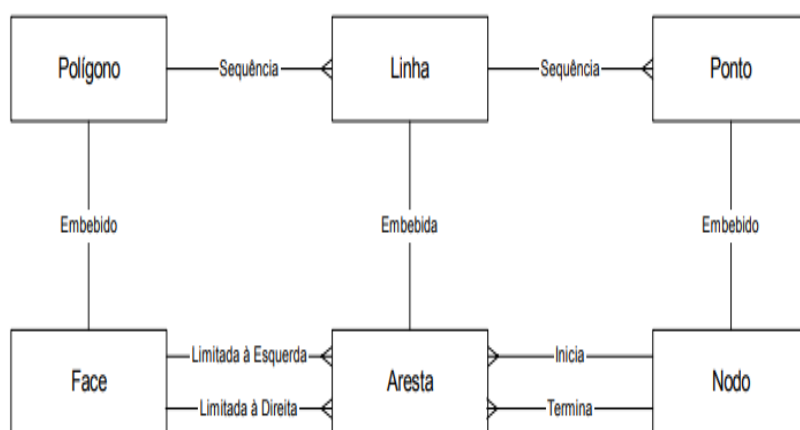


Figura 13 - Diagrama E-R na modelação de dados espaciais

Fonte: [CARREIRAS, 2009].

1.5.3.1- Modelo relacional para dados geográficos: o modelo geo-relacional

O modelo geo-relacional estende o modelo relacional por forma a este permitir modelar dados geográficos. Permite que a informação seja armazenada em diversas tabelas, relacionadas através de atributos comuns. Estas ligações permitem que a pesquisa de informação possa ser iniciada nos dados espaciais ou nos dados não espaciais. Diferentes conjuntos de atributos são armazenados em diferentes tabelas, através das quais é possível, verificando as relações existentes entre as mesmas, seleccionar todos os atributos associados a determinada entidade espacial [Shepherd 1991].

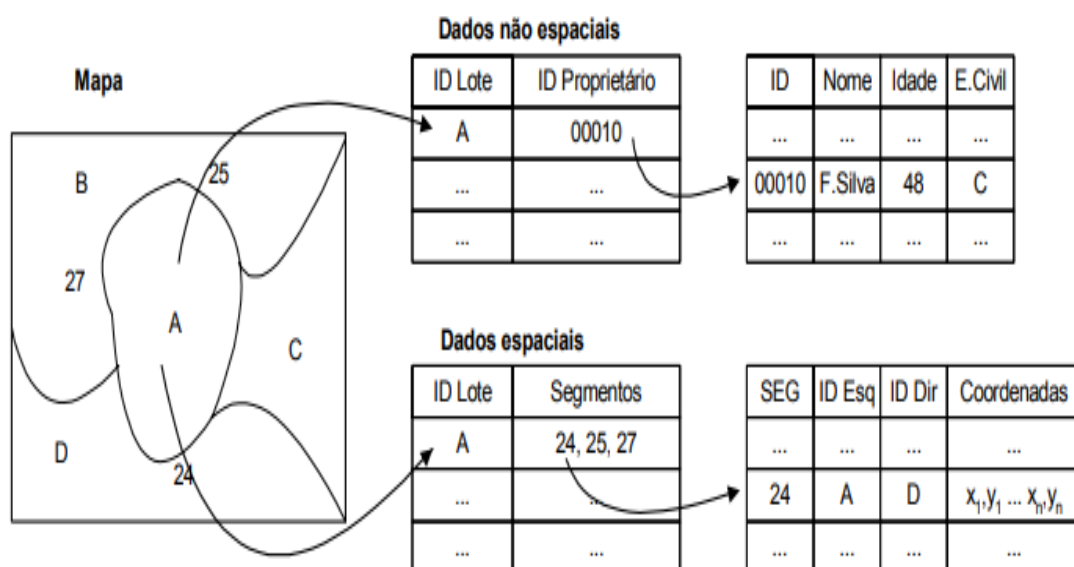


Figura 14- Modelo geo-relacional

Fonte: [CARREIRAS, 2009].

No modelo geo-relacional, um nível é utilizado para descrever propriedades geográficas, que definem associações entre o espaço geográfico e um dado conjunto de atributos.

Cada nível é caracterizado por representar um tipo de entidade geométrica (ponto, linha, polígono), declarado através das palavras reservadas GEOMETRIC TYPE, devendo ser identificado por um número, e opcionalmente, por um identificador.

As relações são utilizadas para modelar entidades não geográficas. A chave de uma relação resulta da concatenação dos atributos caracterizados com a palavra reservada “KEY”.

1.5.3.2- O UML na modelação de dados geográficos

O UML é uma linguagem de modelação, que pode ser utilizada para visualizar, especificar, construir e documentar os componentes de uma aplicação. O UML utiliza três tipos de componentes básicos na modelação: entidades (things), relacionamentos (relationships) e diagramas (diagrams) [Booch, et al. 1999].

Entidades representam abstrações de objectos do mundo real, agrupadas dentro de diagramas, e relacionadas através de associações definidas pelo utilizador. As entidades podem ser classificadas em quatro grandes grupos: estrutura, comportamento, agrupamento e anotação. Estes quatro conjuntos de entidades constituem os blocos OO (Object-Oriented) básicos utilizados em UML [Booch, et al. 1999].

De seguida são descritas as principais características de cada um destes elementos.

1º Entidades de estrutura.

Constituem os elementos estáticos de um modelo UML, podendo os mesmos possuir uma existência conceptual, lógica ou física. Existem sete entidades estruturais básicas. As cinco primeiras podem ser utilizadas para representar entidades conceptuais ou entidades lógicas, enquanto que as duas últimas são utilizadas para descrever entidades físicas[Booch, et al. 1999].

As sete entidades são:

- i. **A classe**, que corresponde a uma descrição de um conjunto de objectos com semântica comum, os quais partilham atributos, operações e relacionamentos;
- ii. **A interface**, utilizada na definição de um conjunto de operações que especificam uma tarefa de uma classe ou de um componente;
- iii. **A colaboração**, que define uma interacção, e constitui um agrupamento de papéis ou outros elementos que trabalham em conjunto para disponibilizar determinado comportamento cooperativo;
- iv. **O caso de uso**, permite a descrição de acções que o sistema executa para atingir determinado resultado;
- v. **A classe activa**, que permite descrever classes que integram um ou mais processos;
- vi. **O componente**, que representa uma parte física do sistema, implementando a realização física de um conjunto de interfaces;
- vii. **O nodo**, que representa um elemento físico que tem existência durante a execução da **aplicação, sendo normalmente um recurso computacional**.

2º Entidades de comportamento.

Constituem as partes dinâmicas dos modelos UML. Existem dois tipos básicos:

- i. **A interacção**, que integra um conjunto de mensagens trocadas entre objectos, inseridas em determinado contexto e para atingir determinado fim;
- ii. **O estado**, que permite especificar a sequência de estados que um objecto ou interacção atravessa, na resposta a determinados eventos [Booch, et al. 1999].

3º Entidades de agrupamento.

Constituem as partes organizacionais dos modelos UML. Basicamente podem ser consideradas caixas, nas quais um modelo pode ser decomposto. O tipo básico é o módulo, que permite organizar, conceptualmente, elementos em grupos[Booch, et al. 1999].

4º Entidades de anotação.

Permitem explicar partes de modelos UML, através da descrição de qualquer elemento do modelo. O elemento básico deste tipo de entidades é a nota[Booch, et al. 1999].

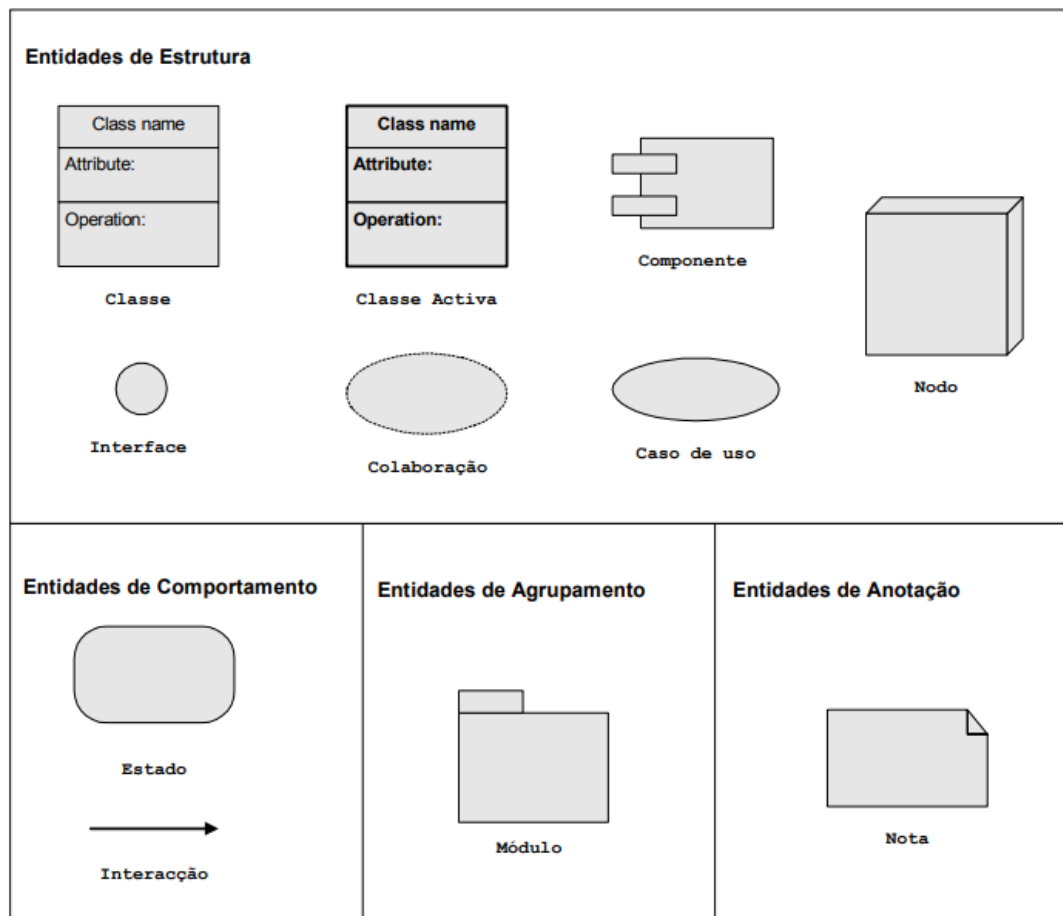


Figura15 - Entidades básicas do UML

Fonte: [Booch, et al. 1999].

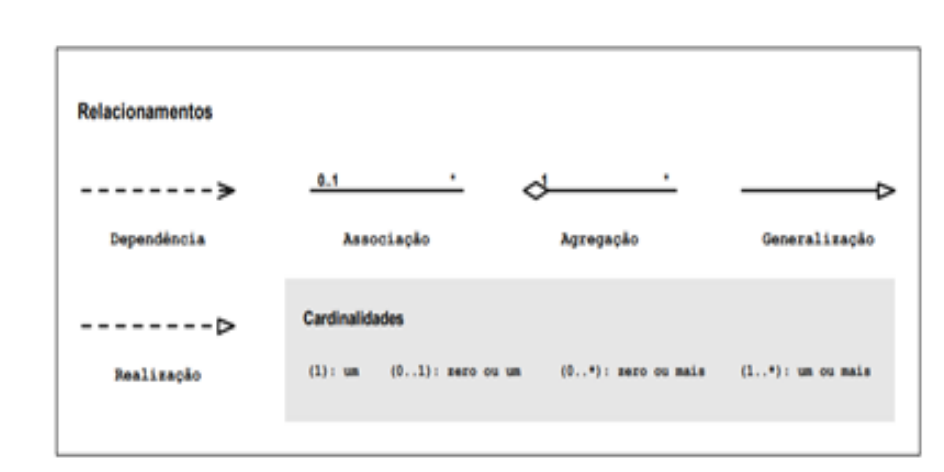


Figura 16- Relacionamentos existentes em UML.

Fonte: [Booch, et al. 1999].

O UML permite a construção de nove tipos de diagramas:

Diagrama de classes. Um diagrama de classes evidencia um conjunto de classes, interfaces, colaborações e seus respectivos relacionamentos. Permitem desenhar uma visão estática do sistema.

Diagrama de objectos. Um diagrama de objectos agrega um conjunto de objectos e seus relacionamentos. Permitem representar perspectivas estáticas das instâncias, cujas entidades estão representadas num dado diagrama de classes.

Diagrama de caso de uso. Um diagrama de caso de uso agrupa um conjunto de entidades do tipo caso de uso, actores (um tipo particular de classe) e seus respectivos relacionamentos.

Estes diagramas são particularmente importantes na organização e modelação do modo de funcionamento de um sistema, permitindo retratar uma visão (perspectiva de utilização) estática do mesmo.

Diagrama de interacção. Os diagramas de sequência e os diagramas de colaboração constituem os dois tipos de diagramas de interacção utilizados em UML. Estes diagramas permitem modelar os aspectos dinâmicos do sistema em termos dos objectos e suas relações, com base nas mensagens trocadas entre os objectos[Booch, et al. 1999].

Um diagrama de sequência é um diagrama de interacção que evidencia a sequência temporal existente entre as mensagens.

Um diagrama de colaboração é um diagrama de interacção que retrata a organização estrutural dos objectos que recebem e enviam mensagens.

Diagrama de estados. Estes diagramas integram um conjunto de estados, transições, eventos e actividades. Representam características dinâmicas, e são normalmente utilizados na modelação do comportamento de uma interface, classe ou colaboração, evidenciando a ordem de eventos que caracterizam o comportamento de um objecto[Booch, et al. 1999].

Diagrama de actividades. Constituem um caso particular dos diagramas de estados, permitindo representar o fluxo de actividades dentro de um sistema. Diagrama de componentes. Permitem retratar a organização e dependência existente entre um conjunto de componentes. São utilizados na modelação de uma vista estática da implementação dum sistema [Booch, et al. 1999].

Diagrama de desenvolvimento. Permitem retratar a configuração dos nodos de processamento e dos componentes ligados aos mesmos. Estes diagramas estão relacionados com o diagrama de componentes, uma vez que um nodo agrega normalmente um ou mais componentes[Booch, et al. 1999].

O UML tem sido amplamente utilizado na área da informação geográfica, sendo a linguagem de modelação utilizada pelo ISO TC 211, a comissão técnica da International Standard Organisation (ISO) com responsabilidades na produção de normas para a Informação Geográfica e Geomática [ISO/TC-211 1999].

1.6- Sistemas de informação geográfica SIG (GIS)

Define-se SIG, como o conjunto de funções automatizadas, que fornecem aos profissionais, capacidades avançadas de armazenamento, acesso, manipulação e visualização de informação georreferenciada. [AZEMOY, S. & SICHERMAN, 1981 apud PINTO, 2009].

Exemplos de SIG são: Sensoriamento Remoto, GPS e o Geoprocessamento. Cada uma dessas três ferramentas tem uma função específica.

O **Sensoriamento Remoto** é um conjunto de técnicas utilizado para a captação de imagens por meio de sensores de satélites, acoplados de equipamentos fotográficos e scanners. É uma técnica que permite obter informações de um determinado objeto sem entrar em contato físico com ele.

O **GPS** é o Sistema de Posicionamento Global (sigla derivada do inglês Global Positioning System), um instrumento que permite a localização de uma pessoa ou um objeto espacial a partir de suas coordenadas geográficas, latitude e longitude. Atualmente, vem sendo utilizado em diversos setores econômicos, como na agricultura e no rastreamento de carga de veículos. Com os problemas de trânsito enfrentados nas grandes cidades, vem se tornando um item indispensável para navegação e orientação aos motoristas de carro.

O **Geoprocessamento** é a técnica de coleta e processamento de dados espaciais. Esse processo envolve informações coletadas tanto pelo Sensoriamento Remoto quanto pelo GPS.

1.6.1- Características do SIG

Os SIG são sistemas computacionais capazes de captar, armazenar, manipular, consultar, analisar, modelar, exibir e imprimir dados referenciados espacialmente sobre a superfície da Terra [AZEMOY, S. & SICHERMAN, 1981 apud PINTO, 2009].

O desenvolvimento de um GIS obedece a quatro fases fundamentais, que são:

- ✓ Planeamento;
- ✓ Execução;
- ✓ Manutenção e atualização;
- ✓ Monitorização e Avaliação.

A fase de planeamento consiste em esboçar ideias construindo-se um plano com a descrição de como será o SIG e quais os seus objectivos. A fase de execução consiste em criar o SIG, colocando em prática o que foi descrito no plano. A fase de manutenção e atualização consistem em manter conservado ou em bom estado de funcionamento o SIG, atualizando os seus componentes. A fase de monitorização e avaliação consistem em controlar as suas operações e julgar seus resultados [AZEMOY, S. & SICHERMAN, 1981 apud PINTO, 2009].

Em resumo, as principais características de SIG são:

- ✓ Integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno.
- ✓ Combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação, para gerar mapeamentos derivados.
- ✓ Consultar, recuperar e visualizar o conteúdo da base de dados geocodificados.

Os dados tratados em SIG incluem: imagens de satélite, modelos numéricos de terreno, mapas temáticos, redes e dados tabulares.

Uma característica básica e geral num SIG é sua capacidade de tratar as relações espaciais entre os objetos geográficos. Denota-se por topologia estrutura de relacionamentos espaciais (vizinhança, proximidade, pertinência) que podem se estabelecer entre objetos geográficos.

1.6.2- Componentes do GIS

Os componentes do SIG são: Hardware, Software, Base de Dados, Rede, Peopleware, Procedure.

- ✓ **Hardware:** é a parte física dos sistemas informatizados, ou seja, o conjunto de componentes eletrônicos, circuitos integrados e placas que se comunicam através de barramentos;
- ✓ **Software:** é a parte lógica dos sistemas informatizados, ou seja, o conjunto de instruções e dados que são processados pelos circuitos eletrônicos do hardware;
- ✓ **Base de Dados:** é um espaço representando um sistema de informação, que serve para armazenar, organizar, gerir, e distribuir dados que geram informações.

Os dados geridos pelo SIG podem ser alfanuméricos ou tabelares, e gráficos. Os dados alfanuméricos são os registos textuais inseridos na BD, e os dados gráficos são a representação visual (desenho) dos dados alfanuméricos. Os dados gráficos são divididos em vectorial, raster e híbrido. Os vectoriais referem-se a

linhas, pontos e polígonos, os raster em pixéis ou imagens e os híbridos quando há uma mistura. [BOTELHO, 2013].

- ✓ **Peopleware:** são pessoas que trabalham diretamente ou indiretamente com a área de processamento de dados, fazendo a construção e a gestão do SIG.
- ✓ **Procedure:** Procedure ou procedimentos é um conjunto de instruções implementadas, ou regras estabelecidas para usar e gerir a BDGIS. São determinados por analistas de sistemas e programadores, que codificam diversos aplicativos, de formas a garantir a conservação dos dados e o bom funcionamento da BD.
- ✓ **Rede:** uma rede é formada por um conjunto de computadores e outros dispositivos interligados entre si de modos a compartilhar recursos físicos e lógicos.

1.6.3- O GIS no sector geológico mineiro

O sector minero, em todas suas fases, desde a pesquisa e prospeção, até ao fecho da mina, afigura-se, como uma área onde os SIG têm marcado uma presença indiscutivelmente benéfica ao longo dos últimos anos. No passado, as companhias mineiras usavam técnicas de sobreposição de mapas em papel, como os geólogos, geoquímicos geofísicos e muitos outros para a localização de jazigos, mas com os desenvolvimentos operados no ramo da informática, ligados principalmente ao aumento do poder de processamento dos computadores e a diminuição dos preços, adicionados ao desenvolvimento das ciências espaciais como os SIG, a sobreposição passou a ser feita por estes sistemas.

Na área das geociências, os SIG têm sido aplicados em estudos de recursos minerais, em mapeamento geotécnico, na seleção de áreas de depósitos entre outras aplicações. [QUADROS, 2000].

Uma das técnicas de prospecção mineral em que podemos destacar a utilização de GIS, é a pesquisa mineral realizada por meio de sensoriamento remoto. Através do processamento de imagens de satélite e de sensores operando nas faixas do visível e do infravermelho, é possível identificar características químico-físicas de rochas e minerais presentes em determinada área. [QUADROS, 2000].

Por gerarem resultados de excelência, levantamentos aéreos realizados com aeronaves não tripuladas, como drones, vêm ganhando espaço e sendo cada vez mais utilizados na pesquisa mineral.

Tendo como objetivo final gerar cartas geológicas que representem a estrutura mineral e a geomorfologia de determinada área, a prospecção mineral estará sempre associada ao uso de SIG.

Os procedimentos de pesquisa mineral fazem uso de uma série de técnicas associadas à levantamentos de campo e estudos em laboratório para identificar áreas que possivelmente possuem potencial para a mineração [QUADROS, 2000].

Podendo então também ser utilizado para encontrar o melhor local para a construção de uma bacia de rejeitados.

Na opinião de CHISSINGUI (2010, p. 3): “[...] a exploração mineira é uma tarefa complexa que, frequentemente requer o uso da detecção remota, dados geoquímicos, geofísicos e geológicos para alcançar resultados satisfatórios. Isto torna necessária a utilização de múltiplas camadas de informação, o que faz dos GIS uma ferramenta popular entre os geólogos, por permitir uma integração mais efetiva da informação e uma análise de grande quantidade de dados espaciais [...]”.

Para [CALAZANS & DOMINGUES, 2007], a utilização de um SIG para a mineração é de grande importância, pois a sua aplicação é muito ampla, podendo oferecer informações sobre:

- ✓ Base dados: cartografia geológica, topografia, imagens de satélite e infraestrutura;
- ✓ Pesquisa mineral: planejamento, integração, análise espacial avançada, mapeamento geológico e modelagem de depósitos;
- ✓ Geotecnia/ hidrogeologia: gestão de barragens, poços e modelagem 3D;
- ✓ Gestão ambiental: gestão de risco e sistemas de emergência; logística: rotas, sinalização e manutenção.

1.6.4- Aplicabilidade e Importância do SIG

Na opinião de (OLIVEIRA, 1997), a aplicação do SIG esta dividida em cinco grupos principais:

- ✓ **Ocupação Humana** - redes de infraestrutura; planeamento e supervisão de limpeza urbana; castramento territorial urbano; mapeamento eleitoral; rede hospitalar; rede de ensino; controle epidemiológico; roteamento de veículos; planeamento urbano; sistema de informações turísticas; controle de tráfego aéreo; sistemas de cartografia náutica; serviços de atendimentos emergenciais.
- ✓ **Uso da Terra** - planeamento agropecuário; estacagem e escoamento da produção agrícola; classificação de solos; gerenciamento de bacias hidrográficas; planeamento de barragens; castramento de propriedades rurais; levantamento topográfico e planimétrico; mapeamento do uso da terra.
- ✓ **Uso de Recursos Naturais**- controle do extrativismo vegetal e mineral; classificação de poços petrolíferos; planeamento de gasodutos e oleodutos; distribuição de energia elétrica; identificação de mananciais; gerenciamento costeiro e marítimo.
- ✓ **Meio Ambiente** - controle de queimadas; estudos de modificações climáticas; acompanhamento de emissão e ação de poluentes; gerenciamento florestal de desmatamento e reflorestamento.
- ✓ **Atividades Econômicas** - planeamento de marketing; pesquisas socioeconômicas; distribuição de produtos e serviços; transporte de matéria-prima.

Os SIG são ferramentas de extrema importância, uma vez que: Facilidade de trabalhar com uma grande quantidade de informação; Tempo de resposta em tempo real no apoio à decisão; Fácil gestão e armazenamento de dados geográficos; Rapidez com que a informação pode ser atualizada.

1.6.5- O SIG na tomada de decisão

O conceito fundamental dos vários modelos de tomada de decisão é o de racionalidade. De acordo com este princípio, indivíduos e organizações seguem um comportamento de escolha entre alternativas, baseado em critérios objetivos de julgamento, cujo fundamento será satisfazer um nível pré-estabelecido de aspirações. [CÂMARA, 2001].

O modelo racional de tomada de decisão preconiza quatro passos que devem ser seguidos para uma escolha apropriada:

- ✓ Definição do problema: formular o problema como uma necessidade de chegar a um novo estado.
- ✓ Busca de alternativas: estabelecer as diferentes alternativas (aqui consideradas como as diferentes possíveis soluções do problema) e determinar um critério de avaliação.
- ✓ Avaliação de alternativas: cada alternativa de resposta é avaliada.
- ✓ Seleção de alternativas: as possíveis soluções são ordenadas, selecionando-se a mais desejável ou agrupando-se as melhores para uma avaliação posterior.

Tal como outro sistema ou tecnologia de informação, os SIG são utilizados para suportar processos de decisão. Oferecem aos decisores um ambiente integrado de diversa informação suscetível de ser localizada espacialmente.

Questões como, onde está? Qual a distribuição de? O que mudou? Qual o melhor caminho? Qual o melhor local? O que aconteceria se? Podem ser respondidas através da utilização de um GIS. [JULIÃO, 1997].

Para além de facultarem um fácil acesso à informação múltipla integrada numa única base de dados, possibilitam a elaboração de diferentes cenários alternativos e a simulação dos seus efeitos espaciais, permitindo uma melhor e mais correta definição das medidas de planeamento a serem aplicadas. Por este motivo, os GIS constituem instrumentos poderosos de apoio a sistemas de decisão aos diferentes níveis.

1.7- Teledeteção

A deteção remota é o conjunto de técnicas que possibilitam a obtenção de informações sobre alvos na superfície terrestre (objectos, áreas ou fenómenos) através do registo da interação da radiação electromagnética com a superfície, realizado por sensores remotos, presentes em plataformas orbitais ou satélites, aviões, cujo produto é uma imagem satélite ou fotografia aérea [ROCHA, 2002].

O termo Sensoriamento refere-se à aquisição de informação sobre um objecto por um sensor que está a certa distância desses objectos [JENSEN, 2000]. Devido a suas diferentes propriedades físicas e composições químicas a variedade de matérias na superfície da terra emite, reflete ou absorve a radiação eletromagnética em diferentes formas. Sensores são então capazes de registar o comportamento destes diferentes materiais quando da interação com o fenómeno físico ao longo do espectro eletromagnético, e estabelecer a relação existente entre eles, o qual pode ser entendidos e interpretados através das técnicas de processamento de imagens.

Os sensores mais utilizados na detecção remota são as câmaras fotográficas os sensores eletro pticas. [CAMPAGNOLO, 2004].

1.8- Georreferenciação

Georreferenciação: É um sistema de localização geográfica que consiste em tornar conhecidas as coordenadas de um ponto, imagem, mapa ou qualquer dado espacial, num determinado sistema de referência. [ESRI, 2010].

O georreferenciamento consiste na descrição do imóvel em suas características, limites e confrontações, realizando o levantamento das coordenadas dos vértices definidores dos imóveis, georreferenciados ao sistema geodésico, com precisão posicional fixa. [GEOREFERENCIAMENTO, 2014].

Segundo, SILVA (2013), Georreferenciar significa atribuir coordenadas geográficas a um evento geográfico ou entidade de forma a posicioná-lo sobre a superfície terrestre com base em um sistema de coordenadas geográficas.

Os dados geo-espaciais são georreferenciados quando estes possuem basicamente duas características: dimensão física e localização espacial, [Aronoff 1989].

1.8.1- Fases da georreferenciação

Georreferenciar uma imagem ou mapa é tornar suas coordenadas conhecidas num dado Sistema de referência. Este processo inicia-se com a obtenção das coordenadas (pertencentes ao sistema no qual se planeja georreferenciar) de pontos da imagem ou do mapa a serem georreferenciados, conhecidos como Pontos de Controlo (EPUSP, 2006).

Os Pontos de Controlo são locais que oferecem uma feição física perfeitamente identificável, tais como intersecções de estradas e de rios, represas, pistas de aeroportos, edifícios proeminentes, topos de montanha, dentre outros (EPUSP, 2006).

A obtenção das coordenadas dos Pontos de Controlo pode ser realizada em campo a partir de levantamentos topográficos, GPS – Global Positioning System (EPUSP, 2006).

1.9- Geologia dos kimberlitos

Por se tratar de uma rocha complexa, as definições de Kimberlito, descritas na literatura, são muitas vezes confusas e conflitantes. Adotamos, aqui, a definição proposta por Kjarsgaard (1996), que propõe uma adaptação e modificação das definições propostas, anteriormente, por Clement et al. (1984) e Mitchell (1986).

Segundo o autor citado, Kimberlitos são rochas ricas em CO₂ e H₂O, com uma textura inequigranular distinta devido a presença de grandes macrocristais arredondados (i.e., megacristais e xenocristais), além de fenocristais euhedrais e subhedrais imersos em uma matriz de granulometria fina. Os macrocristais incluem minerais oriundos da desagregação de xenólitos do manto, além da suíte característica de megacristais dos kimberlitos (olivina, Mg-Ilmenita, granadas piropo enriquecidas em Ti-Cr, clinopiroxênio, flogopita, enstatita e zircão).

Um fato geológico estatisticamente comprovado é que a ocorrência de kimberlitos diamantíferos é restrita a um ambiente geotectônico bem definido, especificamente em áreas de escudos pré-cambrianos antigos, tectonicamente estabilizados em idade geológica anterior a 1,5 bilhões de anos. Este conceito, estabelecido por Clifford (1966), foi consagrado, tanto na literatura quanto no jargão de exploração mineral, como Regra ou Lei de Clifford.

Kimberlitos são rochas extremamente raras (< 1% da composição da crosta) e ocorrem em “pipes” ou chaminés vulcânicas em diques e soleiras ou “sills”. Os esforços dedicados à pesquisa e mineração de kimberlitos, nas últimas décadas, em várias partes do mundo, permitiram a consolidação de novos modelos sobre a morfologia dos corpos kimberlíticos, além do modelo clássico do “pipe Sul Africano” de Clement (1975).

CAPÍTULO II- METODOLOGIA

2.1- Objectivos

2.1.1- Objectivo Geral

O trabalho desenvolvido tem como objectivo geral evidenciar as potencialidades do SIG na apresentação de zonas com aptidão para a construção de uma bacia de rejeitados, através da análise, interpretação, integração e representação de fenómenos com variabilidade espacial

2.1.2- Objectivos Específicos

Comprovar com bases teóricas e práticas que com a utilização do SIG se podem localizar mais rápido e melhor o local para a construção de uma bacia de rejeitados.

Implementar o SIG, de modo que seja mais um método eficiente de localizar um local para a construção de uma bacia de rejeitados.

2.2 - Problemática

Barragem de rejeitos é um tipo de estrutura que é construída para conter o material que resulta do processo de mineração (extração de materiais da terra), ou seja, armazenar o que sobra e não pode mais ser utilizado em nada.

A Geologia e Topografia recomendam a escolha do melhor lugar. No caso de vales estreitos (Canyon), é recomendado barragens de concreto, com fundação e obreiras sobre rocha sólida e compacta, a fim de suportar as pressões da água e do peso do barramento. Em ocasiões em que topograficamente a região de construção tenha predominância de vales abertos, é recomendado barragens de terra.

Entretanto, em todas as situações, essas estruturas deverão ser construídas na cota mais baixa possível do terreno para melhor aproveitar toda a drenagem.

2.2.1 – Problema

Dificuldade na definição o melhor local para a construção de uma barragem de rejeitados.

2.2.2 - Causas

Esta dificuldade é causada pelos seguintes factores.

- Falta de mapas actualizados da área
- Desconhecimentos dos parâmetros geométricos do terreno
- Desconhecimento da topografia do terreno

2.2.3 - Consequências

A escolha de lugares inadequados pode levar a redução a produtividade da mina e desencadear em possíveis acidentes, como no caso da barragem de Brumadinho.

2.2.4 - Solução

Sabendo que o SIG utiliza uma série de dados georreferenciados, a sua implementação no processo permitiria uma rápida actualização dos mapas e um conhecimento geral sobre a geometria da jazida e a topografia do terreno facilitando assim a escolha do melhor local para a construção da bacia de rejeitados.

2.3- Questões

- Como pode o GIS ajudar a determinar o melhor local para a construção de uma bacia de rejeitados?
- Como automatizar o processo de determinação do melhor local para a construção de uma bacia de rejeitados?

2.4- Hipótese

Tendo-se verificado uma grande morosidade na actualização dos mapas, apresentamos como hipótese a este problema, a implementação de um SIG para automatização do processo de actualização dos mapas, e o fornecimento de informações sobre a geometria e topografia do terreno.

A automatização deste processo, permitiria uma redução do tempo de actualização dos mapas, e apresentaria com maior precisão o melhor local para a construção de uma bacia de rejeitados, diminuição quase a zero, a probabilidade de identificar locais inadequados reduzindo consequentemente os custos dessa operação e a probabilidade de acidentes.

2.5- Delimitação

O nosso estudo delimita-se a implementação de um GIS, para localizar o melhor local, para a construção de uma bacia de rejeitados para minas a céu aberto.

2.6- A Empresa

A Sociedade Mineira de Catoca Lda. é uma empresa angolana de prospecção, exploração, recuperação e comercialização de diamantes. Constituída pela ENDIAMA (Angola), ALROSA (Rússia), e Lev Leviev International – LLI (China).

CATOCA é a quarta maior mina do Mundo explorado a céu aberto e a maior empresa no subsector diamantífero em Angola, sendo responsável pela extracção de mais de 75% dos diamantes angolanos.

2.7 - Localização geográfica e vias de acesso

Em termos administrativo-geográficos, a sociedade mineira de Catoca situa-se no Nordeste da República de Angola, na parte noroeste da província da Lunda Sul, próximo da cidade de Saurimo, numa distância de 35 km e cerca de 800 km de Luanda.

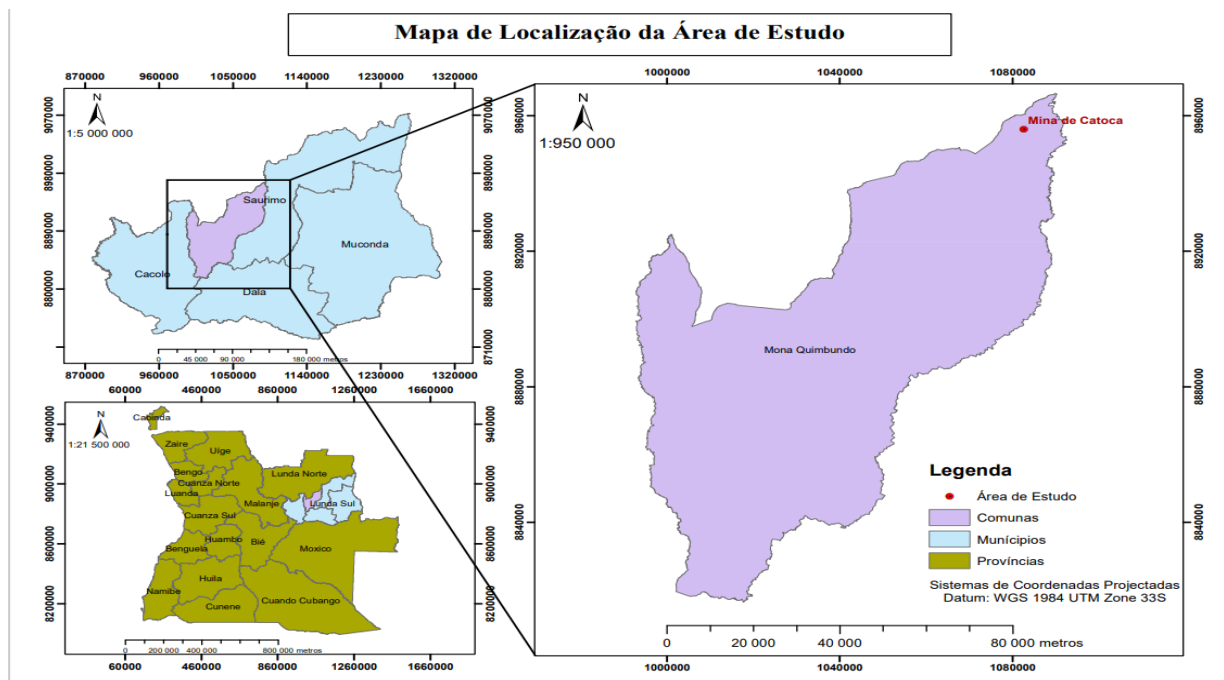


Figura17: Mapa com a localização geográfica da mina de CATOCA.

Fonte: Autor

O território da área de concessão da SMC encontra-se dentro da folha topográfica 121-SG34 (escala 1:1000000) do Cadastro Topográfico do Estado, numa região situada nos limites entre as Lundas Norte e Sul, e ocupa uma área de 340 km², delimitada por coordenadas geográficas.

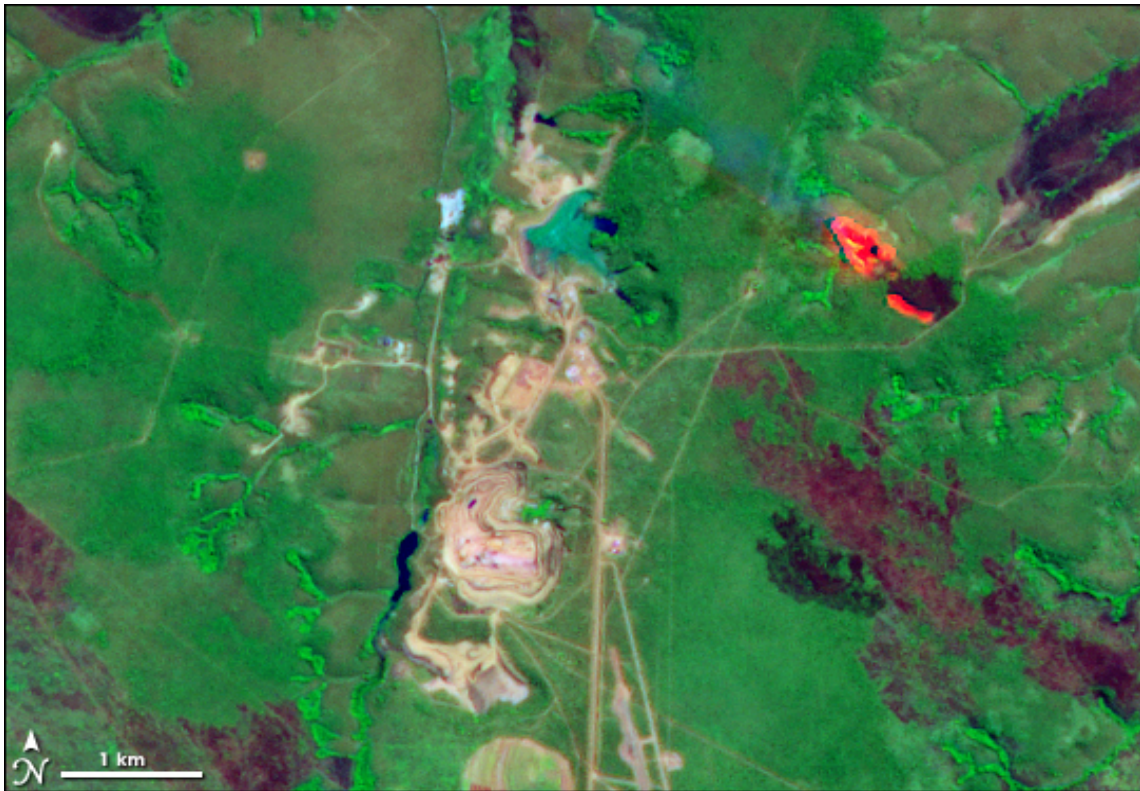


Figura 18: Vias de acesso de Mina de CATOCA.

Fonte: Google maps.

2.8- Bacia de rejeitados de Catoca

O projeto de construção da bacia de rejeitados de catoca, foi elaborado pelo Instituto de investigação científica e de projetos da lakutia, agregado à empresa Russa Alrosa, com base nos termos de referência contido no caderno de encargos apresentado pela SMC.

A construção inicial da bacia de rejeitados foi assegurada pelo departamento de construção civil e o sector de terraplanagem do departamento de exploração mineira por um período aproximado de 2 anos. Durante o período da construção do dique a ser alteado, são instalados sobre a estrutura, filtros que retêm as partículas de maiores dimensões e estas por sua vez acomodam nos seus vazios as partículas de menor dimensão, uma rede de drenos coletores com um diâmetro interno de 110 mm, evacuadores de cheias, cachimbos, valas de drenagens ao longo do pé do talude e um tubo de descarga na margem perpendicular aos diques alteados com uma altura de 0,5 m abaixo da cota máxima do dique.

Estes mecanismos e ações operacionais são instalados com objetivo de baixar o nível freático, eliminar a erosão interna no interior da bacia de rejeitados, evitar que as águas subam à superfície, onde correntes de erosão superficial podem pôr em perigo a estabilidade do talude.

Os rejeitos de Kimberlito, podem são geralmente constituídos por minerais de argila, feldspatos, piroxénio, olivina e outros minerais.

Podem também ser encontrados traços de substâncias tóxicas como metais pesados, que podem ser encontrados no meio ambiente.

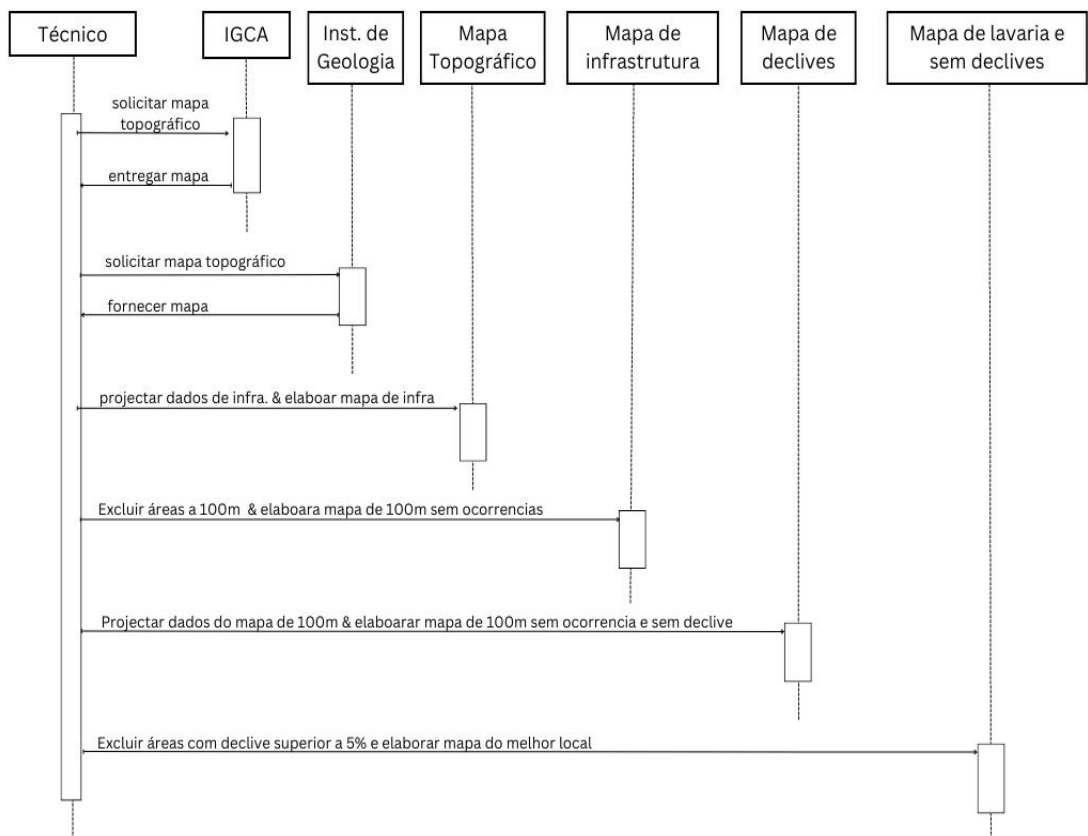
2.9- Encontrar o melhor local para construção de uma bacia de rejeitados

2.9.1- Descrição do processo em linguagem natural

2.9.1.1- Processo AS-IS

Quadro 8: Localização do melhor local sem o SIG

ID	Autor	Actividade	Local	Duração
1	Técnico	Adquirir mapa topográfico da área	IGCA	5 dias
2	Técnico	Adquirir mapa de ocorrência	Inst. Geológico	5 dias
3	Técnico	Projectar dados de infraestrutura e elaborar mapa de infraestrutura	Mapa Topográfico	2 dias
4	Técnico	Excluir áreas que se encontram a 100m da lavaria e que têm ocorrência. Elaborar mapa de 100m da lavaria	Mapa de infraestrutura	2 dias
5	Técnico	Elaborar o mapa de declive (perfis), com base no mapa topográfico.	Mapa Topográfico da área	1 dia
6	Técnico	Projectar dados do mapa de 100m da lavaria e sem ocorrência e elaborar o mapa de 100m sem ocorrência e sem declives	Mapa de declives	1 dia
7	Técnico	Excluir áreas com declive superior a 5% e elaborar o mapa de local óptimo para a construção da bacia de rejeitados.	Mapa de 100m da lavaria, sem ocorrência e sem declive	1 dia



**Fig. 19: Modelação do processo
AS-IS**

Fonte: O Autor.

2.9.1.2- Processo TO-BE

Tendo-se explicado no título anterior (3.3), a forma como se procedeu para se encontrar o melhor local para a construção de uma bacia de decantação, apresentamos agora a forma como se encontrará o melhor local para a construção de uma bacia de decantação com a utilização do GIS.

Quadro 9: Localização do melhor local com o GIS

ID	Autor	Descrição	Local	Duração
1	Peopleware	Adquirir informação	CATOCA	5 dias
2	Software	Criação dos mapas de declividade, hidrográfico, geológico e TIN	ArcGis	1 dia
3	Peopleware	Inserir características de melhor Local	ArcGis	2 min
4	Software	Processar, analisar, armazenar a informação e apresentar resultado.	ArcGis	2 min

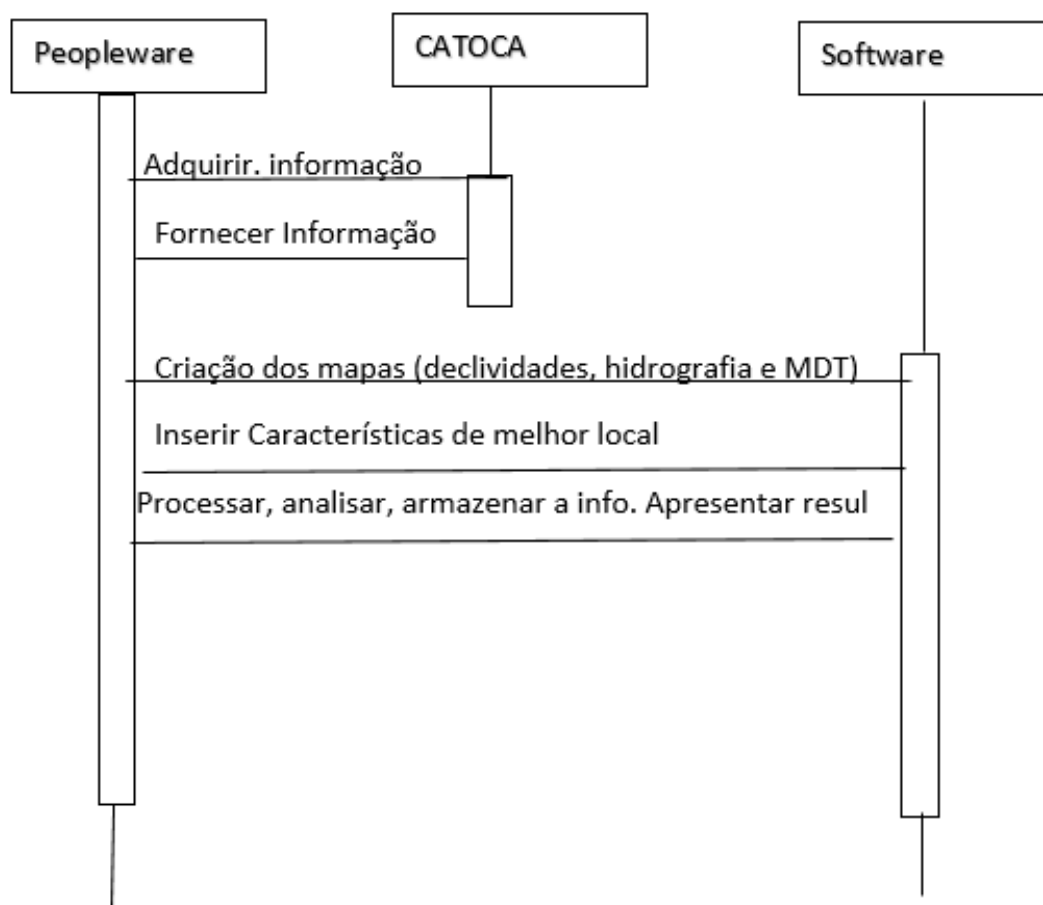


Fig. 20: Modelação do processo “TO BE”

Fonte: O Autor.

2.10 - Parametrização do SIG a implementar

Sabe-se que o processo de selecção de locais para a construção de bacias de rejeitados pode ser efectuado uma ou varias vezes, ao longo do tempo de vida útil da mina, a medida que a área de exploração se expande. Assim, com a implementação do SIG este processo será realizado uma única vez sendo que, no final serão apresentadas todas as zonas aptas, e o melhor local para a construção da mesma. Tratando-se de um problema pontual, será implementado um SIG projecto para a resolução do mesmo, sendo que o SIG não será aplicado durante toda a vida útil da mina.

Uma das grandes vantagens do projecto em questão, é a possibilidade de aplicação do SIG em outras minas, sem necessidade de grandes alterações na sua estrutura. Portanto, seria de grande interesse, para as empresas ligadas ao sector mineiro a implementação deste projecto, como meio de optimização dos processos.

Quadro 10: Parametrização do SIG

Elemento	Especificações	Qtd	Custo
Hardware	Computador HP 12th Gen Intel (R) i5 -123 5U 1.30 GHz	1	1.500.000 AKZ
Software	ArcGIS versão 10.7.2	1	500.000 AKZ
Peopleware	Engenheiro de minas ou geólogo	1	750.000 AKZ
Dataware	Dados armazenados no ArGis	1	00,00 AKZ
Procedure	Código Mineiro e regulamento da Empresa	1	50.000 AKZ

2.11- Metodologia vs Método

A Metodologia é o estudo da organização, dos caminhos a serem percorridos, para se realizar uma pesquisa ou um estudo, ou para se fazer ciência. Etimologicamente, significa o estudo dos caminhos, dos instrumentos utilizados para fazer uma pesquisa científica. [FONSECA, 2002].

É importante salientar a diferença entre metodologia e métodos. A metodologia se interessa pela validade do caminho escolhido para se chegar ao fim proposto pela pesquisa; portanto, não deve ser confundida com o conteúdo (teoria) nem com os procedimentos (métodos). Dessa forma, a metodologia vai além da descrição dos procedimentos (métodos e técnicas a serem utilizados na pesquisa), indicando a escolha teórica realizada pelo pesquisador para abordar o objeto de estudo.

No entanto, embora não seja a mesma coisa, teoria e método são dois termos inseparáveis, “devendo ser tratados de maneira integrada e apropriada quando se escolhe um tema, um objeto, ou um problema de investigação”. [MINAYO, 2007].

2.12- Métodos Utilizados em Pesquisa Científica

2.12.1- Método indutivo

A indução é aquela forma de raciocínio que chega a afirmar uma verdade geral a partir de verdades particulares. A Indução base-se na generalização de propriedades comuns a certo número de casos, até agora observadas, a todas as ocorrências de fatos similares que se verificam no futuro.

Segundo [RAMPAZZO, 2002], o método indutivo é a alma das ciências experimentais. Sem ela, a ciência não seria outra coisa senão um repertório de observações sem alcance.

2.12.2- Método dedutivo

A dedução é a argumentação que torna explicitas verdades particulares contidas em verdades universais. O ponto de partida é o antecedente, que afirma uma verdade universal; o ponto de chegada é o consequente, que afirma uma verdade menos geral, ou particular, contida implicitamente no primeiro. Ex. Todos os metais são condutores de eletricidade. Essa verdade já foi afirmada, já foi comprovada. Eu não preciso de nenhuma pesquisa a mais para comprovar esse princípio.

A única coisa que eu preciso saber é quantos e quais são os metais. Então o método dedutivo em vez de trabalhar com vários factos individuais, particulares trabalha com um facto universal.

2.12.3- Método dialético

Fundamenta-se na dialética proposta por Hegel, na qual as contradições se transcendem dando origem a novas contradições que passam a requerer solução. É um método de interpretação dinâmica e totalizante da realidade. Considera que os fatos não podem ser considerados fora de um contexto social, político, econômico, etc. Empregado em pesquisa qualitativa (LAKATOS & MARCONI, 1993).

O método dialético se resumia em três etapas: tese (apresentação da realidade), antítese (apresentação de uma realidade contrária) e síntese (chegada de conclusão diferente da tese e da antítese).

2.12.4- Método quantitativo

A pesquisa quantitativa se centra na objetividade. Influenciada pelo positivismo, considera que a realidade só pode ser compreendida com base na análise de dados brutos, recolhidos com o auxílio de instrumentos padronizados e neutros. A pesquisa quantitativa recorre à linguagem matemática para descrever as causas de um fenômeno, as relações entre variáveis, etc. (SILVEIRA, 2009).

2.12.5- Método qualitativo

O método qualitativo não se preocupa com estatística, como base para seus procedimentos, não procura numerar nem medir unidades ou categorias homogêneas.

Na pesquisa qualitativa, o cientista é ao mesmo tempo o sujeito e o objeto de suas pesquisas. O desenvolvimento da pesquisa é imprevisível. O conhecimento do pesquisador é parcial e limitado. O objetivo da amostra é de produzir informações aprofundadas e ilustrativas: seja ela pequena ou grande, o que importa é que ela seja capaz de produzir novas informações. [GOLDENBERG, 1997].

2.12.6- Método de estudo de caso

Envolve a história de um Problema passada ou actual, obtida de múltiplos recursos de evidências e pode incluir dados de observação directa e de entrevista sistemática, bem como de arquivos públicos e privados. Ele deve ser utilizado quando o fenómeno pode ser estudado em seu estado natural. [VOSSO *et al*, 2002].

2.12.7- Método fenomenológico

Preconizado por Husserl, o método fenomenológico não é dedutivo nem indutivo. Preocupa-se com a descrição directa da experiência tal como ela é. A realidade é construída socialmente e entendida como o compreendido, o interpretado, o comunicado. Então, a realidade não é única: existem tantas quantas forem as suas interpretações e comunicações. O sujeito/ator é reconhecidamente importante no processo de construção do conhecimento (TRIVINOS, 1992). Empregado em pesquisa qualitativa.

2.12.8- Método hipotético-dedutivo

Proposto por Popper consiste na adoção da seguinte linha de raciocínio: “quando os conhecimentos disponíveis sobre determinado assunto são insuficientes para a explicação de um fenómeno, surge o problema”. Para tentar explicar a dificuldades expressas no problema, são formuladas hipóteses.

Das hipóteses formuladas, deduzem-se consequências que deverão ser testadas ou falseadas. Falsear significa tornar falsas as consequências deduzidas das hipóteses. Enquanto no método dedutivo se procura a todo custo confirmar a hipótese, no método hipotético-dedutivo, ao contrário, procuram-se evidências empíricas para derrubá-la” (GIL, 1999).

2.13- Design Science Research (DSR)

O Design Science Research é um estudo de natureza experimental, em que o desenvolvimento e a implementação de uma nova construção devem ser buscados. Essa busca se dá por meio da tentativa de solução de um problema real e que traga novas contribuições à teoria existente (LUKKA, 2003). A construção de soluções é

feita com a utilização de modelos, diagramas, planos organizacionais, entre outros, de acordo com Kasanem (1993).

Tem-se então que, segundo Lacerda et al. (2013) que a DesignScience é a base epistemológica e a Design Science Research é o método que operacionaliza a construção do conhecimento neste contexto. Para Çağdaş e Stubkjær (2011) a “Design Science Research se constitui em um processo rigoroso de projetar artefatos para resolver problemas, avaliar o que foi projetado ou o que está funcionando, e comunicar os resultados obtidos”.

Estes artefatos podem ser, segundo March e Smith (1995):

Constructos: conceitos que formam o vocabulário de um domínio, definindo os termos usados para descrever e pensar sobre as tarefas.

Modelos: conjunto de proposições que expressam as reações entre os diversos conceitos de um domínio.

Métodos: conjunto de passos usados para executar determinada tarefa.

Instanciações: é a concretização de um artefato em seu ambiente, demonstrando a viabilidade e a eficácia dos modelos e métodos.

Assim como definido em pesquisa tecnológica, o artefato previsto pela Design Science Research não necessariamente é um objeto concreto, mas um constructo, um modelo ou mesmo um método.

2.13.1- Fases da DSR

DSR, segundo Peffers et al. (2007), é desenvolvida a partir de seis etapas procedurais, que são sugeridas, mas que podem ser executadas de acordo com a necessidade de projeto:

1 - Identificação do problema e sua motivação: esta etapa é dedicada à definição do problema de pesquisa específico, apresentando-se uma justificativa para a sua investigação. É importante que a definição deste problema seja empregada na

construção de um artefato que pode efetivamente oferecer a solução para este problema. Tem-se como recursos necessários para esta etapa o estado da arte do problema e da relevância da solução apresentada.

2 - Definição dos objetivos para a solução: tendo-se como ponto de partida o conhecimento acerca do problema, bem como a noção do que é viável e factível, delineiam-se os objetivos da solução a ser desenvolvida. Elencam-se como requisitos desta etapa novamente o estado da arte do problema e o conhecimento das possíveis soluções já previamente apresentadas.

3 - Projetar e desenvolver: etapa destinada à criação do artefato, determinando-se a sua funcionalidade desejada para o artefato, sua arquitetura e em seguida a criação do próprio artefato. Os recursos necessários para a terceira etapa compreendem o conhecimento da teoria que pode ser exercida em uma solução.

4 – Demonstração: momento de demonstração do uso do artefato resolvendo uma ou mais instâncias do problema por meio de um experimento ou simulação, estudo de caso, prova formal ou outra atividade apropriada. Os recursos relacionados para esta etapa incluem o conhecimento efetivo de como usar o artefato para resolver o problema.

5 – Avaliação: nesta etapa deve-se observar e mensurar como o artefato atende à solução do problema, comparando-se os objetivos propostos para a solução com os resultados advindos da utilização do artefato. Nesta etapa pode-se definir pela recursividade da metodologia, isto é, o retorno às etapas 3 ou 4, de modo a aprimorar o artefato.

6 – Comunicação: momento de divulgação do problema e da relevância da propositura de uma solução para o mesmo, além da apresentação do artefato desenvolvido. A Figura 23 detalha a sequência metodologia da Design Science.

Hevner, March e Park (2004, p. 86), apresentam alguns métodos que podem ser empregados para a avaliação dos artefactos desenvolvidos a partir da metodologia Design Science.

Quadro 7: Métodos que podem ser empregados para a avaliação dos artefactos desenvolvidos a partir da metodologia DSR.

Forma de Avaliação	Métodos propostos
Observacional	Estudo de Caso: Estudar o artefato existente, ou não, em profundidade no ambiente de negócios. Estudo de Campo: Monitorar o uso do artefato em projetos múltiplos. Esses estudos podem, inclusive, fornecer uma avaliação mais ampla do funcionamento dos artefatos configurando, dessa forma, um método misto de condução da pesquisa.
Analítico	Análise Estatística: Examinar a estrutura do artefato para qualidades estáticas. Análise da Arquitetura: Estudar o encaixe do artefato na arquitetura técnica do sistema técnico geral. Otimização: Demonstrar as propriedades ótimas inerentes ao artefato ou então demonstrar os limites de otimização no comportamento do artefato. Análise Dinâmica: Estudar o artefato durante o uso para avaliar suas qualidades dinâmicas (por exemplo, desempenho).
Experimental	Experimento Controlado: Estudar o artefato em um ambiente controlado para verificar suas qualidades (por exemplo, usabilidade). Simulação: Executar o artefato com dados artificiais.
Teste	Teste Funcional (<i>Black Box</i>): Executar as interfaces do artefato para descobrir possíveis falhas e identificar defeitos. Teste Estrutural (<i>White Box</i>): Realizar testes de cobertura de algumas métricas para implementação do artefato (por exemplo, caminhos para a execução).
Descritivo	Argumento informado: Utilizar a informação das bases de conhecimento (por exemplo, das pesquisas relevantes) para construir um argumento convincente a respeito da utilidade do artefato. Cenários: Construir cenários detalhados em torno do artefato, para demonstrar sua utilidade.

2.14- Metodologia Usada no Projecto

A metodologia de trabalho a desenvolver para encontrar o melhor local para a construção de uma bacia de rejeitados com ajuda de um GIS envolve as seguintes fases:

1 - Identificação do problema e sua motivação: Nesta etapa é definido o do problema, causas e consequências, identificando as questões relacionadas, hipótese e proposta de solução, apresentando-se uma justificativa para a sua investigação.

2 - Definição dos objetivos para a solução: tendo-se o conhecimento acerca do problema, serão delineados os objetivos da solução a ser desenvolvida.

3- Recolha bibliográfica e da informação disponível: Pesquisa bibliográfica, análise de relatórios, livros e publicações que abordam sobre o tema em estudo.

4- Estudo de caso: foi feita a escolha da organização de alvo da nossa proposta de Monografia com a qual se estabeleceram contactos para visitas à mesma, visando o levantamento de requisitos (“AS IS” dos Processos e dos Dados).

5- Modelação dos Dados e Processos: depois de serem levantados os Dados e Processos, definiram-se as Linguagens de Modelação adequadas aos dados e processos relacionados com o Problema.

6- Entrada E armazenamento de dados (Input): O processo de tratamento da informação gráfica foi definido com a seguinte sequência de passos:

- Informação em formato analógico;
- Scannerização (aquisição digital do mapa da área);
- Georreferenciação do mapa digital da área;
- Digitalização (vectorização), do mapa georreferenciado.

7- Integração E validação da informação: após a recolha, tratamento e processamento da informação é necessário validar e integrar a informação no ArcMap, que constitui o núcleo estrutural do GIS.

8- Geração da informação: Depois de integrada e validada a informação, inicia-se o processamento dos dados e geração de informação intermédia, necessária ao cruzamento e análise final dos dados.

CAPÍTULO III- RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 – Implementação do Sistema

O objectivo geral do projecto é apresentar as zonas aptas para a construção de uma bacia de rejeitados com base na análise, interpretação, integração e representação de fenómenos com variabilidade espacial.

Tendo como caso de estudo a mina de CATOCA, situada no nordeste da república de Angola, na província da Lunda Sul, município de Saurimo, numa distância de 800Km de Luanda. A área de concessão da mina de CATOCA, encontra-se dentro da folha topográfica 121-SG34 (escala 1:1000000) numa região situada nos limites entre as Lundas Norte e Sul, e ocupa uma área de 340 km².

A escolha do Local deve-se ao facto da mesma ser considerada a maior mina de Angola e uma das maiores de África.

A base de dados da área de estudo utilizada está constituída por três camadas:

- Polígono: representando as divisões administrativas da região (província, municípios, comunas, bairros ou povoados); a área de extensão do jazigo; tipos de solos.
- Linha: representado a Hidrologia da região (rios, lagos, ribeiro, nível freático);
- Ponto: representando a Área de Exploração, Área de Tratamento, Área com existência de recurso (minério), Aglomerado urbano, falhas geológicas curvas de nível e Actual bacia de rejeitados.

3.1.1- Software Utilizado

Para o desenvolvimento do projecto, escolheu-se o aplicativo ARCGIS Desktop , versão 10.7.2

O ArcGis é uma poderosa tecnologia GIS que fornece ferramentas para capturar, visualizar, editar, gerenciar, analisar e compartilhar dados no contexto da localização. É um sistema abrangente e completo, com licença e de implementação flexível.

O ArcGis tem como aplicação principal o *Arc Map*, sendo utilizado para as tarefas de visualização, exploração, análise, edição, composição de dados gráficos. Encontra-se dividida em tabela de conteúdos e área de visualização, as suas principais funções são:

- a) Criar mapas e relatórios para transmitir estudos e resultados de uma forma eficiente;
- b) Realizar pesquisas, responder a questões de análise espacial e identificar relações entre os dados geográficos, nomeadamente pelo cruzamento das informações;
- c) Criar saídas gráficas e relatórios que podem integrar objectos do modelo vectorial, imagem, gráficos, tabelas entre outros elementos.

3.1.2- Entrada e Armazenamento dos Dados (INPUT)

O processo de aquisição e tratamento da informação, baseou-se na elaboração e recolha de informações com interesse para o estudo, como artigos científicos, cartas geológicas, mapas da província e do município onde se encontra a nossa área de estudo;

Tendo em conta a era tecnológica em que nos encontramos foi possível obter toda essa informação no formato digital e devidamente georreferenciada e vetorizada, estando toda informação relacionada entre si.

Após este processo ficou disponível informação relativa a província, municípios, comunas, área de extensão do jazigo, rios, lagos, ribeiro, nível freático, Área de Exploração, falhas geológicas, tipos de rochas e toda outra informação relevante para o estudo.

3.1.3- Geração da Informação

Nesta fase procede-se à elaboração de mapas, e para tal foi necessário a criação de uma zona que nos permitisse ter melhor visualização dos detalhes da área.

E a partir daí procedeu-se a elaboração do mapa de declividade, mapa hidrográfico, mapa geológico, e do modelo digital do terreno (MDT).

O mapa de declive foi elaborado em percentagem, para as classes de 0 a 2% e 2% a 18% .

3.1.4- Processamento da Informação

Nesta fase deu-se a construção de *queries* à informação contida nos ficheiros gráficos e base de dados de modo a gerar o *output* final, ou seja, determinar quais as áreas que reúnem os critérios pré estabelecidos para determinação do melhor local para a construção de uma bacia de rejeitado.

Parâmetros utilizados para a definição do Melhor local	
Declividade	2% á 5%
Tipo de Solo	Argiloso ou Gnaises
Distância entre zonas de saturação	200 á 500m

3.1.4.1- Mapa de Declividade

Com base nas características pré-definidas para a determinação do melhor local, tendo em conta os diversos métodos apresentados, foram gerados vários mapas. Inicialmente, com base na Shape file da L. Sul predefinimos os critérios de declividade, realizou-se uma query e seleccionamos as áreas com declividade de 2 á 5%.A construção da bacia em áreas com declividade superior a 5%, pode aumentar significativamente risco de segurança, pode ocorrer um deslizamento de terra danificando a bacia de rejeitados e liberando os materiais tóxicos contidos nela.

Existe ainda o risco de erosão devido a água da chuva, pois a mesma tem maior acção erosiva nas encostas íngremes, transportando os contaminantes para as áreas circundantes.

A inclinação do terreno pode criar maior pressão hidrostática nos rejeitados, tornando a estrutura mais susceptível a falhas, vazamentos ou rupturas. A construção e manutenção das mesmas geralmente é mais difícil e cara, devido a necessidade de estabilização e a construção de infraestrutura adicional.

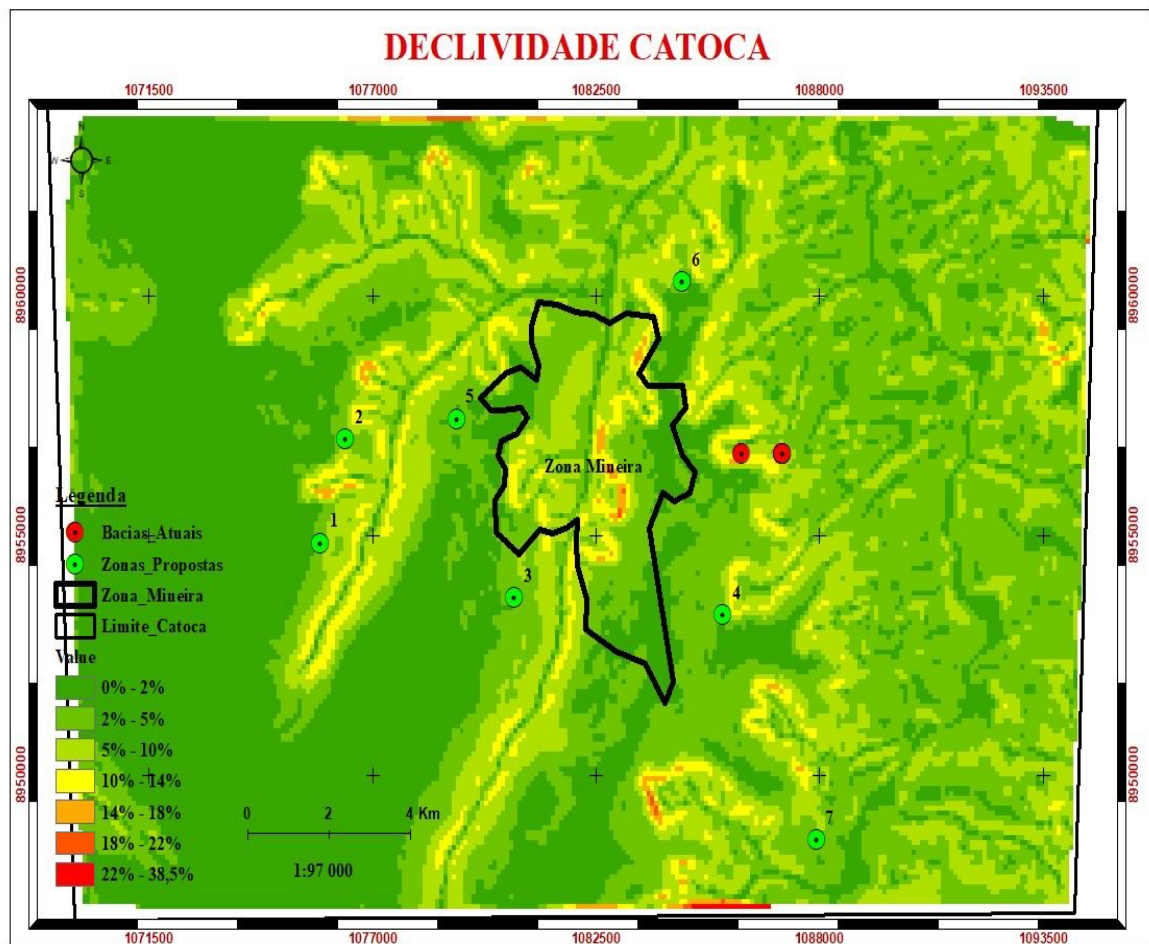


Figura 21: Mapa de declividade

Fonte: ArcGis

3.1.4.2- Mapa Hidrográfico

O mapa de hidrográfico foi gerado com base nas características do terreno e das zonas de saturação, dos rios e seus afluentes.

Teve-se em conta o critério de que as bacias devem estar localizadas de 200 à 500m de distância das zonas de saturação, como parâmetro de segurança.

No caso de não ser respeitado esse parâmetro, podem ocorrer serias consequências ambientais e ecológicas conforme já referido ao longo do trabalho, além do problema como a contaminação da água, os rejeitados pedem infiltra-se nas águas subterrâneas, ou serem arrastados pelos rios contaminando a vida aquática.

Existe ainda o risco de rompimento, que pode resultar em desastres ambientais e humanos, como inundações e a liberação de rejeitos tóxicos.

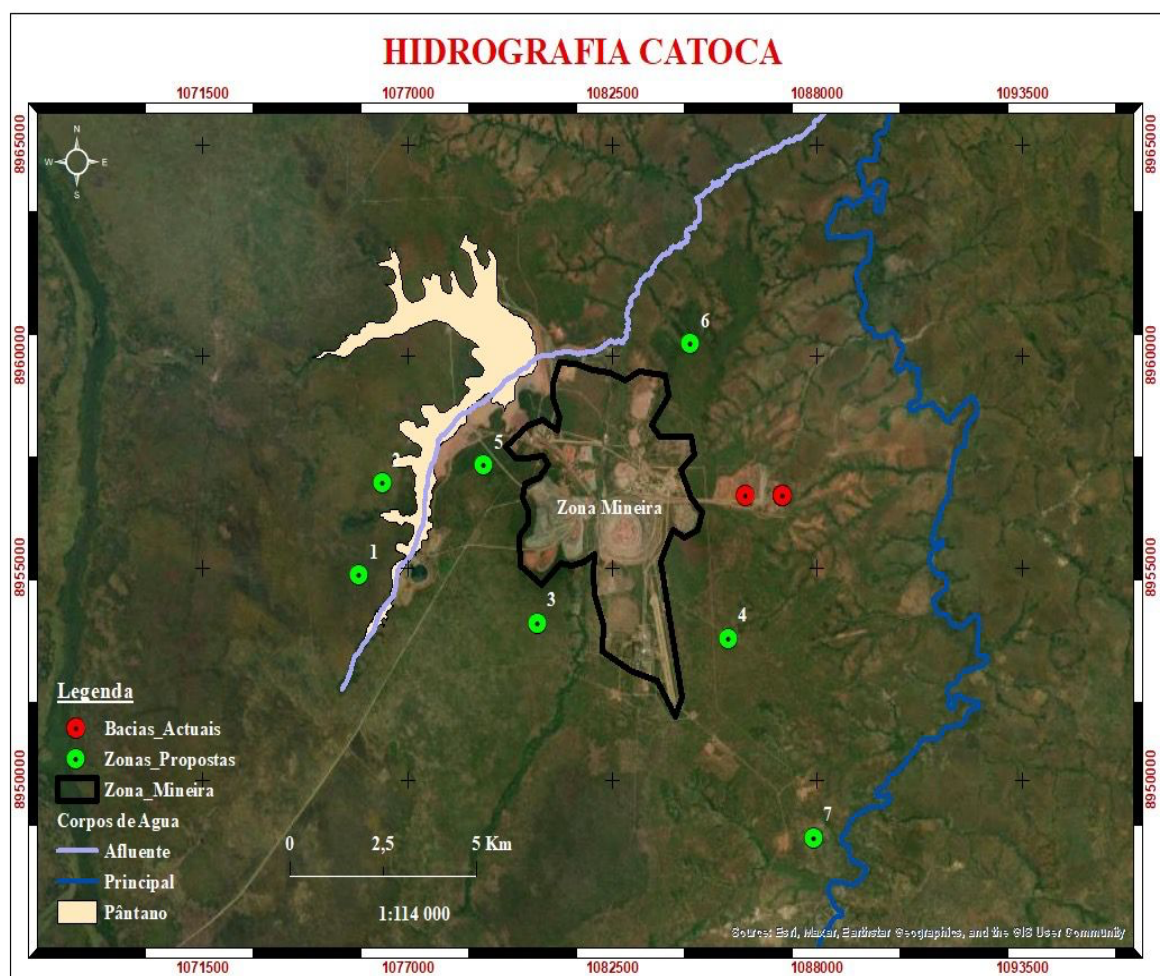


Figura 22: Mapa hidrográfico
Fonte: ArcGis

3.1.4.3 - Mapa Geológico

Tendo como critério geológico a construção da bacia em zonas de solo argiloso ou de gnaisses, foi gerado o mapa abaixo.

A construção da bacia em solos xistosos ou de conglomerado, pode causar diversos danos ao ambiente e apropria exploração de modo geral. A pouca permeabilidade deste tipo de solo pode afectar a drenagem dos rejeitos, além disso pode ocorrer a compactação ou compressão sobre o peso dos rejeitos o que pode exigir medidas de engenharia adicionais para evitar afundamentos.

Neste caso a bacia possuirá muita susceptibilidade a erosão principalmente se exposta a água corrente, aumentado o risco de vazamento dos rejeitados. A química dos solos pode afetar a interação com os rejeitos e lixiviação de substâncias tóxicas.

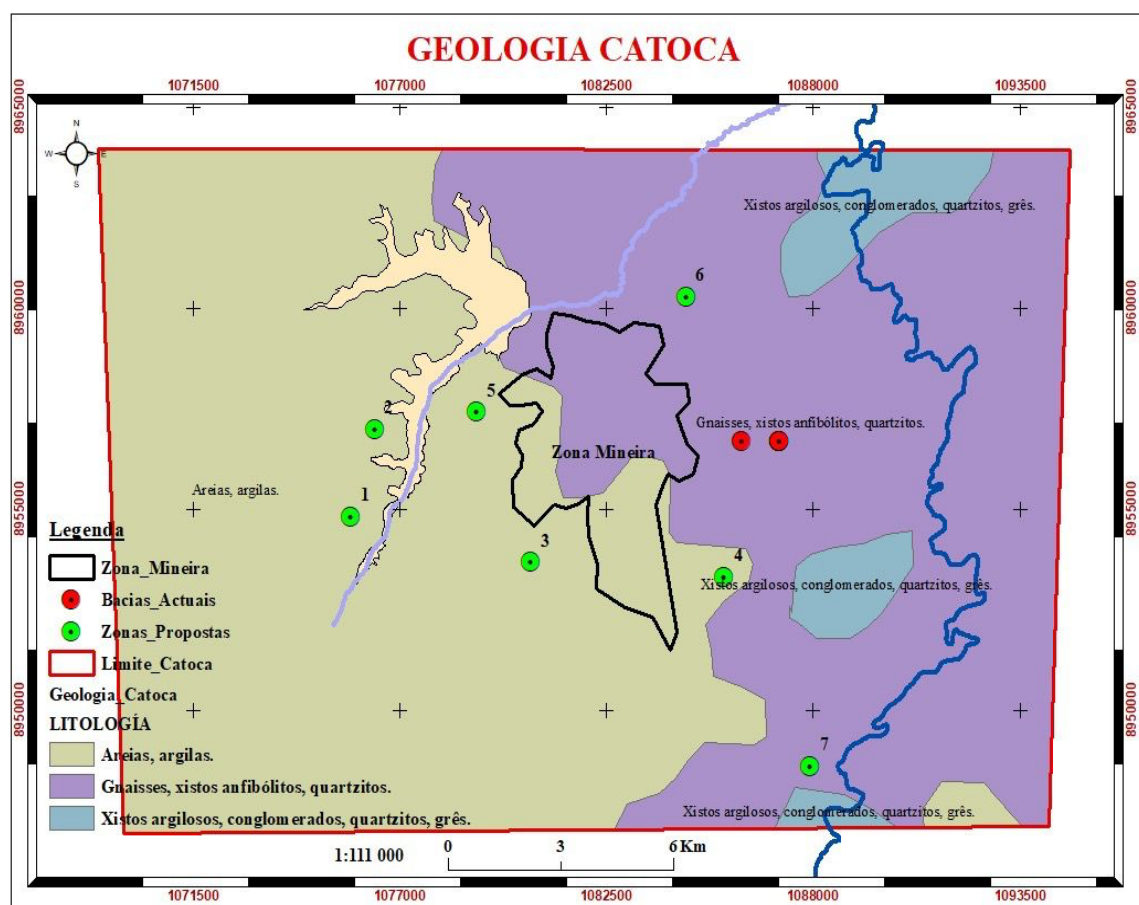


Figura 23: Mapa Geológico
Fonte: ArcGis

3.1.5- Análise Espacial

Tendo em conta os critérios definidos, foi construída uma pesquisa onde se pretendeu determinar quais as áreas indicadas para a implantação de uma bacia de rejeitados. A pesquisa corresponde a um pedido de informação à fonte de dados, ou seja, é uma pergunta ao sistema sobre a informação que satisfaz uma determinada condição, definida pelo utilizador, neste caso os parâmetros da tabela anterior.

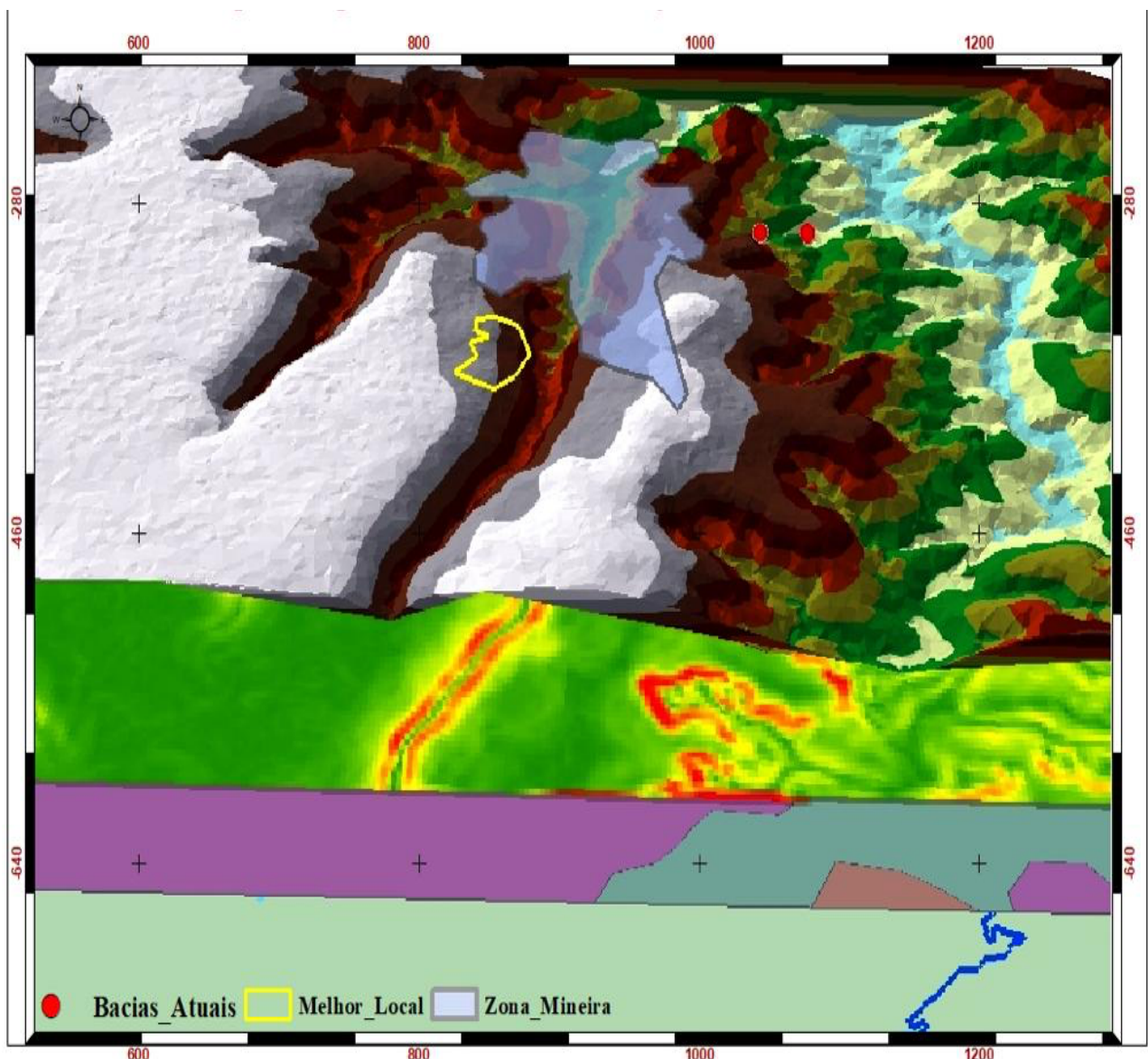


Figura 24: mapa final com destaque a melhor zona para implantação da bacia de rejeitados.

Fonte: ArcGis

CAPÍTULO IV- CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

4.1- Conclusões

Sabe-se que as bacias de rejeitados, constituem uma solução técnica e ambientalmente adequada ao tratamento e destino final dos resíduos sólidos e água, provenientes do processo de beneficiamento do minério, sendo consideradas imprescindíveis no processo de mineração.

Portanto, conclui-se que a sua construção deve obedecer parâmetros adequados para garantir, o normal funcionamento da mina, de igual modo é de extrema importância que a escolha do local para sua implantação, seja a mais adequada uma vez que, a construção em locais que não obedeçam os parâmetros poderá proporcionar eventuais situações de risco para o ambiente, (como recentemente ocorreu com a actual bacia de CATOCA) e para a população em geral.

O presente trabalho evidenciou as potencialidades do Sistema de Informação Geográfica (SIG), na escolha do melhor local para implantação de uma bacia de rejeitados. Com base na integração de toda a informação necessária à tomada de decisão e na análise espacial, é possível seleccionar as áreas mais adequadas, pelo que o SIG revelou-se um instrumento poderoso no apoio à tomada de decisão.

Conclui-se também que é possível encontrar o melhor local (local optimo) para a construção de uma bacia de rejeitados de forma remota e automática, tendo como principal ferramenta o SIG.

4.2- Recomendações

Sendo o SIG um sistema dinâmico, recomenda-se a continuidade dos estudos a fim de se explorar todas as suas aptidões relativamente a solução de problemas no âmbito geológico e propriamente no sector mineiro.

Pode-se usar ainda para monitorização e controlo geotécnico da bacia, a fim de proporcionar maior controle dos impactos ambientais, ligados a existência e funcionamento da bacia de rejeitados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

BOTELHO, J. F.: Criação de Uma Base de Dados SIG Para Monitorização e Redução de Custos Na Perfuração de Poços na Bacia do Baixo Congo IN: «Monografia de Fim de Curso Para a Obtenção da Licenciatura em Engenharia de Minas», 2013.

BUCKEY, D. J.: Introduction to GIS. Disponível em: <http://bgis.sambi.org/gisprimer/index.htm> Acessado em 13 de Novembro de 2014.

CALANZANS, P. P. & **DOMINGUES**, A. L.: Implantação e Funcionalidades de Um Sistema de Informação Geográfica Mineral na Companhia Vale do Rio Doce-CVRD. Anais XIII, Simpósio Brasileiro de Sensoramento Remoto, Florianópolis, Brasil, p.1979-1986, 21-26 de Abril de 2007, INPE.

CARREIRAS, J.: Breve Introdução a Informação Geográfica. Curso de Introdução a Georreferenciação de CH & C, 11 de Dezembro de 2009.

CHAMMAS, R. : MÉTODOS CONSTRUTIVOS DE BARRAGENS DE REJEITOS DE MINERAÇÃO, 1989.

COQUEIA, S. A.: Metodologia Para o Controlo Geo-Ambiental da Bacia de Contenção de Rejeitados da Sociedade Mineira de Catoca Angola IN: «Dissertação de Mestrado em Engenharia de Minas e Geo-Ambiente», 2014.

EPUSP, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Geoprocessamento. Disponível em www.ptr.poli.USP.br/labgeo/graduação. Acessado aos 27 de Julho de 2023.

ESRI: Introdução ao SIG, Análise e Fluxos de Trabalhos em SIG, Manual de Instrução-Coursion 2.1, New York-EUA, Julho-2010.

FERREIRA, N. C.: Apostila Elaborada para a Disciplina de SIG da Coordenação da Área de Geoámatca do Centro Federal de Educação Tecnológica do Estado de Goiás Para Aulas do Curso Superior de Tecnologias em Geoprocessamento, Goiania, Texto Não Publicado, 2006.

PEREZ, Celso R.; **BATISTA**, Daniela C. F.; **SALGADO**, Ana Carolina.

BDGEO: modelagem, implementação e visualização de dados geográficos. In: GIS BRASIL97, 1997, Curitiba. *Anais...* p.252-262.

SANTOS, Tatiana Barreto dos. Aplicabilidade das classificações geomecânicas e retroanálises para estimação de propriedades dos maciços rochosos. 2015. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2015.

SCHEUERMANN, P., **SCHIFFNER**, G., **WEBER**, H. Abstraction capabilities and invariant properties modeling within the entity-relationship approach. In: 1st INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENTITY-RELATIONSHIP APPROACH, 1979, Los Angeles, CA. *Proceedings...*

SILVEIRA, D. T. & **CÓRDOVA**, F. P.: Pesquisa Científica IN: Método de Pesquisa. 1ª Edição, Universidade Federal do Rio Grande Do Sul, 2009.

SOUSA, V. C. et Al: Uso do Sistema de Informação Geográfica Para Implementação de Um Banco de Dados da Cafecultura Mineira e Sua Divulgação Via Web.Epamig, 2009.

SANTOS, Maribel Yasmina: Técnicas de modelação de informação geográfica: uma síntese, Universidade do Minho, Departamento de Sistemas de Informação, Guimarães, Portugal

TRIVINOS, A. N.: Introdução á Pesquisa em Ciências Sociais: a Pesquisa Qualitativa em Educação, São Paulo, Atlas, 1992.

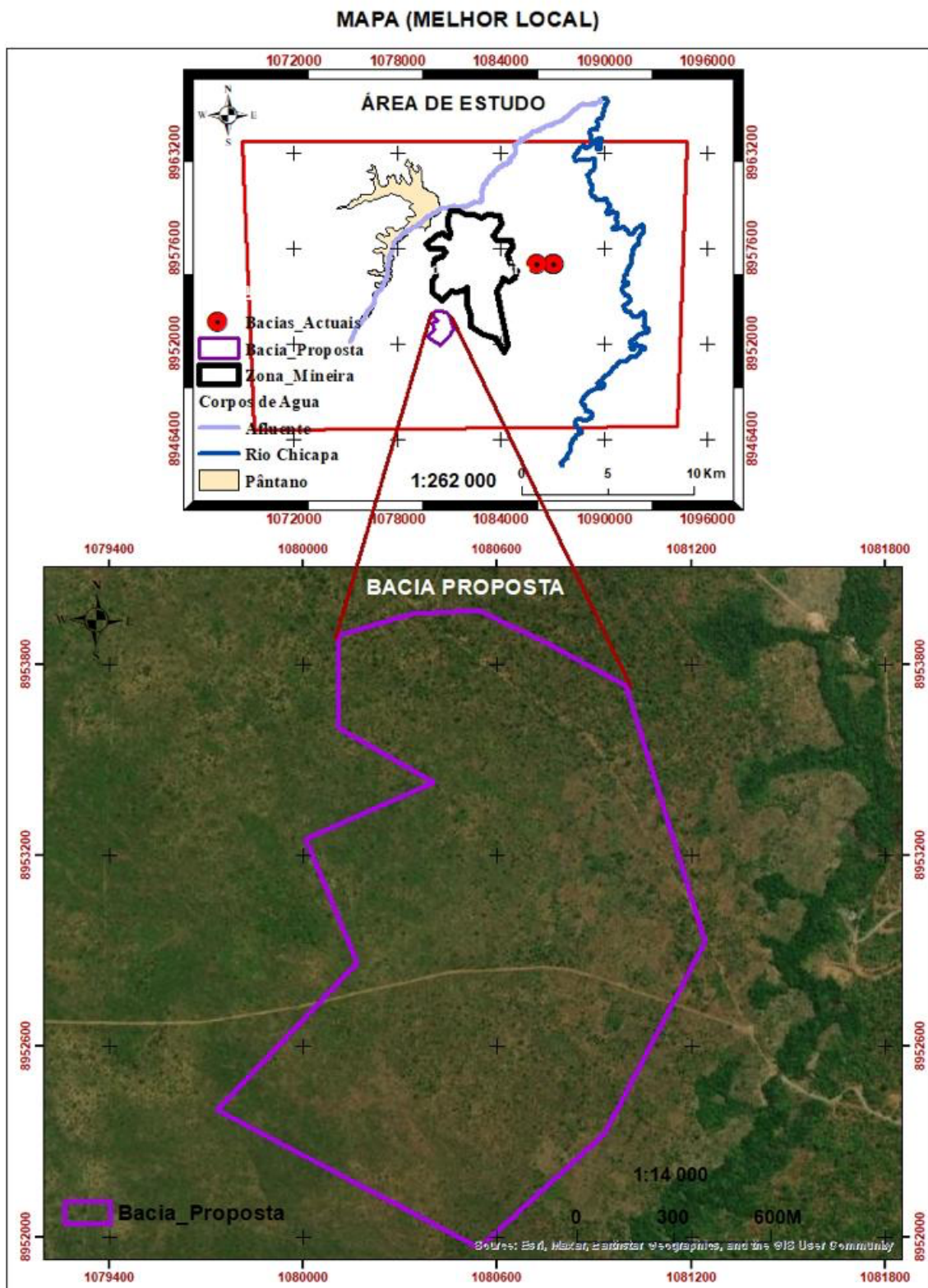
TU, J. H. & **HUCKA**, V. J.: Analysis Of Open-Pit Truck Haulage Sistem By Use Of Computer Model. Cim Bulletin, p. 53-59, 1985

VASCONCELOS BORGES, Karla Albuquerque de: CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO IN: "Dissertação Modelagem de dados Geográficos", 2002.

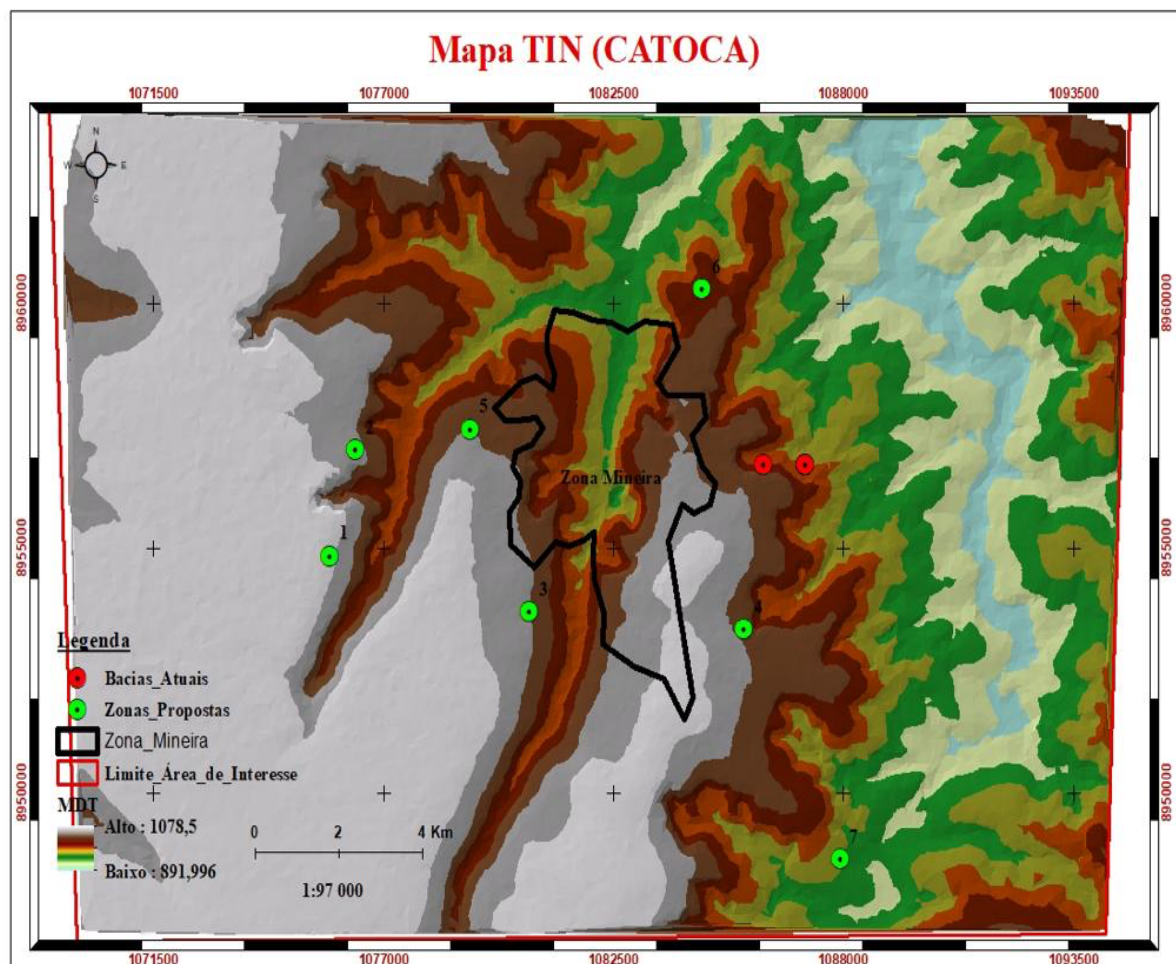
VICK, S. G.: Planning, Design And Analysis Of Tailurg Dans. New York: John Wiley & Son, 1983.

VOSSO, C. et Al.: Research in Operations Management. International journal Of Operations And Production management, 2002.

Anexos



ANEXO 1: Mapa melhor local
Fonte: ArcGis



ANEXO 2: Mapa TIN

Fonte: ArcGis

Descrição	Comparação de Custos(AKZ)	
	s/ SIG	c/SIG
Custos com pessoal	10 000 000,00 Kz	1 500 000,00 Kz
alojamento	5 000 000,00 Kz	0,00 Kz
equipamentos	2 500 000,00 Kz	1 500 000,00 Kz
software	0,00 Kz	500 000,00 Kz
Documentos	150 000,00 Kz	50 000,00 Kz
TOTAL	17 650 000,00 Kz	3 550 000,00 Kz

ANEXO 3: Quadro de comparação de custos sem SIG vs. com SIG