

Ministério da Educação
Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Tecnologia e Geociências
Programa de Pos-Graduação em Engenharia Mineral
PPGEMinas - UFPE

“Aplicação da *Terrace Mining* como alternativa para lavra de gipsita na região do Araripe – Pernambuco”

Flávia de Freitas Bastos
Engenheira de Minas

Orientador: Prof. Dr. Júlio César de Souza

Recife, 2013

Ministério da Educação
Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Tecnologia e Geociências
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral
PPGEMinas - UFPE

Aplicação da *Terrace Mining* como alternativa para lavra de gipsita
na região do Araripe – Pernambuco

por

Flávia de Freitas Bastos
Engenheira de Minas

Trabalho realizado no Laboratório de Planejamento de Lavra (LAPLA) do
Programa de Pós Graduação em Engenharia Mineral – PPGEMinas, UFPE.

2013

Ministério da Educação
Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Tecnologia e Geociências
Programa de Pos-Graduação em Engenharia Mineral
PPGEMinas - UFPE

Aplicação da *Terrace Mining* como alternativa para lavra de gipsita
na região do Araripe – Pernambuco

por

Flávia de Freitas Bastos
Engenheira de Minas

Trabalho realizado no Laboratório de Planejamento de Lavra (LAPLA) do
Programa de Pós Graduação em Engenharia Mineral – PPGEMinas, UFPE.

2013

APLICAÇÃO DA *TERRACE MINING* COMO ALTERNATIVA PARA
LAVRA DE GIPSITA NA REGIÃO DO ARARIPE – PERNAMBUCO

DISSERTAÇÃO

Apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Mineral –
PPGEMinas, como parte dos requisitos para obtenção de Título de

MESTRE EM ENGENHARIA

Área de concentração: Minerais e Rochas Industriais

por

Flávia de Freitas Bastos
Engenheiro de Minas

2013

Catálogo na fonte
Bibliotecária Valdicéa Alves, CRB-4 / 1260

B327a Bastos, Flávia de Freitas.
Aplicação da *Terrace mining* como alternativa para lavra de gipsita na região do Araripe - Pernambuco / Flávia de Freitas Bastos - Recife: O Autor, 2013.
96 folhas, figs., Tabs.

Orientador: Prof. Dr. Júlio César de Souza.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, 2013.
Inclui Referências e Anexos.

1. Engenharia de Minas. 2. Terrace Mining. 3. Deposição de material estéril. I Souza, Júlio César. (Orientador). II. Título.

UFPE

622.35 CDD (22. ed.) BCTG/2014-008



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MINERAL

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA

DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE

FLÁVIA DE FREITAS BASTOS

“APLICAÇÃO DA TERRACE MINING COMO ALTERNATIVA PARA LAVRA DE
GIPSITA NA REGIÃO DO ARARIPE - PERNAMBUCO”

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: MINERAIS INDUSTRIAIS

A comissão examinadora composta pelos professores abaixo, sob a presidência
do Dr. Júlio César de Souza

Flávia de Freitas Bastos, Aprovada.

Recife, 10 de Setembro de 2013.

Prof. Dr. Júlio César de Souza

Orientador (UFPE)

Prof. Dr. Márcio Luiz de Siqueira Campos Barros

Examinador Interno (UFPE)

Prof. Dr. Marcelo Reis Rodrigues da Silva

Examinador Externo (UFPE)

Aos meus pais
Sônia Maria de Freitas Bastos e Edson Sodré Ferreira Bastos
Dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por todas as oportunidades que tem me dado durante todo meu trajeto de vida e pelo seu amparo nas horas difíceis.

Aos meus queridos pais pelo amor incondicional e pelo apoio em todos os momentos da minha vida. A minha irmã Érica de Freitas Bastos pelo carinho e incentivo durante a minha jornada.

Ao meu noivo Gustavo Wagner Benevides Omena de Oliveira pelo grande apoio psicológico, paciência e por acreditar na minha capacidade de realizar este projeto.

Aos meus companheiros de trabalho Renata da Silva, Francisca da Silva, Ilton José, Gabriela Dias da Empresa Royal Gipso Ltda/ Ponta da Serra Mineração Ltda pelo grande apoio e colaboração.

Aos amigos que me incentivaram a não desistir dos meus sonhos e finalizar minha dissertação, Ricardo Alves da Silva e Adriana Maurício.

Ao meu orientador Prof. Dr. Júlio César de Souza pela compreensão, paciência e apoio nesta etapa da minha vida.

Aos funcionários da UFPE – PPGEMinas Edna Santos e Voleide Barros pelo carinho, atenção.

À CAPES pelo auxílio da bolsa de estudo de estudo durante 12 meses.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	1
LISTA DE TABELAS	ii
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
CAPITULO 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1– GENERALIDADES	1
1.2 – JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO	2
1.3 – OBJETIVO: GERAL E ESPECÍFICOS	2
1.3.1 – Objetivo Geral	2
1.3.2 – Objetivo Específico	3
1.4 – METODOLOGIA.....	3
1.5– ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	4
CAPITULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 – GIPSITA.....	5
2.2 – PÓLO GESSEIRO DO ARARIPE.....	8
2.3 - PANORAMA NACIONAL DA GIPSITA	10
2.4 - PANORAMA INTERNACIONAL DA GIPSITA.....	12
2.5 - MÉTODOS DE LAVRA DE GIPSITA NO BRASIL	13
2.6 - MÉTODOS DE LAVRA DE GIPSITA NO EXTERIOR.....	16
2.7 – MÉTODOS DE LAVRA A CÉU ABERTO	17
2.7.1 - Métodos de lavra a céu aberto – <i>Open PIT Mining</i>	20
2.7.2 - Métodos de lavra a céu aberto – <i>Terrace Mining</i>	23
2.8 – A SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL NA MINERAÇÃO	26
2.9 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	28
2.9.1 – Localização e Vias de Acesso.....	28
2.9.2 - Mão de obra.....	29
2.9.3 - Abastecimento de Água.....	30
2.9.4 - Energia Elétrica.....	30
2.9.5 - Condições Sanitárias	31
2.9.6 - Aspectos Sócios Econômicos	31
2.9.7 - Mineração Royal Gipso Ltda.....	31
2.9.8 - Memorial Descritivo do Polígono Delimitador da Área.....	33
CAPITULO 3 – MATERIAL E MÉTODOS	34
3.1 – LEVANTAMENTOS DE CAMPO.....	34
3.1.1- levantamento topográfico	35
3.1.2 – sondagem	35
3.1.3 – levantamento dos tempos de ciclos dos equipamentos	36
CAPITULO 4 – DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA, RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	41
4.1 - TRATAMENTOS DA TOPOGRAFIA E CUBAGEM DA JAZIDA EM AUTOCAD	41
4.2 - TRATAMENTO DA SONDAÇÃO	43
4.3 – MODELAGEM GEOLÓGICA – DATAMINE STUDIO 3.0	46
4.3.1 – análise e tratamento dos dados.....	47
4.3.2 – Elaboração do modelo geológico tridimensional.....	47
4.4 – DIMENSIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS DE LAVRA E LEVANTAMENTO DOS CUSTOS DOS EQUIPAMENTOS E INSUMOS.....	52
4.4.1 – Dimensionamento dos equipamentos para a decapagem	52
4.4.2 – Dimensionamento dos equipamentos para a operação de transporte de estéril	57
4.4.3 – Dimensionamento do desmonte de rocha	65
4.4.4 – Dimensionamento da fragmentação secundária.....	69
4.4.5 – Dimensionamento do carregamento do minério	71
4.6– LEVANTAMENTO DOS CUSTOS DE PRODUÇÃO	74
4.7– DIMENSIONAMENTO DA ÁREA PARA A DISPOSIÇÃO DE MATERIAL ESTÉRIL	79
CAPITULO 5 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES	84
ANEXOS.....	89

LISTA DE FIGURAS

- Figura 2.1** - Variedades mineralógicas de gipsita que ocorrem no Pólo Gesseiro do Araripe – PE.
- Figura 2.2** - Geologia Regional incluindo a Bacia do Araripe e a área de pesquisa DNPM e os municípios que compreendem o Pólo Gesseiro do Araripe.
- Figura 2.3** – Frente de lavra da mineração Royal Gipso Ltda, Araripina – PE.
- Figura 2.4** – Frente de lavra de mineração de gipsita em Almería – Espanha.
- Figura 2.5** - Classificação dos métodos de lavra a céu aberto.
- Figura 2.6** - *Open Pit Mining* com bancadas múltiplas.
- Figura 2.7** - Primeira etapa do método *Terrace Mining*.
- Figura 2.8** - Segunda e terceira etapa para o método *Terrace Mining*.
- Figura 2.9** - Localização do município de Araripina-PE em relação a capital Recife.
- Figura 2.10** - Polígono delimitador concessão de lavra da mineração *Royal Gipso Ltda*.
- Figura 3.1** - Escavação da nova rampa de acesso – *Open Pit Mining*.
- Figura 3.2** - Reposição do material estéril na cava – *Terrace Mining*.
- Figura 4.1** - Representação dos setores utilizados para a cubagem da jazida.
- Figura 4.2** - Perfis litológicos A e B dos furos de sonda da mineração *Royal Gipso Ltda*.
- Figura 4.3** - Perfis litológicos C e D dos furos de sonda da mineração *Royal Gipso Ltda*.
- Figura 4.4** - Perfis litológicos E e F dos furos de sonda da mineração *Royal Gipso Ltda*.
- Figura 4.5** - Linha limite entre a cava e a reserva remanescente para cálculo do volume.
- Figura 4.6**– Determinação do modelo geológico da jazida de gipsita.
- Figura 4.7** – Determinação do volume da reserva medida da jazida de gipsita.
- Figura 4.8** – Fragmentação secundária do minério.
- Figura 4.9** - Pilha de estéril a 1 km da frente de lavra – *Open Pit Mining*.
- Figura 4.10** - Rampa principal de acesso a cava.
- Figura 4.11** - Rampa em desenvolvimento para aplicação do método *Terrace Mining*.

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Reserva e Produção Mundial.

Tabela 2.2 - Distribuição das minas de gipsita por Estado da União.

Tabela 2.3 - Coordenadas dos vértices da poligonal.

Tabela 3.1 - Legenda das tabelas 3.2 e 3.3.

Tabela 3.2 - Tempo de ciclo da escavadeira hidráulica – *Open Pit Mining*.

Tabela 3.3 - Tempo de ciclo da escavadeira hidráulica – *Terrace Mining*.

Tabela 4.1 - Dados da campanha de sondagem 2012 e 1993.

Tabela 4.2 - Classificação dos limites de recuperação.

Tabela 4.3 - Coordenadas x, y e z da boca dos furos.

Tabela 4.4 e 4.5 - *Logs* de sondagem com as litologias presentes.

Tabela 4.6 - Tabela comparativa das escavadeiras.

Tabela 4.7 - Tabela comparativa do consumo de diesel dos caminhões.

Tabela 4.8 – Tempo de perfuração das hastes.

Tabela 4.9- Dados comparativos entre as perfuratrizes.

Tabela 4.10 – Produtividade da retroescadeira acoplada com martelos hidráulicos.

Tabela 4.11 – Tempo de ciclo W20-03.

Tabela 4.12 – Tempo de ciclo W20-02.

Tabela 4.13 - Descrição dos equipamentos necessários aos 2 métodos de lavra.

Tabela 4.14 - Tabela de custos operacionais.

RESUMO

A presente dissertação objetiva apresentar as características das jazidas de gipsita do Pólo Gesseiro Araripe-PE, principal produtor de gipsita e gesso do Brasil; assim como as metodologias aplicadas na lavra e descobertura de jazidas de gipsita na região do Araripe – PE.

Com o objetivo de melhorar o processo de lavra fez-se um estudo de caso na Mineração *Royal Gipso* Ltda, localizada no Sítio Ponta da Serra, município de Araripina – PE. Atualmente a mineração *Royal Gipso* utiliza o método de Lavra *Open Pit Mining* para a atividade de exploração de gipsita, principal atividade da economia local. O método de lavra atual, embora proporcione um bom desenvolvimento técnico da lavra, ocasiona um significativo impacto ambiental que pode ser mitigado com a mudança do método de lavra “*Open Pit Mining*” para o método “*Terrace Mining*”.

No trabalho inicialmente foi realizado a cubagem da reserva medida através dos dados topográficos obtidos em campo. O cálculo da cubagem foi realizado através do *software* AUTOCAD e comparada ao modelo geológico desenvolvido no DATAMINE STUDIO 3.0 pelo método dos triângulos e com isto foi obtido um resultado satisfatório.

Na segunda etapa da dissertação foi possível avaliar as vantagens e desvantagens das metodologias utilizadas, baseado nos dados de tempo de ciclo dos equipamentos das operações unitárias da lavra, principalmente de transporte do material estéril proporcionando a diminuição dos custos operacionais da lavra, o que sugere uma mudança nos procedimentos de exploração.

Por fim são abordadas questões relativas à otimização da operação de exploração de gipsita com ênfase no aspecto ambiental no que diz respeito à deposição do material estéril e a diminuição do custo operacional através da mudança no método de lavra.

Palavras-chave: *Gipsita; Pólo Gesseiro do Araripe, Terrace Mining; Deposição de material estéril.*

ABSTRACT

This dissertation aims to present the characteristics of the Polo Gesseiro do Araripe deposits, located in Pernambuco State, which is the main producer of gypsum and plaster in Brazil; as well as the methodologies applied in the extraction and stripping of deposits of gypsum in Araripe region.

With the aim to improve the mining process, a case study was done in Royal Gipso Mining Ltda., located in Sitio Ponta da Serra, municipality of Araripina - PE. The company uses Open Pit Mining for the activity of exploitation of gypsum, the main activity of the local economy. The current mining method, though provides a good technical development of mining, causes a significant environmental that can be minimized with the changing from the method “Open Pit Mining” to “Terrace Mining”.

Initially was done in this work the cubage of measured reserve, through the topographic data got from the fields. The cubage calculation was performed using AUTOCAD software and compared with the developed geological model in Datamine STUDIO 3.0 by using triangles method, and with it was obtained a pleasant result.

In the second stage of this assay, it was possible to value the advantages and disadvantages of the used methodologies, based on data of the cycle time of the unit operations of the mining equipment, mainly provided by the transport of sterile material, producing a reduction in the mining operating costs, what suggests a changing in the procedures of exploitation.

Finally, were approached issues relating with the optimization of the exploitation operations of the Gypsum, with emphasis on the environmental aspect, on the deposition of sterile material and in the reduction of operating costs through the changing of the mining method.

Key words: Gypsum; Gypsum Pole of Araripe, Terrace Mining; Deposition of waste material.

CAPITULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 – GENERALIDADES

O método de lavra é definido como sendo a técnica utilizada para exploração da jazida mineral. A escolha do método de lavra é um dos principais elementos para análise de viabilidade econômica. Selecionado o método, que pode ser a céu aberto ou lavra subterrânea, este deve ser seguro e produzir condições adequadas para os funcionários, fomentar a redução dos impactos causados ao meio ambiente, permitir condições de estabilidade durante a vida útil da mina, ser flexível às condições geológicas e a infraestrutura disponível permitindo atingir uma produtividade máxima e reduzindo o custo unitário (HARTMAN, 2002).

No Pólo Gesseiro do Araripe, o método de lavra aplicado é *Open Pit Mining*, Método da Cratera, é um método utilizado para exploração da gipsita, em face do modo de ocorrência da jazida e de suas características morfológicas. Este método de lavra movimenta grande volume de material estéril para as pilhas de “bota-fora”, localizadas fora do *pit* da cava. Esta forma de movimentação de material implica em maiores custos operacionais e maiores impactos ambientais (impacto visual).

Com a mudança do método de lavra *Open Pit Mining* para o método *Terrace Mining*, os impactos ambientais serão mitigados com a reabilitação topográfica da cava e atenuando os custos operacionais de transporte que tendem a diminuir com a redução da distância média de transporte.

No presente trabalho de dissertação iremos avaliar as vantagens e desvantagens das duas metodologias de lavra realizadas na Mineração Royal Gipso Ltda, adotando como referência os dados de tempo de ciclo dos equipamentos utilizados nas operações unitárias da lavra, com ênfase no transporte do material estéril.

1.2 – JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO

Embora o método de lavra “*Open Pit Mining*” permita um bom desempenho técnico do desenvolvimento da lavra, observamos que existe um grande impacto ambiental gerado pelas pilhas de estéril depositadas em áreas próximas a cava. Esta forma de deposição do material propiciam algumas dificuldades, entre as quais podemos destacar: perda de área superficial para futuros usos e problemas de instabilidade das pilhas de rejeito e o grande impacto visual nas minerações.

Na mineração Royal Gipso devido à falta de área de servidão para disposição de material estéril se fez necessário à busca de alternativas para resolver este gargalo operacional. Com a mudança do método de lavra para o método *Terrace Mining* será possível utilizar o material da descobertura para o preenchimento das áreas já mineradas resolvendo o problema da falta de área para deposição do material estéril. O procedimento ocorre em um ciclo contínuo com a escavação da descobertura juntamente com a operação de transporte, em que a distância tem de ser a menor possível.

Com a substituição do método de lavra pode assegurar a continuidade das operações unitárias ao longo da vida útil da jazida.

1.3 – OBJETIVO: GERAL E ESPECÍFICOS

1.3.1 – OBJETIVO GERAL

Propiciar um estudo sobre a aplicação do método de lavra *Terrace Mining* para otimização das atividades extrativas de gipsita no Araripe no que diz respeito a uma mudança na filosofia de exploração passando-se adotar métodos de lavra em forma de terraços, muito mais adequados à exploração de depósitos horizontais em camadas de pequena espessura e profundidade. Adotando-se essa metodologia de exploração tem-se a possibilidade de realizar as operações de aterro, a deposição do material estéril da cobertura em áreas já mineradas, com vantagens em relação à metodologia de lavra atual.

1.3.2 – OBJETIVO ESPECÍFICO

O estudo propõe à utilização do método de lavra *Terrace Mining* para dar continuidade à operação de lavra da Mineração Royal Gipso Ltda sem a necessidade de aquisição de terrenos para disposição de rejeito, a reabilitação topográfica da cava e redução dos custos de transporte do material estéril.

Com o estudo de tempos e movimentos dos equipamentos foi possível verificar a eficiência e a produtividade dos equipamentos.

1.4 – METODOLOGIA

Para execução deste trabalho foi realizado um estudo bibliográfico sobre os métodos de lavra aplicados a jazidas sedimentares, em depósitos tabulares. Com a escolha do método de lavra (*Terrace Mining*) como alternativa eco sustentável da mineração de gipsita o trabalho foi realizado em 3 etapas.

Na primeira etapa foram realizados os trabalhos de levantamento de campo (topografia, sondagem e medição de tempos de ciclo dos equipamentos).

Na segunda etapa com as informações do levantamento de campo foi realizada a determinação do modelo geológico do corpo de minério com uso do software *DATAMINE* que teve como objetivo a cubagem da reserva.

Na terceira etapa do projeto foi realizado um dimensionamento e levantamento de custo de todas as operações unitárias do processo de exploração da gipsita.

Com os dados reunidos de todas as etapas foi possível realizar um comparativo entre os dois métodos de lavra *Open Pit Mining* e *Terrace Mining* e verificar a possível adequação da mudança do método de lavra.

1.5 – ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação proporciona cinco capítulos. O primeiro capítulo descreve uma introdução a cerca do tema proposto e uma visão geral da necessidade e importância do presente estudo, com ênfase nos objetivos e metodologias aplicadas.

O segundo capítulo constitui-se a revisão bibliográfica apresentado as características e importância da gipsita no panorama nacional e internacional, assim como as principais características do Pólo Gesseiro do Araripe. No tópico mineração a céu aberto apresenta uma visão geral sobre a metodologia de lavra a céu aberto.

O terceiro capítulo descreve os materiais e métodos utilizados para o projeto de avaliação sobre a aplicação do método de lavra *Terrace Mining*.

O quarto capítulo faz uma incursão acerca do detalhamento da metodologia aplicada ao tratamento da topografia, tratamento da sondagem e da utilização do *software* DATAMINE STUDIO 3 para realização do cálculo da reserva medida de gipsita. Neste capítulo também é analisado o dimensionamento dos equipamentos das operações unitárias da lavra, os custos de produção da lavra e o dimensionamento da área necessária para deposição de material estéril.

O quinto capítulo, por fim são apresentadas as conclusões da dissertação e sugestões para trabalhos futuros.

CAPITULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – GIPSITA

A gipsita é um mineral formado em jazidas sedimentares, abundante nas camadas mais externas da crosta terrestre de origem química e se deposita por processos de evaporação e precipitação. A precipitação produz materiais finamente cristalizados ou amorfos. A evaporação pode produzir cristais maiores como acontece com os depósitos de gipsita denominados de evaporitos relacionados à evaporação exagerada do solvente (POPP, 1988).

O mineral gipsita é classificado como um sulfato de cálcio di-hidratado e apresenta a seguinte composição química $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. É um composto formado de 32,5% de CaO, 46,6% de SO_3 e 20,9% de H_2O . A gipsita possui uma característica especial que quando submetida a temperaturas que variam de 125° C a 180°C perde parte da água de cristalização e se transforma em gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) (CALVO, 2003). Esta característica de desidratar e reidratar de forma estável e com boa consistência mecânica classifica a gipsita como a principal matéria prima para fabricação do gesso.

A gipsita cristaliza-se no sistema monoclinico, prismático e apresenta-se em diversas formas, tais como:

- Espato acetinado: gipsita sedosa com brilho sedoso.
- Selenita: cristal com clivagem larga, incolor e transparente.
- Alabastro: variedade maciça finamente granulada.

Quanto às propriedades físicas a gipsita possui clivagem, o brilho pode ser vítreo, nacarado ou sedoso. Apresenta dureza dois na escala de *Mohrs*, pode ser riscada pela unha. (DANA,1981).

Em termos de aspectos diagnósticos a anidrita é outro mineral que ocorre em jazidas sedimentares de evaporitos e que pode ser confundido visualmente com a gipsita. A distinção entre os dois minerais ocorre na composição química. A gipsita é um sulfato di-hidratado e a anidrita não apresenta água em sua composição.

No Pólo Gesseiro do Araripe em Pernambuco a gipsita ocorre na Formação Santana, fossilífera que se caracteriza pela presença de calcários, argilas e folhelhos de espessura bem reduzida. Nesta formação geológica encontra-se o horizonte gipsífero objeto desta dissertação (MENOR, 2012).

Devido à alta pureza do minério o beneficiamento da gipsita envolve apenas as operações de fragmentação (britagem e moagem), classificação granulométrica e calcinação. A seleção do tipo de minério ocorre na frente de lavra através de uma inspeção visual. A gipsita que ocorre nesta região apresenta diversas formas alotrópicas, que são popularmente chamadas de Boró, Cocadinha, Rapadura, Estrelinha, *Jonhson* e minério do piso. O modo de ocorrência destas variedades de gipsita nos bancos de minério geralmente ocorre na sequência citada acima.

O Boró é caracterizado por ser uma mistura de gipsita intercalado com argila. Esta variedade pode ser utilizada na fabricação do cimento *Portland*, incorporado ao *clinker* para retardar o tempo de pega ou pode ser utilizado na agricultura, moído, *in natura* como corretivo de solos. No processo de calcinação devido a grande quantidade de argila na sua composição existe restrição do uso do Boró por interferir na qualidade do produto final “gesso”.

Os tipos Cocadinha, Rapadura e Estrelinha são utilizados para o processo de calcinação do gesso tipo *Beta* (gesso de fundição, gesso de revestimento e gessos aditivados: gesso projetado e o gesso cola). Este processo de calcinação é realizado mediante a calcinação controlada da gipsita bruta em diversos tipos de fornos.

A variedade *Jonhson* possui um maior valor agregado por possuir cristais bem definidos e alinhados e com maior resistência mecânica. Este tipo de gipsita é utilizada para se fazer gesso tipo *Alfa* (gesso ortodôntico e gesso ortopédico).

O minério do piso por ter uma coloração mais escura é utilizado apenas para fazer gesso de fundição.



Figura 2.1 – Variedades mineralógicas de gipsita que ocorrem no Pólo Gesseiro do Araripe - PE.
Fonte: Mineração *Royal Gipso* Ltda, 2013.

Na indústria, além da produção de gesso e cimento a gipsita é utilizada como matéria prima em diversos processos como carga de papel, na fabricação de tintas, disco, pólvora, botões de fósforos, no acabamento de tecidos de algodão e como distribuidor e carga de inseticidas. Pode também ser adicionada à água na fabricação da cerveja para aumentar sua dureza. O processo de obtenção destes produtos embora tecnicamente viável esbarram em uma grande dificuldade de investimento financeiros (DNPM, 2001).

2.2 – PÓLO GESSEIRO DO ARARIPE

No Brasil os principais depósitos de gipsita do ponto de vista econômico estão localizados na Bacia Sedimentar do Araripe e se localiza em dois estados brasileiros em Pernambuco com maior representatividade (Pólo Gesseiro do Araripe) e no estado do Ceará com menor potencial de exploração. Os depósitos minerais de gipsita que fazem parte da Bacia Sedimentar do Araripe constitui o Membro Ipubi da Formação Santana, de idade Cretácea (figura 2.2).

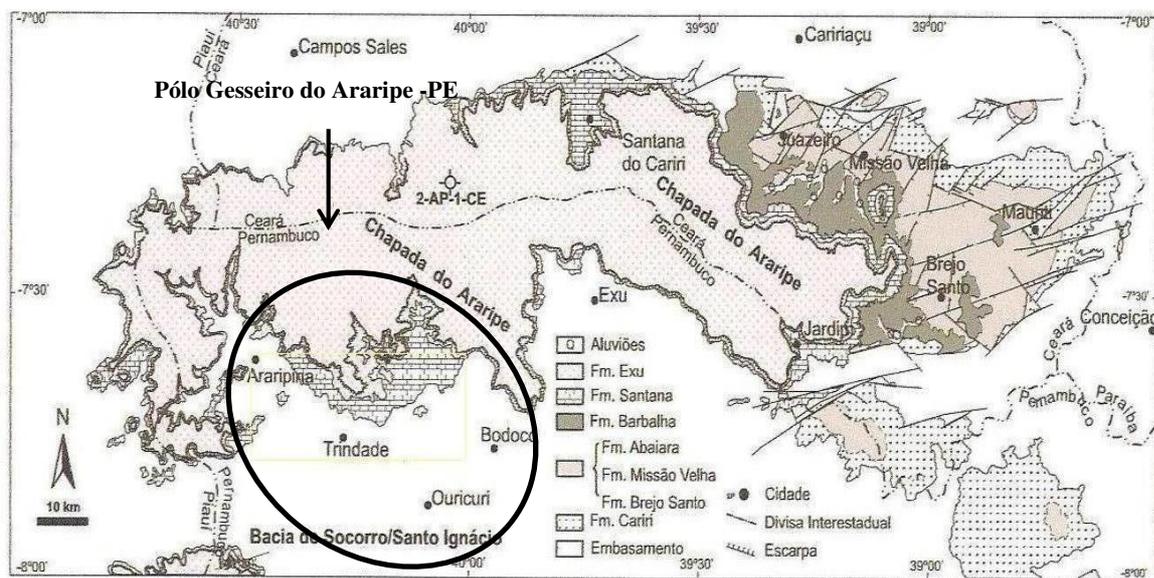


Figura 2.2 - Geologia Regional incluindo a Bacia do Araripe e a área de pesquisa DNPM e os municípios que compreendem o Pólo Gesseiro do Araripe.

Fonte: carta - base (Assine, 1992).

O Pólo Gesseiro do Araripe compreende os municípios de Araripina, Bodocó, Ipubí, Ouricuri e Trindade, com latitudes de 7°10' a 7°48' S e longitudes de 39°47' a 40°38' W.

As reservas de gipsita situam-se em duas áreas principais:

- I. Trindade-Ipubi-Bodocó-Ouricuri: faixa que se estende de NE a SW;
- II. Araripina: faixa descontínua ao sul e sudoeste do município. A exploração das jazidas de gipsita nestes municípios propiciou um conjunto de atividades empresariais, formando um *cluster* representativo no estado de Pernambuco.

Este processo de organização constitui o Arranjo Produtivo Local do Gesso. Este arranjo é liderado pelo Sindicato da Indústria do Gesso (SINDUSGESSO) que busca investimentos na oferta de infraestrutura (transportes, comunicações e energia) além de apoio tecnológico adequado. Em 2006 foi implantado no município de Araripina o Centro Tecnológico do gesso com o apoio do governo federal, estadual e municipal. O principal objetivo do Centro Tecnológico é de formar e qualificar profissionais, desenvolver inovação tecnológica e empreendedorismo.

No âmbito nacional a produção de gipsita em 2011 foi de 3.228.931 toneladas e o Pólo Gesseiro é responsável pela produção de 91,5% da gipsita produzida em todo país. (DNPM - Sumário Mineral, 2012).

As jazidas de gipsita do Pólo Gesseiro do Araripe apresenta uma excelente qualidade no que diz respeito à concentração de sulfato, da ordem de 90% a 95% enquanto as impurezas são da ordem de 0,5%. Nas jazidas existe também uma concentração de anidrita que varia de 4% a 7% (MENOR, 1995). Apesar da excelente qualidade do minério a falta de conhecimentos de dados quantitativos propicia uma carência de investimento no mercado no que diz respeito a produtos mais nobres e com maior valor agregado. A maior parte da gipsita beneficiada é utilizada para suprir as demandas do mercado da construção civil (pré-moldados, gesso *Beta*) e a gipsita *in natura* que é utilizada nos setores cimenteiros e agrícolas.

As minas de Pernambuco apresentam as melhores condições geológicas e de localização para extração da gipsita. A formação geológica dos depósitos é formada em camadas formando depósitos tabulares. Em função desta característica o método de lavra utilizado na região é praticamente o mesmo para todas as minas. A lavra é realizada a céu aberto – *Open Pit* - Método da Cratera, com bancadas simples variando de 10 a 20 metros de altura. A relação estéril minério é em torno de 0,43 m³ de estéril para uma tonelada de gipsita.

O Pólo Gesseiro de Pernambuco movimenta cerca de US\$ 364 milhões por ano e gera por volta de 13.200 empregos diretos e aproximadamente 66 mil indiretos. Diante do último levantamento feito pelo Sindusgesso o Pólo conta com 39 minas de gipsita, 139 indústrias de calcinação e cerca de 736 indústrias de pré - moldados. Apesar da representatividade no cenário nacional quanto aos fatores econômicos e sociais existe uma preocupação com o impacto ambiental causado pela atividade de extração mineral na região.

2.3 - PANORAMA NACIONAL DA GIPSITA

O Brasil é o maior produtor da América do Sul com uma produção de aproximadamente 3.200.000 toneladas. A posição do Brasil no cenário mundial é pouco representativa, embora existam reservas de minério e um mercado potencial a ser desenvolvido. A produção interna de gipsita apresentou um crescimento econômico expressivo da ordem de 22,4% em 2011 e o Estado de Pernambuco é o principal produtor de gipsita do Brasil. Os demais estados produtores com representatividade nacional são: Maranhão representado pelo Pólo de Grajaú (4,9%), Ceará (2,4%), Amazonas (1,1%) e Tocantins (0,1%). Além destes estados também podemos citar a Bahia e o Pará. Existem registros bibliográficos de ocorrência nos estados de Sergipe, Rio de Janeiro, Acre, Rondônia, mas não existem informações a respeito de suas reservas formalmente quantificadas no DNPM.

As jazidas do Amazonas e do Maranhão tem sua exploração realizada recentemente, com uma produção de pequena escala e atende o mercado local. Na Bahia, a jazida de Camamu, embora tendo a vantagem de se situar 1000 km mais próximos da região sudeste, apresenta grande espessura de capeamento variando de 30 a 60 metros estando sua exploração projetada para lavra subterrânea. No Pará as reservas estão concentradas no município de Aveiro, bacia hidrográfica do rio Tapajós e o direito de pesquisa são da CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviços Geológicos do Brasil). O seu aproveitamento ainda não ocorreu, pois a jazida está localizada no interior de uma floresta nacional, com restrições ambientais.

As empresas brasileiras que se destacaram na produção de gipsita foram a Votorantim cimentos Norte-Nordeste, Mineradora São Jorge S/A, Companhia Brasileira de Equipamento-CBE (Grupo João Santos), Mineradora Campevi Ltda e Holcim S/A juntas elas produzem cerca de 60% da produção nacional. Todas as minerações citadas acima operam minas em Pernambuco exceto a CBE que possui minerações em outros estados (DNPM, 2012).

O consumo da gipsita possui uma relação estreita com o mercado da construção civil. A intensidade do uso deste bem mineral no país é pequena quando comparada a de outros países mais desenvolvidos ou países de longa tradição no uso do gesso. Este fator faz com que o mercado tenha uma perspectiva de expansão. Os principais setores de aplicação da produção nacional são em ordem de importância: calcinação (gesso), cimento e agricultura (gesso agrícola). No Brasil o consumo de gesso é de 18 kg por habitante/ ano considerado muito pouco em relação a outros países (SINDUSGESSO - 2009).

O Preço médio da gipsita no mercado interno, informado pelos produtores é considerado de baixo valor cerca de R\$20,19 por tonelada. Este fato ocorre devido a diversos fatores, tais como: concorrência acirrada entre as pequenas empresas mineradoras que reduzem a margem de comercialização, a prática de preços que não remuneram devidamente o capital aplicado, a sonegação de impostos, o aumento da oferta em relação à demanda, a própria estrutura de mercado, pois uma grande parte da venda da gipsita é destinada a indústria cimenteira que atua na extração deste bem mineral sem visar lucro com o objetivo da atividade. Os preços cobrados visam apenas cobrir os custos de produção. Outro fator relevante é a logística.

O frete rodoviário para o sul, sudeste e centro-oeste do país se torna mais caro do que a própria matéria prima. Para que ocorra a expansão do Pólo Gesseiro do Araripe tem de haver o desenvolvimento logístico de transporte na região, já que o modal atual é o rodoviário o que reduz a competitividade do Pólo. Com a implantação da Ferrovia Transnordestina a tendência é que as condições de mercado melhorem permitindo um escoamento com menor custo e maior abrangência para todo país.

2.4 - PANORAMA INTERNACIONAL DA GIPSITA

No cenário mundial a China é o país que mais produz gipsita cerca de 47 milhões de toneladas por ano, representando 31,8% de toda produção de 2011. A produção mundial de gipsita foi 148 milhões de toneladas. O Brasil apesar de estar entre os dez maiores produtores mundiais de gipsita, com 2,2%, sua participação não é muito expressiva.

A gipsita no cenário mundial possui um baixo valor unitário e a comercialização deste bem mineral é limitada. A sua importância está atrelada assim como no Brasil ao ramo da construção civil (cimento e manufaturados de gesso) e aos agronegócios.

Segundo o ex-presidente do SINDUSGESSO, Josias Inojosa Filho, 2009, o consumo nacional per capita de gesso foi de 18 kg habitante/ano. Na Europa os valores de consumo do gesso são 4,6 vezes maior do que no Brasil cerca de 83 kg/habitante/ano e nos Estados Unidos da América o consumo é 107 kg habitante/ano.

Na Ásia o aumento da produção das placas de gesso combinado com o surgimento de novas fábricas do produto fez com que ocorresse um estímulo da produção de gipsita naquele continente, com destaque para China em 2011. Vale ressaltar que em anos anteriores os EUA era o país que liderava a produção mundial de gipsita.

A tabela 2.1 apresenta o *ranking* de classificação dos países em relação à reserva e produção. Vale a pena ressaltar que boa parte dos dados sobre as reservas internacionais não estão disponíveis (DNPM, 2012).

Tabela 2.1 – Reserva e Produção Mundial.
Fonte: DNPM - *Mineral Commodity Summaries* – 2012.

Discriminação	Reservas (10 ³ t)	Produção (10 ³ t)		
		2011 ^{(p)*}	2010 ^{(r)*}	2011 ^{(p)*}
Brasil	230.000	2.638	3.228	2,2
China	Nd	47.000	47.000	31,8
Irã	Nd	13.000	13.000	8,8
Espanha	Nd	11.500	11.500	7,8
EUA	700.000	8.840	9.400	6,4
Tailândia	Nd	8.500	8.500	5,7
Japão	Nd	5.700	5.700	3,9
Itália	Nd	4.130	4.100	2,8
Austrália	Nd	3.500	3.500	2,4
México	Nd	3.560	3.500	2,4
Turquia	Nd	3.200	3.200	2,2
Rússia	Nd	2.900	2.900	2,0
Índia	69.000	2.650	2.700	1,8
Egito	Nd	2.400	2.400	1,6
Canadá	450.000	2.717	2.300	1,6
Outros países	Nd	25.000	25.000	16,9
Total	Nd	147.000	148.000	100

* (p) dado preliminar; (r) revisado, (nd) dado não disponível.

2.5 - MÉTODOS DE LAVRA DE GIPSITA NO BRASIL

No Brasil, de modo geral o método de lavra mais adotado para exploração da gipsita é o método de lavra a céu aberto *Open Pit* – “Método da Cratera” em face ao modo de ocorrência da jazida e de suas características geomorfológicas.

Mesmo existindo jazidas de gipsita em nove estados brasileiros (Pará, Tocantins, Amazonas, Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Pernambuco e Bahia) as que apresentam um melhor aproveitamento econômico estão situadas no Estado de Pernambuco. Na tabela abaixo é mostrada a distribuição das minas por unidade de federação.

Tabela 2.2 - Distribuição das minas de gipsita por Estado da União.**Fonte:** Ministério das Minas e Energia – 2006.

UF	Número de minas	Ativas	Paralisadas
AM	1	1	0
BA	3	0	3
MA	11	3	8
PI	2	0	2
PE	55	37	18
CE	4	2	2
TO	2	1	1
PA	0	0	0
BRASIL	78	44	34

Em Pernambuco a inclinação geral dos taludes são de 75° o que é considerado adequado em termos operacionais e de segurança para resistência mecânica apresentado pela rocha.

O acesso a cava geralmente é feito por uma estrada única. As operações nos trabalhos de lavra das minerações de médio e grande porte são mecanizadas atingindo um bom nível técnico (figura 2.3).



Figura 2.3 – Frente de lavra da mineração *Royal Gipso Ltda* – Araripina – PE.
Fonte: Mineração Royal Gipso Ltda, 2013.

As atividades envolvidas no desenvolvimento da lavra são:

1. desmatamento e limpeza do terreno;
2. abertura de vias de acesso à jazida;
3. locação do painel de lavra;
4. locação de área para pilha de estéril;
5. determinação pátio de estocagem do minério;
6. remoção do material estéril e transporte até o bota-fora; e
7. extração do minério.

Nas pequenas minerações existiam diferenças acentuadas na condução dos trabalhos de lavra. As atividades eram semi-mecanizadas, com a utilização de um grande número de pessoas (marroeiros) para a execução da fragmentação secundária e da catação manual. Com a facilidade de abertura de linhas de créditos bancários em 2010, grande parte das pequenas minerações fizeram aquisições de equipamentos, maximizando a produção e melhorando as condições de desenvolvimento da lavra.

Podemos concluir que o desenvolvimento das minas brasileiras mais bem estruturadas em comparação com as minerações internacionais opera com padrões compatíveis perdendo apenas em escala de produção.

2.6 - MÉTODOS DE LAVRA DE GIPSITA NO EXTERIOR

Nos Estados Unidos o método de extração é o de lavra subterrânea com o método de câmeras e pilares. Este método é utilizado em diversos países, sendo mais frequente nos EUA, onde 20% das reservas são lavradas por este método. (CETEM, 2005). Nas aplicações tradicionais deste método, parte do minério é deixada como pilares de sustentação das paredes das encaixantes. Este método requer continuidade geométrica e homogeneidade qualitativa do minério.

A cidade de Almeria, localizada na Espanha, o método de lavra utilizado para explorar a gipsita é *Open Pit* de meia encosta. As frentes de lavra são realizadas em bancadas múltiplas com alturas regulares de 8 metros aproximadamente (figura 2.4). A gipsita desta região não possui uma excelente qualidade quando comparada ao Pólo Gesseiro do Araripe – PE. A concentração de sulfato é da ordem de 70%.



Figura 2.4 – Frente de lavra de mineração de gipsita em Almería – Espanha.
Fonte: Mineração Royal Gipso Ltda, 1995.

2.7 – MÉTODOS DE LAVRA A CÉU ABERTO

A maioria dos minerais minério do mundo são explotados pelo método de lavra a céu aberto. Excluindo o carvão e linhito, 60% das minas são desenvolvidas a céu aberto.

De um modo geral a mineração a céu aberto proporciona um acréscimo na produtividade no trabalho em relação à mineração subterrânea, apesar de às vezes comprometer a qualidade do ROM (*Run of Mine*). A tendência do uso do método de mineração a céu aberto tem aumentado ao longo das ultimas 3 décadas pelo motivo da lavra subterrânea continuar sendo mais trabalhosa e onerosa.

Os fatores que favorecem o método de lavra a céu aberto em relação ao método de lavra subterrânea são os seguintes:

- Maior produtividade.
- Menor custo por tonelada.
- Possibilidades de exploração de reservas com qualidades inferiores.
- Menor limitação do tamanho e peso dos equipamentos.
- Operações auxiliares mais simples.
- Aumento da recuperação do mineral de minério.
- Melhor condição de aproveitamento de exploração da reserva.

Na mineração a céu aberto o custo básico de produção é determinado pela seguinte relação:

$$\text{Custo} = \text{A} + \text{B} (\text{S})$$

Onde:

A - Custo de escavação mineral e transporte até a saída do “*Pit*” (saída da cava).

B – Custo da escavação do estéril e transporte até a pilha de deposição de estéril.

S – Relação de extração (relação entre o volume de estéril removido e o volume de minério removido).

O custo da mineração subterrânea (U) é dado pela seguinte relação de extração:

$$\text{U} = \text{A} + \text{B} (\text{S})$$

Este cálculo é uma simplificação, o cálculo definitivo depende de outros fatores como a qualidade do minério entre outros. Podemos informar que após o colapso dos anos 80 e do aumento do preço de petróleo vários fatores têm continuado a trazer fortes pressões sobre o desenvolvimento das minas a céu aberto, tais como:

- A pressão dos ambientalistas e conservacionistas “*lobbies*” que consideram minas a céu aberto como uma ameaça a nossa maneira de vida. Essas pressões levaram em alguns casos ao excesso de restrições no planejamento ambiental.
- Indisponibilidades de novos grandes depósitos na superfície perto de centros urbanos. O custo de realização do transporte e de infraestrutura muitas vezes excede o custo do desenvolvimento da mina.
- O potencial da instabilidade política de muitos países envolvidos e as dificuldades de financiamento.

Para o desenvolvimento de minerações a céu aberto é importante maximizar produção e diminuir custo determinando a escala ótima de operação. O desenho do *Pit* final também é essencial para o desenvolvimento do método de lavra. Outros fatores importantes para determinação do método de lavra são: demanda do mercado, relação de mineração, preço do minério, estabilidade política, custo de transporte e dificuldades do processo.

As características dos depósitos adequados para a mineração a céu aberto podem estar classificadas segundo os itens abaixo:

- Depósitos estratificados e veios mergulhando em ângulos maiores do que o ângulo de repouso do material estéril para evitar escorregamento dentro da cava.
- Depósitos horizontais estratificados com uma descobertura variando entre larga e estreita.
- Depósitos maciços de considerável profundidade e extensão lateral.

As propriedades geomecânicas das rochas têm influencia direta na seleção do método de lavra mais apropriado para extração de determinado bem mineral a ser utilizado e na seleção do tipo de equipamento.

Atualmente existem diversos métodos e equipamentos para realização das operações unitárias necessárias a extração de diversos minerais de interesse econômico (SOUZA J.C, 2001). Neste caso, podemos classificar os tipos de métodos de lavra a céu aberto da seguinte forma: *Terrace Mining*, *Strip Mining*, *Modified Terrace Mining* e *Open Pit Mining*. Na figura 2.5 podemos observar uma classificação simplificada dos tipos de métodos de lavra a céu aberto de acordo com as características do depósito.

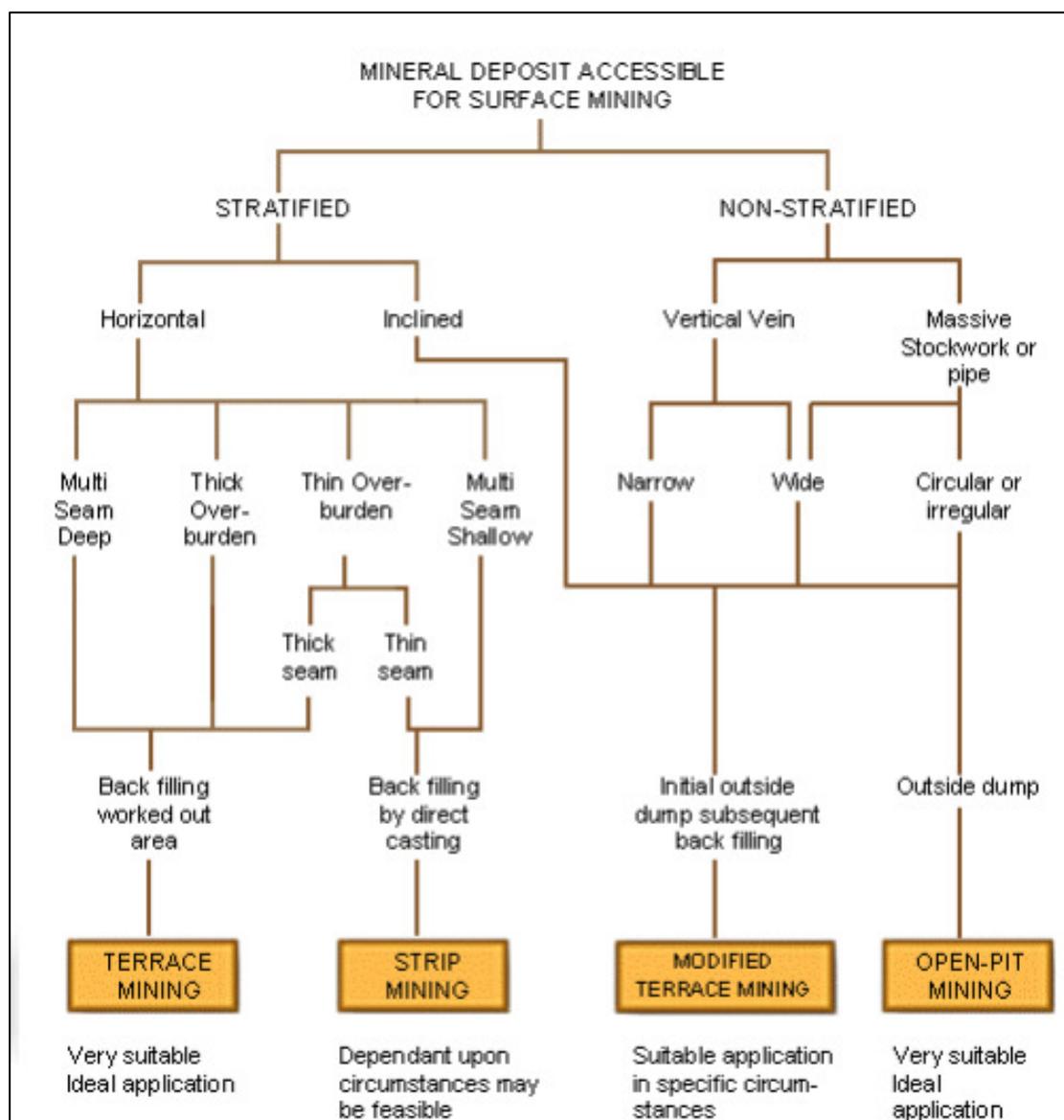


Figura 2.5 – Classificação dos métodos de lavra a céu aberto.

Fonte: <http://blogs.up.ac.za/weblog/media/file/estelle/adobe%20files/ch2.pdf>

2.7.1 - MÉTODOS DE LAVRA A CÉU ABERTO – *OPEN PIT MINING*

O método de lavra “*Open Pit Mining*”, conhecido como *pit* cônico é utilizado principalmente para lavar depósitos irregulares e íngremes. Os corpos de minério geralmente são estratificados e possuem mergulho acentuado, mas com grandes dimensões horizontas próximos a superfície ou aflorantes. Este método está geralmente associado com depósitos metálicos, de grandes espessuras.

Na operação de escavação geralmente utiliza-se pás carregadeiras e caminhões após as operações unitárias de perfuração e detonação. As pilhas de estéril são dispostas fora da cava, porém os locais de deposição do estéril devem ser o mais perto possível para diminuir o custo de transporte (PHIL OLIVER).

Dentre os fatores que determinam o *layout* da cava podemos citar: orientação do depósito, razão de descobertura, taxa de produção requerida e equipamento disponível. Já os fatores de controle em mineração os mais importantes são: custo de mineração, recuperação do minério e diluição. Para este tipo de método podemos citar alguns tipos de metodologia de trabalho que otimizam o processo de extração, tais como: lavra através de bancadas simples, bancadas múltiplas.

Na metodologia utilizando bancadas simples uma bancada é o nível de operação dentro do qual o material estéril é escavado da face da bancada. A metodologia é empregada para minerar qualquer tipo de depósito superficial em qualquer tipo de rocha. Podemos citar como exemplo as minerações de gipsita do Pólo Gesseiro do Araripe em Pernambuco.

A altura máxima da bancada e inclinação do talude dependem do tipo de rocha que forma a bancada. As alturas são especificadas pelas regulamentações de cada país e não devem exceder 20 metros de altura. As operações típicas podem ser em depósitos de areia, camadas de carvão com cobertura limitada, exposições superficiais de rochas ornamentais e depósitos de agregados para construção civil.

A produção é limitada apenas pela capacidade dos equipamentos que são utilizados na cava e pelo número de frentes de lavra.

No caso das bancadas múltiplas (figura 2.6), esta metodologia é mais indicada para os depósitos massivos, depósitos de grande espessura, depósitos de grande largura lateral e para depósitos tabulares espessos com profundidade superior ao possível uso com a utilização de bancadas simples. Este método pode ser empregado para lavar material rochoso de qualquer tipo suficientemente resistente para permitir o desenvolvimento de bancadas de altura econômica em material consolidado até rocha dura.

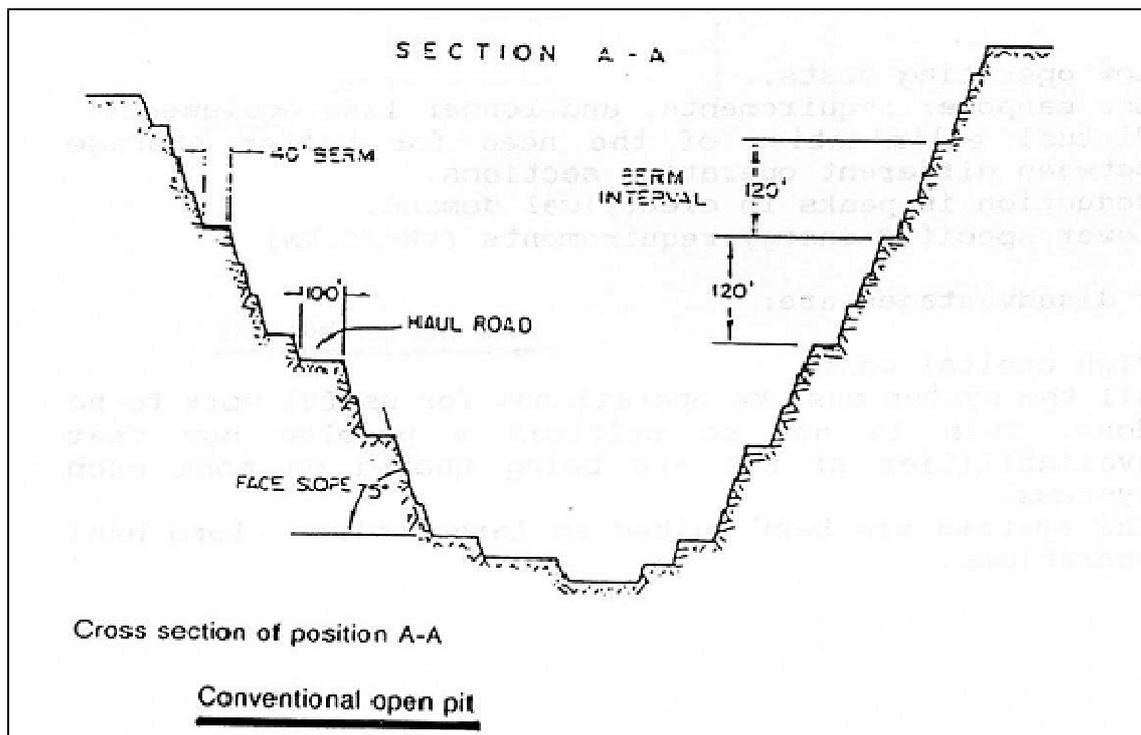


Figura 2.6 – *Open Pit Mining* com bancadas múltiplas.
Fonte: *Surface Mining – Phil Oliver.*

Quando a profundidade da cava é superior a uma variação de 8 e 15 metros, mais de uma bancada normalmente é necessária. A largura da bancada varia em função do tamanho do equipamento de transporte e tipo de rocha na face da bancada. Normalmente varia de 6 a 20 metros e são projetadas para proporcionar proteção contra pequenos deslizamentos.

As bancadas são utilizadas como vias de transporte formando uma espiral até o fundo da cava ou com rampas entre bancadas horizontais em diferentes níveis. A inclinação das bancadas é mais íngreme que a inclinação final da cava e a rocha pode manter taludes de faces verticais por curtos períodos de tempo.

A inclinação da cava varia entre 20° e 70°. Na fase final da mineração, a inclinação deve se tornar o mais íngreme possível para aumentar a recuperação do minério.

Os impactos ambientais relacionados a este método de lavra são: disposição de rejeito (impacto visual), geração de poeiras e ruídos, vibrações devido às detonações e grande formação de crateras (SOUZA J.C, 2001).

2.7.2 - MÉTODOS DE LAVRA A CÉU ABERTO – *TERRACE MINING*

É o método de lavra aplicado na presença de coberturas espessas ou quando a lapa do minério possui um mergulho íngreme. Neste método o material estéril pode ser removido para dentro da cava nas áreas onde o minério já foi explorado.

O método de lavra *Terrace Mining* trabalha com múltiplas bancadas tanto para o minério quanto para o material estéril. A mina inteira se move através do depósito, mas não necessariamente em um único banco, não é uma operação de um único estágio. O número de bancos é função da profundidade da escavação (altura dos bancos de 10 a 15 metros e de 1 a 32 bancos em forma de terraço). O material estéril é depositado a 180° da frente de lavra (levado para trás) nos locais onde o minério já foi explorado.

Exemplos deste tipo de mineração são as minas de linhito na Alemanha e, em menor proporção, as minas de carvão do Reino Unido que são exemplos típicos deste tipo de lavra. O material estéril é retirado por um minerador contínuo BWE (*Bucket Wheel Excavator*). Neste caso, caminhões e pás carregadeiras são utilizados para trabalhar nos 10 bancos simultaneamente para exposição da jazida de carvão.

Para este método de lavra é mais indicado à utilização de escavadeiras hidráulicas para o material friável e caminhões para transporte. Utilizando estes equipamentos para uma mineração de grande porte se torna mais caro do que utilizar o equipamento como uma *Dragline* pelo fato de não haver necessidade de caminhões para o transporte do material. É possível utilizar a *Dragline* nos bancos inferiores onde a largura do banco é menor e a área de despejo da descobertura fica dentro do raio de alcance do equipamento.

Na África do Sul temos um exemplo deste método de lavra no futuro: mina de carvão de *Grooteluck*. Atualmente são desenvolvidos 11 bancos: 6 bancos de material de cobertura e 5 bancos de minério. Uma *dragline* não pode ser usada devido a profundidade do carvão e da largura do *Pit*. Atualmente não tem como colocar o material de descobertura na área minerada pela falta de espaço para trânsito dos equipamentos, logo o método de lavra atual é o *Terrace Mining Modificate*, mas quando a mineração estiver mais desenvolvida, os terraços minerados serão locais de reposição do material de descobertura. Neste caso, o *layout* da mina vai modificar e método aplicado será o típico *Terrace Mining*.

Outro exemplo interessante é o da mina de *Jacobs Ranch* de carvão. Neste caso o carvão é extraído em 3 bancadas. A espessura do carvão possui os seguintes limites: na primeira bancada a espessura superior do carvão varia de 1,5 a 3,8 metros, na segunda bancada a espessura do carvão varia de 9,1 a 18,2 metros e na (espessura mais baixa) varia de 1,2 a 2,6 metros. A capacidade de produção projetada para o primeiro ano de atividade era de 3 milhões de toneladas por ano.

O processo de extração começa com a retirada da descobertura e a deposição foi planejada para ser realizada em uma área adjacente ao corte inicial. Uma vez que o avanço do pit ainda está estreito para o acesso e movimento dos equipamentos. Com a lavra mais desenvolvida o material da descobertura será depositado diretamente na área em que o carvão já foi minerado (figura 2.7).

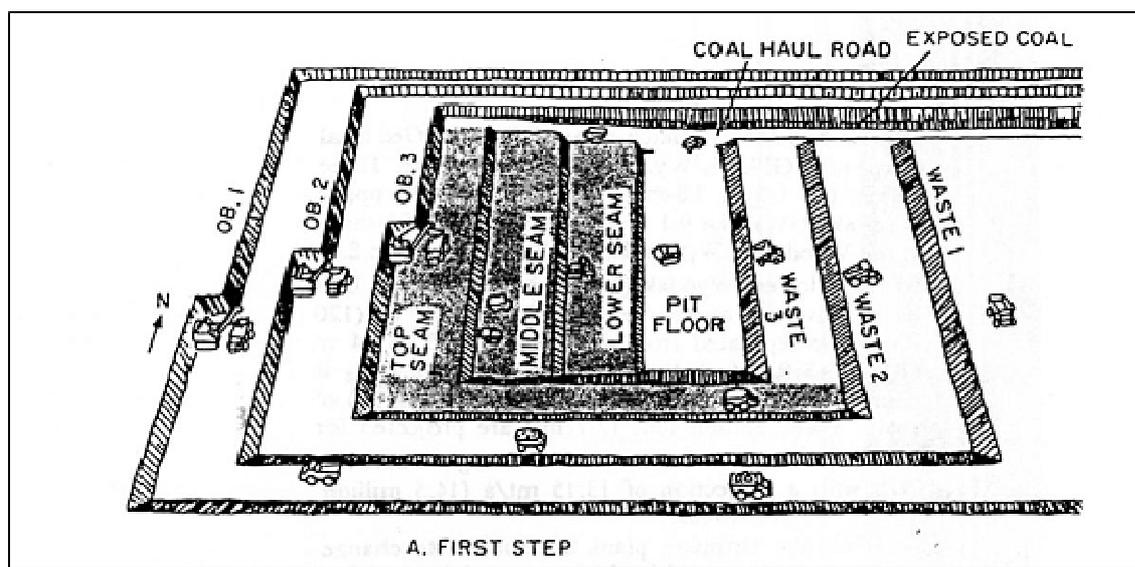


Figura 2.7 – Primeira etapa do método *Terrace Mining*.
Fonte: *Surface Mining* – Phil Oliver.

Atualmente no avanço da cava as pás carregadeiras removem a cobertura em vários bancos de 12 metros. O número de pás depende da espessura da descobertura. O material da descobertura é direcionado diretamente para áreas em que o minério já foi lavrado formando bancos de preenchimento.

Quando o *pit* se aproxima da linha limite a direção da reserva muda condicionando a deposição do estéril em linhas paralelas aos bancos em forma de terraço de minério formando um ângulo entre os bancos de minério e pilhas de deposição de estéril de 180°.

As rotas de transporte do carvão estão perpendiculares aos terraços de minério, isto é realizado fazendo uma volta de 90° em relação à bancada minerada, em seguida é retomado todo o ciclo (figura 2.8).

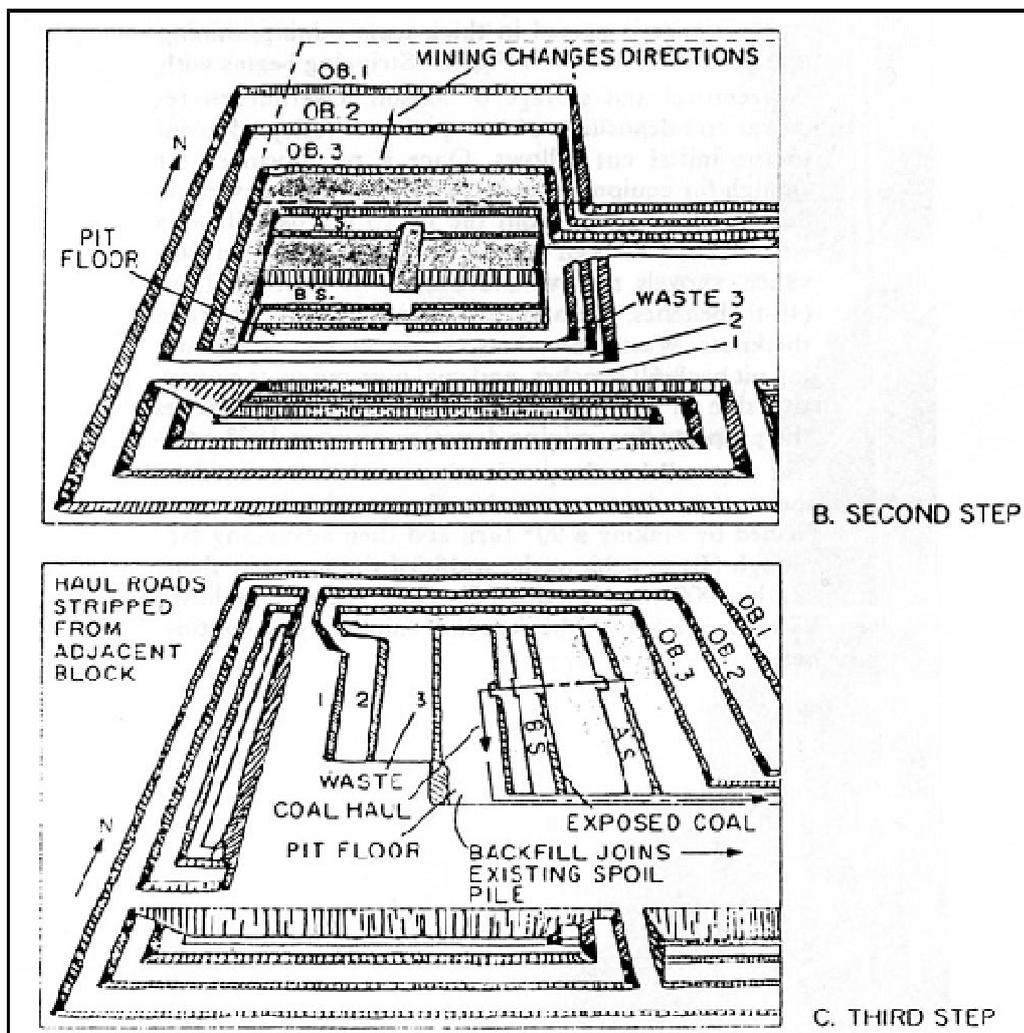


Figura 2.8 – Segunda e terceira etapa para o método *Terrace Mining*
 Fonte: *Surface Mining – Phil Oliver*.

2.8 – A SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL NA MINERAÇÃO

Com o passar do tempo, a atividade mineral vem conscientizando-se que não é mais possível exercer a atividade de extração mineral sem um rigoroso controle sobre os impactos ambientais. O princípio básico da sustentabilidade afirma que se devem usar os bens naturais de forma a garantir a disponibilidade destes bens para gerações futuras.

Atualmente existe desperdício no uso dos recursos naturais e até mesmo exploração de maneira predatória atendendo o mercado imediatista (lei da oferta e da procura). Existem também muitas riquezas minerais em minas mal lavradas, em barragens de rejeitos, em depósitos de estéril, seja por negligência de quem exerceu a atividade ou pela limitação de tecnologias na época em que o depósito mineral foi explorado.

À medida que o tempo passa, as novas descobertas de depósitos minerais vão ficando mais difíceis e mais caros. A profundidade vai aumentando, os teores vão caindo e a localização ficando cada vez mais remota. O atual desafio das empresas mineradoras é repor reservas para garantir as operações futuras. Portanto, a mineração tem que ser sustentável no sentido de aproveitar da melhor maneira possível suas reservas e executar trabalhos contínuos de exploração para revelar novos depósitos. Devido a estes fatores algumas empresas estão aproveitando barragens de rejeitos com médio a baixo teor para as novas usinas de beneficiamento e planejando de forma estratégica a exploração de bens minerais no fundo dos oceanos. São aspectos positivos no esforço de promover a sustentabilidade da mineração.

O cenário mundial da indústria mineral precisa encarar a questão da sustentabilidade de uma forma mais abrangente. Este fato supõe que não basta realizar a lavra de forma correta, estocar os rejeitos de maneira segura, reutilizar o máximo possível de água, reduzir o consumo de energia, diminuir o consumo de combustíveis fósseis, plantar áreas verde, fazer a recomposição da área degradada, diminuir a emissão de gases de efeito estufa. No Brasil, algumas empresas como a Alcoa estão investindo na plantação de 10 milhões de árvores. Por operar em ambientes sensíveis, como as localidades de mineração em Jurití (região Amazônica) e Poços de Caldas (mata Atlântica) a empresa tem atuado muito fortemente em programas de reabilitação e revegetação de áreas mineradas o que, segundo a empresa, demonstra viabilidade em operar minas e trazer de volta a vegetação original, a restauração da paisagem e sua funcionalidade biológica. A empresa *Anglo American*, mineração de níquel, desenvolveu um trabalho com a comunidade e investiu cerca de 3 milhões em projetos socioambientais no interior de Goiás em 2012. A empresa restaurou cerca de 160 km² de *habitats* e plantou cerca de 3 mil mudas nativas em Goiás.

Os resíduos são outro objeto de preocupação constante por parte das companhias de mineradoras. E o problema tende a aumentar, já que os teores de minério contidos na jazida tendem a diminuir, o que significa que se necessita movimentar cada vez mais materiais para produzir a mesma quantidade de minério, por outro lado, o avanço tecnológico tem possibilitado que as empresas possam aproveitar material que antes era considerado rejeito, em função dos baixos teores contidos. Segundo a revista *Brasil Mineral*, N° 318, um bom exemplo é o da empresa Votorantim Metais, que está aproveitando grandes quantidades de matérias que antes eram considerados resíduos. Outras empresas como a VALE S.A estão cogitando do aproveitamento de minério de ferro contidos em suas barragens.

Outro fato muito importante é a recuperação das áreas mineradas que é mais complexa porque não se trata apenas de recuperar a área minerada, mas promover o fechamento da mina, que requer todo um planejamento e envolve vários fatores que extrapolam o próprio universo das companhias mineradoras. Atualmente o Brasil não conta ainda com uma legislação a respeito dessa questão. A única diretriz vem do estado de Minas Gerais e algumas propostas e normas provenientes de São Paulo, mas ainda é necessário uma lei que promova uma homogeneidade dos conceitos.

CLÁUDIA SALLES (IBRAM, 2012) sugere que as minerações devem mostrar a sociedade quais as suas principais características e quais os principais desafios e oportunidades para que o setor atue de acordo com os preceitos da economia verde. Mostrando a cerne da atividade de mineração e seus principais indicadores em termos de produção econômica, dos benefícios sociais que gera qual o uso que se faz dos recursos vivos e não vivos e as principais tendências do setor do ponto de vista de sustentabilidade. A economia verde prega a eficiência, novas fontes de energia, erradicação da pobreza, elevação da qualidade de vida das comunidades dentre outros pontos. A atividade quando vista de maneira séria e responsável, dentro das dimensões ambientais, sociais e econômicas de uma forma não excludente, consegue contribuir para a qualidade de vida e conservação ambiental. Ou seja, a mineração ao invés de problema pode ser parte da solução. O conceito de sustentabilidade vai além destas questões “É extrair e processar minério hoje pensando no futuro”. (BRASIL MINERAL, 2013).

2.9 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.9.1 – LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

O estudo de caso para implantação do método de lavra *Terrace Mining* foi realizado na área de concessão de lavra da mineração *Royal Gipso Ltda*, localizada no município de Araripina – PE.

O município de Araripina é parte integrante da micro região do Araripe, zona fisiográfica do sertão e dista da capital do estado, Recife, 645 km, em linha reta na direção Oeste-Este (figura 2.9). A altitude média do município é de 622 metros. O trajeto que liga Araripina a Recife é feito através da BR-232 até a cidade de Salgueiro e pela BR-316 até o município de Araripina. De sede do município de Araripina, toma-se estrada asfaltada de acesso ao distrito de Gergelim infletindo à esquerda em direção ao Sítio Ponta da Serra percorrendo mais 3,5 km por estrada carroçável até a área em questão.



Figura 2.9 - localização do município de Araripina-PE em relação a capital Recife.

Fonte: www.mapas-brasil.com/Pernambuco.htm

2.9.2 - MÃO DE OBRA

O município de Araripina situado no extremo oeste pernambucano, com uma população estimada de 76.866 habitantes (IBGE - Censo de 2010) possuiu as seguintes facilidades:

- Energia elétrica fornecida pela CELPE;
- Agência de correios;
- Rede móvel de telefonia celular;
- Agências regionais do INSS;
- Assistência médico-hospitalar;
- Agências bancarias;
- Conexões rodoviárias com todas as capitais dos estados do Nordeste;

- SESI (Serviço Social da Indústria), SENAI (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial), SENAC (Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial), SEBRAE (Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas).

A região possui uma grande quantidade de mão de obra que precisa de qualificação profissional. Atualmente a população está concentrada principalmente na zona rural onde se dedica as atividades agrícolas e de mineração. As atividades de mineração empregam um número cada vez maior de pessoas.

2.9.3 - ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Os riachos componentes da rede hidrográfica da região são temporários e deste modo à população rural para se suprir de água, faz cacimba nos leitos dos riachos ou barreiros muito dos quais financiados por órgãos ambientais e prefeituras. O apelo à água subterrânea através de poços tubulares é possível na faixa da cobertura sedimentar, obtendo vazões na ordem de 3000 litros por hora. Vale ressaltar que este tipo de investimento ainda é muito deficitário na região.

Em geral a disponibilidade de água na região é deficiente e somente superada na época invernal. A cidade de Araripina é abastecida com água tratada da COMPESA (Companhia Pernambucana de Saneamento) através da adutora do oeste. O abastecimento de água é feito pelo açude Buracão e pelo açude da Lagoa do Barro, neste caso são os únicos recursos hídricos capazes de servir a população local.

2.9.4 - ENERGIA ELÉTRICA

A energia elétrica da região é distribuída pela CELPE (Companhia Elétrica de Pernambuco), através de uma linha de alta tensão procedente da Usina Hidro Elétrica de Paulo Afonso sobre o Rio São Francisco. Na atualidade existe uma linha de transmissão de energia elétrica que abastece várias empresas calcinadoras e mineradoras. A tensão é de 13,8 kV rebaixada para 6,9 kV.

2.9.5 - CONDIÇÕES SANITÁRIAS

As condições sanitárias da região são precárias, uma vez que nem a cidade de Araripina conta com abastecimento regular de água tratada, sendo que na maioria das vezes a água é captada diretamente dos açudes da região e distribuída por caminhões pipas para as cisternas com o objetivo de abastecer a população. A cidade não possui sistema de esgoto.

O panorama nosológico da região é dominado pelas doenças endêmicas (esquitosomose, etc). O município de Araripina dispõem de profissionais da saúde da área de odontologia, medicina, biomédicos, psicólogos e assistentes sociais.

2.9.6 - ASPECTOS SÓCIOS ECONÔMICOS

O perfil socioeconômico da região é condicionado pela agricultura de subsistência ainda que rudimentarmente.

Projetos técnicos agrícolas são escassos e financiados pelo governo. A pecuária é pouco difundida, predominando criações, em pequenas escalas, de gado mestiço e subordinadamente de rebanhos de caprinos, ovinos e suínos.

Na região existem várias fábricas de calcinação de gipsita que estão implantadas, a maior parte, no Distrito Industrial da Araripina, na Lagoa de Dentro, Zona Rural de Araripina e no distrito de Morais. Quanto às minerações existem aproximadamente 16 portarias de lavra.

2.9.7 - MINERAÇÃO ROYAL GIPSO LTDA

A empresa Royal Gipso Ltda foi fundada em março de 1999 e além da exploração do mineral industrial gipsita atua na fabricação de gesso pré-moldado (blocos para construção civil). A empresa é de médio porte e emprega cerca de 40 funcionários. Sua sede está localizada no Sítio Lagoa de Dentro em Araripina – PE.

A área objeto deste projeto está encravada na localidade denominada fazenda Ponta da Serra, no distrito Gergelim, município e comarca de Araripina no Estado de Pernambuco. O depósito de gipsita encontra-se na parte central da área que compreende uma área de 23,1ha. O método de lavra utilizado é o *Open Pit Mining*, “método da Cratera” desenvolvida com bancadas simples de altura média de 11 metros. A camada de material estéril possui uma espessura média de 22 metros.

As operações unitárias da lavra são mecanizadas e seguem a seguinte ordem: decapagem, desmonte primário (explosivo), fragmentação secundária (rompedores hidráulicos), carregamento e transporte. Todos os equipamentos em operação na lavra são terceirizados e a produção atual da mina é de aproximadamente 12.000 mil toneladas por mês.

Os produtos comercializados na mineração são classificados como minério A, B e C e possui qualidade e preços diferenciados no mercado. A maior parte das vendas é do minério tipo A (Cocadinha, Rapadura e Estrelinha) com um preço médio de R\$ 21/tonelada (vinte e um reais por tonelada), cerca de 80% da produção.

A expedição do minério segue a modalidade FOB (*Free on board*), nesta modalidade o frete é de responsabilidade do cliente.

A maior dificuldade encontrada atualmente na mineração é a disponibilidade de área para disposição da pilha de estéril (bota-fora).

Em 2010 foi realizado o levantamento topográfico para reavaliação da reserva pela empresa Topovale – Serviços Topográficos Ltda e ficou constatado que nas áreas próximas não existe mais disponibilidade de espaço físico para bota-fora por dois motivos. O primeiro é devido às concessões de lavra de terceiros que são muito próximas (áreas contínuas ao processo da *Royal Gipso*) e o outro fator é que a área disponível está englobando todo o minério.

2.9.8 - MEMORIAL DESCRITIVO DO POLÍGONO DELIMITADOR DA ÁREA

O polígono delimitador da área é irregular e possui 06 lados (figura 2.10) e tem como vértice 01 o ponto de amarração da área representada pelo ponto de coordenadas geográficas: latitude $-07^{\circ}44'20''445$ S e longitude $-40^{\circ}27'56''080$ W e os demais vértices apresentam as coordenadas geográficas conforme a tabela 2.3.

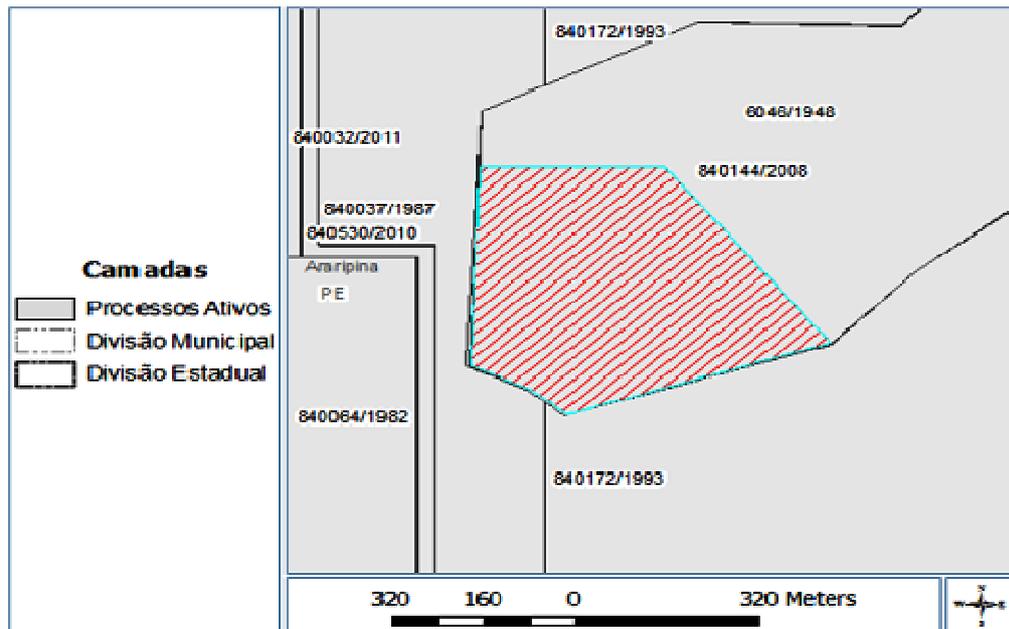


Figura 2.10 - Polígono delimitador concessão de lavra da mineração *Royal Gipso* Ltda.
Fonte: SIGMINE/DNPM, 2013.

Tabela 2.3 – coordenadas dos vértices da poligonal.

Fonte: SIGMINE/DNPM, 2013

Latitude	Longitude
$-07^{\circ}44'20''445$	$-40^{\circ}27'56''080$
$-07^{\circ}44'20''445$	$-40^{\circ}27'45''690$
$-07^{\circ}44'32''912$	$-40^{\circ}27'36''318$
$-07^{\circ}44'37''967$	$-40^{\circ}27'51''159$
$-07^{\circ}44'36''280$	$-40^{\circ}27'53''136$
$-07^{\circ}44'34''502$	$-40^{\circ}27'56''622$
$-07^{\circ}44'20''445$	$-40^{\circ}27'56''080$

CAPITULO 3 – MATERIAL E MÉTODOS

O projeto de avaliação sobre a aplicação do método de lavra “*Terrace Mining*” como alternativa ecosustentável da mineração de gipsita foi realizado em 3 etapas.

Inicialmente, na primeira etapa foram realizados os trabalhos de levantamento de campo (topografia, sondagem e medição de tempos de ciclo dos equipamentos).

Na segunda etapa com as informações do levantamento de campo foi realizada a determinação do modelo geológico do corpo de minério com uso do *software DATAMINE*.

Na última etapa do projeto foi realizado um dimensionamento e levantamento de custo de todas as operações unitárias do processo de exploração da gipsita.

Com os dados reunidos de todas as etapas foi possível realizar um comparativo entre os dois métodos de lavra *Open Pit Mining* e *Terrace Mining* e verificar a possível adequação da mudança do método de lavra.

3.1 – LEVANTAMENTOS DE CAMPO

Para o trabalho de campo foi realizado inicialmente o reconhecimento geral da área que faz parte da concessão de lavra do processo minerário 840.144 - 2008. O objetivo deste reconhecimento foi estabelecer as diretrizes dos serviços que seriam desenvolvidos para atingir o objetivo de reavaliação da jazida mineral e obtenção dos tempos de ciclos dos equipamentos. Após a etapa de reconhecimento da área os levantamentos de campo foram divididos em 3 etapas, tais como: (1) levantamento topográfico da área a ser minerada, (2) sondagem, (3) levantamento dos tempos de ciclos dos equipamentos.

3.1.1- LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

O levantamento topográfico conceitualmente tem por alvo auxiliar o aproveitamento otimizado das jazidas, considerando-se as condições técnicas e tecnológicas de operação, de segurança e de proteção ao meio ambiente, de forma a tornar o planejamento e o desenvolvimento da atividade minerária compatíveis com a busca permanente da produtividade, da preservação ambiental, da segurança e saúde dos trabalhadores.

O levantamento topográfico teve como objetivo principal a elaboração de uma planta planialtimétrica da área.

Os trabalhos topográficos foram realizados pela empresa Topovale – Serviços Topográficos Ltda que usou como instrumento um GPS geodésico configurado com o *Datum SAD-69 (South American Datum – 69)* para obtenção das cotas da boca dos furos de sonda em metros e das coordenadas dos furos (latitude e longitude) em UTM (*Universal Transversa de Mercator*).

A escala utilizada para o levantamento planialtimétrico foi de 1/2.500 com curvas de nível que variam de 10 em 10 metros na qual foram locados os seguintes itens: os limites da área (poligonal), a cava, as bancadas expostas pela atividade e lavra, o capeamento argiloso, os acessos, os terrenos dos superficiários, a pilha de material estéril (bota-fora), pilha de cascalhos (finos de minério de gipsita) e a determinação da localização dos dez furos de sonda que foram realizados na área. O levantamento topográfico serviu de base para confecção dos perfis geológicos permitindo uma melhor interpretação espacial do corpo.

3.1.2 – SONDAGEM

A partir dos dados obtidos no levantamento topográfico foi determinado a malha de sondagem sendo está baseada na experiência prática. Na sequência foi determinada a quantidade de furos a serem realizados (dez furos). Os espaçamentos entre os furos foram de aproximadamente 100 metros. A execução dos trabalhos de sondagem foi realizada pela empresa A. Cezar Prospecção e Avaliação Ltda.

Na campanha de sondagem da área foram executados dez furos verticais por sonda rotativa a diamante. O diâmetro de perfuração foi de 42 milímetros através de uma coroa BW e para as manobras foram utilizadas hastes de 3 metros de comprimento.

Para a execução da sondagem foi utilizado um equipamento de perfuração nacional da marca *Sonde*, modelo SS-21, com capacidade de perfuração de 100 metros de profundidade. Conforme o planejamento em campo foi realizado dez furos na área em questão e obtivemos como resultado nove furos positivos e apenas um furo negativo o PS07.

3.1.3 – LEVANTAMENTO DOS TEMPOS DE CICLOS DOS EQUIPAMENTOS

Segundo (RICARDO *et al.* 2007) O ciclo é o conjunto de operações que um equipamento executa num certo tempo, voltando em seguida a posição inicial para recomencá-las.

O tempo de ciclo é definido como o espaço decorrido entre duas passagens consecutivas da máquina por qualquer ponto do ciclo. Convencionou-se que o tempo de ciclo seja medido a partir do instante em que o equipamento inicia a operação: seja de escavação ou qualquer outra até o momento que retorna a posição inicial. O início do ciclo é uma medida arbitrária e poderá ser feita em qualquer fase do ciclo.

O trabalho dos equipamentos é realizado através de operações básicas (escavação ou corte; carregamento de caçamba; transporte e descarga) que se repete através do tempo, de forma cíclica, isto é, terminada uma sequência de operações inicia-se a seguinte, na mesma ordem anterior. As quatro operações básicas citadas acima constituem um ciclo de operação que se repete num certo espaço de tempo.

A estimativa de produção dos equipamentos pode ser analisada através do tempo de ciclo dos equipamentos que não é um processo preciso, pois além de depender de diversos parâmetros de difícil determinação, ainda existem outros fatores aleatórios que influem na forma decisiva e no desempenho das máquinas.

Assim, na determinação de alguns tempos de ciclo para os cálculos de estimativa de produção, fomos obrigados a recorrer a julgamentos e opiniões pessoais baseados na experiência de históricos anteriores para obtenção de resultados corretos comparados a realidade de operação.

Na mineração *Royal Gipso* durante a execução da lavra pelo método atual, *Open Pit Mining*, foi possível obter os tempos de ciclo dos equipamentos que operam na decapagem do material estéril, assim como, em todas as operações unitárias da exploração do minério.

Baseado no tempo de ciclo das operações unitárias pode-se fazer um comparativo entre os dois métodos de lavra para identificarmos se compensa a mudança do método de lavra *Open Pit Mining* para o *Terrace Mining*. Vale salientar que os equipamentos são todos terceirizados e a locação destes equipamentos é o fator gerador de maior custo para a mineração. O estudo também foi utilizado a fim de verificarmos a eficiência dos equipamentos utilizados.

Os tempos de ciclos analisados foram: (1) tempo de ciclo de decapagem; (2) tempo de ciclo da perfuração; (3) tempo de ciclo da fragmentação secundária e (4) tempo de ciclo do carregamento do minério.

3.1.3.1- Tempo de ciclo da decapagem

Na operação unitária de decapagem são utilizados para o transporte do material estéril 4 caminhões traçados, placas: PEX 7060, PEX 7370, PEI 1926 e PEI 1796 com uma capacidade nominal de 16 m³ cada caminhão e uma escavadeira hidráulica da fabricante *Hyundai*, modelo R320LC-7, ano 2011 com capacidade nominal de 1,73 m³.

O tempo de ciclo da operação de decapagem foi dividido em duas etapas e teve como objetivo estimar a produtividade da escavadeira. A primeira medição foi realizada no desmonte sobre a nova rampa de acesso que está sendo desenvolvida na direção nordeste da cava, a 710 metros de distância da pilha de estéril pelo Método de lavra *Open Pit Mining*, figura 3.1 em anexo.

A segunda etapa foi realizada na decapagem para exposição da bancada de minério localizada a 410 metros de distância da área de disposição do estéril pelo Método de lavra *Terrace Mining*, figura 3.2 em anexo.

No campo foram medidos através de um cronômetro os seguintes tempos: tempo de carregamento do caminhão (TCD), tempo do percurso de ida do caminhão a pilha de estéril (TPI), tempo do percurso de retorno do caminhão (TPV), tempo de basculamento (TB). O tempo de cada caminhão foi cronometrado individualmente (um caminhão por dia), em épocas diferentes. As distâncias de ida (DI) e retorno (DR) dos caminhões para o trajeto da pilha de estéril também foram computadas através dos hodômetros dos caminhões.

As medições foram realizadas para estimar a produtividade da escavadeira hidráulica. e os dados coletados estão inseridos na tabela 3.1, 3.2 e 3.3 em anexo.

Para a primeira fase (pilha de estéril fora da cava) foi utilizado o caminhão PEX 7060 para obtenção dos dados de tempo de ciclo, totalizando 20 amostras.

Para a segunda fase (pilha de estéril dentro da cava) foi utilizado o mesmo caminhão para obtenção dos dados de tempo ciclo, totalizando 34 amostras durante 8 horas de trabalho.

3.1.3.2 – Tempo de ciclo da perfuração

O tempo de ciclo da operação de perfuração foi medido com o objetivo de se obter a perfurabilidade do equipamento (m/s). Nesta operação foram medidos os tempos de ciclo de 2 equipamentos o *Wagondrill* e o *Rockdrill*.

Na perfuração com o *Wagondrill* é utilizado em conjunto com um compressor da *Atlas Copco*, modelo, XATS 127. O custo de operação para este conjunto de equipamento é R\$ 55,00 por hora para o *Wagondrill* e R\$ 60,00 por hora para o compressor sem a inclusão do óleo *diesel*. Na perfuração com o *Rockdrill* é utilizado um compressor da *Atlas Copco*, modelo, XAS 420. O custo de operação para este conjunto de equipamento é R\$ 140,00 por hora incluindo o *diesel*. O valor unitário do *diesel* é de R\$ 2,27 por litro.

3.1.3.3 – Tempo de ciclo da fragmentação secundária do minério

A fragmentação primária com o uso de explosivo não é suficiente para obtenção da granulometria adequada para a alimentação do britador primário (britador de mandíbula) nas calcinadoras. Em função desta adequação é utilizada a fragmentação secundária com o uso de rompedores hidráulicos acoplados a retroescavadeiras de pequeno porte.

Na mineração são utilizadas retroescavadeira, modelo 416 E da *Caterpillar*, ano de fabricação 2011. Estes equipamentos são fabricados com as caçambas voltadas para baixo que neste caso são substituídas por martelos hidráulicos. Os martelos acoplados na retroescavadeira são da fabricante *Sandvic*.

O custo de locação da máquina é de R\$ 65,00 por hora e o consumo médio de diesel é de 8,5 l/h.

3.1.3.4 – Tempo de ciclo do carregamento do minério

No carregamento do minério são utilizadas 2 pás-carregadeiras sobre rodas com caçamba frontal da fabricante *Case*, modelo W20, ano 2011. A pá-carregadeira possui caçamba articulada em relação aos braços e pode ocupar diversas posições, comandadas por dois pistões de acionamento da caçamba, ela pode ficar na posição de escavação, de carga ou ela pode ficar em qualquer situação intermediária.

Segundo (RICARDO *et. tal*, 2007) o ciclo da pá-carregadeira pode ser decomposto nos seguintes movimentos elementares: avanço até o material, carga da caçamba, retorno carregado, manobra, avanço até o veículo, descarga, retorno vazio e manobra.

Nestes movimentos elementares há tempos variáveis, que dependem diretamente da distância percorrida, e tempos ditos fixos, que permanecem mais ou menos constantes no decorrer de muitos ciclos.

O tempo de descarga da caçamba em caminhões oscila entre 0,45 e 0,60 minutos segundo (RICARDO *et. tal*, 2007) pode ocorrer um tempo de espera da carregadeira, enquanto aguarda a manobra de posicionamento da unidade de transporte. Esse tempo de posicionamento é bastante variável já que depende em grande parte das condições do local de carga.

O tempo de ciclo de carregamento inicia-se assim que a primeira concha inicia o carregamento do caminhão e é finalizado assim que a última concha é descarregada no caminhão.

Nesta operação unitária foram medidos os tempos de carregamento dos 2 equipamentos, um de cada vez com o objetivo de analisar o tempo necessário para carregar 1 caminhão de aproximadamente 20 toneladas.

Na operação de carregamento é utilizada apenas 1 pá carregadeira e a outra é utilizada para espalhar o minério na praça da mina.

O custo de locação de cada pá carregadeira é de R\$ 70,00 por hora e o consumo médio de óleo diesel é de 13 l/h.

CAPITULO 4 – DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA, RESULTADOS E DISCUSSÕES.

4.1 - TRATAMENTOS DA TOPOGRAFIA E CUBAGEM DA JAZIDA EM AUTOCAD

Baseado nos trabalhos de campo, os trabalhos topográficos foram usados para gerar as plantas topográficas e planialtimétrica da área. Que serviram de auxílio para o cálculo do volume do depósito.

A definição das cotas em toda área de lavra foi de fundamental importância, pois é através deste levantamento que a mineração está monitorando manutenção e ampliação das vias de circulação e acesso ao *pit* da cava e para área de decapagem do minério. As vias vão sendo renovadas à medida que vai se aprofundando, ou alargando a área de lavra.

Em função dos dados topográficos, analiticamente foram determinadas as seguintes medidas:

- ✓ Determinação das coordenadas dos 7 vértices da poligonal.
- ✓ Determinação da área da poligonal: 22,3ha.
- ✓ Volume de material estéril (*in situ*) a ser escavado: 1.800.944,2 m³.
- ✓ Volume da reserva medida de gipsita: 857.930,93 m³.
- ✓ Tonelagem da reserva medida de gipsita: 1.973.241,55t
- ✓ Volume da gipsita disponível no piso: 19.687,9 m³.
- ✓ Tonelagem da gipsita disponível no piso: 99.620,4 t.
- ✓ Coordenadas dos 18 furos de sonda (tabela 4.1 em anexo).

O cálculo da cubagem da jazida, ou seja a determinação do volume de minério que se encontra na área do processo minerário foi realizado utilizando os dados obtidos em campo. A empresa responsável pela cubagem da reserva foi à mesma que fez o levantamento topográfico da área, Topovale – Serviços Topográficos Ltda.

Após a coleta dos dados de campo foi utilizando o *software Autocad* para a plotagem das curvas de nível de dez em dez metros e de todos os itens citados no levantamento topográfico. A área total foi dividida em 21 setores (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U) e a poligonal que representa a situação atual da área está representada na cor azul, como podemos observar na figura 4.1.

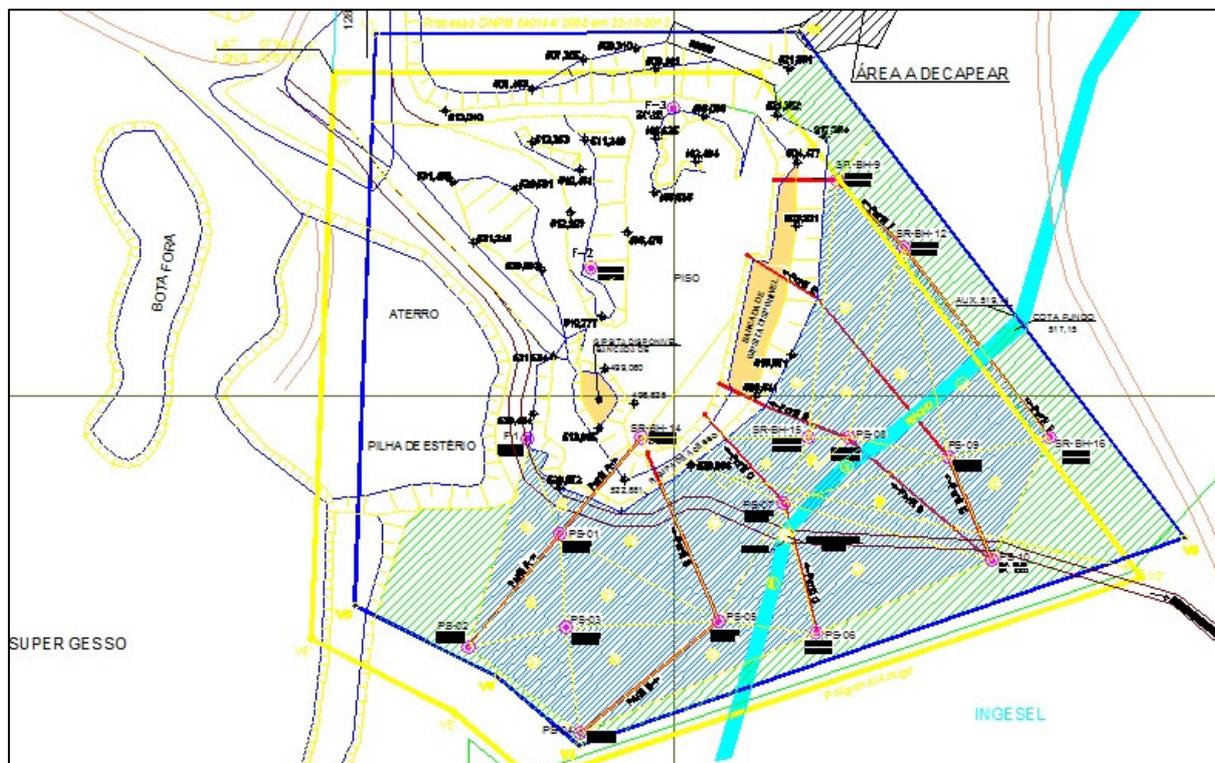


Figura 4.1 – Representação dos setores utilizados para a cubagem da jazida
Fonte: Topovale – Serviços Topográficos Ltda

Cada setor foi representado por uma área triangular e cada vértice do triângulo era representado por um furo de sonda.

Para o cálculo do volume de cada setor foi realizado o cálculo no *Autocad* da área de cada triângulo e multiplicado pela média aritmética das espessuras da camada de minério obtida nos furos de sonda, localizados nos vértices dos triângulos.

A tonelagem da reserva (reserva medida) foi obtida através do somatório de todos os volumes dos triângulos multiplicado pelo valor da densidade da gipsita ($2,3 \text{ m}^3/\text{tonelada}$).

Nos cálculos dos volumes para obtermos uma melhor precisão na cubagem da jazida foram utilizados as informações de oito furos de sonda (SR-BH-09, SR-BH-12, SR-BH-14, SR-BH-15, SR-BH-16, F1, F2 e F3) da campanha realizada em 1993 quando a detentora da concessão de lavra era a empresa de mineração Ingesel – Mineração Calcinação e Pré-moldados. As informações destes furos foram de grande valia para a determinação quantitativa da reserva (tabela 4.1 em anexo).

O valor do investimento para o levantamento topográfico foi de R\$ 5.500,00.

4.2 - TRATAMENTO DA SONDAGEM

A campanha de sondagem consistiu na execução de 10 furos verticais dos quais 09 foram positivos (presença de gipsita) e 01 negativo (ausência de gipsita). Baseado nos trabalhos de campo executados a campanha de sondagem apresentou os seguintes resultados:

- Total de metros perfurados: 338,00 metros.
- Total de metros perfurados no minério: 105,40 metros.
- Total de metros perfurados no estéril: 232,60 metros.

A recuperação média da campanha de sondagem atingiu a casa dos 34%. Conforme a tabela 4.2 abaixo.

Tabela 4.2 – classificação dos limites de recuperação.

Fonte: Plano de Aproveitamento Econômico – Royal Gipso Ltda - 2008

Classificação	Limites
Aceitável	Menor que 10%
Regular	Entre 10% e 30%
Suficiente	Entre 30% e 50%
Boa	Entre 50% e 80%
Ótima	Maior que 80%

Segundo os dados da tabela a recuperação média dos furos da campanha de sondagem estaria classificada como suficiente. A espessura média do capeamento envolvendo os furos de sonda remanescente (furos PS01 até PS10 e SR-BH-09, SR-BH-12, SR-BH-15, SR-BH-16) foi de 20,6 metros e para a gipsita foi de 11,3 metros (tabela em anexo).

Podemos observar que de acordo com os perfis litológicos o capeamento varia desde 18,70 metros a profundidades extremas de 30,00 metros de espessura. A camada de gipsita varia desde 9,50 metros até 14,80 metros. Nos perfis (figura 4.2, 4.3 e 4.4) a espessura da gipsita varia muito devido à superfície do topo ser bastante irregular admitindo-se como provável origem desta irregularidade, processos erosivos que modelaram a superfície do corpo (MENOR, 1995).

Neste caso podemos observar que, geologicamente, a jazida de gipsita apresenta processos erosivos e dissolutivos, seja devido aos fenômenos modeladores que atualmente trabalham a região, ou por processos que modelaram o topo da gipsita logo após sua precipitação, a lente da mesma em muitos casos, apresenta-se descontínua, fato este mais marcante em direção as bordas (MENOR,1995).

No campo observamos que o capeamento é constituído por argilas, margas e arenitos e através dos testemunhos de sondagens verificamos *in loco* que o material estava pouco consolidado e coberto por uma camada de solo. Nos perfis A, B, C, D, E e F (figura 4.2; 4.3 e 4.4) que a gipsita apresenta-se sob a forma lenticular de limites irregulares, intercalando em uma sequência de rochas sedimentares pertencente à Formação Santana.

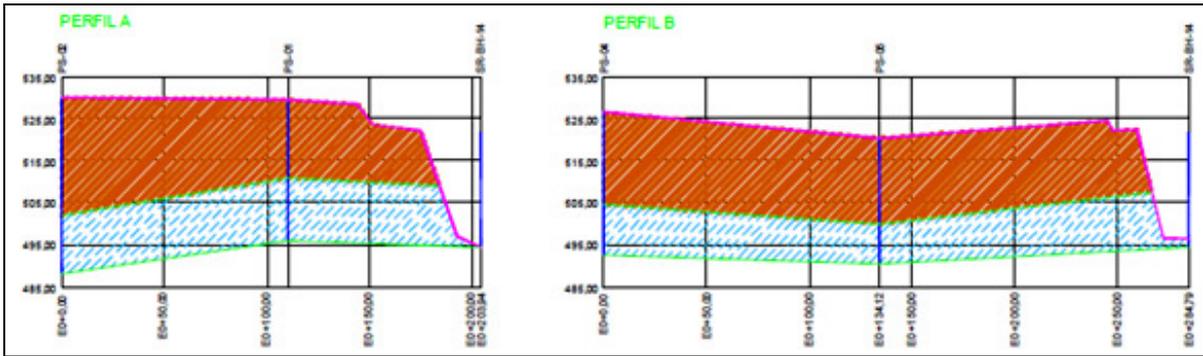


Figura 4.2: Perfis litológicos A e B dos furos de sonda da mineração *Royal Gipso* Ltda.
Fonte: Topovale – Serviços Topográficos Ltda, 2012.

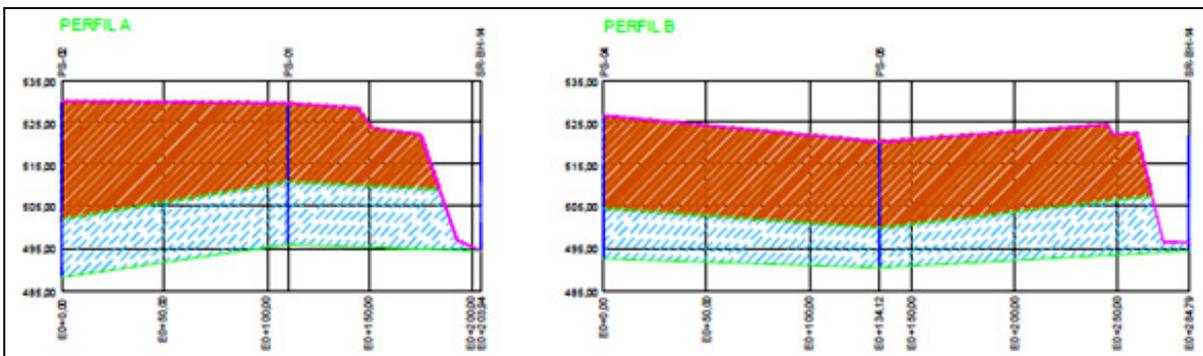


Figura 4.3: Perfis litológicos C e D dos furos de sonda da mineração *Royal Gipso* Ltda.
Fonte: Topovale – Serviços Topográficos Ltda, 2012.

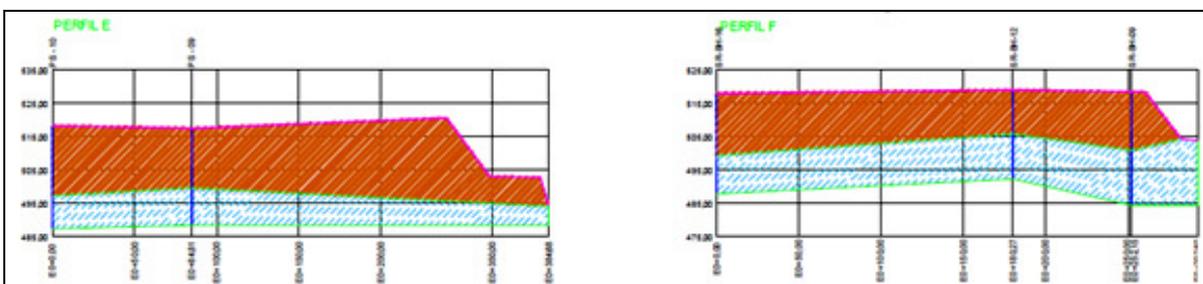


Figura 4.4 Perfis litológicos E e F dos furos de sonda da mineração *Royal Gipso* Ltda.
Fonte: Topovale – Serviços Topográficos Ltda, 2012.

O custo de investimento para a sondagem no minério foi de R\$ 160,00 (cento e sessenta reais) por metro e no capeamento R\$ 80,00 (oitenta reais) por metro. Para execução da campanha de sondagem foi investido aproximadamente R\$ 39.000,00 (trinta e nove mil reais).

4.3 – MODELAGEM GEOLÓGICA – DATAMINE STUDIO 3.0

A partir dos dados de sondagem (comprimento dos furos, descrição litológica dos furos, espessura das camadas) e topografia (coordenadas dos furos) obtidos em campo foi possível uma definição satisfatória das características da jazida mineral.

Para o desenvolvimento do trabalho é de fundamental importância à definição de um modelo geológico tridimensional. Para o modelamento da jazida foi utilizado *software* DATAMINE STUDIO 3.0.

Segundo (GOPINATH *et al.*, 2003) o *software* DATAMINE proporciona um conjunto de comandos para entrada e manipulação de dados associados a um amplo nível de capacidades estatísticas, gráficas e de processamento especialmente para dados geológicos e de mineração. A sondagem em qualquer orientação e com variações de azimute e de inclinação, são facilmente manejados, neste caso podemos combinar dados com diferentes intervalos de amostra.

O DATAMINE usa uma combinação de modelamento *wireframes* (para superfícies, estruturas e etc.) e modelos de blocos para representar com exatidão estruturas geológicas e a variação de teores em uma jazida. As ferramentas para o modelamento de *wireframes* incluem um conjunto de algoritmos e operações booleanas que permitem combinar e dividir grupos de *wireframes*. Uma vez modeladas às estruturas, o DATAMINE pode converter as *wireframes* em um modelo de blocos e proporcionar um amplo número de métodos de interpolação, tanto estatístico, como geoestatístico, incluindo técnicas para o desdobramento de estruturas complexas.

4.3.1 – ANÁLISE E TRATAMENTO DOS DADOS

Os dados de sondagem, tais como: comprimento do furo, cota do furo, localização, litologias foram condensadas em planilhas do *Microsoft Excel* no formato CSV, (separado por vírgulas), tais como: *Collars* (coordenadas x, y e z da boca dos furos), *Assays* (*logs* de sondagem com as litologias presentes), estes arquivos estão descritos na tabela 4.3 , 4.4 e 4.5 em anexo. Além dessas planilhas também foi utilizado o arquivo *tografiacava.dwg* para obtenção dos dados topográficos da área.

Os arquivos foram importados para o DATAMINE e criados arquivos correspondentes que tem a forma de *collars.txt*, e *geology.txt*, no formato binário. Os arquivos de entrada foram agrupados e condensados em um só arquivo: *drillholles*.

O arquivo *drillholle* contém a posição e orientação de cada furo de sondagem e, adicionalmente, informações de litologia em 3 dimensões.

4.3.2 – ELABORAÇÃO DO MODELO GEOLÓGICO TRIDIMENSIONAL

Seguindo a etapas conforme sugerido por (GOPINATH *et al.*, 2003) e (Souza J.C, 2013) a elaboração do modelo geológico da jazida gipsita seguiu a seguinte sequência:

- ✓ Interpretação vertical das litologias nos perfis geológicos: a modelagem da jazida foi baseada na interpretação das seções verticais norte- sul.
- ✓ Criação de modelos geométricos (*strings e wireframes*) dos depósitos a partir das interpretações verticais.

No desenvolvimento de dissertação as ferramentas de modelamento geoestrutural permitiram a partir da introdução dos dados de sondagens e topografia no *software* DATAMINE a criação de um sólido representativo do corpo mineral e a construção das seções verticais do jazimento. Para representação do sólido foram elaboradas *strings* contendo informações sobre a gipsita baseadas nas seções verticais norte-sul e leste-oeste.

Essas poligonais foram usadas para confecção de uma malha triangulada, base para o modelo geológico.

A superfície pode ser modelada com uma malha triangulada de pontos. O termo técnico usado no *software* para definir esse tipo de modelo chama-se *wireframe*. A partir da interpretação geológica que resultou na criação das poligonais e após esta etapa partiu-se para malha triangulada (*wireframe*).

As *wireframes* da gipsita foram construídas a partir de *strings* que são ligadas furo a furo através de algoritmo de triangulação automática de poligonais.

Para definir o modelo teórico da jazida foi feito no *Autocad* o desenho da linha limite correspondendo a linha da crista da bancada correspondente a camada de gipsita (bancada de produção) criando um arquivo no *Autocad* e nomeado como *linhalimite.dwg*. A linha limite delimita a área que já foi explorada da reserva remanescente da jazida mineral.

Posteriormente o arquivo do *Autocad* foi importado para o DATAMINE para o cálculo do volume da malha triangulada, conforme podemos observar na figura 4.5

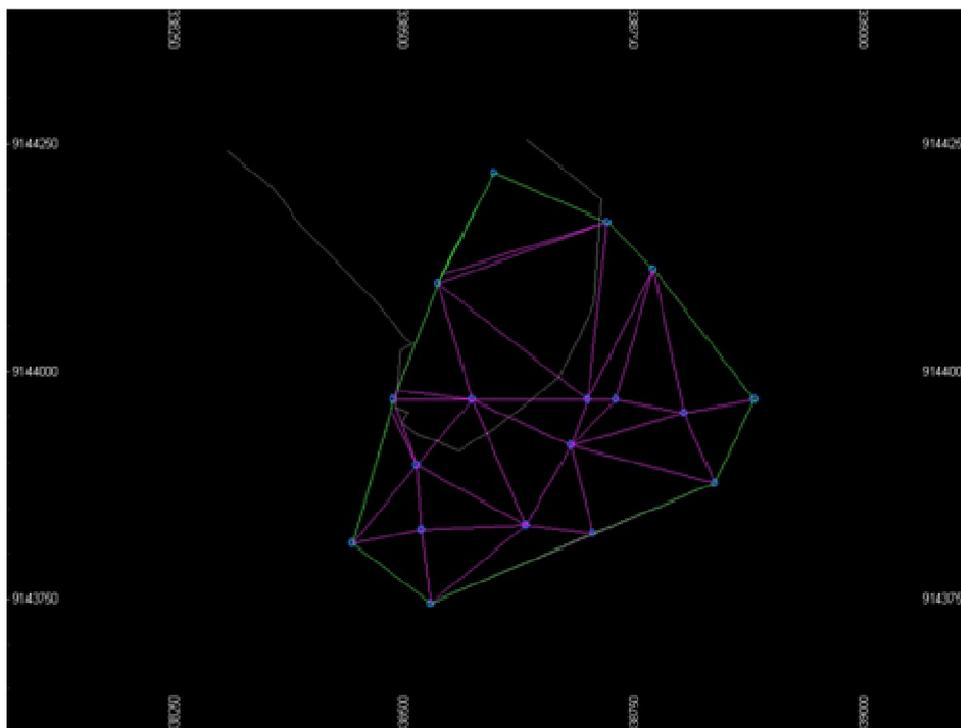


Figura 4.5– Linha limite entre a cava e a reserva remanescente para cálculo do volume.

Fonte: Datamine, Flávia de Freitas Bastos, 2013.

A partir das *wireframe*, o volume definido pelo contorno pode ser calculado com precisão. O modelo da *wireframe* representa a forma geométrica dos corpos (figura 4.6) e também permite a criação do modelo de blocos.

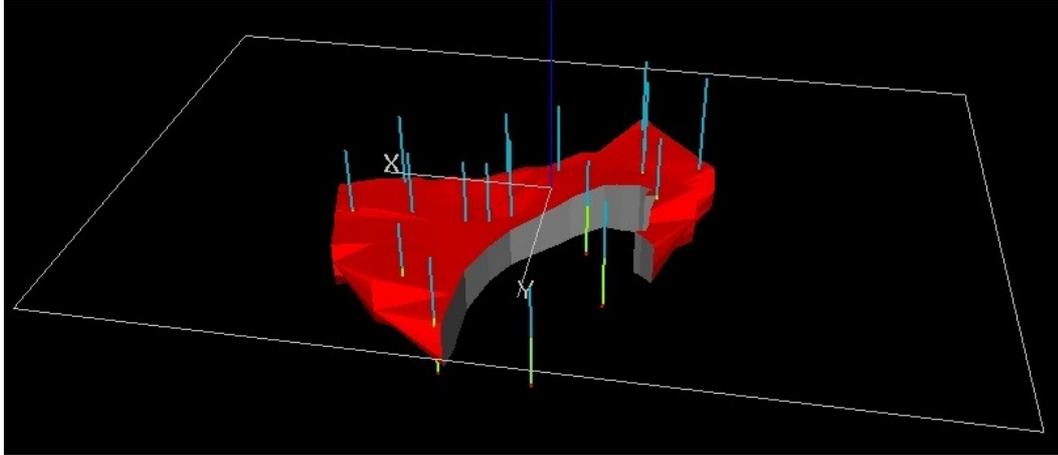


Figura 4.6– Determinação do modelo geológico da jazida de gipsita.

Fonte: Datamine, Flávia de Freitas Bastos, 2013.

Posteriormente foi determinada a cubagem da jazida pelo método dos triângulos que calculou o volume de gipsita, no valor de $853.496,19 \text{ m}^3$.

4.4 – CÁLCULO DA RESERVA DE GIPSITA

De acordo com o código de mineração capítulo V, Art .26, inciso I, a reserva medida é definida como sendo a tonelagem do minério computado pelas dimensões reveladas em afloramentos, trincheiras, galerias, trabalhos subterrâneos, sondagens e na qual o teores são determinados pelos resultados de amostragem pormenorizada, devendo os pontos de inspeção, amostragem e medida estar tão proximamente espaçados e o caráter geológico tão bem definido, que as dimensões, as forma, o teor da substância mineral possam ser perfeitamente estabelecidos , a tonelagem e o teor computados devem ser rigorosamente determinados dentro dos limites estabelecidos, os quais não devem apresentar variação superior ou inferior a 20% da quantidade verdadeira.

No cálculo da reserva medida de gipsita foram usados dois métodos de avaliação que determinaram praticamente o mesmo volume para o corpo de gipsita.

A empresa Topovale – Serviços Topográficos Ltda utilizando a ferramenta do *Autocad*, seccionado a área por setores, formados por triângulos, calculou o volume de cada triângulo e obteve os seguintes valores para o volume e a tonelagem: 857.930,937 m³ e 1.973.241,15 toneladas.

Com a determinação da reserva de gipsita pelo *software* DATAMINE STUDIO 3.0 utilizando o método dos triângulos foi obtido os seguintes valores abaixo:

Object: jazida remanescente triangulostr/jazida remanescente triangulospt (Wireframe)	
Enclosed volume	= 853496.19
Enclosed tonnage (@1.00)	= 853496.19
Centre of gravity	= 338665.32, 9143924.19, 496.15
Projected lower area	= 79821.46
Projected upper area	= 79942.57
Total surface area	= 179000.53
Minimum elevation	= 484.40
Maximum elevation	= 514.00
Minimum X co-ord	= 338445.56
Maximum X co-ord	= 338881.38
Minimum Y co-ord	= 9143745.00
Maximum Y co-ord	= 9144166.58
Minimum surface dip	= 0.56
Maximum surface dip	= 90.00
Number of triangles	= 221

Figura 4.7 – Determinação do volume da reserva medida da jazida de gipsita.

Fonte: Datamine, Flávia de Freitas Bastos, 2013..

O valor da tonelagem da reserva medida método *DATAMINE* foi obtido multiplicando o valor da densidade de $2,3 \text{ t/m}^3$ pelo volume calculado acima de $853.496,19 \text{ m}^3$, que resultou em $1.963.041,23 \text{ t}$.

A diferença do volume calculado pelos dois métodos (*Autocad x DATAMINE*) foi de apenas $0,5\%$.

Diante da determinação da reserva de gipsita baseado no *DATAMINE* foi possível determinar a produção mensal da jazida de gipsita 20.000 t/mês e a produção anual 240.000 t/ano . Neste caso consideramos a produção de 16.300 toneladas para o minério tipo A e 3.700 toneladas para o minério tipo B.

Considerando uma produção de gipsita 20.000t por mês ou 240.000 t , utilizando os dados da cubagem fornecida pelos 2 métodos citados acima, determinamos a vida útil da jazida que será de $8,2$ anos.

O faturamento mensal foi estimado multiplicando-se o preço médio de venda do minério primeiro semestre de 2013, de R\$ $21,00$ por tonelada para o minério tipo A e R\$ $18,00$ por tonelada para o minério tipo B. Podemos concluir que o faturamento bruto mensal será de R\$ $408.900,00$ (quatrocentos e oito mil e novecentos reais).

4.5 – DIMENSIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS DE LAVRA E LEAVANTAMENTO DOS CUSTOS DOS EQUIPAMENTOS E INSUMOS.

Atualmente a mineração Royal Gipso utiliza o método de lavra a céu aberto, *Open Pit Mining* e atua com as seguintes operações unitárias:

- Decapagem (carregamento e transporte do material estéril).
- Desmonte de rochas (perfuração e detonação).
- Fragmentação secundária do minério.
- Carregamento do minério.

Baseado nas operações unitárias da lavra de gipsita foi realizado o dimensionamento dos equipamentos.

Partindo do princípio que com a aplicação do método de lavra *Terrace Mining* as operações unitárias permanecerão as mesmas. Os pontos de mudança são basicamente: as rotas de transporte do estéril que poderá implicar na otimização do transporte de estéril devido a mudança do local de deposição do material.

O levantamento dos custos foi realizado baseado nos custos de locação horário cobrados na região e o consumo de óleo diesel de cada equipamento.

4.5.1 – DIMENSIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS PARA A DECAPAGEM

Para a operação de decapagem do estéril (argila e arenitos) foi realizado o dimensionamento para uma escavadeira hidráulica.

Segundo RICARDO *et al.*, 2007 a escavadeira é um equipamento que trabalha parado, isto é, sua estrutura portante se destina apenas a lhe permitir o deslocamento sem, contudo, participar do ciclo do trabalho.

A escavadeira é montada sobre esteiras com maior área de contato sobre o solo e exercem pressões reduzidas, que permitem seu deslocamento em terrenos de baixa capacidade de suporte que é o caso do material estéril da área (argila cálcica - magnesiana).

As caçambas escolhidas foram às voltadas para baixo devido à escavação ser concentrada abaixo do nível que em que a máquina se encontra, propiciando cortes de altura elevada, do que resulta grande versatilidade deste equipamento.

Dados que caracterizam a mina:

- Espessura média da camada de gipsita: 11 m
- Espessura média da camada de estéril: 21 m.
- Coeficiente de empolamento da argila: 0,4.
- O fator de correção para o volume do aterro correspondente será = $1 + 0,4 = 1,4$
- Massa específica da gipsita *in situ*: $2,3\text{t/m}^3$
- Angulo do talude natural: 75° .

Determinação dos elementos técnicos da mineração:

- Volume da gipsita a desmontar mensalmente: $8.695,65\text{ m}^3$.
- Área da jazida a ser descoberta mensalmente: $790,51\text{ m}^2$.
- Largura do banco a ser desmontado: 20,00 m.
- Avanço mensal da mineração: $790,51\text{ m}^2 / 20\text{ m} = 39,52\text{ m}$.
- Volume do material estéril *in situ*, a ser mensalmente desmontado: $790,51\text{ m}^2 \cdot 21\text{ m} = 16.600,7\text{ m}^3$.
- Volume do material estéril considerando o empolamento: $16.600,7\text{ m}^3 \cdot 1,4 = 23.240,99\text{ m}^3$.
- Regime de trabalho: 8 h/dia – 25 dias/mês – 300 dias/ano.

Esses dados permitem dimensionar as escavadeiras a serem adquiridas.

Para dimensionarmos a capacidade da caçamba escavadora levamos em consideração o regime de trabalho é de 8 horas diária que resulta nos seguintes dados:

- Volume a escavar por dia: $(23.240,99 \text{ m}^3/\text{mês}) / (25 \text{ dias}/\text{mês}) = \mathbf{929,63 \text{ m}^3/\text{dia}}$.

Sobre o regime de trabalho das escavadoras, os catálogos apresentam tempos de até 14,8 s por ciclo completo de operação (escavar, girar 90°, e descarregar), entretanto tais tempos são exceções. Utilizamos os dados do tempo de ciclo coletados em campo de 20,58 s por ciclo e 166 ciclo (caçambadas) /hora.

Cálculo da determinação da capacidade da caçamba da escavadeira para o material estéril:

- Volume de estéril *in situ* já determinado: $16.600,7 \text{ m}^3/\text{mês}$
- Volume do estéril empolado a ser desmontado mensalmente: $23.240,99 \text{ m}^3/\text{mês}$
- Volume do estéril empolado a ser desmontado diariamente : $929,63 \text{ m}^3/\text{dia}$.
- Volume do estéril empolado a ser desmontado por hora : $116,20 \text{ m}^3/\text{hora}$.

Cálculo do volume da caçamba: $116,20 \text{ m}^3/\text{hora} \times 166 \text{ ciclos}/\text{hora} = \mathbf{0,7 \text{ m}^3}$

De acordo com SOUZA, J.C, 2001, a equação para determinação da produção horária de equipamentos de carregamento cíclicos, utilizada para o cálculo da produtividade da escavadeira hidráulica:

$$P_h = \frac{60 \cdot 60 \cdot C_e \cdot E_f \cdot V_c}{T_{\text{ciclo}} \cdot C_g}$$

P_h (produção horária)

C_e (coeficiente de enchimento da caçamba) = 0,8 (argila compacta)

E_f (eficiência do equipamento de carregamento) = 0,7

T_c (tempo de ciclo da escavadeira) = 20,28 minutos

V_c (volume da caçamba da carregadeira) = $1,2 \text{ m}^3$

C_g = (coeficiente de giro da carregadeira) = 1,1

Considerando os valores acima uma produtividade horária média de:

$$P_h = 108,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

A partir da definição da produtividade horária do equipamento de carregamento e considerando o regime de trabalho, tem-se a seguinte estimativa de produção mensal do equipamento:

$$108,5 \text{ m}^3/\text{h} \times 8 \text{ h/dia} \times 25 \text{ dias/mês} = 21.689 \text{ m}^3/\text{mês}$$

Sendo assim o número de escavadeiras necessárias para obtenção da produção desejada de 23.240,99 m³/mês é de:

$$23.240,99 / 21.689 = 1,07 \text{ unidades} \Rightarrow \mathbf{1,07 \text{ unidade}}$$

*Considerando a situação ideal de capacidade de caçamba (1,2 m³).

Na mineração é utilizada uma escavadeira de 1,7 m³ e neste caso foi realizado o mesmo cálculo anterior (produção horária e número de escavadeiras) para obtermos um cenário real. Considerando os mesmos valores dos parâmetros, exceto para capacidade da caçamba obtivemos o seguinte resultado para produção horária:

$$P_h = 153,63 \text{ m}^3/\text{h}$$

Cálculo da produção mensal do equipamento:

$$153,63 \text{ m}^3/\text{h} \times 8 \text{ h/dia} \times 25 \text{ dias/mês} = 30.726 \text{ m}^3/\text{mês}$$

Sendo assim o número de escavadeiras necessárias para obtenção da produção desejada de 23.240,99 m³/mês é de:

$$23.240,99 / 30.726 = 1,07 \text{ unidades} \Rightarrow \mathbf{0,8 \text{ unidades}}$$

Podemos concluir que para escavar o material estéril podemos adotar uma escavadeira com a capacidade da caçamba de $0,7 \text{ m}^3$, mas na região a capacidade de caçamba que mais se aproxima desta realidade é a da fabricante *Hyundai*, modelo R220LC-9 de $1,2 \text{ m}^3$. É importante enfatizar que atualmente a operação unitária de decaagem da mina é terceirizada.

O modelo da escavadeira utilizada atualmente é uma R330LC-9S da fabricante *Hyundai*, dimensionada com uma caçamba de $1,73 \text{ m}^3$. O custo do aluguel deste equipamento é de R\$ 130,00 por hora resultando em um custo mensal de R\$ 26.000,00.

O consumo do óleo diesel para a escavadeira R330LC-9S é de aproximadamente 25 litros por hora e o custo unitário do diesel é de R\$ 2,27. Considerando o regime de trabalho de 200 horas por mês, o custo mensal de óleo diesel para este equipamento é de R\$ 11.350,00 totalizando um custo anual de R\$136.200,00.

A tabela abaixo apresenta os dados comparativos entre as escavadeira dimensionadas e para a uma produção 20.000 toneladas por mês de gipsita.

Tabela 4.6 – Tabela comparativa das escavadeiras.

Fonte: Flávia de Freitas Bastos, 2013.

Dados de custo com equipamento e diesel	Modelo R220LC-9 ($1,2 \text{ m}^3$)	Modelo R330LC-9S ($1,7\text{m}^3$)	Diferença entre as escavadeiras
Custo de locação (R\$/mês)	20.000,00	26.000,00	6.000,00
Consumo de diesel (L/mês)	4.000	5.000	1.000
Custo de diesel (R\$/mês)	9.080,00	11.350,00	2.270,00

Segundo os dados da tabela 3.5 se trabalhássemos com a escavadeira modelo R220LC-9 ($1,2 \text{ m}^3$) ao final de 1 ano de operação teríamos uma economia de R\$ 72.000,00 no aluguel do equipamento e R\$ 27.240,00 no custo anual do diesel. Totalizando uma economia anual de R\$ 99.240,00.

4.5.2 – DIMENSIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS PARA A OPERAÇÃO DE TRANSPORTE DE ESTÉRIL

A metodologia utilizada para descobertura dos depósitos de gipsita apresenta-se da seguinte forma: primeiro ocorre a escavação mecânica direta da cobertura estéril com escavadeira hidráulica e em seguida o carregamento de caminhões de pequeno porte.

O estudo para o dimensionamento de transporte do material estéril foi realizado em duas etapas. A primeira etapa foi considerando o método de lavra atual, *Open Pit Mining*, situação em que a pilha de estéril, “bota-fora”, situa-se fora da cava a cerca de 710 metros da área a ser decapeada.

Na segunda etapa o material estéril é colocado dentro da cava a uma distância média de 403 metros da área a ser decapeada utilizando como o método de lavra o *Terrace Mining*.

4.5.2.1 - Dimensionamento do transporte do estéril pelo método de lavra open Pit Mining.

A especificação dos caminhões que operam na mineração é do fabricante *Volkswagem*, modelo 31320, capacidade nominal de 16 m³. Atualmente existem 4 unidades operando na mina de forma terceirizada.

No trabalho de campo foi realizada a medição dos tempos de ciclo dos caminhões considerando uma distância média de 710 metros do banco de descobertura até a pilha de material estéril. A escavadeira utilizada para medição dos tempos foi a R330LC-9S (1,7 m³).

Aplicado os conceitos básicos de dimensionamento de transporte para dimensionar o tempo de ciclo de um caminhão basculante, teremos os seguintes fatores:

- a) Tempo de carga do caminhão na descobertura (TCD) = 4,0 min.
- b) Tempo de percurso de ida (TPI) = 4,3 min.
- c) Tempo de basculamento (TB) = 1,36 min.
- d) Tempo de percurso de volta (TPV) = 2,31 min.
- e) Tempo de espera (TE) = 4 min.

- A base de dados para o cálculo do tempo de ciclo encontra-se na tabela 3.2 em anexo.

Logo o cálculo do tempo de ciclo (TC) do caminhão é dado pela expressão matemática abaixo:

$$TC = a + b + c + d + e.$$

$$TC = 4,0 \text{ min.} + 4,3 \text{ min.} + 1,36 \text{ min.} + 2,31 \text{ min.} + 4,00 \text{ min.} = \mathbf{15,97 \text{ min.}}$$

- Tempo de ciclo da escavadeira = 0,34 min.
- Capacidade da caçamba da carregadeira (q_1) = 1,7 m³
- Fator de enchimento da caçamba, considerando o material uma argila compacta (k) = 0,8.
- Capacidade de volume nominal do caminhão (C_1) = 16 m³.

Cálculo do número de ciclos da escavadeira para carregar 1 caminhão:

$$N = \frac{C_1}{q_1 \times k} = \frac{16 \text{ m}^3/\text{ciclo}}{(1,7 \text{ m}^3/\text{ciclo}) \times (0,8)} = \mathbf{11,76 \text{ ciclos}}$$

De acordo com PINTO, L.R. (1999), a formulação básica para cálculo do número de caminhões necessários por escavadeira utilizada na produção pode ser definido por:

$$N_{\text{cam}} = \frac{T_{\text{ciclo}}}{T_{\text{carga}}} * \frac{E_{\text{cam}}}{E_{\text{carreg}}}$$

Onde:

T_{ciclo} (tempo do ciclo de transporte) = 15,97 min/ciclo.

T_{carga} (tempo de carregamento do caminhão) = 4 min.

E_{carreg} (eficiência da operação de carregamento) = 0,7

E_{cam} (eficiência da operação de transporte) = 0,8

Substituindo as variáveis pelos valores determinados no levantamento de campo realizado na mina Ponta da Serra temos a seguinte necessidade de caminhões para transporte do rejeito da cobertura

$$N_{\text{cam}} = \mathbf{4,5 \text{ caminhões}}$$

Neste caso a frota de caminhão necessária para atender a produção desejada é de 5 caminhões com capacidade de 16 m^3 , operando um regime de 25 dias/mês, com 8 horas diária de trabalho.

É importante para o estudo determinar o número de viagens por dia que os caminhões devem executar. Haja vista, que os custos são realizados por viagem de caminhão.

Cálculo do número de viagens por dia dos caminhões:

Produção diária de estéril (m^3/dia)

(Capacidade de transporte do caminhão (m^3) x fator de carga do caminhão)

$$\frac{929,63 \text{ m}^3/\text{dia}}{(16\text{m}^3/\text{ciclo}) \times 0,8} = \mathbf{72,62 \text{ ciclos/dia}}$$

Na mineração os caminhões, assim como os maquinários também são terceirizados e o valor do frete é de R\$ 18,50 por viagem para uma distância de até 1000 metros. Na expressão matemática acima foi calculado o número de viagens por dia que os caminhões devem realizar para atender a produção desejada. Considerando o valor de R\$ 18,50 por viagem o custo mensal de frete com caminhão será de **R\$ 33.586,75** e conseqüentemente o custo anual é de **R\$ 403.041,00**.

4.5.2.2 - Dimensionamento do transporte estéril pelo método de lavra Terrace Mining

Para o método de lavra *Terrace Mining* o parâmetro fundamental que será modificado é a distância média de transporte, que será de 403 metros até a área de descarga do material estéril (figura 3.9 em anexo).

Esta área está localizada dentro do *Pit* nos locais que o minério já foi explorado. A operação de escavação será realizado pela escavadeira R330LC-9S (1,7 m³).

Aplicado os conceitos básicos de dimensionamento de transporte para dimensionar o tempo de ciclo de um caminhão basculante, teremos os seguintes fatores:

- a) Tempo de carga do caminhão na descobertura (TCD) = 2,28 min.
- b) Tempo de percurso de ida (TPI) = 1,27 min.
- c) Tempo de basculamento (TB) = 1,01 min.
- d) Tempo de percurso de volta (TPV) = 1,2 min.
- e) Tempo de espera (TE) = 3,06 min.

- A base de dados para o cálculo do tempo de ciclo encontra-se na tabela 3.3 em anexo.

Logo o cálculo do tempo de ciclo (TC) do caminhão é dado pela expressão matemática abaixo:

$$TC = a + b + c + d + e.$$

$$TC = 2,28 \text{ min.} + 1,27 \text{ min.} + 1,01 \text{ min.} + 1,2 \text{ min.} + 3,06 \text{ min.} = \mathbf{8,82 \text{ min/ciclo.}}$$

- Tempo de ciclo da escavadeira = 0,34 min.
- Capacidade da caçamba da carregadeira (q1) = 1,7 m³
- Fator de enchimento da caçamba, considerando o material uma argila compacta (k) = 0,8.
- Capacidade de volume nominal do caminhão (C1) = 16 m³.

Cálculo do número de ciclos da escavadeira para carregar 1 caminhão:

$$N = \frac{C1}{q1 \times k} = \frac{16 \text{ m}^3/\text{ciclo}}{(1,7 \text{ m}^3/\text{ciclo}) \times (0,8)} = \mathbf{11,76 \text{ ciclos}}$$

O número de caminhões necessários por escavadeira utilizada na produção pode ser definido por:

$$N_{\text{cam}} = \frac{T_{\text{ciclo}}}{T_{\text{carga}}} * \frac{E_{\text{cam}}}{E_{\text{carreg}}}$$

Onde:

T_{ciclo} (tempo do ciclo de transporte) = 8,82 min/ciclo.

T_{carga} (tempo de carregamento do caminhão) = 3,01 min.

E_{carreg} (eficiência da operação de carregamento) = 0,7

E_{cam} (eficiência da operação de transporte) = 0,8

Substituindo as variáveis pelos valores determinados no levantamento de campo realizado na mina Ponta da Serra temos a seguinte necessidade de caminhões para transporte do rejeito da cobertura

$$N_{\text{cam}} = \mathbf{2,93 \text{ caminhões}}$$

Neste caso a frota de caminhão necessária para atender a produção desejada é de 3 caminhões. Portanto é necessário 3 caminhões caçamba com capacidade de 16 m³, operando um regime de 25 dias/mês, com 8 horas diária de trabalho.

Cálculo do número de viagens por dia dos caminhões =

Produção diária de estéril (m³/dia)

(Capacidade de transporte do caminhão (m³) x fator de carga do caminhão)

$$\frac{929,63 \text{ m}^3/\text{dia}}{(16 \text{ m}^3/\text{ciclo}) \times 0,8} = \mathbf{72,62 \text{ ciclos/dia}}$$

Desta forma, considerando o valor de R\$ 18,50 por viagem o custo mensal de frete com caminhão será de **R\$ 33.586,75** e consequentemente o custo anual é **de R\$ 403.081,70** igual ao praticado pelo método de lavra *Open Pit Mining*.

Podemos observar que tanto para o método lavra *Open Pit Mining* quanto para o método de lavra *Terrace Mining* trabalhando com locações de caminhões para um percurso de até 1000 metros o valor pago por viagem não varia (R\$ 18,50). Logo o custo total mensal com transporte também permanece constante de **R\$ 33.586,75**.

Baseado nos dados de consumo de óleo diesel informado pela empresa terceirizada responsável pelo transporte para o período de 1 mês, considerando uma distância de 1000 m, foi realizado uma estimativa do consumo para os 4 caminhões (tabela 4.6). As distâncias estimadas foram 710 m (*Open Pit Mining*) e 403 m (*Terrace Mining*).

Tabela 4.6 – Tabela comparativa do consumo de diesel dos caminhões

Fonte: Flávia de Freitas Bastos, 2013.

Placas dos caminhões	(Km/L)	<i>Open Pit Mining</i> (710m) R\$ / viagem	<i>Open Pit Mining</i> (710m) R\$ / ciclo	<i>Terrace Mining</i> (403m) R\$ / viagem	<i>Terrace Mining</i> (403m) R\$ / ciclo
PEI -1796	1,33	R\$ 1,21	R\$ 2,43	R\$ 0,69	R\$ 1,38
PEI -1926	1,20	R\$ 1,35	R\$ 2,69	R\$ 0,76	R\$ 1,53
PEX -7060	0,60	R\$ 2,68	R\$ 5,35	R\$ 1,52	R\$ 3,04
PEX -7370	0,77	R\$ 2,09	R\$ 4,18	R\$ 1,19	R\$ 2,37
Média aritmética	0,97	R\$ 1,83	R\$ 3,66	R\$ 1,04	R\$ 2,08
* considerando o valor unitário do diesel R\$ 2,27					

Considerando o número de 73 ciclos por dia multiplicado pelo custo da viagem do caminhão aplicado aos dois métodos de lavra. O custo com o óleo diesel seria de R\$ 267,18/dia para o Método *Open Pit Mining* e R\$ 151,84 para o método *Terrace Mining*. Esta diferença implica em uma redução de 57% no custo de óleo diesel.

Segundo informações da empresa INGESEL Ltda que é responsável pela locação dos caminhões, o custo com o combustível representa cerca de 49% do custo total gasto nos caminhões. Neste caso, com esta redução de custo com o óleo diesel o contrato de locação dos caminhões poderia ser renegociado.

Considerando uma redução de 40% no o frete do caminhão teríamos o valor de R\$ 11,10 por viagem. Logo o custo mensal com o transporte de estéril seria de R\$ 20.257,00. Ocasionalmente uma redução de R\$ 13.329,00 por mês e uma redução anual de **R\$ 159.951,00**.

No caso da mineração realizar o transporte com frota própria reduziria a necessidade de aquisição de 2 caminhões. Segundo a *Volkswagem* o preço de aquisição de um caminhão é de R\$ 220.000,00 acrescido do valor da caçamba R\$ 60.000,00, totalizando o valor de R\$ 280.000,00 por caminhão.

Para se fazer o nivelamento e estabilização do talude da pilha de estéril é necessário um trator de esteira, equipado com lâmina e escarificador. Atualmente a mineração não utiliza o trator para esta operação. O material estéril que é basculhado pelos caminhões é apenas "empurrado" para baixo por uma pá carregadeira W20E durante umas 6 horas de operação da mina.

Neste caso fazendo-se a locação de um trator disponível na região marca Komatsu modelo D-51EX-22, com potência líquida no volante de 130 Hp. O custo de locação é de R\$ 100,00 por hora. Consumo de 15 l/h de óleo *diesel*.

Segundo LEVI.A, 2008, a produção horária de um trator de esteira em operação é dada pela seguinte equação:

$$Q \text{ (m}^3\text{/h)} = \frac{q \times 60 \times E}{T_c} \text{ onde,}$$

- ✓ q (produção por ciclo).
- ✓ T_c (tempo médio de ciclo).
- ✓ E (eficiência de trabalho).

A produção por ciclo para operações de laminação é calculada da seguinte forma:

$$q = L \times H^2 \times a$$

$$q = 3,35 \text{ m} \times (1,11 \text{ m})^2 \times 0,8$$

$$q = \mathbf{3,3 \text{ m}^3}$$

- ✓ L (largura da lâmina em metros) = 3,35 m
- ✓ H (altura da lâmina em metros) = 1,11 m.
- ✓ a (fator de lâmina) = 0,8

- Os dados acima foram obtidos no catálogo da *Komatsu* e o fator de lâmina (a) é determinado pelo tipo do material. O fator escolhido foi de 0,8, para o nível de operação de lâmina classificado como médio.

A determinação do tempo de ciclo do trator (laminação, retorno e mudança de velocidade) é calculado através da seguinte fórmula:

$$T_c = \frac{D}{F} + \frac{D}{R} + Z = \frac{20}{41,6} + \frac{20}{66,6} + 0,10 = \mathbf{0,88 \text{ min.}}$$

Com os valores obtidos da produção por ciclo e do tempo de ciclo do equipamento podemos calcular a produtividade real do trator de esteira:

$$Q (\text{m}^3/\text{h}) = \frac{q \times 60 \times E}{T_c} \text{ onde,}$$

- ✓ $q = 3,3 \text{ m}^3$
- ✓ $T_c = 0,88 \text{ min.}$
- ✓ $E = 0,75$

Substituindo os valores acima, determinamos o valor de Q:

$$Q (\text{m}^3/\text{h}) = \mathbf{168,65 \text{ m}^3/\text{h}}$$

Considerando o volume mensal de estéril empolado a ser removido de 23.240,99 m³/mês. Neste caso, dividindo o valor do volume mensal a ser removido pela produtividade do trator (Q), obtemos o valor de **137,8 horas** mensais de operação.

O custo mensal de locação do equipamento é de R\$ 13.780,00 e o custo com óleo diesel será de R\$ 4.692,1.

4.5.3– DIMENSIONAMENTO DO DESMONTE DE ROCHA

Segundo RICARDO et tal, o desmonte de rochas é feito com técnicas específicas e que consistem em perfurar o maciço rochoso, introduzir explosivo nas perfurações, detoná-lo e, finalmente, remover o material. Essas fases compõem o ciclo do desmonte de rochas.

O desmonte de rocha tem como objetivo de produzir 20.000 t/mês ou 8.695,65 m³ de gipsita.

4.5.3.1 - *Desmonte de rocha aplicado aos métodos de lavra open Pit Mining e Terrace Mining.*

Os mesmos parâmetros da operação de desmonte de rochas podem ser aplicados tanto ao método de lavra *Open Pit Mining* quanto ao método de lavra *Terrace Mining*. Pois ambos os métodos trabalham com bancadas simples ou múltiplas bancadas.

Atualmente na mineração o desmonte é realizado em duas bancadas de minério. A separação das bancadas ocorre em função do tipo de minério. A primeira bancada é composta de minério tipo A (Cocadinha, Rapadura, Estrelinha e *Jonhson*).

O minério tipo A afere ao gesso uma coloração mais branca e com um tempo de pega mais lento (gesso de revestimento). A altura média da bancada é de 8 metros.

A segunda bancada é composta por minério tipo B (minério do piso) que é utilizado para se fazer o gesso de fundição que possui uma coloração mais escura que o gesso tipo A e com um tempo de pega mais rápido. A altura média destas bancadas é de 3 metros de altura. A demanda deste tipo de minério no mercado é baixa em relação ao minério tipo A. Este fator implica em velocidades de exploração diferentes para as duas bancadas.

RICARDO *et tal*, afirma que as bancadas são formadas durante o desmonte de rochas e correspondem a uma conformação do maciço favorável ao arranchamento de fatias de rocha em cada ciclo. Na bancada temos três superfícies características:

- Praça – local no qual operam os equipamentos de carga (escavadeiras ou pás-carregadeiras) e transporte.
- Face – superfície vertical ou levemente inclinada deixada pelo desmonte das fatias.
- Topo – local onde operam os equipamentos de perfuração, que abrem uma série de furos no maciço para detonação da próxima fatia de rocha cuja espessura é de alguns metros. Assim de fatia em fatia, vai-se avançando o corte do maciço rochoso.

Na mineração o desmonte era realizado em uma única bancada, o que resultava quase sempre em bancadas muito altas e a seleção do minério era realizada através de catação manual.

Atualmente prefere-se criar 2 bancadas sucessivas, sendo a praça da bancada superior o topo da bancada inferior. Com esse procedimento fica esculpida no maciço rochoso 2 degraus.

Na operação unitária de perfuração a mineração dispõem da locação de 2 tipos de perfuratrizes: *Wagondrill* e a *Rockdrill*.

A *Wagondrill* é uma associação da perfuratriz, de um avanço de corrente e de uma estrutura de suporte dotada de 4 rodas com pneumático e uma barra de tração. Este equipamento possui facilidade de deslocamento proporcionada pela estrutura sobre pneus e de ser tracionado por um trator, soma-se o fato de permitir o emprego de perfuratrizes pesadas e de furo baixo. Neste caso a perfuratriz presa a placa deslizante do avanço de corrente é substituída por um motor de rotação.

A vantagem do *Wagondrill* ocorre sobre a perfuração manual é que ela pode produzir perfurações inclinadas em ângulos que variam geralmente de 40 graus até vertical. Este fato é muito importante quando se trabalha com faces de bancadas inclinadas e não vertical. O *Wagondrill* trabalha com brocas de extensão, isto é, aumenta-se o comprimento da broca pela adição de hastes parafusadas. Os comandos são centralizados, permitindo ao operador um controle muito fácil sobre a máquina.

O diâmetro de trabalho é de 2,5" a desvantagem é que a pressão de trabalho de ar comprimido é de 150 psi (10,5 kg/ cm²) contra 80 psi (5,6 kg/ cm²) das perfuratrizes tradicionais.

O *Rockdrill* apresenta tração própria. É o tipo de perfuratriz de maior aceitação para os trabalhos gerais de escavação de rocha s céu aberto tem a unidade tratora especialmente construída para receber o avanço e a perfuratriz. É um trator de esteiras, acionado por um motor a ar comprimido. Este equipamento possibilita perfurações em vários ângulos e na horizontal. Por ser dotado de esteiras permite seu deslocamento em terrenos íngremes e desfavoráveis. Os pistões hidráulicos do sistema de posicionamento de avanço dão ao equipamento muita rapidez no preparo para deslocamentos e início de um novo furo. O diâmetro de perfuração é de 2,5". Para a operação das perfuratrizes é necessário o 2 pessoas. Uma pessoa opera o equipamento enquanto o outro funcionário auxilia na troca das hastes.

Com os dados obtidos no trabalho de campo foi possível avaliar o melhor custo-benefício para escolha de locação do equipamento. Para isto foram realizadas as medições dos tempos de ciclos do *Rockdrill e do Wagondrill*.

O custo de locação do *Wagondrill* mais o compressor é de R\$115,00 por hora, o consumo de óleo diesel é de aproximadamente 9 l/h.

Para o *Rockdrill* o custo de locação é de R\$140,00 por hora, com o óleo diesel incluso.

A tabela abaixo apresenta os dados comparativos de tempo médio de perfuração para as hastes dos equipamentos *Rockdrill e do Wagondrill*.

Na operação de perfuração são utilizadas um jogo de 4 hastes. O comprimento da haste é de 3 metros.

Tabela 4.8 – Tempo de perfuração das hastes.

Fonte: Walmir Pires dos Santos Neto – Relatório de Estágio Mineração Royal Gipso Ltda – 2012.

MÉDIA DOS TEMPOS DAS HASTES	<i>Rockdrill</i>	<i>Wagondrill</i>
Haste 1	0:03:00	0:08:48
Haste 2	0:02:44	0:09:12
Haste 3	0:02:56	0:09:46
Haste 4	0:02:36	0:12:14

Foi observado que o *Rockdrill* perfurou 123 metros em 2 (duas) horas, logo o custo total de perfuração foi de R\$280,00. Para o *Rockdrill* foi calculado o custo unitário de R\$ 2,28 por metro perfurado. O *Wagondrill* perfurou próximo de 105 metros em 6 horas de operação, totalizando um valor de R\$ 744,00 (R\$ 690,00 locação do *Wagondrill* + compressor e R\$ 54,00 de óleo *diesel*). Para o *Wagondrill* foi constatado o custo unitário de R\$ 7,09 por metro perfurado.

A tabela 4.9 retrata os principais dados obtidos em campo para que fosse possível fazer uma comparação entre as perfuratrizes a fim de se determinar qual a perfuratriz mais econômica.

Tabela 4.9- Dados comparativos entre as perfuratrizes.

Fonte: Walmir Pires dos Santos Neto – Relatório de Estágio Mineração Royal Gipso Ltda – 2012.

ROCKDRILL	WAGONDRILL
Total de metros perfurados (m)	Total de metros perfurados (m)
123	105
Tempo Total de Deslocamento	Tempo Total de Deslocamento
1:08:15	0:55:12
Tempo Total de Troca	Tempo Total de Troca
0:27:31	0:13:47
Tempo Efetivamente Perfurante	Tempo Efetivamente Perfurante
1:59:01	5:59:25
Tempo Total	Tempo Total
3:34:47	7:08:24
Velocidade de perfuração global (m/h)	Velocidade de perfuração global (m/h)
34,36	14,71

Baseados nos resultados dos dados acima a perfuratriz escolhida para operação de perfuração é a *Rockdrill* com um custo unitário de R\$ 2,28 por metro perfurado.

O cálculo do custo da perfuração é feito multiplicando-se o número de furos pela metragem perfurada e o resultado é multiplicado pelo valor unitário da perfuração R\$ 2,28/m perfurado.

4.5.4 – DIMENSIONAMENTO DA FRAGMENTAÇÃO SECUNDÁRIA

Conforme foi explanado no capítulo anterior a mineração Royal Gipso utiliza retroescavadeira, modelo 416 E da fabricante *Caterpillar*, ano de fabricação 2011 (figura 4.8)



Figura 4.8 – Fragmentação secundária do minério.

Fonte: Flávia de Freitas Bastos, 2013.

Estes equipamentos são fabricados com as caçambas voltadas para baixo que neste caso são substituídas por martelos hidráulicos. Os martelos acoplados na retroescavadeira são da fabricante *sandivic*.

O tempo de ciclo deste equipamento foi medido da seguinte forma: a pá carregadeira espalhou uma determinada quantidade de minério na praça da mina e em seguida foi iniciado o cronômetro com o início da fragmentação secundária do minério.

O tempo total de fragmentação foi equivalente a 1 turno de operação, com apenas uma parada para lubrificação do martelo hidráulico.

O minério fragmentado foi quantificado a partir da pesagem dos caminhões que foram pesados na balança da mina. A tabela abaixo apresenta os valores das pesagens do caminhão e a produtividade do equipamento.

Tabela 4.10 – Produtividade da retroescavadeira acoplada com martelos hidráulicos.

Fonte: Flávia de Freitas Bastos, 2013.

Placa	Pesagem do caminhão (t)
KGW 0819	17,7
PEI 1926	23,9
KKO 9040	18,0
KJI 2558	18,6
KFZ 3907	22,1
KGW 0819	20,0
PEI 1926	20,1
KKO 9040	19,9
KFZ 3907	20,0
Produção total (t)	180,3
Tempo total de fragmentação (h)	3,9
Produtividade (t/h)	46,5

Considerando um regime de trabalho de 8 h/dia e 25 dias/mês, pode se concluir quantos equipamentos seriam necessários para atender a produção mensal de 20.000t.

$$\text{N}^\circ \text{ de equipamentos} = \frac{\text{Produção horária de minério}}{\text{Produção horária da pá carregadeira}} = \frac{100 \text{ t/h}}{46,5 \text{ t/h}} = \mathbf{2,2 \text{ unidades.}}$$

Podemos concluir 2 retroescavadeiras trabalhando durante 8h e mais um equipamento durante 10 minutos por dia para completar a produção desejada de minério.

O custo de locação da máquina 416 E é de R\$ 65,00 por hora e o consumo médio de diesel é de 8,5 l/h.

A mineração Royal Gipso dispõem de 2 retroescavadeiras 416 E e uma escavadeira hidráulica da fabricante Case, modelo CX220B-7, ano 2011 que esporadicamente pode ser utilizada ora para fragmentação secundária ou trocando o martelo pela concha de 1,2 m³ auxiliando no desmonte do minério. Esta máquina trabalharia cerca de 10 minutos para complementar a produção.

O custo de locação da máquina escavadeira CX220B-7 é de R\$100,00 por hora e o consumo médio de diesel é de 16 l/h.

4.5.5 – DIMENSIONAMENTO DO CARREGAMENTO DO MINÉRIO

O método de carregamento do minério utilizará pás carregadeiras sobre rodas com capacidade de caçamba 1,91 m³. Considerando a densidade da gipsita de 2,3 t/m³, logo a tonelagem de gipsita será de 4,39 t por caçamba.

A capacidade de produção do equipamento de carregamento pode ser estimada a partir da equação abaixo:

$$Q = \frac{q \times 60 \times E}{T_c}$$

Ce: coeficiente de enchimento da caçamba = 0,6.

q: produção por ciclo = 1,91 m³ x 0,6 = 1,15 m³

E: eficiência mecânica = 0,75.

Tc: tempo de ciclo mínimo = 1 min

- Parâmetros utilizados de acordo com o catálogo da CASE.

Substituindo os valores dos parâmetros acima obtemos a seguinte capacidade horária da máquina:

$$Ch = \frac{1,15 \times 60 \times 0,6}{0,5} = 83 \text{ m}^3/\text{h} \text{ ou } 188 \text{ t/h.}$$

Considerando um regime de trabalho de 8 h/ dia e 25 dias/ mês, pode se concluir quantos equipamentos seriam necessários para atender a produção mensal de 20.000t.

$$\text{N}^\circ \text{ de equipamentos} = \frac{\text{Produção horária de minério}}{\text{Produção horária da pá carregadeira}} = \frac{100 \text{ t/h}}{188 \text{ t/h}} = \mathbf{0,6 \text{ unidades.}}$$

Podemos concluir 1 pá – carregadeira seria suficiente para fazer a operação de carregamento do minério.

A mineração Royal Gipso dispõem de 2 pás carregadeiras (W20-02 e W20-03), uma para operação de carregamento do minério e a outra para espalhar o minério no praça da mina para operação de fragmentação secundária com os rompedores hidráulicos.

Os modelos das pás carregadeiras utilizados são: W20, ano 2011 da fabricante CASE. A capacidade da caçamba é de 1,91 m³.

O custo de locação das pás carregadeiras é de R\$ 70,00 por hora e seguindo o padrão de locação o óleo diesel não está incluso no preço. O consumo de óleo diesel para a pá carregadeira é de 13 l/h. A partir destes valores foi determinado o custo mensal de locação de uma pá carregadeira é de R\$ 14.000,00 acrescida do óleo diesel R\$ 5.902,00. O custo total por mês é de R\$ 19.902,00 por equipamento.

Com o objetivo de comparar e verificar o equipamento mais eficiente para a operação de carregamento o tempo de ciclo foi medido alternando o carregamento do minério com as pás carregadeiras W20-02 e W20-03.

O tempo de ciclo foi medido como sendo o tempo que o equipamento leva para carregar 1 caminhão. Com o caminhão carregado, o segundo passo foi à pesagem do caminhão. No campo foram coletadas 15 amostras de cada equipamento.

Nas tabelas 4.11 e 4.12 estão os dados dos tempos de ciclo das pás carregadeiras e a produtividade de cada equipamento.

Tabela 4.11 – Tempo de ciclo W20-03

Fonte: Flávia de Freitas Bastos, 2013.

Tempo de ciclo de pá - carregadeira W20 – 03		
Placa do caminhão	Tempo (minutos)	Peso (t)
DAJ 8255	06:08	18,65
KFZ 3907	08:52	22,10
KKO 9040	07:16	18,50
DAJ 8255	06:13	18,20
KKB 9789	05:30	17,20
KGW 0819	06:00	21,03
PEI 7370	07:10	23,33
DAJ 8255	06:28	19,51
KGW 0819	06:28	19,98
DAJ 8255	05:58	18,87
KIC 9703	09:54	19,62
KKO 9040	05:38	18,65
MYK 5198	05:38	19,50
KIC 9703	04:58	19,64
MYK 5198	07:21	19,40
Média	06:38	19,61
Produtividade	t / h	177,36

Tabela 4.12 – Tempo de ciclo W20-02

Fonte: Flávia de Freitas Bastos, 2013.

Tempo de ciclo de pá - carregadeira W20 – 02		
Placa do caminhão	Tempo (minutos)	Peso (t)
KKB 9789	04:31	17,80
KGW 0819	05:13	18,49
KFZ 3907	09:08	22,10
DAJ 8255	05:00	18,81
PEI 1926	05:54	23,50
DAJ 8255	04:39	18,81
KFZ 3907	07:30	22,10
KKO 9040	04:34	20,03
KKB 9789	04:00	17,60
DAJ 8255	05:24	19,06
KFE 3907	12:26	22,10
KGW 0819	06:41	19:29
MYK 9559	07:24	19,64
HWE 6108	06:14	19,50
KKO 9040	07:35	19,50
Média	06:24	18,66
Produtividade	t / h	174,93

Neste caso de acordo com a análise dos dados, ambas as pás carregadeiras poderiam se escolhidas para fazer o carregamento do minério, sendo que a W20-03 apresentou uma melhor produtividade.

4.5.6. RESUMO DOS EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS À LAVRA PARA O MÉTODO OPEN PIT MINING E TERRACE MINING

Para operação da Mineração Royal Gipso dentro dos parâmetros especificados na presente dissertação segue abaixo a relação de equipamentos necessários à extração de 20.000 t/mês de gipsita fragmentada.

Tabela 4.13 – Descrição dos equipamentos necessários aos 2 métodos de lavra.**Fonte:** Flávia de Freitas Bastos, 2013.

<i>Método Open Pit Mining</i>		<i>Método Terrace Mining</i>	
Equipamento	Quantidade	Equipamento	Quantidade
Compressor XAS 420	01	Compressor XAS 420	01
Compressor XATS	00	Compressor XATS	00
<i>Wagondrill</i>	00	<i>Wagondrill</i>	00
<i>Rockdrill</i>	01	<i>Rockdrill</i>	01
<i>Escavadeira hidráulica</i>	01	<i>Escavadeira hidráulica</i>	01
<i>Caminhões tipo caçamba (16m³)</i>	05	<i>Caminhões tipo caçamba (16m³)</i>	03
<i>Retroescavadeiras 416 E</i>	02	<i>Retroescavadeiras 416 E</i>	02
<i>Escavadeira hidráulica CX220B-7</i>	01	<i>Escavadeira hidráulica CX220B-7</i>	01
<i>Pá carregadeira Case</i>	02	<i>Pá carregadeira Case</i>	02
<i>Trator de Lâmina Frontal</i>	01	<i>Trator de Lâmina Frontal</i>	01

Pode-se observar na tabela acima que a quantidade de equipamentos para os dois métodos não varia, exceto o número de caminhões que são utilizados no transporte do material estéril.

Se houvesse a necessidade de aquisição de equipamentos, considerando o valor total do caminhão de R\$ 280.000,00. Existiria uma economia de R\$ 560.000 relativo a diferença entre os dois caminhões não seriam utilizados pelo método de lavra *Terrace Mining*.

4.6 – LEVANTAMENTO DOS CUSTOS DE PRODUÇÃO

Souza, C.J, afirma que o custo unitário de produção se refere ao valor gasto para obtenção de 1 tonelada de minério na mina (custo unitário de mineração) ou a 1 tonelada de concentrado de minério (custo unitário do beneficiamento) . O custo unitário de produção é o somatório dos custos de mineração mais o custo de beneficiamento do minério ROM.

No caso da mineração Royal Gipso Ltda o custo total será apenas o custo referente à extração do minério, já que o empreendimento contempla apenas a extração mineral.

$$C = \frac{\text{Despesa total (R\$)}}{\text{Produção (toneladas)}} = \frac{D1 + D2}{P}$$

Onde:

D1 = despesa com salários + encargos sociais.

D2 = despesas com material de consumo e juros.

O custo de mineração pode ser subdividido em:

- ✓ mão de obra de operação;
- ✓ mão de obra da administração;
- ✓ material de consumo (explosivo, óleo diesel, etc);
- ✓ serviços internos (transporte, execução de acessos, etc);
- ✓ consumo de eletricidade;
- ✓ serviço de superfície (manutenção em geral);
- ✓ depreciações dos equipamentos;
- ✓ encargos financeiros; e
- ✓ despesas tributárias.

No caso da mineração Royal Gipso todos os equipamentos são terceirizados, logo os custos com depreciação de equipamentos não estão incluídos nos cálculos.

O custo operacional da mineração foi apropriado separadamente por setores de trabalho, tais como:

- Setor de decapeamento;
- Setor de exploração do minério;
- Setor de serviços administrativo (mão de obra indireta);
- Setor de serviços auxiliares de produção (mão de obra direta).

O custo operacional de cada setor é isento das despesas relativas à depreciação dos equipamentos, amortização de capital, impostos e encargos financeiros.

Os custos podem ser subdivididos em direto e indireto. Os custos diretos são: desmonte do minério; decapagem de estéril, beneficiamento, expedição e serviços auxiliares de produção. Já os custos indiretos podem ser classificados da seguinte forma: serviços administrativos, manutenção e transporte externo.

Para se fazer o levantamento do banco de dados dos custos da mineração o conceito foi baseado método de custeio por absorção.

O sistema de custeio por absorção é aquele sistema que apura o valor dos custos dos bens ou serviços, tomando como base todos os custos da produção.

MEGLIONE, define que o custeio por absorção é o método que consiste em atribuir aos produtos fabricados todos os custos de produção, quer de forma direta ou indireta. Assim todos os custos, sejam eles fixos ou variáveis, são absorvidos pelos produtos.

O sistema de custeio por absorção apropria todos os custos da área de fabricação. Os custos diretos são apropriados mediante apontamento de forma objetiva e os custos indiretos são apropriados através de rateio.

A principal distinção existente no uso do custeio por absorção é entre custos e despesas. A separação é importante porque as despesas são jogadas imediatamente contra o resultado do período, enquanto que apenas os custos relativos aos produtos vendidos terão o mesmo tratamento. Já os custos relativos aos produtos em elaboração e aos produtos acabados que não tenham sido vendidos são ativados nos estoques destes produtos.

Para CREPALDI, o custeio por absorção é o método derivado da aplicação dos princípios fundamentais de contabilidade e é, no Brasil, adotado pela legislação comercial e pela legislação fiscal. Nesse sentido reconhece todos os custos de produção como despesas somente no momento da venda, demonstrando de forma mais apropriada a confrontação entre receita e despesa, na apuração do resultado. Por este motivo é aceito pelo fisco brasileiro.

MEGLIONE, escreve que a dificuldade que encontramos para alocar custos indiretos reside na definição da base de rateios a ser utilizada, pois é uma tarefa que envolve aspectos subjetivos e arbitrários. Se o critério adotado não for bem consistente, o resultado de custos ficará por certo deficiente para atender aos fins a que se propõem. Nesse sentido, o gestor de custos ficará “amarrado” pelo próprio sistema.

Baseado no banco de dados de controle de produção da empresa Royal Gipso Ltda foi levantado os custos de produção mensal para o primeiro semestre de 2013. Assim como a produção mensal de gipsita (tabela 3.14 em anexo).

Detalhamento dos custos da tabela 4.14 para o método *Open Pit Mining*, 1° semestre de 2013:

- ✓ Operação de decapagem: 1 escavadeira R330LC-9S de 1,7 m³, 4 caminhões traçados de 16 m³ e 1 pá carregadeira Case de 1,9 m³ (a mesma utilizada para espalhar o minério na praça). O custo do óleo diesel foi relativo à escavadeira e a pá carregadeira.
- ✓ Operação de exploração do minério: *Rockdrill*, *Wagondrill*, 2 pás carregadeiras Case 1,9 m³, 2 retroescavadeiras 416 E com rompedores hidráulicos, 1 escavadeira com rompedor hidráulico CX220B-7, O custo do óleo diesel foi relativo a todos os equipamentos citados para esta operação.
- ✓ Mão de obra direta: contempla, 4 auxiliares de produção e 1 *Blaster*.
- ✓ Mão de obra indireta: contempla 1 Engenheiro, 1 Gerente de produção e 1 vigia.
- ✓ Outros gastos: contempla energia elétrica, refeição, frete de combustível e mapa do exército.
- ✓ Impostos: Simples Nacional, *Royalties* do terreno, CFEM (compensação financeira por extração mineral).
- ✓ Despesas administrativas: pró-labore, internet, água, segurança do trabalho, acessória jurídica e acessória contábil.

Para o método de lavra *Terrace Mining* segue abaixo o detalhamento dos custos que foram modificados:

- ✓ Operação de decapagem: 1 escavadeira modelo R220LC-9 de 1,2 m³, 3 caminhões traçados de 16 m³ inicialmente com frete de R\$ 18,50 e logo em seguida com frete de R\$ 11,1. Na pilha de estéril, 1 trator de esteira de lâmina frontal. O custo do óleo diesel foi relativo à escavadeira e a trator de esteira.

- ✓ Operação de exploração do minério: *Rockdrill*, 2 pás carregadeiras Case 1,9 m³, 2 retroescavadeiras 416 E com rompedores hidráulicos, 1 escavadeira com rompedor hidráulico CX220B-7, O custo do óleo diesel foi relativo a todos os equipamentos citados para esta operação. Para os outros custos não houve modificação.

Com o levantamento do banco de dados dos custos da empresa foi possível fazer um comparativo entre o percentual dos custos diretos e indiretos de produção do que foi praticado no primeiro semestre na mineração pelo método de lavra *Open Pit Mining* e o que será praticado utilizando o método de lavra *Terrace Mining* com a adequação dos equipamentos dimensionados na dissertação e uma possível negociação do valor do frete dos caminhões.

4.7– DIMENSIONAMENTO DA ÁREA PARA A DISPOSIÇÃO DE MATERIAL ESTÉRIL.

SOUZA. J.C, 2001, afirma que em operações mineiras, o problema de deposição temporária ou permanente de materiais estéreis é encontrado para material grosseiro ou fino, assim como para a descobertura e material descartado no processamento mineral. Usualmente são necessárias áreas superficiais de terreno a menos que se possa realizar o reenchimento das áreas já mineradas dentro da mina.

No caso da mineração *Royal Gipso* a disposição de rejeitos da cobertura ou material estéril, o material é colocado fora dos limites da cava e o local escolhido é o mais próximo possível para reduzir o custo de transporte sem interferir com nenhuma área a ser minerada. Esta área situa-se aproximadamente a 1 km do local de decapagem.

Os depósitos utilizados são do tipo rampa (“*ramped dumps*”). A altura total está em torno de e 20 m. A pilha de estéril foi construída em bancada única e com ângulo de talude natural de acordo com o espalhamento do material nas encostas do bota-fora. Na mineração não existe tratores de esteira para auxiliar no espalhamento e compactação das encostas dos taludes do bota-fora, melhorando assim a estabilidade do mesmo, na prática a operação de espalhamento é realizada com pá carregadeira. Na área da pilha não existe a colocação de drenos para melhoria da estabilidade dos aterros de estéril e controle de infiltração de água no corpo do depósito (figura 4.9).



Figura 4.9 - Pilha de estéril a 1 km da frente de lavra – *Open Pit Mining*.

Fonte: Flávia de Freitas Bastos, 2013.

Conforme afirma SOUZA. J.C, IBRAM, 2004, não existe nenhum tipo de seleção do material de cobertura do estéril. Neste caso, todo o material escavado é basculado no bota-fora, sem nenhuma técnica de seleção o que não permite um melhor controle da estabilidade da pilha de estéril.

Dessa forma perde-se irremediavelmente a camada de solo vegetal que poderia ser usada na recomposição paisagística das minas. Como existe grande quantidade de concreções calcárias com presença de fósseis em camadas da cobertura estéril, esses são também depositados nos aterros e dessa forma jogados fora sem possibilidade de recuperação posterior para estudos científicos, culturais e possivelmente fonte econômica.

Os fatores levados em consideração quanto ao planejamento das pilhas são aqueles relativos a capacidade de acumulação (relacionado a área envolvida) e estabilidade do depósito. O “bota-fora” da mineração está com a área de disposição operacional no limite, sem espaço adequado para manobra e retorno dos caminhões sendo necessária a mudança de local de disposição do material estéril.

Atualmente a falta de área para disposição de material estéril dentro do processo de concessão de lavra tornou-se um gargalo para a mineração.

Foi realizado um levantamento de custo para aquisição de um terreno fora dos limites da concessão de lavra. O terreno encontrado nas redondezas fora da concessão de lavra situa-se a 3,5 km de distância. O custo do hectare para áreas sem minério é de R\$ 9.000,00 e o tamanho da área para disposição de estéril é de 78.791,00 m² ou 7,9 ha. Desta forma, o custo para aquisição da área seria de aproximadamente R\$ 71.000,00 e o valor unitário do frete passaria para R\$ 29,60.

Com a mudança do método de lavra para o método *Terrace Mining* será possível utilizar o material da descobertura para o preenchimento das áreas já mineradas. O procedimento ocorre em um ciclo contínuo com a escavação da descobertura juntamente com a operação de transporte, em que a distância tem de ser a menor possível e atualmente está em torno de 403 metros.

Considerando como referencial o vértice (V1), a disposição do material estéril se dará na direção sudeste da cava. A recuperação da área minerada está sendo realizada com a disposição do rejeito paralelo a rampa de acesso principal, proporcionando a reabilitação topográfica da área (figura 4.8 em anexo).

A rampa de acesso principal possui uma área disponível de aproximadamente 2.268 m² (18 m de largura por 126 m de comprimento), esta área será aproveitada para o início da disposição do material estéril aplicando o método de lavra *Terrace Mining*.

Nesta área poderá ser depositado o volume de aproximadamente 40.824 m³ (considerando uma altura de 18 metros) segundo o levantamento topográfico. O equivalente a aproximadamente, 2 meses de operação de decapagem, para um volume de estéril a ser removido empolado de 23.240,99 m³ por mês (figura 4.10).



Figura 4.10 - Rampa principal de acesso a cava.

Fonte: Flávia de Freitas Bastos, 2013.

Para utilização da rampa principal como área para disposição de material estéril se fez necessário o desenvolvimento de uma nova rampa que está sendo desenvolvida na direção sudeste da área paralela à rampa principal (figura 4.11).



Figura 4.11 - Rampa em desenvolvimento para aplicação do método *Terrace Mining*.

Fonte: Flávia de Freitas Bastos, 2013.

O volume de material estéril *in situ* cubado pela topografia foi de 1.800.944,3 m³ e o volume empolado é de aproximadamente 2.521.322,00 m³. Neste caso, o volume empolado, multiplicando pelo fator de empolamento de 1,4, foi de 2.521.321,6 m³. Considerando a diferença de conta entre o nível do terreno e o *pit* da mina de 32 metros, a área necessária para colocação do material é de aproximadamente 78.791,00 m².

Para a segunda etapa da reabilitação da cava, propriamente dita, utilizando o método de lavra *Terrace Mining* após o preenchimento de material estéril na rampa de acesso seria necessário a exploração do minério do piso que está contido em uma área de 19.687,8 m² de acordo com o levantamento topográfico.

Para a disposição de material estéril é necessário uma área disponível de 726 m² por mês. Para isto seria necessário a exploração de 3.700 toneladas de minério do piso, considerando uma bancada de 2,2 metros de altura para disposição 23.240,99 m³ por mês de material estéril.

CAPITULO 5 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Finalizando esta dissertação que se baseou em dados reais fornecidos pela Mineração Royal Gipso Ltda, foi possível avaliar a metodologia de lavra aplicada no Pólo Gesseiro do Araripe.

O método de lavra atualmente utilizado “*Open Pit Mining*” propicia um grande impacto ambiental gerado pelas pilhas de material estéril depositadas em áreas próximas a cava e com a exaustão do minério são formadas grandes crateras que não permitem a re inserção da área na paisagem natural da região.

O presente estudo avaliou a possibilidade da mudança da metodologia de lavra atual “*Open Pit Mining*” com bancadas simples para o “*Terrace Mining*”.

Para isto foram realizados vários levantamentos e estudos com o objetivo de avaliar a possibilidade da mudança do método de lavra. Considerando que as operações unitárias são as mesmas para os dois métodos de lavra. A diferença é a mudança no sistema de deposição do material estéril.

Com o levantamento topográfico e a conclusão dos trabalhos de sondagem pode se fazer a reavaliação da área, determinando a reserva medida do depósito mineral e a vida útil da jazida. A diferença do volume calculado pelos dois métodos (*Autocad x DATAMINE*) foi de apenas 0,5% , neste caso o resultado foi bastante satisfatório. Para uma produção anual estimada de 240.000 toneladas por ano a vida útil da jazida foi de 8,2 anos.

No levantamento da operação de decapeamento, constatamos que a escavadeira utilizada R330LC-9S, da *Hyundai*, com a capacidade de concha de 1,7 m³ está superdimensionada para a operação. A escavadeira adequada para esta operação é a R220LC-9 de 1,2 m³. Concluímos que a mineração, uma vez, operando com a escavadeira adequada, no final de 1 ano terá uma redução de custo R\$ 99.240,00 na operação de decapeamento.

Para a avaliação do tempo de ciclo e dimensionamento do transporte do rejeito da descobertura para o bota-fora foram utilizadas duas metodologias distintas. Na operação de transporte os caminhões são terceirizados, o valor do frete de transporte é igual para os dois métodos de lavra (R\$ 18,50 por viagem). No cálculo realizado constatamos que o número de viagens também não varia para os dois métodos, 73 ciclos por dia e o custo total de transporte é de R\$ 33.586,75. Foi constatado que devido a diminuição da distância na mudança do método, o consumo com o óleo diesel diminui cerca de 60%. Este insumo representa para o locador 49% do custo com os caminhões. Como sugestão, o contrato poderia ser revisto e renegociado o valor do frete.

Considerando a mudança do método de lavra e que a mineração trabalhasse com frota própria de caminhões, haveria a redução da necessidade de aquisição de 2 caminhões. O que resulta na economia de R\$ 560.000,00.

No custo operacional a operação de decapagem representa 37% do custo total utilizando o método de lavra atual. Para o método de lavra *Terrace Mining* passaria para 36% (com os caminhões terceirizados) sendo que com uma melhor adequação dos equipamentos e menor impacto na produção da gipsita. O frete dos caminhões passaria de 17% do custo total da operação de decapagem para 12 % com a renegociação do contrato.

Na questão da deposição do material estéril utilizando o método de lavra *Terrace Mining* a área necessária para deposição do material dentro do *Pit* da cava é 78.791,00 m². Neste caso, não implica em custos para aquisição de terreno, a dinâmica operacional seria explorar 3.700t por mês de minério tipo B (piso) para deposição do material. A distância média de transporte é de 500 m, o que resultaria em menor gasto de pneus, caminhões e combustível para a empresa locadora que faz parte do grupo empresarial.

Concluimos que com a adequação dos equipamentos e redução dos custos, tais como: escavadeira (R\$ 99.240,00/ ano), a diminuição da distância e a utilização da cava como depósito de estéril (valor do terreno R\$ 71.000,00). Teríamos uma redução de custo de R\$ 330.191,00 utilizando o método de lavra *Terrace Mining*.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alverne, Alarico a. F. Mont’; Menor, Eldemar de A.; Amaral, Antônio j. R. & Souza, Valdemir C. **Programa Nacional de Estudos dos Distritos Mineiros – Projeto Gipsita (Etapa 1)** .: Local: Departamento Nacional de Produção Mineral, 4º Distrito, Seção de Geologia e Pesquisa Mineral, Recife, 1995.

Araújo, Sérgio M. S.: **O Pólo Gesseiro do Araripe: unidades geoambientais e impactos da mineração.**: Local: Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, Tese (doutorado), Campinas, 2004.

Bezerra, Paulo Roberto da Silva de, **Projeto de Lavra de Mina de Ouro e Cobre.**: Local: UFPE, Recife, 2009.

Dana, J. D. **Manual de Mineralogia** .: 1ª Ed, Local: Brasília, 1981.

Fernandes, Francisco R. C.; Luz, Adão B.; Matos, Gerson M. M. & Castilho, Zuleica C. **Tendências Tecnológicas – Brasil.**: Local: 2015, CETEM/MCT, Rio de Janeiro. 380 p.: il.

Filho, Gregório Isac de Macêdo. **El Método de Extracción por Transferecia como Alternativas Sostenible Para La Exploción de Yeso En El Pólo Gesseiro do Araripe – Brasil.**: Local: Manresa, junho, 2010.

Herrmann, Hildebrando. **Legislação mínero-ambiental para aproveitamento de agregados: Agregados para a construção civil no Brasil, contribuições para formulação de políticas públicas** .: 2006.

Hartman, Howard L. **Introductory Mining Engineering.**: 2°. Edição Local: Michigan, 2002.

<http://blogs.up.ac.za/weblog/media/file/estelle/adobe%20files/ch2.pdf>

<http://www.komatsu.com.br/pt/catalogo.php?categoria=223|Tratores%20de%20Esteira&catalogo=D51EX-22&id=2486>

<http://www.mapas-brasil.com/Pernambuco.htm>

http://www.sindusgesso.org.br/pólo_gesseiro.as

<http://www.trabalhosfeitos.com/ensaios/a-Import%C3%A2ncia-Da-Topografia-Na-Minera%C3%A7%C3%A3o/522668.html>

Macêdo Filho G. I. & Pena Botelho, L. J. **Estudo Comparativo de**

Lavra de gipsita pelos Métodos de Múltiplas Bancadas e Strip Mining com Utilização de Ferramentas Computacionais.: Local: Sítio Vira Mão – Araripina / PE. Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

Menor, Eldemar de A. **Mapeamento Geológico da Mineração Lagoa dos Gregórios.:** Local: Araripina, 2012.

Motta, José do Patrocínio. **Ecônomo Mineral Nacional. .:** Local: Porto Alegre Ed. da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, São Paulo, 1977.

Murilo Santos de Araújo, Sérgio. **A Indústria Extrativa Mineral do Pólo Gesseiro do Araripe e seus Impactos Sócio-Ambientais.:** Local: Revista UFPE.

Neto, Walmir Pires dos Santos. **Relatório de Estágio Mineração Royal Gipso Ltda).:** Local: Araripina, 2012.

Oliver, Phil. **Surface Mining engineering .:** Local: Inglaterra.

Peres, L., Benachour, M. & Santos, V. A. **O gesso: produção e utilização na construção civil.:** Local: Ed. Bagaço, Recife, 2001.

Perez, Benjamin Calvo. **As rochas e os minerais industriais como elemento de desenvolvimento sustentável.:** Local: Rio de Janeiro, CETEM/MCT, 2001. Série Rochas e Minerais Industriais; 3.

Popp, José Henrique, **Geologia Geral .:** 5ª Edição. Local: Editora LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 1988.

Ramos, F. S. & Ciarlini, A. G. C. **Indústria nacional de gipsita e o impacto da globalização: qual a estrutura tarifária ótima?.** Local: Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

Revista Brasil Mineral. **A sustentabilidade Ambiental na Mineração.** Edição nº 330. Junho, 2013.

Revista Brasil Mineral. **A Mineração é Sustentável.** Edição nº 318. Junho, 2012.

Revista Brasil Mineral. **Foco em Sustentabilidade.** Edição nº 302. Dezembro, 2010.

Ricardo, Hélio de Souza. **Manual Prático de Escavação: Terraplanagem e Escavação de Rocha.** 3ª Edição. Local: São Paulo, 2007.

Silva, Adriana Maurício Pereira da. **Sustentabilidade Operacional no contexto da Indústria Mineral: caso da lavra de caulim no município de Cabo de Santo Agostinho .:** Local: Recife, 2008.

Silva, Alex Levi da. **Plano de Aproveitamento Econômico - Mineração Royal Gipso Ltda.:** Local: Araripina, 2008.

Sobrinho, A.C.P.L.; Neto, Antonio A. Amorim & Dantas, O.C. **Gipsita. In: Brasil. Sumário Mineral 2012.**: Local: Departamento Nacional de Produção Mineral. Brasília, DNPM, 2012.

Schobbenhaus, C., Queiroz, E. T. & Coelho, C. E. S. **Principais depósitos minerais do Brasil.**: Local: Ed. DNPM, Brasília. 1997.

Souza, Júlio Cezar. **Apostila de Métodos de Lavra a Céu Aberto.**: Local: UFPE, Recife, 2001.

Souza, Júlio Cezar. **Avaliação da Eficiência Operacional de Equipamentos de Mineração na Lavra de Gipsita.**: Local: UFPE, Recife, 2012.

Souza, Júlio Cezar. **Descrição das Atividades de Descobertura de Gipsita na Região do Araripe – PE e sugestão de melhorias.**: Local: UFPE Recife, 2004.

Portela, Helena A. **Estudo Palinológico e palinofaciológico Formação Santana, Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil, Mestrado (Dissertação).**: Local: Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

ANEXOS



Figura 3.1 - Escavação da nova rampa de acesso – *Open Pit Mining*.
Fonte: Flávia de Freitas Bastos, 2013.



Figura 3.2 – Deposição do material estéril – *Terrace Mining*.
Fonte: Flávia de Freitas Bastos, 2013.



Figura 3.2 – Reposição do material estéril na cava – *Terrace Mining*.
Fonte: Flávia de Freitas Bastos, 2013

Tabela 3.1 – Legenda das tabelas 3.2 e 3.3.

Fonte: Ricardo Alves- Dimensionamento de Frota de transporte com aplicação de análise probabilística através da Simulação de Monte Carlo – 2013.

C.T (m³)	Capacidade de transporte
T.C.D.	Tempo de carga na descobertura
T.P.I.	Tempo de percurso de ida
D.I. (m)	Distância de ida
T.P.V.	Tempo de percurso de volta
D.R. (m)	Distância de retorno
T.B.	Tempo de basculamento
N.C.	Números de caçambadas para encher caminhão
T.E.	Tempo de espera

Tabela 3.2 – Tempo de ciclo da escavadeira hidráulica – *Open Pit Mining*.

Fonte: Ricardo Alves – Estudo Comparativo de duas alternativas de decapeamento para lavra de gipsita da região do Araripe – PE, 2013.

N° amostras	C.T (m³)	T.C.D.	T.P.I.	D.I. (m)	T.P.V.	D.R. (m)	T.B.	N.C.	T.E
1	16	00:03:58	00:04:16	700	00:02:19	698	00:01:27	10	00:14:00
2	16	00:04:08	00:04:20	700	00:02:20	700	00:01:17	10	00:14:00
3	16	00:04:06	00:04:22	714	00:02:19	697	00:01:18	10	00:14:00
4	16	00:03:54	00:04:17	703	00:02:15	699	00:01:25	10	00:14:00
5	16	00:04:00	00:04:19	710	00:02:14	701	00:01:19	10	00:14:00
6	16	00:04:03	00:04:21	718	00:02:17	705	00:01:22	10	00:14:00
7	16	00:04:04	00:04:23	720	00:02:22	709	00:01:26	10	00:14:00
8	16	00:04:09	00:04:12	707	00:02:16	706	00:01:28	10	00:14:00
9	16	00:03:55	00:04:15	717	00:02:18	696	00:01:21	10	00:14:00
10	16	00:04:05	00:04:13	704	00:02:21	703	00:01:26	10	00:14:00
11	16	00:04:01	00:04:11	700	00:02:20	702	00:01:16	10	00:14:00
12	16	00:04:10	00:04:17	708	00:02:19	690	00:01:18	10	00:14:00
13	16	00:04:12	00:04:21	716	00:02:20	704	00:01:16	10	00:14:00
14	16	00:04:10	00:04:20	712	00:02:17	691	00:01:18	10	00:14:00
15	16	00:04:09	00:04:18	705	00:02:21	700	00:01:19	10	00:14:00
16	16	00:04:10	00:04:19	708	00:02:21	702	00:01:19	10	00:14:00
17	16	00:04:08	00:04:22	720	00:02:20	709	00:01:20	10	00:14:00
18	16	00:03:54	00:04:20	717	00:02:18	699	00:01:26	10	00:14:00
19	16	00:03:59	00:04:22	721	00:02:19	701	00:01:27	10	00:14:00
20	16	00:04:02	00:04:21	715	00:02:22	707	00:01:23	10	00:14:00
Total	Média aritmética								
20	16	00:04:04	00:04:18	710,75	00:02:19	700,95	00:01:22	10	00:14:00

Tabela 3.3 – Tempo de ciclo da escavadeira hidráulica – *Terrace Mining*.

Fonte: Flavia de Freitas Bastos, 2013

N° amostras	C.T (m³)	T.C.D	T.P.I.	D.L. (m)	T.P.V.	D.R. (m)	T.B.	D.R. (m)	N.C.	T.E
1	14,17	00:02:40	00:01:24	391,9	00:00:56	392,2	00:00:56	392,2	7	00:00:34
2	14,17	00:02:29	00:01:17	392,5	00:01:01	392,8	00:01:01	392,8	7	00:03:47
3	14,17	00:02:42	00:01:21	393,1	00:01:03	393,4	00:01:03	393,4	7	00:00:30
4	14,17	00:02:20	00:01:28	394,0	00:01:05	394,3	00:01:05	394,3	7	00:00:06
5	14,17	00:02:00	00:02:00	394,6	00:01:00	394,9	00:01:00	394,9	7	00:09:00
6	14,17	00:03:00	00:01:00	394,9	00:01:00	395,2	00:01:00	395,2	7	00:05:00
7	14,17	00:02:00	00:02:00	395,5	00:01:00	396,0	00:01:00	396,0	7	00:04:00
8	14,17	00:02:00	00:01:00	396,4	00:01:00	396,7	00:01:00	396,7	7	00:00:00
9	14,17	00:03:00	00:01:00	397,0	00:01:00	397,4	00:01:00	397,4	7	00:02:00
10	14,17	00:02:00	00:01:00	397,6	00:02:00	398,0	00:02:00	398,0	7	00:01:00
11	14,17	00:03:00	00:01:00	398,3	00:01:00	398,6	00:01:00	398,6	7	00:01:00
12	14,17	00:02:00	00:02:00	398,9	00:01:00	399,1	00:01:00	399,1	7	00:10:00
13	14,17	00:03:00	00:01:00	401,1	00:01:00	401,4	00:01:00	401,4	7	00:01:00
14	14,17	00:01:00	00:02:00	407,7	00:02:00	402,0	00:02:00	402,0	7	00:01:00
15	14,17	00:02:00	00:02:00	402,3	00:01:00	402,6	00:01:00	402,6	7	00:02:00
16	14,17	00:03:00	00:01:00	402,9	00:01:00	403,3	00:01:00	403,3	7	
17	14,17	00:02:27	00:01:03	406,1	00:00:59	406,2	00:00:59	406,2	7	00:24:26
18	14,17	00:01:39	00:01:20	406,4	00:00:36	406,5	00:00:36	406,5	7	00:24:24
19	14,17	00:02:06	00:01:07	406,7	00:01:02	406,8	00:01:02	406,8	7	00:46:44
20	14,17	00:02:51	00:01:09	407,0	00:01:01	407,1	00:01:01	407,1	7	00:48:30
21	14,17	00:02:08	00:01:00	407,3	00:01:00	407,4	00:01:00	407,4	7	00:48:00
22	14,17	00:02:00	00:01:00	407,6	00:01:00	407,7	00:01:00	407,7	7	00:47:00
23	14,17	00:02:00	00:01:11	407,9	00:00:49	408,1	00:00:49	408,1	7	00:24:00
24	14,17	00:01:00	00:02:00	408,2	00:00:00	408,4	00:00:00	408,4	7	00:22:00
25	14,17	00:02:00	00:01:00	408,6	00:01:00	408,7	00:01:00	408,7	7	00:24:00
26	14,17	00:03:00	00:01:00	409,0	00:01:00	409,1	00:01:00	409,1	7	00:24:00
27	14,17	00:02:00	00:01:00	409,4	00:01:00	409,5	00:01:00	409,5	7	00:24:00
28	14,17	00:02:00	00:01:00	409,6	00:01:00	409,7	00:01:00	409,7	7	00:23:00
29	14,17	00:02:00	00:01:00	409,6	00:01:00	410,0	00:01:00	410,0	7	00:24:00
30	14,17	00:02:00	00:02:00	410,2	00:01:00	410,3	00:01:00	410,3	7	00:23:00
31	14,17	00:03:00	00:01:00	410,5	00:01:00	410,7	00:01:00	410,7	7	00:02:00
32	14,17	00:02:00	00:01:00	410,8	00:01:00	411,0	00:01:00	411,0	7	00:02:00
33	14,17	00:02:00	00:01:00	411,2	00:01:00	411,3	00:01:00	411,3	7	00:02:00
34	14,17	00:03:00	00:01:00	411,5	00:01:00	411,7	00:01:00	411,7	7	
Total	Média aritmética									
34	14,17	00:02:17	00:01:16	403,4	00:01:01	11:21:53	00:01:01	11:21:53	7,0	00:14:49

Tabela 4.1 – Dados da campanha de sondagem 2012 e 1993.

Fonte: Flávia de Freitas Bastos, 2013.

Campanha de Sondagem - Royal Gipso Ltda - Processo DNPM: 840.144-2008

Furos de sonda - campanha de 2012							
Mineração Royal Gipso Ltda					Estéril	Minério	Estéril
Código furo de sonda	Zona	Latitude (m) S	Longitude (m) E	Cota (m)	Argila (m)	Gipsita (m)	Folhelho (m)
PS - 01	24M	9143895.89	338514.38	529.52	18.7	14.8	2.0
PS - 02	24M	9143809.83	338445.55	530.02	28.0	13.5	1.0
PS - 03	24M	9143825.01	338519.08	529.14	24.0	12.0	1.5
PS - 04	24M	9143745.19	338529.47	526.5	22.0	12.0	1.0
PS - 05	24M	9143829.72	338633.6	520.4	20.5	9.5	1.0
PS - 06	24M	9143820.9	338706.7	515.6	19.0	11.5	0.5
PS - 07	24M	9143918.5	338682.29	519.5	30.0	0.4	1.6
PS - 08	24M	9143968.2	338730.5	518.2	19.0	10.5	1.5
PS - 09	24M	9143953.71	338805.32	517.53	18.8	11.2	0.5
PS - 10	24M	9143875.51	338838.14	518.3	21.0	10.0	1.0
Furos de sonda - campanha de 1993							
Mineração Royal Gipso Ltda					Estéril	Minério	Estéril
Código furo de sonda	Zona	Latitude (m) S	Longitude (m) E	Cota (m)	Argila (m)	Gipsita (m)	Folhelho (m)
SR-BH-15	24M	9143968.47	338700.65	518.5	18.0	10.7	1.1
SR-BH-16	24M	9143968.31	338881.38	518.5	18.58	11.7	1.1
F - 01	24M	9143967.6	338489.8	530.5	16.5	14.6	1.1
F - 02	24M	9144096.3	338537.26	528.9	16.1	13.5	1.1
F - 03	24M	9144216.67	338599.19	522.2	14.0	13.5	1.1

* NI: não informado

Tabela 4.3 - coordenadas x, y e z da boca dos furos.

Fonte: Flávia de Freitas Bastos, 2013.

<i>Collar</i>			
BHID	XCOLLAR	YCOLLAR	ZCOLLAR
PS - 01	9143895.89	338514.38	529.52
PS - 02	9143809.83	338445.55	530.02
PS - 03	9143825.01	338519.08	529.14
PS - 04	9143745.19	338529.47	526.5
PS - 05	9143829.72	338633.6	520.4
PS - 06	9143820.9	338706.7	515.6
PS - 07	9143918.5	338682.29	519.5
PS - 08	9143968.2	338730.5	518.2
PS - 09	9143953.71	338805.32	517.53
PS - 10	9143875.51	338838.14	518.3
SR-BH-09	9144162.62	338721.88	518.4
SR-BH-12	9144112.03	338771.88	519.00
SR-BH-14	9143967.95	338574.99	522.00
SR-BH-15	9143968.47	338700.65	518.5
SR-BH-16	9143968.31	338881.38	518.5
F - 01	9143967.6	338489.8	530.5
F - 02	9144096.3	338537.26	528.9
F - 03	9144216.67	338599.19	522.2

Tabela 4.4, e Tabela 4.5 - logs de sondagem das litologias presentes

Fonte: Flávia de Freitas Bastos, 2013.

Assays			
BHID	FROM	TO	LITO
PS - 01	0,0	18.7	1
PS - 01	18.7	33.5	2
PS - 01	33.5	35,0	3
PS - 02	0,0	28,0	1
PS - 02	28,0	42,0	2
PS - 02	42,0	42.5	3
PS - 03	0,0	24,0	1
PS - 03	24,0	36,0	2
PS - 03	36,0	37.5	3
PS - 04	0,0	22,0	1
PS - 04	22,0	34,0	2
PS - 04	34,0	35,0	3
PS - 05	0,0	20.5	1
PS - 05	20.5	30,0	2
PS - 05	30,0	31,0	3
PS - 06	0,0	19,0	1
PS - 06	19,0	30.5	2
PS - 06	30.5	31,0	3
PS - 07	0,0	30,0	1
PS - 07	30,0	30.4	2
PS - 07	30.4	31,0	3
PS - 08	0,0	19,0	1
PS - 08	19,0	29.5	2
PS - 08	29.5	31,0	3
PS - 09	0,0	18.8	1
PS - 09	18.8	30,0	2
PS - 09	30,0	30.5	3
PS - 10	0,0	21,0	1
PS - 10	21,0	31,0	2
PS - 10	31,0	32,0	3

Assays			
BHID	FROM	TO	LITO
SR-BH-09	0,0	17.5	1
SR-BH-09	17.5	34,0	2
SR-BH-09	34,0	35.1	3
SR-BH-12	0,0	13.1	1
SR-BH-12	13.1	26.8	2
SR-BH-12	26.8	27.9	3
SR-BH-14	0,0	13.4	1
SR-BH-14	13.4	27.7	2
SR-BH-14	27.7	28.8	3
SR-BH-15	0,0	18,0	1
SR-BH-15	18,0	28.7	2
SR-BH-15	28.7	29.8	3
SR-BH-16	0,0	18.6	1
SR-BH-16	18.6	30.3	2
SR-BH-16	30.3	31.4	3
F - 01	0,0	16.5	1
F - 01	16.5	31.1	2
F - 01	31.1	32.2	3
F - 02	0,0	16.1	1
F - 02	16.1	29.6	2
F - 02	29.6	30.7	3
F - 03	0,0	14,0	1
F - 03	14,0	27.5	2
F - 03	27.5	28.6	3

Tabela 4.14 – Tabela de custos operacionais.

Fonte: Flávia de Freitas Bastos, 2013.

Gasto total de produção e despesas de extração de Gipsita por Tonelada

Custos de Produção	Janeiro	% Sobre o custo total de produção	Fevereiro	% Sobre o custo total de produção	Março	% Sobre o custo total de produção	Abril	% Sobre o custo total de produção	Mai	% Sobre o custo total de produção	Junho	% Sobre o custo total de produção	Julho	% Sobre o custo total de produção	Método Terrace Mine	% Sobre o custo total de produção	Método Terrace Mine (com negociação do frete)	% Sobre o custo total de produção
Decapeamento																		
Maquinas	R\$ 32.839,00	15 %	R\$ 26.724,50	12 %	R\$ 27.776,50	12 %	R\$ 29.794,00	16 %	R\$ 36.923,50	14 %	R\$ 24.497,00	13 %	R\$ 32.847,50	16 %	R\$ 33.780,00	18 %	R\$ 33.780,00	20 %
Diesel	R\$ 13.462,34	6 %	R\$ 11.074,17	5 %	R\$ 11.272,25	5 %	R\$ 12.088,66	7 %	R\$ 14.889,95	5 %	R\$ 10.025,46	5 %	R\$ 13.246,92	6 %	R\$ 9.080,00	5 %	R\$ 9.080,00	5 %
Frete de estéril	R\$ 34.866,00	16 %	R\$ 43.931,00	19 %	R\$ 47.683,00	21 %	R\$ 23.893,50	13 %	R\$ 42.235,50	16 %	R\$ 33.004,00	17 %	R\$ 41.058,50	20 %	R\$ 33.586,75	18 %	R\$ 20.257,00	12 %
Exploração do minério		36 %		36 %		37 %		36 %		35 %		34 %		42 %		41 %		36 %
Máquinas	R\$ 80.620,89	36 %	R\$ 85.515,95	38 %	R\$ 89.020,65	38 %	R\$ 62.678,45	35 %	R\$ 119.221,75	44 %	R\$ 74.218,25	38 %	R\$ 71.877,25	34 %	R\$ 56.808,39	30 %	R\$ 56.808,39	33 %
Mão de obra Direta	R\$ 6.502,83	3 %	R\$ 6.502,83	3 %	R\$ 6.502,83	3 %	R\$ 6.502,83	4 %	R\$ 6.502,83	2 %	R\$ 6.502,83	3 %	R\$ 6.502,83	3 %	R\$ 6.502,83	3 %	R\$ 6.502,83	4 %
Diesel	R\$ 32.473,71	15 %	R\$ 25.205,65	11 %	R\$ 26.746,03	12 %	R\$ 22.700,82	13 %	R\$ 25.316,97	9 %	R\$ 19.369,23	10 %	R\$ 27.811,58	13 %	R\$ 24.280,76	13 %	R\$ 24.280,76	14 %
Explosivos	R\$ 11.872,50	5 %	R\$ 15.410,90	7 %	R\$ 11.407,40	5 %	R\$ 11.539,50	6 %	R\$ 13.502,90	5 %	R\$ 16.776,60	9 %	R\$ 3.944,60	2 %	R\$ 10.914,51	6 %	R\$ 10.914,51	6 %
Custos Indiretos		59 %		59 %		58 %		57 %		61 %		60 %		53 %		53 %		57 %
Mão de obra Indireta	R\$ 5.677,60	3 %	R\$ 5.677,60	3 %	R\$ 5.677,60	2 %	R\$ 5.677,60	3 %	R\$ 5.677,60	2,1 %	R\$ 5.677,60	3 %	R\$ 5.677,60	3 %	R\$ 5.677,60	3 %	R\$ 5.677,60	3 %
Outros gastos	R\$ 5.000,00	2 %	R\$ 5.830,00	3 %	R\$ 5.808,00	3 %	R\$ 5.830,00	3 %	R\$ 6.758,00	2,5 %	R\$ 5.830,00	3 %	R\$ 5.830,00	3 %	R\$ 5.830,00	3 %	R\$ 5.830,00	3 %
Total dos Custos de produção	R\$ 223.314,87	5 %	R\$ 225.872,60	5 %	R\$ 231.894,26	5 %	R\$ 180.705,36	6 %	R\$ 271.029,00	5 %	R\$ 195.900,96	6 %	R\$ 208.796,78	6 %	R\$ 186.460,84	6 %	R\$ 173.131,09	7 %
Minério produzido(t)	12.010,55		14.124,71		13.652,09		11.797,91		17.015,02		11.972,60		11.382,77		20.000,00		20.000,00	
Custo de produção/t	R\$ 18,59	100 %	R\$ 15,99	100 %	R\$ 16,99	100 %	R\$ 15,32	100 %	R\$ 15,93	100 %	R\$ 16,36	100 %	R\$ 18,34	100 %	R\$ 9,32	100 %	R\$ 8,66	100 %
Despesas fixas e variáveis																		
Simples Nacional	R\$ 27.043,43		R\$ 27.353,17		R\$ 28.082,39		R\$ 21.883,42		R\$ 32.821,61		R\$ 23.723,61		R\$ 25.285,29		R\$ 22.580,41		R\$ 20.966,17	
Royalties	R\$ 4.466,30		R\$ 4.517,45		R\$ 4.637,89		R\$ 3.614,11		R\$ 5.420,58		R\$ 3.918,02		R\$ 4.175,94		R\$ 3.729,22		R\$ 3.462,62	
CFEM	R\$ 3.938,95		R\$ 3.984,07		R\$ 4.090,28		R\$ 3.187,38		R\$ 4.780,56		R\$ 3.455,41		R\$ 3.682,87		R\$ 3.288,90		R\$ 3.053,78	
Despesas Administrativas	R\$ 17.972,34		R\$ 17.742,00		R\$ 20.349,00		R\$ 20.348,00		R\$ 17.600,00		R\$ 18.596,35		R\$ 17.551,25		R\$ 16.781,48		R\$ 15.581,80	
Total das despesas	R\$ 53.421,02		R\$ 53.596,69		R\$ 57.159,56		R\$ 49.032,91		R\$ 60.622,75		R\$ 49.693,38		R\$ 50.695,35		R\$ 46.380,00		R\$ 43.064,38	
Despesas/t	R\$ 4,45		R\$ 3,79		R\$ 4,19		R\$ 4,16		R\$ 3,56		R\$ 4,15		R\$ 4,45		R\$ 2,32		R\$ 2,15	
Custo unitário de produção (R\$ /t)	R\$ 23,04		R\$ 19,79		R\$ 21,17		R\$ 19,47		R\$ 19,49		R\$ 20,51		R\$ 22,80		R\$ 11,64		R\$ 10,81	

Método usado: Custeio por absorção