

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

“ESTUDO COMPARATIVO DE DUAS ALTERNATIVAS DE
DECAPEAMENTO PARA LAVRA DE GIPSITA NA REGIÃO
DO ARARIPE – PE”

por

Ricardo Alves da Silva

Engenheiro de Minas

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

Recife, 2013

ESTUDO COMPARATIVO DE DUAS ALTERNATIVAS DE DECAPEAMENTO PARA LAVRA DE GIPSITA NA REGIÃO DO ARARIPE – PE

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 Industriais

por

Ricardo Alves da Silva – Engenheiro de Minas

2013

Catálogo na fonte
Bibliotecária: Rosineide Mesquita Gonçalves Luz / CRB4-1361 (BCTG)

S586e Silva, Ricardo Alves da.
“Estudo comparativo de duas alternativas de decapeamento para lavra de Gipsita na Região do Araripe – PE” / Ricardo Alves da Silva. – Recife: O Autor, 2013.
x, 129 folhas, il., figs., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Júlio César de Souza.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco.
CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral - PPGEMinas, 2013.

Inclui Referências e Anexos.

1. Engenharia Mineral. 2. Gipsita. 3. Descoberta de Jazidas Minerais.
4. Transporte em Mineração. 5. Região do Araripe-PE. I. Souza, Júlio César de (Orientador). II. Título.

622.35 CDD (22.ed) UFPE/BCTG-2013/298



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MINERAL

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA

DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE

RICARDO ALVES DA SILVA

**“ESTUDO COMPARATIVO DE DUAS ALTERNATIVAS DE
DECAPEAMENTO PARA LAVRA DE GIPSITA NA REGIÃO DO ARARIPE-
PE”**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: MINERAIS INDUSTRIAIS

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

Ricardo Alves da Silva, Aprovado.

Recife, 25 de Julho de 2013.

Prof. Dr. Júlio César de Souza
Orientador (UFPE)

Prof. Dr. Carlos Otávio Petter
Examinador Externo (UFRGS)

Prof. Dr. Márcio Luiz de Siqueira Campos Barros
Examinador Interno (UFPE)

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas graças a Deus, não sou o que era antes”. (Marthin Luther King)

AGRADECIMENTOS

Uma vez que temos a oportunidade de nos qualificarmos um pouco mais e melhorar a nossa forma de pensar e ver o mundo que vivemos fica claro que necessitamos prestar nossos agradecimentos àqueles que nos proporcionou tal façanha.

Em primeiro lugar quero agradecer a Deus por ter me outorgado a vida, pois sem a qual estaria impossibilitado de realizar qualquer atividade neste mundo. E também agradeço a Ele por ter me dado à oportunidade de conhecer a Cristo Jesus, pois sem O qual é impossível alcançar as alturas celestiais onde, de fato, jaz o amor que toda humanidade deseja.

Aos meus Pais, pois mesmo com pouca qualificação acadêmica souberam me educar, de forma correta para que, na fase adulta, pudesse ser um cidadão honesto respeitando o próximo de forma igualitária.

Ao professor Júlio Cezar de Souza o qual sempre se esforçou para me orientar e tirar minhas dúvidas que pelas quais tanto o solicitei e sempre encontrei respostas para minhas indagações que em sua maioria serviu de aprendizado e crescimento intelectual.

A todos os professores do departamento de Minas, porque todos eles contribuem para que este curso de mestrado funcione adequadamente, proporcionando melhores perspectivas para os alunos que fazem o corpo discente deste.

A todos os amigos que conheci durante o curso, pois eles fizeram parte direta ou indiretamente do meu estímulo para continuar nessa trajetória acadêmica.

A Voleide e Edna, pois são as secretárias que se preocupam intensamente com a parte burocrática do curso, como também, com o bem estar dos alunos proporcionando-lhes conforto e agilidade nos serviços solicitados.

A minha amiga Flavinha por ter me permitido realizar as coletas dos tempos de ciclo dos caminhões e escavadeiras para a confecção dessa dissertação.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 – Descrição da Região Estudada	1
1.2 – Objetivo Geral	2
1.3 – Objetivo Específico	2
1.4 – Justificativa	3
1.5 – Descrição dos Capítulos da Dissertação	3
CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 – Cenário Geral da Gipsita	4
2.2 – Localização e Distribuição da Gipsita	6
2.3 – Gipsita no Brasil	8
2.4 – Energia Consumida	9
2.5 – Aspectos Tecnológicos da Mineração de Gipsita	10
2.6 – Polo Gesseiro do Araripe	11
2.7 – Diagnóstico dos Principais Municípios do Polo Gesseiro do Araripe	13
2.8 – Aspectos Ambientais da Industrialização de Gipsita	13
2.9 – A Consciência Ecológica	15
2.10 – Características Gerais do Polo Gesseiro Pernambucano	17
2.11 – Dos Impactos Ambientais da Atividade Gesseira	18
2.12 – Das Normas Ambientais e das Consequências de seu Desrespeito	18
2.13 – Desenvolvimento Sustentável	23
2.14 – Atuação Empresarial Consciente	26
2.15 – Fases de um Estudo de Pesquisa Operacional	30
2.16 – Modelagem em Pesquisa Operacional	31
2.16.1 – Conceito de Modelo	31
2.16.2 – Tipos de Modelo	31
2.17 – Pesquisa Operacional Aplicada à Mineração	32
2.18 – Técnicas Utilizadas	34
2.19 – O Método de Monte Carlo	34
2.20 – Análise do Trabalho e Estudo dos Tempos e Movimentos	35
2.21 – Base Geral para a Otimização de Processos Essenciais	37
2.22 – Visão Integral para análise dos processos	38
2.23 – Metodologia para Otimização de Processos	39
2.24 – Conceito Fundamental da Simulação de Monte Carlo	42
2.25 – Fundamentos para o Projeto e Planejamento de Mina	42
2.26 – Conceitos Essenciais	45
2.27 – Métodos de Lavra a Céu Aberto	46
2.28 – Lavra em Cratera ou Cava (Open Pit Mining)	47
2.29 – Vantagens e Desvantagens dos Métodos de Lavra a Céu Aberto	50
2.30 – Lavra por Lançamento ou em Tiras (Open Cast Mining or Strip Mining)	51
2.31 – Preparação do Terreno	55
2.32 – Regulamentações	56
CAPÍTULO 3: METODOLOGIA EXPERIMENTAL	58
3.1 – Introdução	58
3.2 – Importância da Eficiência Operacional das Operações Unitárias	61
3.3 – Estudo de Tempos e Movimentos	63

3.4 – Dimensionamento de Frotas de Caminhões para Transporte do Estéril da Cobertura	65
3.5 – Método Atual – Lavra em Cratera (“Open Pit with Multiple Benches”).....	66
3.6 – Método Alternativo – Strip Mining (Lavra em Tiras).....	70
3.7 – Análise Probabilística pela Técnica de Simulação de Monte Carlo.....	71
3.8 – Metodologia de Cálculo na Simulação de Monte Carlo.....	73
CAPÍTULO 4: RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	77
4.1 – Introdução.....	77
4.2 – Estudo de Tempos e Movimentos	77
4.3 – Dimensionamento Estocástico da Frota de Caminhões.....	86
4.3.1 – Alternativa 1 – Lavra em Open Pit (método atual – lavra tipo cratera).....	86
4.3.2 – Metodologia 1: Dimensionamento Baseado no Percurso e na Produção de Estéril	86
4.3.3 – Metodologia 2: Dimensionamento Baseado no Sincronismo entre as Operações de Carga e Transporte.....	88
4.3.4 – Alternativa 2 – Lavra em Strip Mining (método alternativo – Lavra em Tiras).....	90
4.3.5 – Metodologia 1: Dimensionamento Baseado no Percurso e Produção de Estéril	90
4.3.6 – Metodologia 2: Dimensionamento Baseado no Sincronismo entre as Operações de Carga e Transporte.....	92
4.4 – DIMENSIONAMENTO PROBABILÍSTICO ATRAVÉS DA TÉCNICA DE MONTE CARLO DA FROTA DE CAMINHÕES	95
4.5 – Análise de Custos para os dois Métodos de Lavra	101
4.6 – Custo Total para a Alternativa Strip Mining	105
4.7 – Custo Mensal do Terreno de Deposição.....	106
CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES FINAIS	107
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
ANEXOS.....	111

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Distribuição das minas de gipsita no Brasil	7
Tabela 2.2 - Distribuição das minas de gipsita por porte e por estado	8
Tabela 2.3 - Consumo específico de energia por atividade na cadeia produtiva da gipsita (2006).....	9
Tabela 2.4 - Dados geográficos e empregatícios	12
Tabela 2.5 - Dados mineralógicos e produtivos	12
Tabela 2.6 - Consumo anual de gesso por habitante	12
Tabela 2.7 - Principais métodos de lavra a céu aberto	46
Tabela 4.1 - Tempos observados na operação de escavação e carregamento dos caminhões na frente de descobertura.....	78
Tabela 4.2 - Frequência dos valores observados dos tempos de escavação e carregamento de caminhões.....	78
Tabela 4.3 - Tempos observados na operação do percurso de ida dos caminhões na frente de descobertura.....	80
Tabela 4.4 - Tabela de frequência dos valores observados dos tempos de percurso de ida dos caminhões.....	80
Tabela 4.5 - Tempos observados na operação de percurso de volta dos caminhões na frente de descobertura.....	82
Tabela 4.6 - Frequência dos valores observados dos tempos de percurso de volta dos caminhões	82
Tabela 4.7 - Tempos observados na operação de basculamento dos caminhões no bota-fora.....	84
Tabela 4.8 - Frequência dos valores observados dos tempos de basculamento dos caminhões	85
Tabela 4.9 - Representa os valores acumulados para o método de Monte Carlo através do dimensionamento pelo tempo de ciclo dos caminhões.....	96
Tabela 4.10 - Representa os valores acumulados para o método de Monte Carlo através do dimensionamento pelo tempo de ciclo dos caminhões com o uso da alternativa Strip Mining	97

Tabela 4.11 - Representa os valores acumulados para o método de Monte Carlo através do dimensionamento pelo tempo de ciclo dos caminhões utilizando o segundo método para cratera	98
Tabela 4.12 - Representa os valores acumulados para o método de Monte Carlo através do dimensionamento pela necessidade de caminhões de cada escavadeira utilizada na descobertura utilizando o método Strip Mining	100
Tabela A.1 - Legenda geológica do município de Trindade	115
Tabela A.2 - Legenda geológica do município de Ouricuri	118
Tabela A.3 - Legenda geológica do município de Ipubí	122
Tabela A.4 - Legenda geológica do município de Bodocó	125
Tabela A.5 - Legenda geológica do município de Araripina	129

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Fluxograma de produção de gipsita.....	10
Figura 2.2 - Localização do Polo Gesseiro do Araripe em Pernambuco.....	11
Figura 2.3 - Diagrama estrutural de otimização de processos industriais	37
Figura 2.4 - Concentração de atenção nos processos essenciais	3838
Figura 2.5 - Sequência de etapas para racionalização de processos.....	4040
Figura 2.6 - Lay out típico da exploração por lavra em tiras.....	53
Figura 2.7 - Lay out simplificado da operação de lavra em tiras com uso de "dragline"	5555
Figura 3.1 - Método de lavra em cratera da Mina Ponta da Serra.....	6767
Figura 3.2 - Operação de descobertura com uso de escavadeira hidráulica sobre esteiras	6868
Figura 3.3 - Retroescavadeira sobre pneus executando o desmonte secundário com rompedor hidráulico	6969
Figura 3.4 - Carregamento de gipsita com uso de pá-carregadeira sobre pneus	6969
Figura 3.5 - Lay out típico strip mining para gipsita.....	7171
Figura 3.6 - Representação esquemática dos métodos de lavra	7474
Figura 4.1 - Histograma indicando a distribuição de probabilidade do tempo de escavação e carregamento de caminhões.....	79
Figura 4.2 - Histograma indicando a distribuição de probabilidade do tempo referente ao percurso de ida dos caminhões	81
Figura 4.3 - Histograma indicando a distribuição de probabilidade do tempo referente ao percurso de volta dos caminhões	83
Figura 4.4 - Histograma indicando a distribuição de probabilidade do tempo referente ao basculamento dos caminhões.....	85
Figura 4.5 - Histograma indicando a distribuição de probabilidade, pelo método de Monte Carlo, do dimensionamento de caminhões.....	96
Figura 4.6 - Histograma indicando a distribuição de probabilidade, pelo método de Monte Carlo, com a utilização da alternativa de lavra em tiras, do dimensionamento de caminhões	98

Figura 4.7 - Histograma indicando a distribuição de probabilidade pelo segundo método cratera, de Monte Carlo, do dimensionamento de caminhões	99
Figura 4.8 - Histograma indicando a distribuição de probabilidade, pelo segundo método strip mining, com o uso do método Monte Carlo, do dimensionamento de caminhões	100
Figura A.1 - Mapa de Trindade	114
Figura A.2 - Mapa de Ouricuri	118
Figura A.3 - Mapa de Ipubi	121
Figura A.4 - Mapa de Bodocó	126
Figura A.5 - Mapa de Araripina	129

RESUMO

Com o objetivo de melhorar o processo de lavra de gipsita no Pólo Gesseiro do Araripe foi desenvolvida uma avaliação do processo de descobertura da gipsita inerente a dois métodos de lavra possíveis de serem empregados nesse tipo de jazida.

Em primeiro lugar foi desenvolvido um estudo de tempos e movimentos na mina da Ponta da Serra, levantando-se os tempos de ciclo dos caminhões e escavadeiras hidráulica utilizadas na descobertura da gipsita objetivando estabelecer, com o auxílio de formulações matemáticas e procedimentos estatísticos, um modelo da distribuição de probabilidade dos tempos de ciclo dos equipamentos.

De posse desses dados foram caracterizados dois métodos para lavra da gipsita: método da cratera (Open Pit Mine), sendo este o atualmente utilizado na região; e o método de lavra em tiras (Strip Mining). A partir da definição dos parâmetros técnicos da operação de descobertura nesses dois métodos de lavra foram dimensionados os equipamentos de transporte necessários através de duas metodologias clássicas para determinação do número mínimo de caminhões necessários para a operação: a primeira baseada no tempo de ciclo e produção horária dos caminhões para atender a necessidade de produção da mina e a segunda baseada na necessidade de caminhões decorrentes da produtividade dos equipamentos de escavação. Essa abordagem foi realizada através de técnicas estocástica e probabilística. A abordagem probabilística utilizou os conceitos da teoria probabilística clássica e em particular a técnica de Simulação de Monte Carlo.

Através dos resultados obtidos ficou claro que o método de lavra em tiras (Strip Mining) é, para este caso específico, o que minimiza os custos de produção sem ocasionar déficit na demanda produtiva, sendo, portanto, a alternativa mais viável para otimização da lavra de gipsita, refletindo em ganhos econômicos e ambientais bastantes significativos para este polo tão importante para a economia de Pernambuco.

Palavras-chave: Gipsita; descobertura de jazidas minerais; transporte em mineração.

ABSTRACT

Having the intention of improving the exploitation process of gypsum at the Polo Gesseiro do Araripe was developed an assessment of the stripping process of gypsum inherent in two possible methods of being applied in this type of deposit.

Firstly was developed a time and movement study of the Ponta da Serra mine, where was collected the cycle time of the trucks and hydraulic excavator used for doing the stripping of the gypsum aiming establish, with the help of mathematics formulations and statistical procedures, a probability distribution model of the cycle time of the equipment.

Once having these data were characterized two methods of gypsum exploitation: Crater method (Open Pit Mine), which is the current method used in this region; and the strip mining method (Strip Mining). From the definition of the technical parameters of the stripping operation in both methods of exploitation were dimensioned the transport equipment required, through two classical methodologies to determination of the minimum number of truck necessary to the operation: the first is based on the cycle time and hourly production of trucks to supply the need of the mine production and the second one is based on the necessity of trucks arising from the productivity of the excavator equipment. This approach was performed by means of probabilistic and stochastic technics. The probabilistic approach used the concepts of the classical probabilistic theory and in particular the Monte Carlo Simulation technic.

Through the results obtained became clear that the strip mining method (Strip Mining) is, to this specific case, the one whose production costs are minimized, without occasioning deficit on the productive demand, being, however, the most practicable alternative to the optimization of the gypsum stripping, reflecting in economic and environmental earnings very significant to this pole which is so important to Pernambuco economy.

Key words: Gypsum; stripping of mineral deposits; transport in mining.

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 – DESCRIÇÃO DA REGIÃO ESTUDADA

Localizado na porção Centro-Oeste da região Nordeste, o estado de Pernambuco apresenta um quadro natural caracterizado por três grandes divisões geográficas: Mata, Agreste e Sertão. Estes espaços naturais são integrados por outras cinco regiões que são chamadas de subespaços setoriais nos quais estão inseridas as Mesorregiões do Sertão Pernambucano, São Francisco Pernambucano, Agreste Pernambucano, Mata Pernambucana e Metropolitana do Recife. Em nosso estudo daremos ênfase apenas à Meso Região do Sertão Pernambucano, onde se encontra a região do Sertão do Araripe composta por dez municípios entre os quais destacam-se na produção de gipsita os seguintes: Ipubi, Trindade, Bodocó, Ouricuri e Araripina componentes do chamado Polo Gesseiro do Araripe.

Dentre estes municípios citados será dado uma maior ênfase em Araripina, pois é onde foram realizados os levantamentos que serviram de base para a elaboração desta dissertação, cujo principal objetivo foi avaliar de maneira sistemática o transporte de minério, estéril como também sua alocação nos pátios de concentração ou diretamente para os fornos, através de métodos computacionais, ou seja, fazendo uso da Pesquisa Operacional para desenvolver um algoritmo que nos permita avaliar e otimizar as operações de transporte dentro da mina, uma vez que, este segmento representa uma grande parcela no custo de produção das empresas de mineração.

Para o desenvolvimento deste trabalho foram realizados levantamentos “in loco” de três minas de gipsita que estão localizadas no município de Araripina e que pertencem a uma única empresa Royal Gipso Ltda. Estas minas estão interligadas entre si, ou seja, os pontos de exploração mineral são reativamente próximos uns dos outros o que nos permite, de uma maneira bastante simplificada elaborar um estudo desta natureza, com o fim de minerar os recursos naturais desta região de uma maneira mais econômica.

1.2 – OBJETIVO GERAL

Desenvolver uma metodologia para o dimensionamento de frota de caminhões com a aplicação de uma abordagem probabilística dos parâmetros técnicos necessários para o cálculo.

1.3 – OBJETIVO ESPECÍFICO

- Propor uma melhoria na metodologia atual de descobertura de jazidas de gipsita através da aplicação do método de lavra “Strip Mining”.
- Afirmar que, através de procedimentos relativamente simples, como é o caso do “Timing and Moving Studies” é possível estabelecer condições operacionais de descobertura contribuem para uma melhor eficiência desse processo inicial de lavra.
- Utilizar duas abordagens tradicionais para o dimensionamento de frota de caminhões e comparar os resultados para dois possíveis métodos de lavra para extração de gipsita que são: “Open Pit With Multiple Benches” e “Strip Mining”.
- Aplicar o método de simulação Monte Carlo para avaliar os resultados do dimensionamento estocástico da frota de caminhões.
- Determinar os custos unitários de transporte de estéril da cobertura através desses dois métodos possíveis de lavra para gipsita, evidenciando aquele que se mostra mais econômico.
- Aplicar os benefícios econômicos e ambientais oriundos da aplicação da “Strip Mining” na exploração de jazidas de gipsita no polo gesso de Araripe.

1.4 – JUSTIFICATIVA

A presente dissertação faz parte de um estudo desenvolvido junto ao LAPLA visando avaliar a possibilidade de alteração do método de lavra atualmente utilizado na exploração de gipsita no Pólo Gesseiro do Araripe para o método de lavra em tiras (“*strip mining*”) visando uma melhoria nas condições ambientais e benefícios econômicos na etapa de descobertura.

No presente trabalho foi realizada a comparação das metodologias de descobertura entre os dois métodos (atual e “*strip mining*”). Através dos resultados obtidos no estudo de tempos e movimentos e dimensionamento da frota necessária para transportar o estéril da cobertura fica claro que os benefícios ambientais e econômicos representam uma ótima opção para modificar o cenário atual da extração de gipsita no sertão Pernambucano.

1.5 – DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS DA DISSERTAÇÃO

Capítulo 1 – Introdução

Capítulo 2 – Pretende-se apresentar, de forma simplificada, um panorama geral da gipsita incluindo tópicos que falam sobre legislação ambiental e meio ambiente, como também, os métodos de lavra que utilizamos para fazer nosso estudo e os conceitos de pesquisa operacional e estatística que fizemos uso para a elaboração técnica desse trabalho.

Capítulo 3 – Trata de explicar, sistematicamente, a metodologia que foi aplicada para a realização dessa dissertação.

Capítulo 4 – Mostra os resultados obtidos através das metodologias aplicadas para a obtenção do número mínimo de caminhões utilizados para atender as necessidades da mina, assim como, o melhor método de lavra que pode ser aplicado para a gipsita, neste caso estudado.

Capítulo 5 – Conclusões provenientes dos resultados obtidos.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – CENÁRIO GERAL DA GIPSITA

A gipsita é um mineral industrial produzido em diversos países do mundo que movimentam cerca de 125 milhões de toneladas por ano. Sendo uma mercadoria de baixo valor unitário, o seu comércio internacional é limitado e a sua importância ressalta na sua transformação a jusante, atrelada principalmente à cadeia da construção civil, em produtos como o cimento e os manufaturados do gesso. Outra cadeia onde ela se insere é na vertente do agronegócio pelas suas características de condicionador e fertilizante de solos.

O Brasil detém reservas significativas de gipsita localizadas todas elas nas regiões norte, nordeste e centro oeste do país, posicionando-se como o 16º produtor mundial, suprimindo basicamente o consumo interno.

A intensidade de uso deste bem mineral ainda é relativamente pequena no país, quando comparada ao consumo de países mais desenvolvidos ou de longa tradição no uso do gesso na construção. Por isto o seu mercado ainda tem um campo muito vasto no país.

Os registros de produção mostram um crescimento constante ao longo dos anos, que poderá aumentar mais significativamente com a melhoria do poder aquisitivo da população e com os programas de difusão das vantagens do uso do gesso na construção, casados com a oferta de produtos tecnologicamente certificados.

A produção de gipsita é obtida principalmente nos estados de Pernambuco, Ceará, Maranhão e Tocantins, em regiões do semiárido nordestino, de escassas oportunidades de negócios, ou em fronteiras de desbravamento, nas regiões amazônicas e centro oeste, atuando assim como um forte estímulo à política de desconcentração da população e da renda, consolidando polos econômicos no interior do país.

Um processo de organização da produção em novos conceitos de Arranjos Produtivos, já está instalado e buscando investimentos na oferta de infraestrutura (transportes, comunicações, energia) além de apoio financeiro e tecnológico adequados.

No Brasil operam na mineração de gipsita, dezenas de empresas que lavram e ou beneficiam o minério, algumas delas integradas com a calcinação de gesso. A maioria das empresas é controlada por capital nacional. A indústria do gesso acartonado tem forte participação de multinacionais que estão se fixando no país.

O setor da gipsita já demonstra também uma capacidade de mobilização das suas lideranças em órgãos de classe atuantes e uso de tecnologias e inovações de processos, tanto na lavra e no beneficiamento da gipsita como na calcinação do gesso. Existe, porém carência de centros tecnológicos para capacitação de mão-de-obra e difusão de conhecimento, além de que, parte dos produtores ainda opera fora de padrões desejáveis.

O principal problema ambiental na mineração de gipsita é a gestão do material de capeamento, cujo aproveitamento ainda não foi viabilizado apesar de ser constituído essencialmente de argilas de diversas qualidades, quase todas com potencial de aproveitamento industrial.

A calcinação do gesso quando feita na zona produtora do semiárido acarreta poluição do ar e devastação de matas para uso como lenha, gerando um passivo que precisa ser superado. Alternativas energéticas têm sido experimentadas, como o óleo combustível e o coque, aventando-se ainda a possibilidade do uso de gás natural transportado por um sistema híbrido de gasoduto e caminhão, a ser ainda viabilizado. A proposta de investir na eficiência dos fornos de calcinação, associada a um manejo da mata nativa e reflorestamento financiado com os mecanismos de crédito de carbono, nos parece mais factível.

As estatísticas oficiais registram uma produção em torno de dois milhões de toneladas anuais e as projeções de consumo até o ano 2030, indicam pelo menos a duplicação das quantidades produzidas atualmente. A necessidade de investimento para repor novas reservas e para expandir a produção aos níveis de consumo projetados requer cerca de R\$ 561 milhões até o ano 2030.

2.2 – LOCALIZAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DA GIPSITA

A gipsita é um mineral abundante em diversos países e também o Brasil dispõe de importantes reservas inseridas nas bacias sedimentares do Amazonas, do Tocantins, do Parnaíba, Potiguar, do Araripe e do Recôncavo, destacando-se pelo volume e qualidade, os depósitos encontrados nos estados do Pará, Bahia e Pernambuco.

Mesmo existindo jazidas de gipsita em nove Estados do Brasil – Amazonas, Pará, Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Bahia e Tocantins, as que apresentam as melhores condições de aproveitamento econômico (relação estéril/minério e infraestrutura) estão contidas na Bacia Sedimentar do Araripe, na divisa dos estados de Pernambuco, Ceará e Piauí.

Neste ambiente geológico onde o mineral ocorre sob a forma de horizonte descontínuo, atingindo em alguns locais, cerca de 30 m de espessura, a mineração teve início desde a década de 1960.

As jazidas do Amazonas e do Maranhão, desenvolvidas mais recentemente, têm seu aproveitamento ainda em pequena escala, mas experimentando um rápido crescimento para atendimento do mercado local.

Na Bahia, a jazida de Camamu, embora tendo a vantagem de se situar cerca de 1.000 km mais próxima da região sudeste (principal centro de consumo), apresenta como óbice uma grande espessura do capeamento (30 a 60 m) estando o seu aproveitamento projetado para implantação de lavra subterrânea.

No Pará, as reservas descobertas ainda na década de 1970 estão concentradas no município de Aveiro, bacia hidrográfica do rio Tapajós e estão expostas à negociação pela CPRM/Serviço Geológico do Brasil, detentora dos direitos de pesquisa. O seu aproveitamento ainda não ocorreu, pois a jazida está localizada no interior de uma floresta nacional, o que implica em fortes restrições ambientais.

As operações de beneficiamento se restringem à britagem e ou moagem que podem ser realizadas na própria mina ou nas instalações do cliente, sendo estes representados pelas empresas de calcinação do gesso e seus derivados, atuantes em todo o país, pelas fábricas de cimento das regiões norte e nordeste, e pelo setor agrícola das regiões norte, nordeste e centro oeste. São relatadas treze plantas de beneficiamento nos estados de Pernambuco, Maranhão e Ceará.

A bibliografia registra ainda ocorrências de gipsita nos Estados de Sergipe, Rio de Janeiro, Acre e Rondônia, entretanto não existem informações a respeito da avaliação de suas reservas, sendo consideradas, portanto, como áreas prospectáveis.

Nos ambientes geológicos indicados atuam 78 minas, das quais 34 paralisadas, e na tabela abaixo é mostrada a sua distribuição por unidade da federação, evidenciando a forte participação do estado de Pernambuco, seguido pelo Maranhão, conforme tabela 1 abaixo.

Tabela 2.1 - Distribuição das minas de gipsita no Brasil

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
Total	78	44	34

Fonte DNPM 4º Distrito

2.3 – GIPSITA NO BRASIL

A publicação Universo da Mineração Brasileira, 2007 (DNPM) faz uma classificação das minas brasileiras pelo porte da capacidade de produção (grande, médio, pequeno), e relata que atuaram na extração de gipsita, 4 minas de médio porte (ROM entre 100 mil e 1 milhão de toneladas/ano) e 21 de pequeno porte (entre 10 mil e 100 mil toneladas/ano) e as demais se situam na categoria de micro empresa.

Não se verifica ainda a presença de minas de grande porte no setor, predominando a atuação das microempresas e empresas de pequeno e médio porte.

A tabela 2 mostra a distribuição destas minas no Brasil, com exclusividade das minas de médio porte em Pernambuco e uma forte concentração das de pequeno porte nesse mesmo Estado, onde operava em 2007 um total de 37 minas, segundo o Sumário Mineral (DNPM).

No Brasil, outras minas de pequenos portes estão em atividades sendo 1 no Ceará, 1 no Amazonas e 3 no Maranhão, abastecendo calcinadoras, fábricas de cimento e a agricultura regional.

Tabela 2.2 - Distribuição das minas de gipsita por porte e por estado

Estado	Médio Porte	Pequeno Porte	Microempresa
Amazonas		1	
Maranhão		3	
Ceará		1	
Pernambuco	4	16	17
Total	4	21	17

Fonte: DNPM Universo da Mineração Brasileira / Sumário Mineral

2.4 – ENERGIA CONSUMIDA

Um diagnóstico energético realizado pela ATECEL – Associação Técnico-Científica Ernesto Luiz de Oliveira Junior, sob os auspícios do Ministério da Integração e da Agência de Desenvolvimento do Nordeste, em uma amostra de 64 empresas do polo gesseiro do Araripe, escolhidas de forma estratificada em função da atividade econômica (lavra, beneficiamento e calcinação), indicou as taxas de consumo específico mostradas na TABELA 5. Nela pode ser vista a prevalência do óleo diesel nas operações de lavra, a energia elétrica no acionamento dos equipamentos de beneficiamento e a diversidade de fontes energéticas envolvidas na calcinação.

Tabela 2.3 - Consumo específico de energia por atividade na cadeia produtiva da gipsita (2006)

Consumo Atividade	Eletricidade Ton. Gipsita/Kwh	Óleo Diesel Ton. Gipsita/litro	Lenha Ton. Gesso/Ton. lenha	Coque Ton. Gesso/Ton. coque	Óleo Comb. Ton.Gesso/Ton. Óleo.
Lavra		1,64			
Beneficiamento	3,43				
Calcinação	0,26	1,56	3,93	22,6	208,9

Fonte: ATECEL – Min – ADENE.

2.5 – ASPECTOS TECNOLÓGICOS DA MINERAÇÃO DE GIPSITA

De um modo geral, a atividade de lavra obedece à seguinte sequência: limpeza do terreno, decapeamento, perfuração, desmonte (com explosivos), fragmentação, carregamento e transporte, como mostrado na figura 1 abaixo.



Figura 2.1 - Fluxograma de produção de gipsita

O maquinário utilizado na mineração consta basicamente de tratores de esteira, marteletes pneumáticos e *wagon-drills* na perfuração, pás carregadeiras ou retroescavadeiras no carregamento do minério, caminhões basculantes (usados no transporte de rejeitos da lavra e transporte do minério desmontado). Em algumas operações se utiliza o rompedor hidráulico para redução das dimensões dos blocos de minério desmontado, eliminando o fogo secundário ou fogacho, propiciando uma maior produtividade.

A classificação da gipsita para calcinação, onde as especificações técnicas são mais exigentes, é feita manualmente na frente de lavra, sendo os tipos mais impuros destinados ao mercado do cimento e da agricultura.

2.6 – POLO GESSEIRO DO ARARIPE

A Chapada do Araripe está localizada no nordeste brasileiro em uma área que está inserida no semiárido nordestino e compreende oitenta e oito municípios distribuídos entre os Estados do Ceará, Pernambuco e Piauí. A região estende-se por uma área de 71.672,1 km² com uma população estimada em cerca de um milhão e meio de habitantes.

Encravado na Chapada do Araripe (figura 2) encontra-se o Polo Gesseiro, sendo este representado, efetivamente, pelos municípios que se encontram no mapa abaixo, dos quais mencionaremos apenas os que efetivamente fazem parte do complexo gesso do Araripe que são: Trindade, Ouricuri, Ipubi, Bodocó e Araripina sendo estes municípios localizados no extremo oeste do estado de Pernambuco.

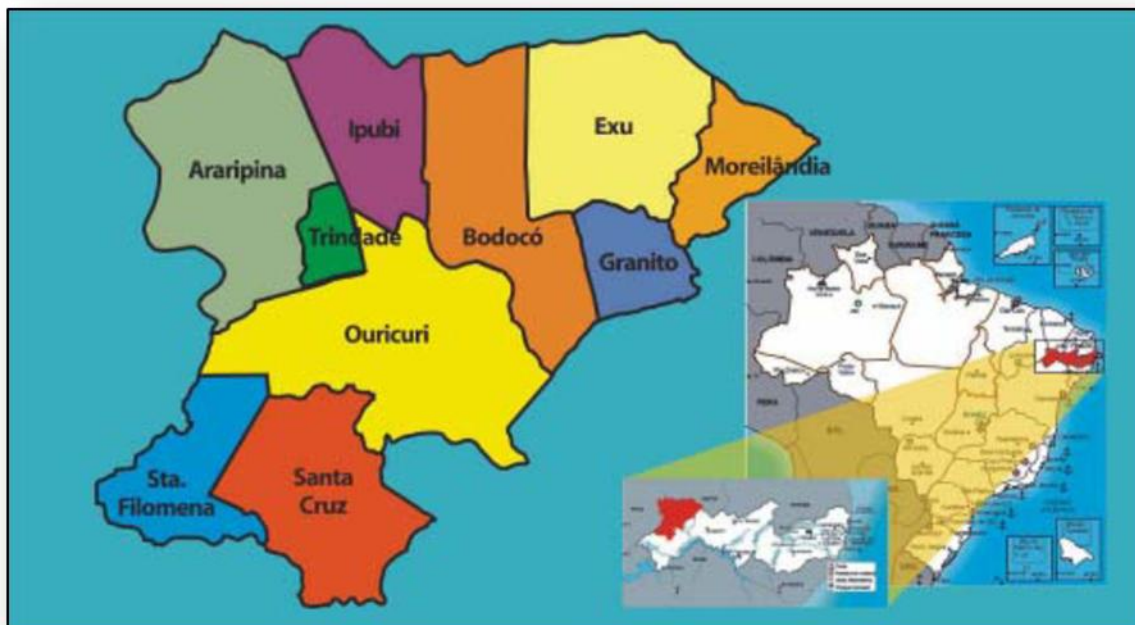


Figura 2.2 - Localização do Polo Gesseiro do Araripe em Pernambuco

Fonte: Agência Estatal de Planejamento e Pesquisa

As tabelas a seguir nos trazem informações acerca do Polo Gesseiro e sua importância tanto do ponto de vista econômico quanto do ponto de vista de produção de minério, destacando também o consumo de gesso por habitante e fazendo um paralelo desses resultados com outros países os valores encontrados nas tabelas resumem de maneira bastante significativa a grande importância que este setor tem para a economia do estado de Pernambuco, pois gera inúmeros empregos diretos e indiretos.

Tabela 2.4 - Dados geográficos e empregatícios

Localização	Subsolo	Números de habitantes	Empregos diretos	Empregos indiretos
Epicentro do semiárido	Cristalino	230.000	12.000	64.000

Fonte: Sindugesso

Tabela 2.5 - Dados mineralógicos e produtivos

Pureza da Gipsita	Produção de 2004	Reserva medida	Reserva estimada
Próxima a 95%	3,2 Mt	168 Mt	1.200 Mt

Fonte: Sindugesso

Tabela 2.6 - Consumo anual de gesso por habitante

Brasil	Chile	Europa	EUA
13 kg	41 kg	75 kg	103 kg

Fonte: Sindugesso

Como podemos ver pelas tabelas acima é significativa a importância deste Pólo para o estado de Pernambuco, não apenas pela questão econômica, mas também pelo grau de pureza da gipsita da região do Araripe, sendo esta considerada a de melhor qualidade entre as já conhecidas em outros países.

2.7 – DIAGNÓSTICO DOS PRINCIPAIS MUNICÍPIOS DO POLO GESSEIRO DO ARARIPE

Trindade, Ouricuri, Ipubi, Bodocó e Araripina, compõem os municípios formadores do Polo Gesseiro do Araripe, sendo estes os responsáveis pela maior parcela da produção de gesso no mercado nacional. Em anexo é apresentada uma síntese sobre as principais características fisiográficas e socioeconômicas destes municípios identificando a relevância de cada um na composição dessa região produtora de gesso.

2.8 – ASPECTOS AMBIENTAIS DA INDUSTRIALIZAÇÃO DE GIPSITA

As bacias sedimentares pela sua geodiversidade e extensão, acumulam além dos depósitos de gipsita, diversos outros bens minerais utilizados pelo homem, citando-se entre outros, os depósitos de calcário, argilas (folhelhos, siltitos etc.), petróleo, gás natural, fosfato, materiais de construção e água subterrânea. Por estes motivos elas têm sido estudadas, ampliando o conhecimento geocientífico e as potencialidades minerais com vistas ao desenvolvimento sustentável do país.

Além disto, apresentam uma multiplicidade de espécimes fósseis representados por vertebrados, invertebrados e vegetais que documentam a história pretérita da terra, constituindo um formidável patrimônio cultural e científico. De particular interesse, a bacia do Araripe onde foi criada uma Área de Proteção Ambiental com extensão de 1.063.000 hectares e onde ocorre um dos mais expressivos sítios paleontológicos do país. Ele está contido na unidade basal (membro Crato) e na unidade superior (membro Romualdo), da formação Santana que encerra também os principais depósitos de gipsita brasileiros. Estes fósseis que têm suas mais importantes exposições no vale do cariri, sul do Ceará, são objeto da cobiça de especuladores e no mais das vezes independentes da atividade mineradora que está mais concentrada na região oeste de Pernambuco.

Na mineração da gipsita, há necessidade de remoção do capeamento argiloso superficial que recobre a camada mineral e é um condicionante econômico na viabilização da lavra, o qual vem sendo armazenado para posterior reaterro na fase de recuperação da área minerada. Considerando o limite da relação estéril / minério em até 1:1 o volume de estéril gerado é assim no máximo igual ao da gipsita extraída, mas não deixa de representar um custo ambiental para a sociedade e um custo financeiro para o minerador.

Por este fato, no polo gesso do Araripe, onde a magnitude do problema se avoluma pela tonelagem produzida e pelos anos de atividade da mineração, alguns estudos têm sido feitos com vistas a aproveitar este capeamento que continua, porém, sem aproveitamento.

As rotas tecnológicas perseguidas são direcionadas pelas características mineralógicas, químicas e físicas das argilas do capeamento.

Elas são constituídas por argilominerais dos grupos das esmectitas, das micas e das caulinitas, com uma fase detrítica mais grosseira onde são identificados o quartzo, o feldspato, a calcita e a gipsita. Pesquisa realizada pelo Instituto Tecnológico de Pernambuco, para aplicação como agente tixotrópico em fluidos de petróleo não apresentaram viscosidades dentro dos padrões exigidos, mas suas propriedades adsorptivas, após ativação ácida, permitem a sua utilização como agente descorante de óleos.

Experimentos foram também realizados visando à aplicação deste capeamento e de um folhelho negro derivado de algas fósseis, subjacente à jazida de gipsita, como condicionadores de solos arenosos produtores de frutas irrigadas. As análises mineralógicas da argila revelam a presença de montmorilonita, muscovita, wedelita, microclina e calcita e a composição química com carbonato de cálcio equivalente 12%, capacidade de troca de cátions 25 a 40 cmole/dm³, fósforo assimilável 15 a 40 mg/dm³ na argila e 200 a 300 mg/dm³ no folhelho, matéria orgânica 4 a 7 % na argila e 32 % no folhelho.

Os resultados indicam melhoria da produtividade da fruticultura com perspectivas de uso do produto a serem confirmadas com estudo de viabilidade econômica.

A atividade produz impactos ao meio ambiente, como a poluição atmosférica por gases e partículas sólidas na mineração da gipsita, causada pela detonação de explosivos e pela emissão gerada pelos motores diesel que acionam os equipamentos de lavra. Estes materiais se dissipam na atmosfera sem provocar maiores problemas.

A transformação da gipsita para o gesso, entretanto tem trazido preocupações e exigido ações mais incisivas dos órgãos ambientais no sentido de utilização de equipamentos de controle ambiental nas atividades de queima e moagem do gesso, conforme relatado em capítulo anterior. Estudos levados a efeito pela CPRH, órgão ambiental do estado de Pernambuco, na área do Polo Gesseiro do Araripe, revelam a emissão de 51.323 kg/hora de dióxido de carbono.

As práticas de recuperação do passivo ambiental que vem sendo propostas para as cavas mineradas são de reaterro e reflorestamento ou ainda, do seu aproveitamento para formação de lagos.

2.9 – A CONSCIÊNCIA ECOLÓGICA

O aquecimento global, a poluição da terra, da água e do ar, e seus consequentes e indesejados reflexos têm alcançado tamanha proporção, que a degradação ambiental passou a ameaçar não somente o bem-estar e a qualidade de vida do ser humano, mas a sua própria sobrevivência.

A respeito do tema, vale citar as palavras do ilustre doutrinador Édis Milaré: A questão ambiental, que dia pós dia ganha espaço nas preocupações da sociedade e na agenda dos segmentos mais esclarecidos, coloca-nos sempre perguntas inquietantes, porém instigantes. Vamos a uma delas: qual é o destino próximo do ecossistema planetário e da espécie humana?

Tudo decorre de um fenômeno corrente, segundo o qual os homens, para satisfação de suas novas e múltiplas necessidades, que são *ilimitadas*, disputam os bens da natureza, por definição *limitados*. É esse fenômeno, tão simples quanto importante e pouco avaliado, que está na raiz de grande parte dos conflitos que se estabelecem no seio das comunidades locais e da sociedade global.

Tais fatos têm preocupado a humanidade e impulsionado a mesma a criar formas de estímulo à proteção ambiental, e mais do que isso, formas de coerção política e legal, exigindo cada vez mais que os empreendimentos estejam ambientalmente corretos, de modo a oferecer meios de diminuir os danos causados à natureza, coibir a poluição, o desmatamento e a destruição da fauna e da flora, preservando, recuperando e revitalizando o meio ambiente, objetivando manter o mesmo de forma saudável e equilibrado para as presentes e futuras gerações.

É plenamente possível a adoção do desenvolvimento sustentável, promovendo medidas mitigadoras dos impactos referidos, auferindo com essas medidas diversos benefícios de ordem prática, econômica e estratégica para a atividade empresarial.

Dentro do contexto aqui tratado, Al Gore, em entrevista, fez importante observação: “Investir no meio ambiente dá lucro e é excelente para o planeta. Os políticos estão começando a perceber isso”. Portanto a partir deste pensamento podemos fazer os seguintes questionamentos: O que será do planeta daqui a vinte anos? O que será dos nossos filhos ou de modo geral das gerações futuras? Para que estas gerações não sejam comprometidas é de extrema importância que se crie uma consciência ambiental cada vez mais sólida de maneira que cada ser humano desenvolva um sentimento mais apurado das coisas que podem deixar de existir se continuar agindo como sempre tem feito.

2.10 – CARACTERÍSTICAS GERAIS DO POLO GESSEIRO PERNAMBUCANO

O Polo Gesso de Pernambuco é o maior do Brasil e um dos maiores e mais importantes do mundo, destacando-se o alto teor de pureza do gesso, possuindo, segundo dados fornecidos pelo Sindicato da Indústria do Gesso do Estado de Pernambuco (Sindusgesso), 30% das reservas de gipsita do país, reserva estimada em 1,22 bilhões de toneladas, com previsão de durabilidade de 600 anos; produzindo atualmente cerca de 95% do gesso consumido no território brasileiro. É localizado no extremo oeste do estado de Pernambuco, cerca de 800 km equidistantes de sete capitais brasileiras (Recife, Salvador, Fortaleza, Aracaju, Maceió, João Pessoa, e Natal), abrangendo os municípios de Araripina, Ipubi, Trindade, Bodocó e Ouricuri. O Polo Gesso Pernambucano movimentava cerca de US\$ 364 milhões por ano, gerando por volta de 13.200 empregos diretos e aproximadamente 66 mil indiretos.

Diante do último levantamento feito, o referido polo, conta com 39 minas de gipsita, 139 indústrias de calcinação e cerca de 726 indústrias de pré-moldados, além do restante da cadeia produtiva do setor (APL-Gesso / Arranjo Produtivo Local do Gesso), que inclui diversas empresas do setor de construção civil, indústrias de máquinas e ferramentas, fabricantes de explosivos, transportadoras, oficinas mecânicas, hotéis, indústria química e fabricantes de embalagens.

O estado de Pernambuco produziu em 2008 um total de 5,5 milhões de toneladas de gesso, onde 61% foi destinado à fabricação de blocos e placas, 35% para revestimento, 3% para moldes cerâmicos e 1% para outros usos.

O Polo produz ainda cerca de 800 mil toneladas de gipsita usada pela indústria de cimento e 200 mil toneladas de gesso agrícola que vem sendo cada vez mais valorizado pelo agronegócio.

O Polo Gesso de Pernambuco representa motivo de orgulho quanto ao seu tamanho e importância social e econômica, mas também uma significativa preocupação quanto aos seus impactos ambientais, como será visto a seguir.

2.11 – DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DA ATIVIDADE GESSEIRA

Os impactos ambientais da atividade gesseira são os mais amplos e devastadores possíveis, e para darmos alguns detalhes com solidez, nos utilizaremos de alguns estudos elaborados pelo pesquisador *Marcílio Sandro de Medeiros*. Dentre os principais impactos da atividade gesseira podemos ressaltar a diminuição significativa da vegetação da Caatinga, utilizada como principal fonte energética no processo de calcinação do gesso; a poluição do ar, do solo e das águas, também oriundas do processo de calcinação e da destinação dos resíduos sólidos dos processos produtivos; o êxodo rural provocado pela substituição de antigas áreas de produção agrícola por lavras de gipsita; e diversos impactos na saúde dos trabalhadores e moradores da região. Na saúde, especificamente, verifica-se que 30% da população tem problemas bronco-respiratórios, causando tosse, sangramento nasal, pneumonia, bronquite, asma e ainda forte irritação na conjuntiva ocular.

2.12 – DAS NORMAS AMBIENTAIS E DAS CONSEQUÊNCIAS DE SEU DESRESPEITO

O repertório normativo disciplinador das questões ambientais atinentes à atividade gesseira é bastante amplo, tendo em vista que a mesma engloba uma série de tarefas, e que para a correta interpretação do Direito Ambiental aplicável ao caso concreto, é necessária a análise de todas as normas pertinentes, em todas as suas esferas, incluindo a Constituição da República Federativa do Brasil de 1988, leis federais, estaduais, municipais, decretos, Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente, Portarias do Departamento Nacional de Produção Mineral, diversas normas técnicas pertinentes, além da regulamentação própria de outras áreas do Direito, tendo em vista o interrelacionamento do Direito Ambiental com outros ramos como o Direito Administrativo, o Constitucional, o Civil, o Penal, o Tributário, dentre outros.

A Constituição da República Federativa do Brasil de 1988, CRFB/1988, considerada por muitos como a mais avançada do mundo em matéria ambiental, dedicou um capítulo inteiro à proteção do meio ambiente, o capítulo VI do Título VIII, contendo o artigo 225 com seus parágrafos e incisos, além de outras disposições como a do artigo 170, inciso VI, referente aos princípios da ordem econômica.

O artigo 225 da CRFB/1988 engloba diversos temas de vital importância para a preservação do meio ambiente, servindo como base para todo o ordenamento infraconstitucional.

A Política Nacional do Meio Ambiente foi instituída pela Lei nº 6.938/1981, e foi um marco do Direito Ambiental no Brasil e no mundo, trazendo conceitos e instrumentos inovadores para a proteção do meio ambiente, influenciando políticas públicas, Sistemas de Gestão Ambiental e alterações legislativas ulteriores.

Com relação ao exposto vale citar algumas palavras de Édís Millaré, (2011): É de justiça reconhecer o caráter inovador para o país – e até mesmo pioneiro em relação a outros países – de tal diploma. A partir de sua vigência, enriquecido que foi por posteriores regulamentações, são incontáveis os benefícios ambientais auferidos; incalculável tem sido a sua influência na definição de políticas públicas e na estruturação dos Sistemas de Gestão Ambiental. Hoje, com mais de um quarto de século de sua vigência, podemos dizer que a Política Nacional do Meio Ambiente significou - senão uma revolução pacífica – ao menos uma auspiciosa evolução no relacionamento da sociedade brasileira com o meio ambiente.

A Política Nacional do Meio Ambiente, de acordo com seu artigo 2º, caput, "tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana", visando dentre outros aspectos, por força do artigo 4º, I, "a compatibilização do desenvolvimento econômico-social com a preservação da qualidade do meio ambiente e do equilíbrio ecológico".

A Lei nº 6.938/1981 instituiu treze instrumentos por intermédio de seu artigo 9º, para promover a execução da Política Nacional do Meio Ambiente, estando dentre eles: o estabelecimento de padrões de qualidade ambiental, o zoneamento ambiental, a avaliação de impactos ambientais, o licenciamento e a revisão de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras, as penalidades disciplinares ou compensatórias ao não cumprimento das medidas necessárias à preservação ou correção da degradação ambiental.

O artigo 14, §1º da Lei 6.938/1981 instituiu a responsabilização objetiva do poluidor pelos danos causados ao meio ambiente e a terceiros por sua atividade, valendo transcrever o referido dispositivo para melhor embasar o presente estudo.

A Lei 9.605/1998 possibilitou a efetiva responsabilização pelos danos causados ao meio ambiente, completando a legislação ambiental punitiva, possibilitando à responsabilização civil, administrativa e penal, de pessoas físicas e jurídicas.

Em seu contexto, encontram-se capitulados *crimes contra a fauna* (arts. 29 a 37), *crimes contra a flora* (arts. 38 a 53), *crime de poluição* (art. 54), *crimes contra o ordenamento urbano e o patrimônio cultural* (arts. 62 a 65), e *crimes contra a administração ambiental* (arts. 66 a 69-A). Recebem tratamento específico as atividades *mineradoras exercidas e desconformidade com os requerimentos ambientais* (art. 55); *a importação, exportação, produção, processamento, embalagem, armazenamento, comercialização, transporte, uso e descarte indevido de produtos ou substâncias tóxicas* (art. 56); *a construção, reforma, ampliação, instalação, e funcionamento de estabelecimentos, obras e serviços potencialmente poluidores*, sem as devidas licenças ou autorizações dos órgãos ambientais (art. 60) e a disseminação de doença ou praga ou espécies que possam causar dano à agricultura, à pecuária, à fauna, à flora ou aos ecossistemas (art. 61).

Para William Freire, (2011) "mineração é a atividade destinada a pesquisar, descobrir e transformar os recursos minerais em benefícios econômicos e sociais", tendo como características: Vultosos investimentos com alto risco e longo prazo de maturação, visto que do Requerimento de Pesquisa até a Portaria de Lavra, num projeto médio, há um intervalo de 10 anos com fluxo de caixa negativo, e para projetos maiores, a prazo chega a quinze anos, sendo que de cada cem Requerimentos de Pesquisa, cerca de três se transformam em minas; além da caracterização como de utilidade pública, por força do Decreto-Lei 3.365/1941 (art. 5º, alínea f) e da Resolução CONAMA nº 369/2006; do fato de a mineração não definir o preço de seus produtos, visto que "a maioria absoluta dos minérios são commodities, com preço fixado de forma global pelos mercados"; além do que a mineração contribui para fixar o homem no interior do Brasil, constituindo fator decisivo e seguro para o desenvolvimento regional.

A regulamentação da atividade minerária é vasta, englobando desde decretos, leis, portarias, instruções normativas, códigos, regulamentos e resoluções, que podem ser acessadas no portal do Departamento Nacional de Produção Mineral, até a própria CRFB/1988, através dos artigos já referidos, e do de nº 176, que define que os recursos minerais constituem propriedade distinta da do solo, para efeito de exploração ou aproveitamento, e pertencem à União, garantida ao concessionário a propriedade do produto da lavra, além de criar regras acerca da pesquisa, da lavra, e das autorizações e concessões necessárias ao exercício da atividade minerária.

Dentre os diplomas de maior importância, que regulamentam a atividade minerária, vale destacar o Código de Mineração, instituído pelo Decreto-Lei nº 227/1967 e seu regulamento, o Decreto nº 62.934/1968, que regulam, de acordo com o art. 3º do referido código, os direitos sobre os minérios, os regimes de seu aproveitamento e a a fiscalização do Governo Federal, da pesquisa, da lavra e de outros aspectos da indústria mineral.

Vale destacar ainda a Lei nº 6.567/1978, também chamada de lei de aproveitamento mineral, que regula o regime especial para exploração e o aproveitamento das substâncias minerais de classe II, que de acordo com o art 7º do Regulamento do Código de Mineração, correspondem aos minérios de utilização imediata na construção civil.

A Lei nº 8.176/1991 que rege o sistema de estoques de combustível, estipula dentre outras questões, que quem adquirir matéria-prima que em sua extração tenha desobedecido a exigências legais, comete crime, com pena de até 5 anos e multa, com base em seu art. 2º, § 1º c/c art. 20, IX da CF/1988. A tal estipulação, os empresários do gesso devem estar bem atentos, visto que mesmo que não se trabalhe com Mineração, apenas se promovendo a compra da Gipsita já extraída para a realização do beneficiamento, caso a mesma tenha sido extraída sem as devidas autorizações e licenças, o empresário cometerá ilícito penal.

Outra norma de grande relevância é a Portaria de Nº 266 do DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral), de 10/07/2008, que dispõe sobre o processo de registro de licença e altera as Normas Reguladoras de Mineração aprovadas pela Portaria nº 237, de 18 de outubro de 2001.

Além das normas já referidas, também é importante se destacar a existência do Dec. nº 97.632/1989, que por exigência constitucional (art. 225 §2º), determina que as atividades mineradoras deverão apresentar Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD), juntamente com o Estudo de Impacto Ambiental e seu respectivo Relatório, na fase inicial dos licenciamentos ambientais.

A Compensação Ambiental é outro importante mecanismo facilitador do desenvolvimento sustentável, possibilitando através do Dec. 6.848/2009, que regulamentou o art. 36 da Lei nº 9.985/2000, o apoio à implantação e manutenção de Unidades de Conservação do Grupo de Proteção Integral, nos casos de licenciamento ambiental de empreendimentos de significativo impacto ambiental, possibilitando inclusive, através dessa nova regulamentação, agora mais clara e objetiva, que o empreendedor calcule nitidamente o valor da indenização, dando maior segurança jurídica e financeira ao mesmo, e possibilitando o abatimento de investimentos em meio ambiente da base de cálculo referente à compensação.

2.13 – DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Conforme veremos a seguir, gerir uma empresa de forma sustentável, não é só possível, mas também viável e vantajoso, estratégica e economicamente. A Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento definiu bem o conceito de desenvolvimento sustentável, como "aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem a suas próprias necessidades". Sem sobra de dúvida o objetivo principal do desenvolvimento sustentável é "melhorar a qualidade de vida humana dentro dos limites da capacidade de suporte dos ecossistemas".

É equivocado o entendimento de alguns empresários e políticos de que se estimulando a promoção de medidas protetoras do meio ambiente se está freando o desenvolvimento econômico do país. Nesse sentido, Édís Milaré, (2011) nos traz importantes lições: “É falso o dilema "ou desenvolvimento ou meio ambiente", na medida em que, sendo este fonte de recursos para aquele, ambos devem harmonizar-se e complementar-se”.

Compatibilizar meio ambiente com desenvolvimento significa considerar os problemas ambientais dentro de um processo contínuo de planejamento, atentando-se adequadamente às exigências de ambos e observando-se as suas inter-relações particulares a cada contexto sociocultural, político, econômico e ecológico, dentro de uma dimensão tempo/espço. Em outras palavras, isto implica dizer que a política ambiental não deve erigir-se em obstáculos ao desenvolvimento, mas sim em um de seus instrumentos, ao propiciar a gestão racional dos recursos naturais, os quais constituem a sua base material.

O desenvolvimento sustentável exige da sociedade que suas necessidades sejam satisfeitas pelo aumento da produtividade e pela criação de oportunidades políticas, econômicas e sociais iguais para todos. Ele não deve pôr em risco a atmosfera, a água, o solo e os ecossistemas, fundamentais à vida na terra. O desenvolvimento sustentável é um processo de mudança no qual o uso dos recursos, as políticas econômicas, a dinâmica populacional e as estruturas institucionais estão em harmonia e reforçam o potencial atual e futuro para o progresso humano. Apesar de reconhecer que as atividades econômicas devem caber à iniciativa privada, a busca do desenvolvimento sustentável exigirá, sempre que necessário, a intervenção dos governos no campo social, ambiental, econômico, de justiça e ordem pública, de modo a garantir democraticamente um mínimo de qualidade de vida para todos.

Para que a humanidade acompanhe esse raciocínio e o incorpore em seu sistema legislativo, na sua gestão administrativa, e mais do que isso em suas condutas diárias, é necessário que se promova uma reeducação global, baseada em estudos, pesquisas, estatísticas e experiências práticas de forma a ajudar o entendimento a respeito das soluções para superar o quadro de degradação ambiental avassaladora que o planeta está passando, Édís Milaré, (2011) ensina que: “A superação desse quadro de degradação e desconsideração ambiental passa, necessariamente, por alterações profundas na compreensão e conduta humanas”. É um avanço que pode ser conseguido, em primeiro lugar, através de adequada educação ambiental, nas escolas e fora delas.

O desenvolvimento sustentável não é só imperioso para salvar o planeta, o mesmo é também necessário para que o empresário exerça sua atividade empresarial de forma segura, visto que, como já vimos, as consequências pelo desrespeito às normas ambientais são drásticas, podendo apenas uma infração ambiental, levar o empresário à falência. Imagine uma empresa de médio porte que de uma só vez é autuada em R\$ 40 milhões, tem sua atividade empresarial suspensa, é condenada a indenizar civilmente a coletividade e ainda tem seu gerente preso! É bem provável que essa empresa vá à falência, ficando seus sócios e representantes responsáveis pelos passivos ambientais mesmo após a liquidação da empresa.

Podemos afirmar com propriedade que os custos com ações preventivas são infinitamente inferiores aos custos com ações corretivas, possibilitando a conclusão de que a prevenção é uma ferramenta econômica, devendo ser utilizada em prol da estabilidade e da saúde da empresa, agregando ao empreendimento credibilidade de imagem perante a população, destaque frente à concorrência e valorização dos seus ativos.

Dentre as vantagens que podemos elencar diante da regularidade ambiental, vale destacar a satisfação da coletividade, dos funcionários e dos acionistas frente à atividade empresarial ambientalmente responsável, possibilitando maior apoio, maiores investimentos e até uma produção melhor quantitativa e qualitativamente, visto que ao instituir um Sistema de Gestão Ambiental em uma empresa, é necessário que se reveja toda a sua estrutura e todos os seus procedimentos, promovendo verdadeira reeducação aos gestores e funcionários, possibilitando grande otimização da atuação empresarial.

Não se pode deixar de destacar a possibilidade de explorar o Marketing Ambiental, também chamado de Marketing Verde, Ecologicamente Correto ou Eco marketing, que tem se mostrado uma ferramenta capaz de projetar e sustentar a imagem da empresa, difundindo-a com uma nova visão de mercado, destacando sua diferenciação ecologicamente correta junto à sociedade, fornecedores, funcionários, clientes e ao meio empresarial.

Vale ressaltar o grande peso de uma política de retidão ambiental nas concorrências junto a grandes empresas e entes públicos, que em grande parte das vezes tem se mostrado requisito indispensável para celebração contratual.

Há ainda a incidência da tributação ambiental, que através de técnicas político-jurídicas de utilização do tributo como instrumento propulsor de condutas socioeconômicas, dá incentivos fiscais a empresas que pautem suas atividades econômicas na preocupação com a preservação do meio ambiente. Mais uma vantagem da sustentabilidade ambiental é a possibilidade de lucrar com o mercado de créditos de carbono, que consiste na comercialização das reduções de emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE) para outras empresas que não tenham alcançado a meta estabelecida.

Importante lembrar-se da criação do I.S.E. (Índice de Sustentabilidade Empresarial) pela BOVESPA, que como o próprio nome diz, é um índice para medir o grau de sustentabilidade empresarial das empresas que têm ações na bolsa. O I.S.E. acabou se tornando um importante fator para despertar o interesse de investidores nas ações de empresas que possuem políticas claras de respeito à responsabilidade social e, sobretudo, responsabilidade ambiental de seus empreendimentos, produtos e serviços.

2.14 – ATUAÇÃO EMPRESARIAL CONSCIENTE

A atuação empresarial consciente engloba fatores como a responsabilidade social, a preocupação com o meio ambiente, com a saúde e segurança dos trabalhadores e da coletividade. Uma ferramenta que tem se mostrado eficiente em manter uma atuação empresarial consciente, é a implantação do SGI (Sistema de Gestão Integrada), que adequa a estrutura e os procedimentos empresariais às normas técnicas ISO 9.000 (gestão da qualidade), ISO 14.000 (gestão ambiental) e OHSAS 18.001 (saúde ocupacional e segurança no trabalho), ainda existindo a NBR 16.000 (responsabilidade social), dentre outras.

De acordo com Ferreira (2010) “O Sistema de Gestão Integrada é um conjunto de pessoas, recursos, política e procedimento que interagem de forma organizada para assegurar que são tomadas ações relativas à Qualidade, Meio Ambiente e Saúde e Segurança no Trabalho. O objetivo do Sistema de Gestão Integrada é certificar que todas as atividades e processos da organização sejam executados com qualidade, em harmonia com o meio ambiente e sem riscos à saúde e segurança do trabalhador”.

Esse estudo se restringirá a analisar somente medidas de mitigação dos impactos ambientais, de forma sucinta e direta, com base em pesquisas e orientações de profissionais da área. Para que a empresa se adeque ambientalmente, deve passar por uma mudança em sua cultura, deve rever seus paradigmas. Uma forma efetiva de promover essa revisão, seria através da implantação de um Sistema de Gestão Ambiental, que pode ser apresentado esquematicamente da seguinte forma:

- a. Objeto: manter o meio ambiente saudável (na medida do possível), para atender as necessidades humanas atuais, sem comprometer o atendimento das gerações futuras.
- b. Meios: atuar sobre as modificações causadas no meio ambiente pelo uso e/ou descarte dos bens e detritos gerados pelas atividades humanas, a partir de um plano de ação viável técnica e economicamente, com prioridades perfeitamente definidas.
- c. Instrumentos: monitoramentos, controles, taxações, imposições, subsídios, divulgação, obras e ações mitigadoras, além do treinamento e conscientização.
- d. Base de atuação: diagnósticos e prognósticos (cenários) ambientais da área de atuação, a partir de estudos e pesquisas dirigidos à busca de soluções para os problemas que forem detectados.

Uma Gestão ambiental adequada deve obrigatoriamente incluir preocupações com avaliação, controle e melhoria dos aspectos ambientais da empresa, cumprimento das normas pertinentes, uso racional de matérias-primas e insumos, saúde e segurança dos trabalhadores e da vizinhança, minimização dos danos ambientais, dentre outros.

Segundo Reis (1995) Gerenciamento Ambiental é “... um conjunto de rotinas e procedimentos que permite à organização administrar adequadamente as relações entre suas atividades ao meio ambiente que as abriga, atentando para as expectativas das partes interessadas. É um processo que objetiva identificar as ações mais adequadas ao atendimento das imposições legais aplicáveis às várias fases do processo, desde a produção até o descarte final, passando para a comercialização, zelando para que os parâmetros legais sejam permanentemente observados”.

No caso da atividade gesseira, que engloba tarefas como mineração, calcinação, beneficiamento, acondicionamento e descarte de efluentes e resíduos sólidos, podem-se destacar algumas medidas que minimizariam consideravelmente os impactos ambientais, como o gerenciamento, organização, acondicionamento e transporte, interno e externo, de matéria em seu estado primitivo e beneficiado; a administração dos recursos materiais de forma a manter a organização e evitar desperdícios com matéria-prima, água, energia elétrica, etc., a capacitação da mão-de-obra incluindo treinamentos voltados à educação ambiental.

Atualmente os principais problemas ambientais do Polo Gesseiro Pernambucano estão relacionados aos fornos de calcinação (fonte de alimentação e material particulado emitido) e aos resíduos sólidos gerados.

Quanto à alimentação dos fornos necessários à secagem da gipsita (calcinação), várias alternativas têm se mostrado possíveis, sustentáveis e viáveis, devendo a escolha levar em consideração os gastos, os impactos ambientais causados, a realidade de cada empresa, analisando a produção, a localização, a disponibilidade para investir, o maquinário que a empresa já tem (podendo o mesmo ser adaptado ou trocado, diante do caso concreto), dentre outros aspectos.

Dentre as alternativas mais comuns pode-se ressaltar o uso de lenha sustentável decorrente de plano de manejo, que pode ser cortada em pedaços de até dois a três centímetros, possibilitando a redução de 35% do consumo; o uso de briquetes de bagaço de cana, de serragem ou de outro material; o uso de gás natural (que segundo informações do governo do estado, chegará em breve à região); o uso de gases combustíveis provenientes de carbonização da biomassa do bagaço da cana, da madeira (cajueiro, algarobeira da caatinga, dentre outras), da serragem, restos da limpeza dos bosques e florestas, cascas de côco, etc; óleo vegetal; energia solar; energia eólica; dentre outros.

Vale ressaltar que grande parte das empresas do polo gesseiro têm se utilizado de derivados do petróleo como óleo BPF, coque, óleo diesel, querosene e gasolina, tendo em vista a facilidade de conseguir esses materiais e os fornos próprios, mas o que esses empresários não sabem é que além de não sustentáveis, essas práticas ainda são pouco econômicas.

Para solucionar o problema da poluição ocasionada pela geração de resíduos sólidos, se faz necessário à elaboração de um projeto de gerenciamento de resíduos sólidos, de forma a analisar a realidade de cada empresa, e achar soluções viáveis técnica e economicamente, incluindo armazenagem, coleta seletiva, transporte, tratamento (limpeza, descontaminação, secagem, processamento, etc.) e destinação (reutilização, reaproveitamento, reciclagem, aterro, etc.).

A reciclagem de resíduos sólidos do gesso possibilita diversas aplicações, como a fabricação de revestimentos, pré-moldados, acartonados, corretivos para o solo, aditivos para compostagem, forração para animais, fabricação da "lama de gesso" para a construção civil, como absorvente de óleo, controle de odores em estábulos, secagem de lodo de esgoto, na indústria cimenteira (retardante de pega do cimento), ou até na própria indústria de transformação do gesso, que pode reincorporar seus resíduos, em certa proporção, em seus processos de produção.

O investimento em novas tecnologias, quase sempre, possibilita aumento na produção, diminuição nas perdas de material, majoração da qualidade, maior economia, adequação ambiental e segurança do trabalhador. Um exemplo que podemos ressaltar é um novo sistema de fabricação de placas de gesso chamado "Carrossel", que multiplica por quatro a capacidade produtiva, diminui pela metade a necessidade de mão-de-obra, produzindo 450 placas de gesso por hora com qualidade inigualável, celeridade, diminuição de custos, redução das perdas de matéria-prima a quase zero, aumenta a segurança do trabalhador e reduz significativamente os impactos ambientais, visto que diminui consideravelmente o desperdício de gesso, e consequentemente o seu descarte na natureza, além de não utilizar desmoldante em sua produção, produto químico altamente corrosivo e poluente.

Outra alternativa tecnológica possível para redução da geração de resíduos sólidos é a adquirida através da construção de novos fornos ou adaptação dos já existentes para produção de gesso beta reciclável, que através da modificação da microestrutura do gesso convencional, promove desidratação avançada da gipsita com um processo de calcinação sob pressão atmosférica e possibilita a reutilização da quase totalidade dos resíduos sólidos, enquanto o gesso do tipo convencional, só consegue ser reutilizado em percentuais de cerca de 2% em relação às cargas de gipsita dos fornos.

Vale lembrar um importante sistema que possibilita economia de custos e redução da poluição através da facilitação do comércio de resíduos sólidos. Trata-se da "Bolsa de Resíduos", que é um portal, de iniciativa da Confederação Nacional da Indústria, onde é possível doar, trocar, comprar e vender os resíduos de uma empresa.

2.15 – FASES DE UM ESTUDO DE PESQUISA OPERACIONAL

Um estudo de pesquisa operacional engloba, basicamente, as seguintes etapas:

- 1 - Definição detalhada do problema a ser resolvido;
- 2 - Construção do modelo representativo do sistema;
- 3 - Solução do modelo;
- 4 - Verificação e validação do modelo;
- 5 - Implementação dos resultados obtidos.

Como pode ser observada através das etapas de um estudo de P.O., a base do estudo se concentra num modelo que representa o sistema a ser estudado. Por isso, o conhecimento de modelagem de sistemas é fundamental.

2.16 – MODELAGEM EM PESQUISA OPERACIONAL

2.16.1 – Conceito de Modelo

Um modelo nada mais é que um conjunto de suposições sobre a operação de um sistema. Em outras palavras, um modelo pode ser visto como uma imitação da realidade. PIDD, 1998, apresenta as evoluções das definições de modelo apresentadas a seguir.

2.16.2 – Tipos de Modelo

Dependendo da maneira como o processo de decisão é abordado pelo analista e da própria natureza da decisão, podemos identificar diferentes tipos de modelo, como:

- Modelos Conceituais;
- Modelos Simbólicos ou Matemáticos;
- Modelos Heurísticos.

Os **Modelos Conceituais** relacionam de maneira sequencial e lógica as informações e as fases do processo de decisão, de modo a permitir o desenvolvimento controlado e consistente com os objetivos que se tem em mente.

Os **Modelos Simbólicos ou Matemáticos** baseiam-se na pressuposição de que todas as informações e variáveis relevantes do problema de tomada de decisão podem ser quantificadas. Isso nos leva a utilizar símbolos matemáticos para representá-las e a usar funções matemáticas para descrever as ligações e a operação do sistema. São muitas as maneiras de gerar e utilizar essas relações. Por isso existem vários tipos de modelos matemáticos, e o processo de solução subsequente decorre do modelo construído.

Os **Modelos Heurísticos** são construídos quando a complexidade do problema é de tal ordem que a utilização de relações matemáticas torna-se impraticável ou extremamente dispendiosa. O esforço de construir o modelo não seria compensado pelos benefícios conseguidos no processo de decisão. Esses modelos baseiam-se em regras empíricas ou intuitivas que, dada uma determinada solução para o problema, permitem o avanço para outra solução mais aprimorada. São basicamente procedimentos de busca inteligente de estados do processo de decisão sempre em direção ao aumento do valor do critério escolhido. Podemos citar como um exemplo genérico para os modelos heurístico os que são construídos com base nas técnicas de inteligência artificial, pois têm como base o aprimoramento sequencial dos resultados obtidos.

2.17 – PESQUISA OPERACIONAL APLICADA À MINERAÇÃO

A lavra de uma mina geralmente é feita em diversas frentes, de modo que, realizando a mistura dos minérios retirados das frentes, seja possível fornecer, para a usina de tratamento, um minério que esteja de acordo com as especificações de qualidade necessárias. Desse modo, precisa-se conhecer qual o ritmo de lavra a ser implementado em cada frente, que atende as especificações quantitativas e qualitativas da usina. Entende-se por ritmo de lavra a produção horária da frente (t/h).

Uma mina convencional possui equipamentos como caminhões, carregadeiras e escavadeiras que viabilizam a lavra nas diversas frentes. Mesmo mantendo uma frota com um número fixo de equipamentos, a quantidade disponível em condições de operar pode variar ao longo do tempo. Isso pode acontecer por motivo de quebra desses equipamentos, manutenção preventiva, atrasos operacionais, etc. Sendo assim, o cumprimento do ritmo de lavra com objetivo de atender as especificações da usina depende, entre outros fatores, da disponibilidade dos equipamentos na mina.

Diante desse cenário, diversas questões podem surgir, tais como:

- Com quais frentes deve-se trabalhar para atender as especificações de qualidade da usina de tratamento de minério?
- Com a frota de equipamentos disponíveis, será possível atender um ritmo de lavra que possibilite o atendimento das especificações da usina?
- A partir de uma determinada frota de equipamentos e das especificações impostas pela usina, qual é a máxima produção que pode ser obtida? E qual é o ritmo de lavra de cada frente?

Cada uma das questões apresentadas anteriormente pode ser respondida mediante a construção de modelos distintos de programação matemática. A seguir, serão apresentados alguns modelos, os quais têm o objetivo de determinar o ritmo de lavra de cada frente disponível e alocar os equipamentos existentes às mesmas, de forma a maximizar a produção total de minério.

Os modelos se diferem pela forma de alocação dos caminhões. Um trabalha com alocação estática, ou seja, cada caminhão trabalha fixado a um único par de pontos de carga e descarga. Dessa forma, cada caminhão atenderá uma única frente e descarregará sempre no mesmo ponto.

O outro modelo trabalha com alocação dinâmica, onde a definição da frente a ser atendida por cada caminhão e o seu ponto de descarga acontecem ao término de cada viagem, sendo o controle dessa alocação realizado por um sistema de despacho automático. No modelo de alocação dinâmica, a alocação de equipamentos fica restrita a carregadeiras e/ou escavadeiras. Já o segundo modelo considera um sistema de alocação estática e, desse modo, o modelo contempla também a alocação de caminhões às frentes de lavra.

2.18 – TÉCNICAS UTILIZADAS

Dentre as técnicas de pesquisa operacional mais utilizada na mineração pode-se destacar a programação linear como a mais aplicada aos problemas de planejamento de produção em mineração, sendo adotada principalmente pelas minerações a céu aberto, devido à maior complexidade de suas operações em relação às de minas subterrâneas (Mutmansky, 1979).

Entretanto, com o desenvolvimento e o aumento da velocidade de processamento dos computadores, os métodos heurísticos vêm conquistando cada vez mais espaço na resolução de problemas de planejamento de produção em mineração. Os modelos de programação linear para problemas reais são complexos e demandam muito tempo para obter a solução do problema, enquanto os métodos heurísticos possuem uma maior flexibilidade na modelagem das restrições e podem gerar soluções satisfatórias em tempo computacional viável. MUTMANSKY, 1979 descreve os modelos heurísticos como sendo comuns em problemas de mineração, mas pouco apresentados na literatura, devido a sua subjetividade e aplicados a operações particulares. Um importante seguimento de aplicação dos métodos heurísticos está relacionado com o sistema de despacho de caminhões (Ezawa e Silva, 1995; Alvarenga, 1997).

2.19 – O MÉTODO DE MONTE CARLO

Este é um processo que faz uso de operações com modelos estatísticos de modo a lidar experimentalmente com variáveis descritas por funções probabilísticas, ou seja, é um método que tem por objetivo tratar problemas que seriam extremamente trabalhosos resolve-los analiticamente, pois teríamos diversas funções que possivelmente não seria tão simples encontrar suas leis de formação; daí vem a necessidade de adequar um modelo que se apresente bem para a aplicação do método de Monte Carlos, que tem como real objetivo avaliar experimentalmente os efeitos conjuntos das variáveis aleatórias associadas ao sistema.

2.20 – ANÁLISE DO TRABALHO E ESTUDO DOS TEMPOS E MOVIMENTOS

O instrumento básico para se racionalizar o trabalho dos operários era o estudo de tempos e movimentos (motion-time study). O trabalho é executado melhor e mais economicamente por meio da análise do trabalho, isto é, da divisão e subdivisão de todos os movimentos necessários à execução de cada operação de uma tarefa. As etapas do processo de análise do trabalho e estudos dos tempos e movimentos são as seguintes:

- Selecionar um pequeno grupo de trabalhadores qualificados para executar uma determinada tarefa a ser analisada.
- Estudar a série exata de operações ou movimentos elementares que cada trabalhador repete quando executa a tarefa a ser analisada, além das ferramentas que cada um deles utiliza.
- Marcar com um cronômetro o tempo necessário para executar cada um desses movimentos elementares e, em seguida, selecionar a forma mais rápida de executar cada elemento da tarefa. Além da determinação do tempo médio para a execução de cada movimento, adicionar também os tempos elementares ou mortos (esperas, tempos de saída do operário da linha para descanso, etc.) para avaliar o "tempo padrão".
- Eliminar os movimentos incorretos, lentos ou inúteis.
- Reunir em uma série ordenada os movimentos melhores e mais rápidos, além das melhores ferramentas para definir o novo método de trabalho.

Com isso, padronizava-se o método de trabalho e o tempo destinado à sua execução. Método é a maneira de se fazer alguma coisa para obter um determinado resultado. O estudo dos tempos e movimentos permite a racionalização dos métodos de trabalho do operário e a fixação dos tempos padrões para a execução das tarefas.

Os objetivos do estudo de tempos e movimentos podem ser resumidos como:

- Eliminação de todo o desperdício de esforço humano.
- Adaptação dos operários à tarefa.
- Treinamento dos operários.
- Especialização do operário.
- Estabelecimento de normas de execução do trabalho.

Frank B. Gilbreth (1868-1924) foi um engenheiro americano que acompanhou Taylor no esforço de aumentar a produtividade. Introduziu o estudo dos tempos e movimentos dos operários como técnica administrativa para a racionalização do trabalho. Concluiu que todo trabalho manual pode ser reduzido a movimentos elementares (aos quais deu o nome de therblig, anagrama de Gilbreth) necessários à execução de qualquer tarefa.

Os movimentos elementares (therbligs) permitem decompor e analisar qualquer tarefa. A tarefa de colocar parafusos representa sete movimentos elementares: pegar o parafuso transportá-lo até a peça, posicioná-lo, pegar e transportar a chave de fenda até o parafuso, utilizá-la e posicioná-la na situação anterior. O therblig constitui a unidade fundamental de trabalho.

O conceito de eficiência é fundamental para a Administração Científica. A análise do trabalho e o estudo dos tempos e movimentos focalizam a melhor maneira (the one best way) de executar uma tarefa e elevar a eficiência do operário. A eficiência significa a correta utilização dos recursos (meios de produção) disponíveis. Pode ser definida pela equação $E = P / R$, na qual P são os produtos resultantes e R os recursos utilizados. A organização racional do trabalho busca a melhor maneira, isto é, o melhor método de trabalho para se realizar a tarefa. O método define o padrão de desempenho, que é equivalente a 100% do tempo padrão. A eficiência do operário significa a relação entre o desempenho real e o desempenho previamente estabelecido como eficiência igual a 100%. Daí, a expressão percentagem de eficiência para representar o resultado daquela equação. Assim, a eficiência está voltada para a melhor maneira pela qual as coisas devem ser feitas ou executadas (métodos de trabalho), a fim de que os recursos (pessoas, máquinas, matérias-primas, etc.) sejam aplicados da forma mais racional possível.

A eficiência preocupa-se com os meios e métodos, que precisam ser planejados a fim de assegurar a otimização dos recursos disponíveis. Emerson utiliza a expressão engenharia de eficiência como uma especialidade na obtenção e maximização da eficiência. Para ele, "eficiência é a relação entre o que é feito e o que pode ser feito". A consequência direta da eficiência é a produtividade. A produtividade pode ser definida como a produção de uma unidade produtora por unidade de tempo, isto é, o resultado da produção de alguém por um determinado período de tempo. Quanto maior a eficiência, tanto maior a produtividade.

2.21 – BASE GERAL PARA A OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS ESSENCIAIS

Uma das áreas de trabalho em processos refere-se à otimização de cada processo relevante na organização, em que os processos, um a um, são submetidos a um questionamento estruturado visando sua racionalização, sob um enfoque integral, analisando-se a estratégia da organização, a estrutura organizacional e as pessoas, assim como o nível de tecnologia que se decida aplicar aos processos.



Figura 2.3 - Diagrama estrutural de otimização de processos industriais

2.22 – VISÃO INTEGRAL PARA ANÁLISE DOS PROCESSOS

O trabalho tradicional de racionalização de processos identifica os principais processos operados pela organização e, para cada um deles, realiza um estudo de possibilidades de otimização e automação. Cada um dos processos relevantes dentro do escopo de interesse da organização deve ser avaliado, a partir da visão de macroprocessos, identificando-se suas essencialidades, as funções ou sub processos de apoio e as possibilidades de adoção de tecnologia de informação como base para a racionalização. Nessa análise, devem ser tratados:

- Processos operacionais básicos
- Processos menos estruturados (*ad-hoc*) e
- Processos de gestão e administração

Cada um destes tipos de processos tem características distintas, exigindo diferentes abordagens para sua otimização. E de todos os processos existentes, por sua vez, devem ser destacados para análise aqueles entendidos como essenciais para as operações da empresa, e neles concentrar a atenção.



Figura 2.4 - Concentração de atenção nos processos essenciais

Os processos essenciais, isto é, aqueles que ou representam uma parcela muito importante de todo o ciclo de valor nos macroprocessos, ou representam um foco relevante de diferenciação da organização, são aqueles que deverão receber maior atenção na busca de soluções de otimização.

Os principais sistemas de informações devem, então, ser analisados quanto às suas características, funcionalidades e aderência aos processos desejados, pontos fortes, suporte à gestão, limitações, possibilidades de reaproveitamento em soluções integradas, plataforma tecnológica empregada, expansões necessárias, contratos de fornecimento, riscos, custos e impactos sobre performance, entre outras análises.

2.23 – METODOLOGIA PARA OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS

Um dos mais poderosos recursos de otimização de um processo é a busca do processo inexistente, baseando-se no conceito em que a melhor forma de fazermos alguma coisa é não ter de fazê-la. Isto pode parecer um jogo de palavras, mas muitos processos existem por imposições que, se retiradas - ou se mudarmos a nossa referência do que queremos do processo - ele pode simplesmente acabar se mostrando desnecessário e deixar de existir.

Assim são muitos dos processos de controle que, na suposição de falta de confiança, impõem grande carga de trabalho que poderia tão somente ser alocada a atividades que efetivamente trouxessem acréscimo de valor ao negócio. Por exemplo, se pudéssemos admitir que todos na organização trabalham o tempo necessário e estão estimulados a fazer o melhor que podem, um processo de controle de pessoal pode se tornar desnecessário. Em outro exemplo, que não é exatamente de eliminação, mas que muito deste se aproxima, é o caso em que integramos operações de uma empresa com a de seus fornecedores, eliminando a necessidade de gestão de estoques, caso os sistemas das empresas envolvidas possam interagir automaticamente.

Os processos essenciais devem, portanto, ser submetidos a diversas análises, visando à sua racionalização, o que inclui a avaliação das possibilidades de sua eliminação, de mudanças radicais, integração e aglutinação de processos, ampliação das suas fronteiras, simplificação, automação com uso de TI, melhorias diversas e medidas de performance.

A racionalização dos processos parte da busca pela minimização ou até a não necessidade do processo (processo ideal é aquele que não precisa existir). A figura 5 a seguir apresenta uma abordagem que identifica a sequência de etapas que devem ser percorridas:

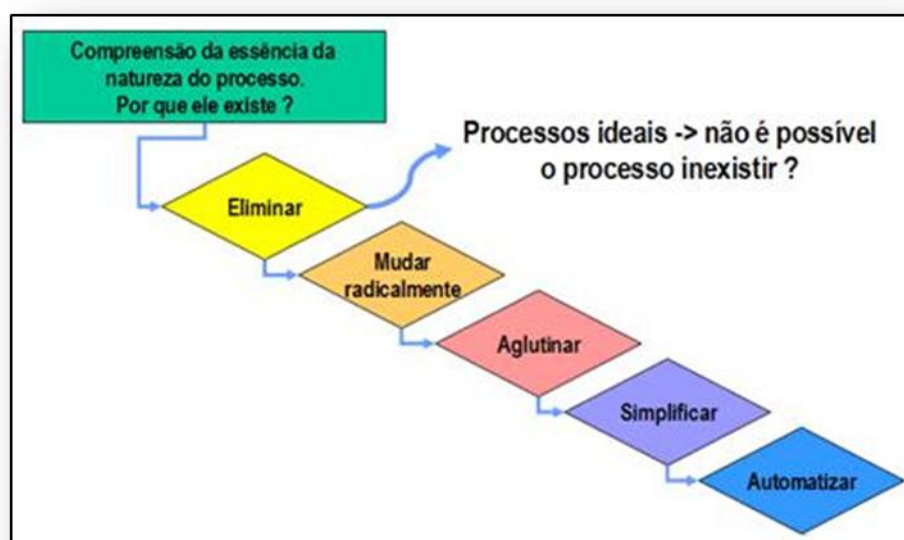


Figura 2.5 - Sequência de etapas para racionalização de processos

Cada processo (primeiro em visão macro, e depois de forma detalhada) será submetido à sequência, que se inicia com o grau mais profundo de otimização, que é a avaliação da possibilidade do mesmo ser eliminado.

- Na impossibilidade de sua eliminação, o processo é submetido à análise de possibilidades de mudanças radicais, aplicando-se técnicas de reengenharia de alto impacto e de pensamento divergente.
- Feita a análise anterior, os processos serão submetidos à avaliação de possibilidades de aglutinação e simplificação.
- Somente então é que passam para a análise e projeto de informatização e aplicação de tecnologia de informação.
- Em seguida, os processos redesenhados devem ser quantificados e dimensionados os recursos humanos necessários, tanto no nível qualitativo (perfil), quanto no nível quantitativo, de forma a suportar todos os processos com a eficiência parametrizada, estando aptos a ajustes de acordo com os macro indicadores de gestão desses processos.

O próximo passo é analisar e introduzir melhorias na estrutura organizacional atual destes processos.

2.24 – CONCEITO FUNDAMENTAL DA SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

O método Monte Carlos baseia-se em um conceito estatístico simples, pois envolve a geração de observações de alguma distribuição de probabilidade e o uso da amostra obtida para aproximar a função de interesse, ou seja, a ideia do método é escrever a integral da função que se deseja calcular como um valor esperado.

Seja “ x ” uma variável aleatória com as seguintes características:

- Função de distribuição de probabilidades $f(x)$,
- Função cumulativa de probabilidades $F(x)$.

Se definirmos uma nova variável aleatória $y = F(x)$, esta tem uma distribuição uniforme sobre o intervalo fechado $(0,1)$. Assim, como a função cumulativa de probabilidades representa as características aleatórias da variável em questão, a função $y = F(x)$ é uma relação entre duas variáveis, a saber:

- Variável x com distribuição aleatória própria,
- Variável y , com distribuição uniforme entre 0 e 1.

2.25 – FUNDAMENTOS PARA O PROJETO E PLANEJAMENTO DE MINA

A indústria de mineração, como qualquer outro empreendimento capitalista, tem por objetivo econômico básico maximizar a sua riqueza futura. Entretanto, a indústria de mineração é caracterizada por visar o aproveitamento econômico de um bem de capital exaurível e não renovável, o que a diferencia das demais indústrias. Assim, a maximização da riqueza futura deve se realizar em um período definido, ou seja, durante a existência do bem mineral que lhe deu origem. Em termos econômicos, podemos dizer, mais apropriadamente, que o objetivo da indústria de mineração é a maximização do valor atual líquido dos benefícios monetários futuros, durante toda a vida da mina (Costa, R. R., 1979).

Um Projeto de Mineração é o conjunto de estudos necessários à implantação de uma indústria de mineração, como acima definida. Estes estudos abrangem especialidades da Engenharia de um modo geral, e a condução do Projeto de Mineração ao êxito objetivado é fortemente dependente da correção com que os referidos estudos forem realizados, dando a cada um deles a importância que o mesmo requeira. Exemplificando, podemos dizer que a correta seleção do equipamento de lavra - um dos estudos que compõem um Projeto de Mineração - deve ser conduzida com toda a atenção, no caso em que existam várias alternativas tecnicamente viáveis, procurando selecionar aquela que conduza a resultados economicamente mais interessantes.

Entretanto, devemos ressaltar a importância fundamental de que se reveste o conhecimento geológico da jazida, por constituir a base em que repousa todo o empreendimento mineiro. Evidentemente, o perfeito conhecimento da jazida só se adquire quando a mesma é exaurida. Existe, no entanto, um estágio de conhecimento mínimo da jazida - a ser atingido ainda na fase da pesquisa - afetado de um erro suficientemente pequeno para garantir, com segurança, a implantação do Projeto com êxito.

Assim, a correta interpretação da estrutura da jazida, sua reserva, seus teores e distribuição espacial dos mesmos, características geo-mecânicas do minério e encaixantes, composição mineralógica, são valores básicos de um Projeto e a sua incompleta ou imprecisa determinação podem comprometer todo o empreendimento, às vezes de forma irreversível.

É igualmente importante a fase de estudos dos processos de beneficiamento do minério a serem feitos em amostras realmente representativas dos vários tipos de minério ocorrentes na jazida – se houver mais de um, como é comum acontecer. Estes estudos devem conduzir à definição de um processo de beneficiamento que permita a transformação do bem mineral - representado pela reserva técnica e economicamente lavrável - em um produto vendável.

Reserva lavrável e processos de beneficiamento estão intimamente relacionados, de tal forma que, o estabelecimento de um sem a devida consideração do outro pode levar a resultados tecnicamente possíveis, mas nunca àqueles mais desejáveis, sob o ponto de vista econômico. Em suma, podemos dizer que, para existir uma mineração é preciso, antes de tudo, que exista uma jazida e que o seu minério possa ser recuperado, técnica e economicamente. "Projetar ou planejar significa antever o futuro e isto deve estar previsto nos diversos estudos que visem à implementação de um projeto de mineração, com o grau de precisão necessário. Após os estudos de avaliação de reservas e com base nestes, seguem-se os projetos de mineração a nível básico (conceitual) e detalhado.

Para minas a céu aberto (cavas convencionais), o interesse imediato se reporta à definição do corte ótimo, através da parametrização. A maioria dos procedimentos capazes de gerar a cava final otimizada produz também o plano sequencial de lavra a curto, médio e longo prazo (COSTA, R. R., 1979). Não se pode falar em planejamento de lavra sem levar em conta os conceitos básicos de Geologia e pesquisa de Depósitos Minerais, bem como, sem contar com o apoio nos fundamentos de cálculo e Estatística. Estes últimos costumam perturbar o estudante novato nos problemas de Engenharia Mineral ou mesmo o engenheiro ou o geólogo, práticos, que não tiveram por muitos anos oportunidade de usar Cálculo ou Estatística nos problemas do dia-a-dia.

Estas são as bases principais em que deve se apoiar um Projeto de Mineração; todos os outros estudos são de alguma forma, nelas baseados e enfatizamos a sua importância no atendimento do objetivo econômico da Indústria de Mineração, como anteriormente citado.

2.26 – CONCEITOS ESSENCIAIS

Os processos envolvidos na recuperação dos bens minerais estão divididos em fases denominadas prospecção, pesquisa, desenvolvimento, lavra e fechamento de mina e podem ser evidenciados pelos seguintes fatores:

- Característica natural e geológica do corpo mineral, tipo do minério, distribuição espacial, topografia, hidrogeologia, características ambientais de sua localização e características metalúrgicas, etc.
- Fatores econômicos: custos operacionais e de investimento, razão de produção, condições de mercado, etc.
- Legais: regulamentações local, regional e nacional, política de incentivo à mineração, etc.
- 4- Fatores tecnológicos: equipamentos, ângulos de talude, altura de bancada, inclinação de rampas, etc.

A necessidade da conexão entre fatores tão distintos realça a complexidade das operações envolvidas na exploração de um bem mineral, e por consequência, a importância do planejamento criterioso de tais operações. Para melhor compreendermos o que vem adiante apresentamos, simplificada e, alguns conceitos essenciais relacionados ao tema.

Os conceitos de semântica aparecem nos sistemas de classificação, principalmente em relação às palavras recurso, reserva e minério. Considera-se "Recurso " aquele material disponível em quantidade e qualidade adequadas para uso industrial, mas que não foi submetida a uma avaliação econômica. "Reserva" é o recurso disponível para lavra, que pode ser produzido economicamente, em função de custos, demandas e preços atuais. Muitas vezes é possível aproveitar determinados materiais que não estavam classificados como reserva.

Considera-se como mina uma jazida em lavra. A lavra representa o conjunto de trabalhos que conduzam à exploração completa, econômica, segura e ambientalmente sustentável do minério. Minério é o agregado natural composto, normalmente, de diversos minerais que pode ser lavrado e processado economicamente. Já o estéril também é um agregado natural composto, normalmente, de diversos minerais só que sem valor econômico. Qualquer processo de beneficiamento pode gerar rejeitos. Rejeito é o material sólido, líquido ou gasoso, desprovido de valor econômico, oriundo do beneficiamento.

2.27 – MÉTODOS DE LAVRA A CÉU ABERTO

A lavra de depósitos de minerais metálicos, industriais e agregado para a construção civil onde os operários não são expostos ao ambiente subterrâneo com enclausuramento das operações, é denominada de lavra a céu aberto.

A tabela abaixo mostra os principais métodos existentes para a extração de minério a céu aberto. Para cada um desses métodos será dado um breve comentário acerca de suas respectivas aplicações.

Tabela 2.7 - Principais métodos de lavra a céu aberto

Classe	Método
Mecânica	Lavra em Cava
	Lavra por Lançamento
	Lavra de Rocha ornamental
	Lavra de Encosta
Em Presença de Água	Desmonte Hidráulico
	Dragagem
	Lixiviação
	Dissolução

Dentre os métodos citados na tabela acima os da classe mecânica respondem por mais de 90% da produção mundial de minério e ainda dentre esses os dois primeiros têm um significado especial pela importância e variedade de aplicações em que podem ser empregados. Dentre esses dois mais citados daremos uma ênfase maior no procedimento de cava em tiras, pois este método mecânico de extração mineral é amplamente aplicado à lavra de Gipsita devida sua adaptação aos tipos de depósitos, como também, ao custo operacional, onde o desmonte é usualmente feito através de explosivos, seguido pelo manuseio do material, normalmente, com pás-carregadeiras e caminhões.

2.28 – LAVRA EM CRATERA OU CAVA (OPEN PIT MINING)

Na lavra em cava todo material de cobertura é removido e transportado para uma área de depósito, de maneira a descobrir o minério. Ambos, remoção do material de cobertura e minério de interesse são conduzidos na forma de forma de bancadas. Um depósito profundo ou espesso, típico de minérios metálicos requerem diversas bancadas e assemelha-se (grosseiramente) a um formato piramidal ou cônico invertido, onde cada aprofundamento de bancada possui um raio menor, pois devem ser considerados fatores de estabilidade de taludes que impõem condições de segurança para que haja o aprofundamento da cava. De outra maneira, uma única bancada pode ser suficiente para lavar um depósito de carvão, por exemplo, e seu material de recobrimento. O fato de termos diversas bancadas expostas garante também a existência de diversas frentes de lavra permitindo que seja feita uma operação contínua e sustentável, além de permitir flexibilidade de operações. Após o avanço da descobertura para exposição do minério, as operações de remoção de estéril e lavra de minério são coordenadas de maneira que os lucros irão pagar pelos custos, ao mesmo tempo em que os objetivos de longo prazo são respeitados.

As bancadas individuais são projetadas de maneira a acomodar os equipamentos de movimentação de material utilizados para lavar o depósito. A altura da bancada é limitada pelo alcance da escavadeira. A largura de bancada deve ser suficiente para acomodar o material fragmentado a partir do desmonte além de possuir espaço de manobra suficiente para equipamento de escavação e transporte. Os ângulos de talude são determinados por características intrínsecas do material escavado (mecânica de rochas e mecânica de solos). Pela sua própria natureza, a operação em cava envolve o transporte de quantidades moderadas a grandes de material estéril e minério para fora da cava, a distâncias relativamente longas e a declividades elevadas. Esses requerimentos afetam a configuração da cava, a seleção dos equipamentos e as razões de produção requeridas.

Devido ao fato de teores de minério serem normalmente baixos, a produtividade de equipamentos deve ser elevada e as razões de descobertura devem ser mantidas a níveis modestos (normalmente de 0 a 5 m³/ton), assim os limites de profundidade são intermediários, geralmente não ultrapassando 300 m (Atkinson 1983). O constante desenvolvimento tecnológico dos equipamentos com a redução progressiva dos custos operacionais tem permitido que esse limite tenha sido ultrapassado e cada vez maiores profundidades têm sido atingidas em lavra a céu aberto. Os maiores passos no desenvolvimento do método são os seguintes:

- Limpeza do terreno;
- Locação de pilhas de estéril e barragens de rejeito;
- Estrutura de apoio deve estar locada nas proximidades da cava (ponto de descarga, pilhas de estoque, planta de beneficiamento, etc);
- Seleção e aquisição de equipamentos conforme a necessidade;
- Descobertura inicial para exposição do minério;

Combinação de descobertura com lavra propriamente dita do minério de acordo com os planos de custo e longo prazo definidos.

O estabelecimento da primeira bancada e de cada bancada posterior no estéril ou no minério é sempre uma operação crítica. O ponto de entrada, ou o corte inicial é chamado de corte pioneiro ou corte caixão (do inglês box cut). Em termos de consumo de explosivos, se esse for necessário, o rebaixamento da superfície demanda sempre uma quantidade maior de explosivos do que as quantidades e razões de carga utilizadas para a operação normal de desmonte de rocha em bancada.

Dentro do ciclo de operações podemos distinguir três principais:

Remoção de estéril – o processo de remoção de estéril envolve a movimentação de material para exposição do corpo mineralizado bem como a movimentação de material com teores abaixo do teor econômico (teor de corte). As operações unitárias envolvem perfuração e desmonte (se for necessário o uso de explosivos, senão desmonte mecânico pode ser uma alternativa), escavação e carregamento.

Lavra do minério (ou material de interesse) – o ciclo de operações é muito semelhante ao ciclo de operações empregado no processo de remoção de estéril. Quanto mais semelhante for a rocha estéril da rocha hospedeira da mineralização mais será a similaridade das operações de remoção de estéril e lavra de minério, de maneira que possa ser empregada a mesma frota de equipamentos e técnicas de desmonte, escavação e transporte para ambos. Adiciona-se a esta operação, para casos onde a profundidade da cava torna-se fator significativo o transporte vertical ou içamento, para vencer com maior eficiência a grande diferença de nível entre os níveis inferiores da cava e a superfície, onde está instalada a planta de beneficiamento, evitando custos excessivos com a aquisição de equipamentos de transporte (caminhões por exemplo) em excesso para suprir a elevada distância de transporte existente.

Operações auxiliares – dentre as operações auxiliares estão envolvidas uma extensa gama de áreas que demonstram a interação entre as diversas áreas da empresa na complementação das operações de lavra propriamente ditas, conforme apresentadas no itens anteriores:

- Saúde e segurança;
- Controle e monitoramento do meio ambiente;
- Controle de terreno;
- Abastecimento de energia e água;
- Gerenciamento de águas superficiais e subterrâneas;
- Disposição de estéril;
- Suprimento de material de operação;
- Manutenção e reparo;
- Iluminação;
- Sistema de comunicação e despacho;
- Construção e manutenção de acessos e estradas;
- Transporte de pessoal.

Dependendo da natureza do corpo mineralizado, condições geológicas e geotécnicas e fatores tecnológicos, variações do método são possíveis, com as diferenças sendo principalmente associadas com o projeto de cava e equipamentos de lavra, pois a sequência básica de desenvolvimento e ciclo de operações são muito similares.

2.29 – VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS MÉTODOS DE LAVRA A CÉU ABERTO

Entre as principais vantagens, podemos citar que são métodos de lavra que podem ser aplicados a praticamente qualquer tipo de mineralização e corpo mineral, são métodos que permitem elevado nível de mecanização e portanto produtividades elevadas podem ser obtidas, principalmente pela escala de produção, apesar dos métodos serem empregados também em operações de pequeno porte.

Os métodos são relativamente flexíveis, podendo variar a escala de produção conforme demanda, ainda que incorra em variação de investimentos no caso de aumento ou imobilização de capital em caso de redução de produção.

Em termos de aproveitamento do depósito praticamente a recuperação fica próxima de 100%, à exceção das áreas vizinhas aos limites de cava econômica, com baixa diluição.

São métodos que pela sua própria natureza, são menos agressivos que os métodos subterrâneos evitando a exposição aos riscos inerentes à esse tipo de operação.

Como desvantagens dos métodos, podemos citar que é limitado pela profundidade, onde o limite tecnológico estabelece a limitação do equipamento e limites econômicos determinam a relação estéril-minério máxima. Pela característica de mecanização e razão de produção elevada, é um método que exige elevados investimentos de capital. O fato de ser uma operação a céu aberto exige que seja feita uma recuperação da área degradada, o que incide em aumento dos custos operacionais. Para que se justifiquem os baixos custos de produção pelo efeito escala, deve se tratar de depósitos de grandes dimensões ou de elevados teores. A estabilidade de taludes é fundamental para a continuidade das operações ao longo da vida útil da mina, assim manutenção de bancadas e monitoramento periódico dos taludes deve ser uma constante ao longo do projeto. O gerenciamento de águas e drenagem da cava são essenciais para o avanço em profundidade, principalmente em regiões de alta precipitação ou de lavra abaixo do nível freático. Deve ter disponibilidade de áreas para disposição de estéril.

2.30 – LAVRA POR LANÇAMENTO OU EM TIRAS (OPEN CAST MINING OR STRIP MINING)

A lavra por lançamento (lavra em tiras) é um método de exploração de superfície usado essencialmente para carvão, que se assemelha ao método de lavra em cava porém difere em um único aspecto. O material de cobertura não é disposto para o depósito de estéril por meio de transporte por caminhões ou equipamentos que se deslocam por estradas e acessos e sim por lançamento direto seja por explosivos seja por equipamento de escavação (dragline).

Dessa forma o manuseio de material consiste na escavação e transporte (por lançamento) geralmente combinados em uma única operação unitária e executados por um único equipamento.

Por isso a diferenciação em um método único e o que faz do método uma técnica de alta produtividade e menor custo unitário dentre os métodos de ampla aplicação em lavra a céu aberto.

Porém não é somente o fato de concentrar escavação e transporte em uma única operação que torna o método atrativo, o fato de permitir depositar o material estéril em áreas previamente mineradas significa que a taxa de exposição e pré-descobertura em avanço é a mínima possível.

Dessa maneira a operação de lavra propriamente dita, fica concentrada em uma área bastante restrita. Além disso, a deposição de material estéril na sua posição de destino final permite que seja feita a recomposição do terreno imediatamente após a lavra. Assim a produtividade da operação de lavra é determinada pelo equipamento de escavação descobertura, pelo fato da utilização dos maiores equipamentos o número de frentes de lavra é extremamente limitada conferindo pouca flexibilidade para variações nos planos de lavra, bem como toda a produção é executada por um único equipamento, fragilizando a produção em casos de paradas, quebras e atrasos devido ao equipamento.

Diferentemente do método em cava, o mesmo equipamento não pode ser utilizado para remoção de material estéril e lavra de minério. Como o processo de disposição por lançamento requer equipamentos específicos para a atividade que se propõem ao passo que a lavra propriamente dita do minério é executada por equipamentos convencionais de escavação e transporte usados na lavra em cava.

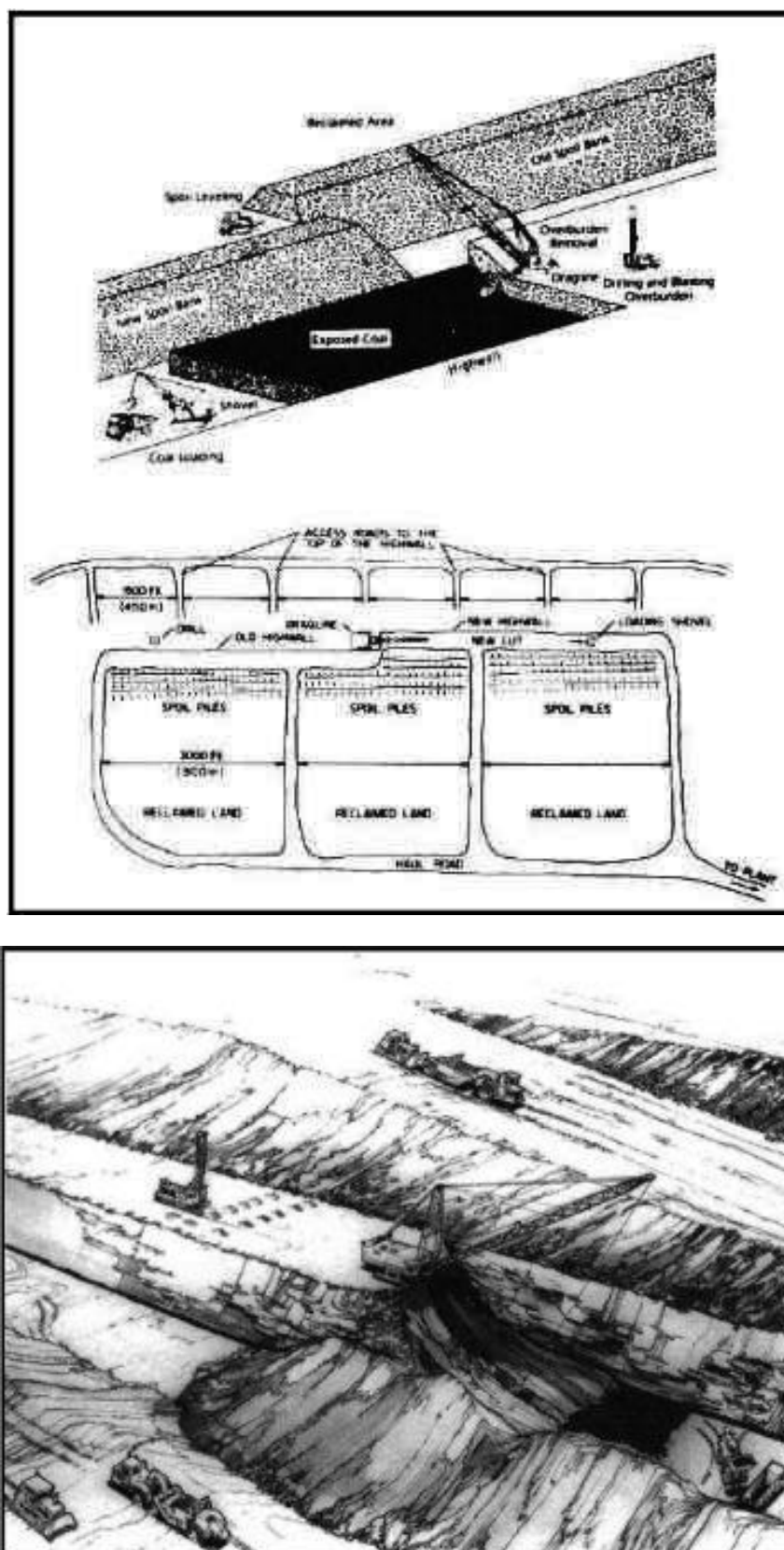


Figura 2.6 - Lay out típico da exploração por lavra em tiras

Fonte: Hartman (1987)

Pela característica dos depósitos onde são aplicados esse tipo de método (corpos planos, tabulares) e o padrão repetitivo, planos de lavra não necessitam ser tão elaborados quanto os planos de lavra em cava. Contudo em terrenos mais acidentados ou em situações de mergulho acentuado da camada mineralizada, o conhecimento do comportamento da relação estéril minério (REM) e a definição dos limites econômicos de lavra são fundamentais. Conforme comentado anteriormente o método de lavra determina seu desenvolvimento pela operação de descobertura, dessa forma a seleção do equipamento de remoção de estéril é uma decisão primordial, ficando a escolha dentre os seguintes equipamentos e provavelmente nessa ordem de preferência:

- Dragline
- Cable Shovel
- Bucket wheel

Na medida em que diversos fatores devem ser considerados na seleção e dimensionamento do equipamento (ex. dificuldade de escavação favorece escavadeira, escavação profunda ou longo alcance favorece a dragline, alta capacidade favorece a bucket wheel), a razão de produção do equipamento é o parâmetro de desempenho chave a ser considerado.

Dentre as variações do método aplicado à depósitos de carvão podem ser citados “área mining”, onde a lavra é executada terreno plano e com camadas horizontais e planas em cortes retos e paralelos ao longo do depósito.

O “contour mining” é executado em terreno acidentado com os cortes posicionados de maneira a rebaixar as elevações do terreno, avançando da borda aflorante do minério em direção ao centro da elevação até onde a relação estéril/minério permita a lavra econômica. A existência de múltiplas camadas sobrepostas exige uma abordagem especial, onde o sequenciamento deve ser muito bem planejado de maneira a evitar retomada excessiva de material. O corte inicial é executado conforme mostrado na Figura 7.

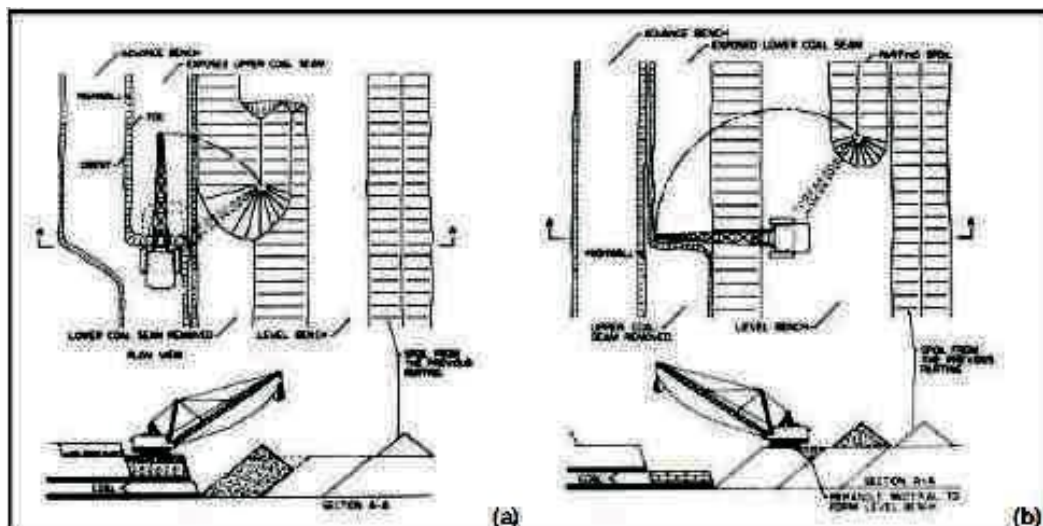


Figura 2.7 - Lay out simplificado da operação de lavra em tiras com uso de "dragline"

Fonte: Hartman (1987)

Assim a draga remove a cobertura da camada superior de carvão na primeira passada. A base da pilha de estéril toca a base da camada inferior de carvão, então a camada superior de carvão é lavrada e a pilha de estéril é nivelada, de maneira que permita a operação pela draga posicionada agora sobre a pilha de estéril que normalmente irá operar na direção oposta à da descobertura. A segunda passada é executada pela draga novamente no sentido de avanço, removendo a cobertura da segunda camada. A principal vantagem é o uso de um único equipamento para efetuar a descobertura e o mínimo de remanuseio de material, como desvantagem é que o alcance da lança da draga deve ser grande para executar a operação.

2.31 – PREPARAÇÃO DO TERRENO

Pequenas operações preparam o terreno usando scrapers, tratores e/ou combinações carregadeira-caminhão ou escavadeira-caminhão; mas alguns irão usar draglines ou escavadeiras como seus principais removedores de cobertura. Para ser econômica, a mineração por área deve minimizar a dupla movimentação da cobertura, dessa forma, uma pilha de armazenamento da cobertura é feita próxima ao corte inicial e cobertura retirada dos cortes subsequentes é depositada no corte anterior deixando uma série de montes e vales.

Ao final das operações, conforme decreto das regulamentações o corte final permanece, frequentemente, com lâmina d'água e com o talude de descobertura exposto.

Dependendo do maquinário e métodos usados, o estéril geralmente é invertido, com a cobertura e o subsolo sendo enterrados e o estrato próximo ao carvão na parte superior. Isso geralmente resulta numa camada superficial inutilizável, química ou fisicamente, para suportar vida vegetal. Onde essa técnica é utilizada, os problemas de erosão do solo não são tão severos como no caso de mineração em terrenos montanhosos ou drenagem ácida da mina, pois a água corrente é facilmente controlável.

Todavia, onde grandes áreas são descobertas de uma vez, e nenhuma recuperação é implementada, o impacto da mineração por área em termos de perda de solo fértil, deterioração da qualidade e quantidade de água superficial e subterrânea, e outros valores ambientais podem ser graves.

2.32 – REGULAMENTAÇÕES

As regulamentações requerem que todo terreno explorado por mineração de superfície seja restaurado ao seu “contorno original aproximado”. Isto significa que algum remanejo de estéril do corte inicial pode ser necessário. O talude de descobertura e todas as depressões devem ser eliminados e, para fazer isto, é necessário transportar boa parte do estéril do corte inicial. Todo o solo superior deve ser removido separadamente e colocado imediatamente em áreas de reaproveitamento quando possível. A regulamentação requer um retardo mínimo na restauração para que ela ocorra em conjunto com o trabalho. Estas operações requerem um planejamento cuidadoso para que o maquinário seja total e efetivamente utilizado em conformidade com as Regulamentações.

Nos casos onde o terreno é classificado como “solo fértil de primeira” controles especiais de desempenho serão reforçados. Estes controles incluem a reconstrução de 4 polegadas de solo e material inconsolidado durante a recuperação. Se um operador está usando scrapers para remover o solo superior e a cobertura inconsolidada, e está repondo este material em áreas recuperadas imediatamente, esta operação não deverá aumentar muito os custos de movimentação de solo, se as operações forem cuidadosamente planejadas.

CAPÍTULO 3: METODOLOGIA EXPERIMENTAL

3.1 – INTRODUÇÃO

Para o desenvolvimento dos modelos de pesquisa operacional e análise pela técnica de Monte Carlo, foi feito um levantamento das operações unitárias envolvidas no processo de decapeamento através de um estudo de tempos e movimentos realizado na mina Ponta da Serra, localizada no Polo Gesseiro do Araripe em Araripina – PE. Esta é uma empresa de médio porte no segmento de extração e beneficiamento de gipsita. Os dados foram coletados de forma sistemática de maneira que pudéssemos obter um resultado representativo das operações, ou seja, traduzir a real situação de operação da mina.

Para a elaboração das tabelas que serão discutidas no próximo capítulo foi realizado um levantamento de tempos e movimentos das operações de desmonte (escavação), carregamento e transporte do capeamento estéril até o bota-fora. Esse levantamento de campo constou da caracterização das operações unitárias e cronometragem do tempo de execução e tempos de espera (parada). Foram avaliados os seguintes parâmetros operacionais: Tempo de escavação e carregamento dos caminhões, tempo de ciclo de transporte até o bota-fora (percurso de ida, descarga, percurso de volta) e tempos de espera ou parada dos equipamentos. Através desse levantamento de campo é possível calcular a eficiência operacional dos equipamentos em estudo e consequentemente a eficiência produtiva da mineração de Gipsita.

A partir da análise da operação de transporte de estéril da mina para o bota-fora, localizado a uma distância média de aproximadamente 700 metros da frente de descobertura, juntamente com o auxílio da técnica de simulação de Monte Carlo é estimar o número mínimo de caminhões necessários para efetuar o decapeamento da jazida como também o custo associado ao transporte do estéril para o bota fora.

Com os dados obtidos na operação dos equipamentos na mina, operada pelo método de Lavra em Cratera (Open Pit Mining) pode-se realizar uma estimativa de performance dos mesmos e utilizar esses valores médios de operação para estimar-se o desempenho destes valores no método de lavra em tiras (Strip Mining) e determinar o número mínimo de caminhões necessários para essa metodologia de lavra.

Dessa forma é possível determinar as necessidades de equipamentos de transporte (caminhões) para descobertura da jazida de gipsita e o custo unitário pelos dois métodos e definir aquele que é mais eficiente do ponto de vista econômico e operacional.

Para essa simulação foram definidas as distâncias das rotas de transporte de estéril no método de lavra atual (lavra tipo cratera), levando o capeamento até o bota-fora, e do método de lavra em tiras onde o estéril é disposto nas áreas já mineradas integrando o processo de recuperação ambiental da cava pós-mineração.

O Método de Simulação de Monte Carlo foi aplicado para fazer uma avaliação probabilística dos métodos de dimensionamento de frota de transporte que foram utilizados para fazer este estudo, introduzindo no mesmo a variabilidade dos parâmetros técnicos-operacionais determinados no estudo de tempos e movimentos (distribuição de probabilidade dos tempos de ciclo das operações). O objetivo desta análise é verificar como a variabilidade das operações unitárias se refletem no número mínimo de caminhões necessários em cada alternativa de exploração estudada. Para tanto se faz necessário esclarecer que as variáveis de estudo são: tempo de escavação e carregamento dos caminhões e o tempo de ciclo destes (tempo de ida ao bota-fora, tempo de descarga do estéril, tempo de retorno a frente de descobertura e tempos de espera).

A ideia de avaliar o método de lavra em tiras nesta mina está basicamente ligada às condições do jazimento e as características favoráveis dessa metodologia de exploração comparando-se os eventuais benefícios técnicos, econômicos e ambientais com a metodologia de lavra atual.

Tem-se como premissa que o método de lavra em tiras tende a ser menos oneroso, haja vista algumas circunstâncias que podem favorecer a aplicação do método, tais como:

- Menor número de caminhões necessários para transporte do capeamento.
- Menos acessos necessários para traslado até o bota-fora.
- Menor custo de operação.
- Possibilidade de recuperação ambiental da área minerada concomitantemente à exploração da jazida.
- Economia de áreas novas a serem oneradas para a construção dos bota-fora.
- Possibilidade de uso futuro da área minerada após exaustão das reservas.

O trabalho de levantamento de tempos e movimentos da mina foi realizado em três etapas distintas campo:

- A primeira etapa refere-se ao levantamento dos tempos de ciclo do carregamento de caminhões com gipsita bruta fragmentada no pátio da mina. A partir desse levantamento pode-se definir o tempo médio de ciclo de cada uma das pás-carregadeiras utilizadas, sua variabilidade, o tempo unitário médio de operação (min/ciclo) e a produtividade de lavra dos equipamentos (ton/h) e a eficiência relativa entre os dois equipamentos utilizados nessa operação.
- A segunda etapa constou do levantamento dos tempos de ciclo das escavadeiras empregadas para remoção da cobertura estéril. A partir desse levantamento pode-se definir o tempo médio de ciclo de cada uma das duas escavadeiras hidráulicas utilizadas para descobertura, sua variabilidade, o tempo unitário médio de operação (min/ciclo), a produtividade média do equipamento (ton/h) e a eficiência relativa entre os dois equipamentos utilizados para a operação.

- A terceira etapa compreendeu o levantamento dos tempos de percurso e distâncias percorridas para a remoção do material estéril escavado até o bota-fora. A partir desse levantamento pode-se definir a distância de transporte, velocidades médias e o tempo médio de ciclo para efetuar-se o transporte do estéril para o bota-fora, sua variabilidade e a produtividade horária média do sistema de transporte de estéril por caminhões.

Esses tempos médios de ciclo das etapas 2 e 3 foram utilizados para realizar a comparação da eficiência entre os distintos equipamentos utilizados na operação, realizar a previsão de produção horária de cada equipamento, determinar o custo unitário de operação considerando diversos níveis de eficiência operacional e definir o comportamento estatístico dos parâmetros operacionais de tempo de execução das operações unitárias: escavação e carregamento do capeamento e tempos de percurso dos caminhões de transporte de estéril até o bota-fora e retorno à frente de descobertura.

3.2 – IMPORTÂNCIA DA EFICIÊNCIA OPERACIONAL DAS OPERAÇÕES UNITÁRIAS

A eficiência operacional está associada à política de negócio de qualquer empresa, pois ambas são essenciais para um ótimo desempenho da organização, visto que em um mercado cada vez mais competitivo, a estratégia de negócio deverá levar a empresa a obter uma maior competitividade no âmbito comercial. Para uma organização se sobrepôr em relação às concorrentes ela deve possuir uma característica que a diferencie das demais, tornando-a mais competitiva que as empresas concorrentes. Para alcançar este objetivo é necessário um esforço contínuo no que se refere a uma análise constante da eficiência operacional dos processos produtivos e equipamentos, pois os tempos de operação são determinantes para obtenção de uma maior produtividade para empresa e, consequentemente, um custo menor e uma maior competitividade no mercado.

Em mineração, assim como nas mais diversas atividades industriais, o custo operacional está associado ao conjunto de atividades necessárias para a obtenção do produto que será vendido.

Os custos, em sua grande maioria, são gerados pela execução dos processos produtivos e as vantagens relacionadas ao custo são obtidas na execução desses processos de forma mais eficiente do que a concorrência. Do mesmo modo, a diferenciação surge tanto da escolha dos processos produtivos como da forma como são executados. Os processos produtivos são, portanto, os fatores-chave da vantagem competitiva. Logo, a vantagem ou desvantagem competitiva de uma organização resulta da arquitetura destes processos, e não apenas de alguns deles.

Por uma ótica mais apurada a eficiência operacional significa criar e aplicar procedimentos que tenham um diferencial que os coloquem a frente dos concorrentes. Para a concretização desta ideia se faz necessário usar todos os recursos e práticas operacionais que permitem à organização adquirir um produto final de qualidade minimizando os custos de operação, ou seja, permitindo-lhe obter um melhor preço de mercado e consequentemente adquirir maior competitividade em relação à concorrência.

Uma das formas de otimização dos processos produtivos é a realização do estudo de tempos e movimentos das operações unitárias que compõe o processo que está sendo otimizado. A partir dos tempos despendidos para execução das tarefas e fluxo de operações necessárias para a obtenção dos produtos finais pode-se definir o tempo total de produção desses bens e serviços.

Essa discriminação das operações unitárias e sequência de trabalho para obtenção de produtos finais é essencial para a melhoria dos processos produtivos. A partir da otimização dos tempos de execução de cada operação individual pode-se tornar o sistema global mais eficiente tendo como consequência redução nos tempos de operação que se refletem num menor custo de produção e aumento de produtividade, ambos contribuindo com a melhoria dos processos produtivos e aumento da competitividade das unidades industriais.

O estudo de tempos e movimentos é uma técnica poderosa e bastante simples para a otimização de processos. Ela parte da individualização das operações unitárias de um processo produtivo qualquer, acompanhamento das tarefas individuais com o levantamento dos tempos necessários para sua realização e avaliação individual da eficiência e confiabilidade (variabilidade) dessas operações unitárias determinando-se seu tempo médio de execução, tempos de parada, desvio padrão e coeficiente de variação dos tempos registrados.

Com esses dados pode-se efetuar a avaliação da eficiência individual de cada operação unitária necessária à produção e trabalhar na sua otimização tendo-se como consequência o aumento global na eficiência do processo produtivo utilizado

3.3 – ESTUDO DE TEMPOS E MOVIMENTOS

O estudo do tempo teve início em 1881, na usina da Midvale Company, sendo Frederick Taylor foi seu idealizador. Com o passar do tempo Gilbreth (1991), desenvolveu um trabalho paralelo ao de Taylor, acrescentando o estudo de movimentos. A fusão destes dois métodos, utilizado na análise do trabalho, proporcionou ganhos incalculáveis para grandes empresas que utilizaram tal método de estudo. O estudo de tempos e movimentos tem influência fundamental na intenção de melhoria dos métodos operacionais e condições de trabalho, permitindo análises do processo produtivo, de atividades, relação homem-máquina e operações em geral. O controle da produção e custos operacionais é essencial na organização de um empreendimento, influenciando sobre os rendimentos, condições de trabalho, aproveitamento da mão de obra e da máquina (MACHADO, 1984). O objetivo básico do estudo de tempos e movimentos é determinar o tempo necessário para a realização de uma atividade definida, estabelecida por método racional e executada em cadência normal por uma pessoa qualificada e habituada a determinada técnica (BARNES, 1968).

Segundo Barnes (1977), o estudo de tempos e movimentos traz os seguintes objetivos:

- a) Desenvolver um método preferido: O que se pretende é projetar um sistema, uma sequência de operações e procedimentos que mais se aproximem da solução ideal.
- b) Padronizar a operação: Após encontrar o melhor método de se executar uma operação, esse método deve ser padronizado. Normalmente, a tarefa é dividida em trabalhos ou operações específicas, as quais serão escritas em detalhe.
- c) Determinar o tempo padrão: O estudo de movimentos e de tempos poderá ser usado para determinar o número padrão de minutos que uma pessoa qualificada, devidamente treinada e com experiência, deveria gastar para executar uma tarefa trabalhando normalmente. Este tempo padrão, poderá ser utilizado no planejamento e programação para estimativa de custos ou para controle de custos de mão de obra.
- d) Treinar o operador: O método mais eficiente de trabalho tem pouco valor, a menos que seja aplicado na prática. É necessário treinar o operador para executar a operação de maneira pré-estabelecida.

De acordo com Fenner (2002), para atingir os mais diversos objetivos na realização do estudo de tempos e movimentos, é preciso conhecer os tempos parciais e totais necessários para a realização de cada atividade, os rendimentos obtidos (produção), bem como os fatores que influem direta ou indiretamente no resultado do trabalho desenvolvido. Sendo assim, pode-se dizer que os estudos são realizados para aumentar a capacidade em horas produtivas (com eficiência normal), reduzindo as horas improdutivas, pois no geral, existem diferenças substanciais entre as horas disponíveis para o trabalho com as horas efetivas, ou seja, o tempo dedicado à transformação propriamente dita com eficiência razoável.

Segundo Ferreira (2002), os principais objetos dessa avaliação são: i) saber se as metas estabelecidas anteriormente estão sendo atingidas; ii) assegurar a produção dos resultados esperados individualmente e iii) promover o desenvolvimento das habilidades necessárias.

De forma mais elaborada, o estudo de tempos e movimentos auxilia no trabalho operacional e sistemas administrativos, para que se atinjam os objetivos da organização resultando em aumento de rendimento operacional e induzindo maior satisfação ao pessoal de produção, principalmente. Também são usados no equacionamento do processo geral de solução de problemas (BARNES, 1977). O fator tempo é muito importante no estudo do trabalho, uma vez que as modificações ou melhorias dos métodos e processos geralmente têm por objetivo uma melhoria do rendimento (BARNES, 1977; MALINOVSKI, 1993).

3.4 – DIMENSIONAMENTO DE FROTA DE CAMINHÕES PARA TRANSPORTE DO ESTÉRIL DA COBERTURA

Para definição dos tempos médios de transporte foram utilizados os parâmetros obtidos no estudo de tempos e movimentos realizado na cava da empresa, sendo considerados num primeiro momento os tempos médios (valores pontuais) sem a inclusão da variabilidade desses parâmetros. Essa variabilidade e seu reflexo nos cálculos de dimensionamento de frota serão realizados através da técnica de simulação de Monte Carlo.

Os tempos necessários para definição do ciclo de transporte (tempo de percurso) são: Tempo de Escavação e Carregamento, Tempo de Percurso de Ida, Tempo de Descarga e Tempo Percurso de Retorno. O valor dos tempos que foram utilizados no cálculo do dimensionamento da frota foi a média aritmética obtida no tratamento estatístico dos dados colhidos em campo pelo Estudo de Tempos e Movimentos de cada operação unitária realizada para descobertura da camada de gipsita. Tais tempos foram utilizados para dimensionamento da frota de caminhões necessários para as 2 alternativas de método de lavra possíveis para jazidas superficiais de gipsita, que são apresentadas a seguir.

3.5 – MÉTODO ATUAL – LAVRA EM CRATERA (“OPEN PIT WITH MULTIPLE BENCHES”)

A escolha do método de lavra é uma das decisões mais importantes que são tomadas durante o processo de abertura de uma mina, portanto na fase inicial ou de planejamento a seleção do método é baseada em critérios geológicos, sociais, geográficos e ambientais, todavia as condições de segurança e viabilidade econômica devem ser garantidas durante toda a vida útil da mina. Os aspectos relativos à estabilidade da mina, à recuperação do minério e à produtividade máxima também devem ser considerados. Tendo em vista os fatores mencionados acima e seus graus de importância entendemos que a seleção do método de lavra é um dos principais elementos em qualquer análise econômica de uma mina e sua escolha permite o desenvolvimento de forma adequada das operações mineiras.

A seleção imprópria tem efeitos negativos na viabilidade da mina e baseado neste contexto foi feita uma análise comparativa de dois métodos de lavra viáveis para exploração de depósitos superficiais de jazidas em camadas horizontais ou sub-horizontais, para definir qual destes métodos deve ser aplicados de maneira a obter-se maior segurança nas operações, sustentabilidade ambiental e menores custos de produção.

O método atualmente utilizado na mina Ponta da Serra é o Método de Lavra em Cratera (*“Open Pit with Multiple Benches”*) sendo este um método de lavra em bancadas múltiplas em cavas à céu aberto cuja aplicabilidade depende, basicamente, das condições topográficas, das características do corpo de minério e da relação estéril / minério, que representa o limite econômico para utilização da lavra à céu aberto.



Figura 3.1 - Método de lavra em cratera da Mina Ponta da Serra

Na Lavra em cratera as operações iniciam com a retirada da camada de cobertura da camada de gipsita através da aplicação de escavação direta com uso de escavadeiras hidráulicas sobre esteiras. O material estéril da cobertura, após escavação, é enviado para os depósitos de estéril (bota-fora), localizados fora da área de exploração, através de transporte por caminhões convencionais.



Figura 3.2 - Operação de descobertura com uso de escavadeira hidráulica sobre esteiras

Após descobertura é realizada o desmonte da camada de gipsita através de técnicas convencionais com o uso de explosivos. As operações fundamentais nessa etapa são: perfuração dos furos de desmonte; avaliação de grau de fragmentação e execução do desmonte secundário, via de regra com uso de rompedores hidráulicos; carregamento dos caminhões com uso de pás-carregadeiras sobre pneus (ou retroescavadeiras sobre pneus), transporte do minério para as unidades de beneficiamento (calcinação ou uso imediato como corretivo de solo ou matéria-prima para fabricação de cimento)



Figura 3.3 - Retroescavadeira sobre pneus executando o desmonte secundário com rompedor hidráulico



Figura 3.4 - Carregamento de gipsita com uso de pá-carregadeira sobre pneus

3.6 – MÉTODO ALTERNATIVO – STRIP MINING (LAVRA EM TIRAS)

A segunda metodologia estudada, como uma alternativa ao método de lavra atual, é a lavra através de corte e aterro (Lavra em Tiras). Essa metodologia pode ser implementada de forma a melhorar o processo produtivo da lavra e permitir a obtenção de vantagens econômicas e ambientais. A ideia inicial para implementação desse método é estudar um modelo de lavra de gipsita para a região, em específico para a mina Ponta da Serra, que permita otimizar o processo de extração da gipsita de forma a obter-se vantagens econômicas e ambientais, através da implementação do método de Lavra em Tiras.

A metodologia de lavra através da Strip Mining, para a exploração de gipsita, inicia com a descobertura da jazida, com exposição do minério em uma tira de aproximadamente 30 x 100 m, deixando-se uma área exposta de minério para desmonte de cerca de 30 x 15 m. Como a espessura média da cobertura é cerca de 20 m a descobertura será realizada em 2 bancadas de aproximadamente 10 m de altura através do emprego de escavadeira hidráulica e caminhões caçamba tradicionais.

O material escavado é transportado para a tira imediatamente anterior ao corte que estar sendo executado, sendo depositada na direção oposta ao corte em execução, formando um aterro definitivo a atenuando a área minerada. Essa operação faz parte da metodologia de recuperação da área minerada, evitando-se a necessidade onerar novas áreas para a construção de bota-fora.

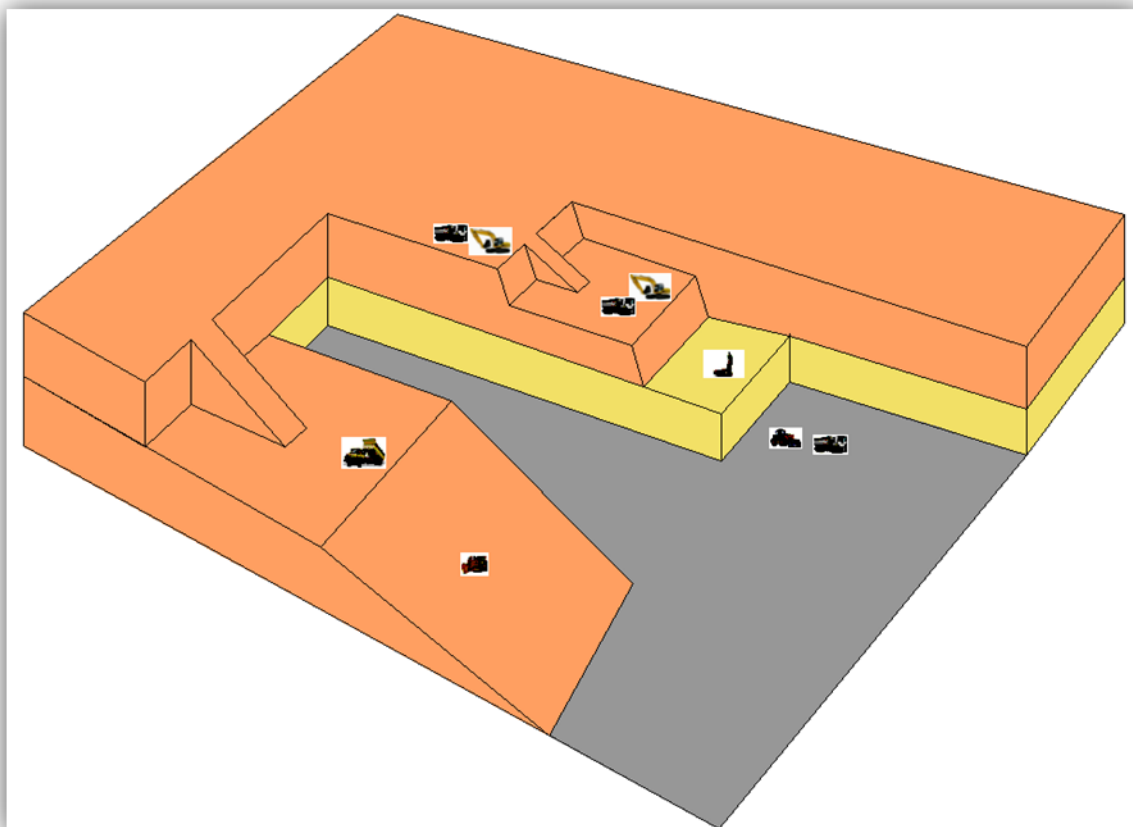


Figura 3.5 - Lay out típico strip mining para gipsita

3.7 – ANÁLISE PROBABILÍSTICA PELA TÉCNICA DE SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

Foi realizada uma análise probabilística dos parâmetros técnicos obtidos no Estudo de Tempos e Movimentos através da técnica de Simulação de Monte Carlo, com o objetivo de calcular o número mínimo de caminhões que serão necessários para realização da descobertura projetada da mina estudada. Para tanto foram levantados os tempos de ciclo das operações principais e definidas tabelas de frequência que serviram de base para a obtenção de distribuições de probabilidade dos tempos de operação. Essas tabelas serviram de base para o desenvolvimento da simulação através da técnica de Monte Carlo, em planilhas do software Excel, que são apresentados em anexo.

Pela técnica de Monte Carlo pode-se determinar de forma estatística o número mínimo de caminhões para cada alternativa de lavra através de duas fórmulas de dimensionamento de frotas de caminhão.

Os parâmetros técnicos determinados a partir dos tempos levantados em campo são: tempo de escavação e carga do caminhão (escavadeira hidráulica), tempo de ida, tempo de descarga, tempo de retorno e tempo de parada dos caminhões. Com a distribuição de frequência relativa e acumulada é possível gerar-se a distribuição de probabilidade de ocorrências desses parâmetros técnicos que serviram de base para os cálculos associados à determinação do número mínimo de caminhões como também os respectivos custos de operação.

A metodologia utilizada para simulação dos parâmetros técnicos determinados no Estudo de Tempos e Movimentos foi a geração de números aleatórios entre 0 e 1, para cada um dos parâmetros de tempo envolvidos sendo estes relacionados com a distribuição de probabilidade acumulada transformada para uma escala de 0 a 1, sendo 1 correspondente a 100% da frequência acumulada. Através da geração de números aleatórios no Excel foram realizadas 200 iterações e obtidos dos tempos de operação a partir da distribuição de probabilidade acumulada, sendo esses utilizados para o cálculo da frota de caminhões utilizando uma das metodologias de cálculo descrita a seguir.

Após certo número de iterações (superior a 200), foi possível a definição de uma distribuição de probabilidade aproximadamente normal do número mínimo de caminhões necessários para cada alternativa de disposição do material estéril da cobertura que estão sendo avaliados comparativamente na presente dissertação. Após ter-se essa distribuição de probabilidades fez-se uma transformação para a curva normal reduzida que permitiu a determinação do número mínimo de caminhões de cada projeto analisado.

3.8 – METODOLOGIA DE CÁLCULO NA SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

Para aplicação da técnica de Simulação de Monte Carlo foi realizado um estudo estatístico e probabilístico das variáveis levantadas nos Estudos de Tempos e Movimentos realizados na mina Ponta da Serra, visando comparar os resultados estatísticos com os resultados obtidos no estudo estocástico realizado por metodologia convencional.

Para esta análise são apresentados os gráficos de distribuição de probabilidade referentes às variáveis de tempo de operação de transporte de estéril, onde com o auxílio de procedimentos estatísticos é possível avaliar, de forma eficiente, a quantidade mínima de equipamentos de transporte necessários para atender a produção de estéril de descobertura da mina estudada.

O estudo de tempos e movimentos realizado através da técnica de Simulação de Monte Carlo inicia com a definição das distribuições de probabilidade dos tempos de carregamento, ida, volta e basculamento. Após determinação da distribuição de probabilidades desses tempos e sua frequência acumulada é possível fazer-se a simulação preparando-se tabelas com frequência relativa entre 0 e 1 e, gerando-se números aleatórios entre 0 e 1, obter-se os valores dos tempos de operação que são então utilizados nas fórmulas de cálculo disponíveis na literatura técnica para dimensionamento da frota de caminhões necessários à operação.

Na figura abaixo é apresentado o lay-out simplificado das rotas de transporte alternativas para os métodos de lavra em tiras (strip mining) e lavra em cratera (open pit – bancadas múltiplas). Como pode ser facilmente visto a rota de transporte através da strip mining é claramente de menor distância indicando que esse método de lavra permitirá uma redução significativa nos custos operacionais e necessidade de equipamentos de transporte.

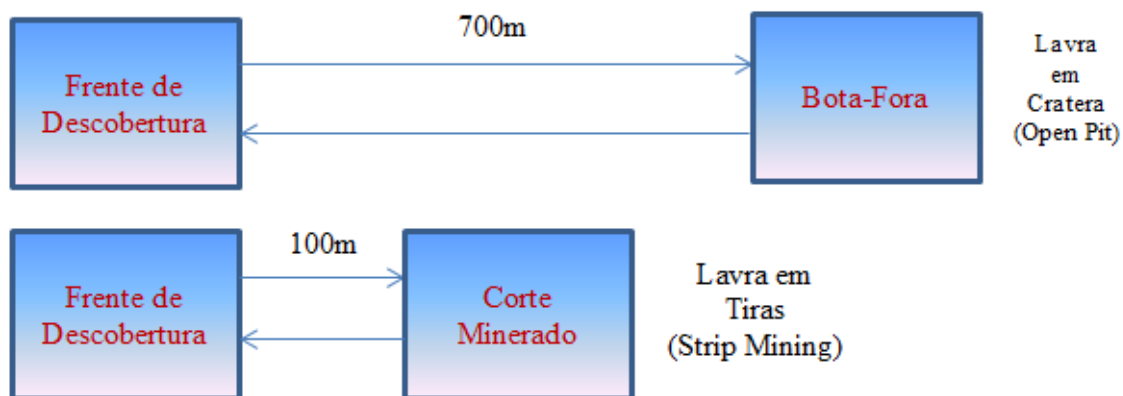


Figura 3.6 - Representação esquemática dos trajetos até o aterro final

Foram desenvolvidas distribuições de probabilidade dos principais parâmetros técnicos levantados no estudo de tempos e movimentos que são: tempo de carregamento, tempo de ida, tempo de volta e tempo de basculamento no bota-fora. A partir dos dados de campo foi possível a construção dos gráficos que representam as distribuições de probabilidade (frequência relativa e acumulada) dos tempos de operação representando dessa forma a variabilidade dos processos operacionais.

O procedimento utilizado na simulação de Monte Carlo baseia-se em determinar a distribuição de frequência relativa e acumulada dos tempos levantados em campo e com isto criar uma tabela relacionando o tempo de operação e a frequência acumulada (com valores entre 0 e 1) que servirá de base para fazer as simulações.

As simulações são realizadas através da geração de números aleatórios que obtidos de forma randômica e a partir desses seleciona-se o valor correspondente ao tempo da operação que é utilizado para o cálculo do número mínimo de caminhões através das metodologias apresentadas a seguir. Foram realizadas 200 iterações a fim de gerar uma curva aproximadamente normal que represente a distribuição de frequência do número mínimo de caminhões que atenderá com segurança a demanda de transporte de estéril até o local de sua deposição definitiva (bota-fora ou corte minerado, dependendo da metodologia de exploração).

Foram utilizadas duas metodologias de cálculo para determinação do número mínimo de caminhões necessários para o transporte do estéril da cobertura.

A primeira metodologia de cálculo, baseada nos tempos de ciclo dos caminhões utilizados para transporte, utilizou a seguinte formulação:

$$P_{h\ cam} = \frac{60' \times C_e \times E_{f\ cam}}{T_{ciclo}} \times Vol_{caç} \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Onde:

- $P_{h\ cam}$ = Produção Horária do Caminhão
- C_e = Coeficiente de Enchimento da Caçamba do Caminhão
- $E_{f\ cam}$ = Eficiência do Equipamento de Transporte
- T_{ciclo} = Tempo Total de Ciclo do Caminhão
- $Vol_{caç}$ = Volume da Caçamba do Caminhão

Nessa formulação o tempo de ciclo do caminhão é a somatória dos tempos de carga, tempo de ida até o local de deposição do rejeito, tempo de descarga no aterro e tempo de retorno até o local de carregamento. Esses tempos foram levantados durante a etapa de campo e geraram tabelas de distribuição de frequências que são apresentadas no próximo capítulo (Resultados e Discussão) e que serviram para a realização da simulação de Monte Carlo.

A segunda metodologia utilizada para determinação do número mínimo de caminhões, baseada na necessidade de caminhões por escavadeira utilizada na operação, utilizou a seguinte formulação:

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

Onde:

- T_{ciclo} = tempo do ciclo de transporte
- T_{carga} = tempo de carregamento do caminhão
- $E_{f\ carreg}$ = eficiência da operação de carregamento
- $E_{f\ cam}$ = eficiência da operação de transporte

Da mesma forma que na metodologia anterior foram geradas tabelas de distribuição de frequências para os tempos de carga, tempo de ciclo e eficiências operacionais que são apresentadas no próximo capítulo (Discussão de Resultados) e que serviram para a realização da simulação de Monte Carlo.

Para a obtenção do número mínimo de caminhões, foi desenvolvido um estudo probabilístico através da realização de 200 iterações, a partir das tabelas de distribuição de probabilidade de cada variável das formulações apresentadas anteriormente, e a partir dos resultados foi possível determinar uma distribuição de probabilidade do número mínimo de caminhões que atenderá com segurança a demanda solicitada pela operação de descobertura. Após definição dessa distribuição de probabilidade pode-se realizar sua transformação para a curva normal reduzida, através da metodologia “t” de student.

A transformação da distribuição de frequências obtida na curva normal reduzida permite-nos encontrar, com um intervalo de confiança de 95%, o número mínimo de caminhões que realizam a tarefa de transporte de minério até o local de deposição para os dois métodos de lavra estudados.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – INTRODUÇÃO

No presente capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos no Estudo de Tempos e Movimentos e Dimensionamento dos caminhões necessários à operação de descobertura da Mina Ponta da Serra.

São discutidos os tempos de escavação e carregamento do estéril da descobertura, tempos de percurso de ida e volta dos caminhões até o bota-fora e tempo de basculamento do estéril no aterro final. Estes dados de tempo de operação foram coletados no Estudo de Tempos e Movimentos realizado na mineração Ponta da Serra, localizada no Polo Gesseiro do Araripe em Araripina – PE. Esta é uma empresa de médio porte no segmento de extração e beneficiamento de gipsita. Todos os dados, que estão representados nas tabelas foram coletados obedecendo, de maneira individual, ao tempo efetivamente gasto em cada uma dessas operações.

São apresentados e discutidos os resultados do Estudo de Tempos e Movimentos, dimensionamento estocástico do número de caminhões mínimo para atender a produção desejada em termos de descobertura mensal da jazida e os resultados da simulação probabilística da necessidade mínima de caminhões pela Técnica de Monte Carlo.

4.2 – ESTUDO DE TEMPOS E MOVIMENTOS

O Estudo de Tempos e Movimentos realizado na mina Ponta da Serra é apresentado a seguir na forma de tabelas e gráficos que serviram para a obtenção das curvas de distribuição de probabilidade de cada variável analisada.

São também apresentados os valores das médias e desvios padrões e histogramas de parâmetro, que serviram de base para a realização do dimensionamento estocástico dos caminhões e posterior análise estatística pelo Método de Monte Carlo.

As tabelas 8 e 9 mostram os valores cronometrados dos tempos de escavação e carregamento de caminhões levantados na frente de descobertura da mina Ponta da Serra e a distribuição de frequências, média e desvio padrão dos dados de campo.

Tabela 4.1 - Tempos observados na operação de escavação e carregamento dos caminhões nas frentes de descobertura na Mina Ponta da Serra - Araripina/PE

Tempos cronometrados de operação			
h:min:seg	minutos	h:min:seg	minutos
00:03:53	3,884	00:04:03	4,050
00:03:53	3,884	00:04:03	4,050
00:03:55	3,917	00:04:03	4,050
00:03:57	3,950	00:04:04	4,067
00:03:57	3,950	00:04:05	4,084
00:03:57	3,950	00:04:05	4,084
00:03:58	3,967	00:04:05	4,084
00:03:59	3,984	00:04:06	4,100
00:04:01	4,017	00:04:06	4,100
00:04:01	4,017	00:04:07	4,117
00:04:02	4,034	00:04:08	4,134
00:04:02	4,034	00:04:08	4,134
00:04:02	4,034	00:04:11	4,184
00:04:02	4,034	00:04:11	4,184
00:04:02	4,034	00:04:12	4,200

Tabela 4.2 - Frequência dos valores observados dos tempos de escavação e carregamento de caminhões Mina Ponta da Serra - Araripina/PE

Limites das Classes		Xm	Fa	Fr	Fac %
3,884	3,937	3,910	3	0,100	10,00%
3,954	4,007	3,980	5	0,167	26,67%
4,024	4,077	4,050	7	0,233	50,00%
4,094	4,147	4,120	7	0,233	73,33%
4,164	4,217	4,190	5	0,167	90,00%
4,234	4,287	4,260	3	0,100	100,00%
			30	1	

Média	4,044
Desvio Padrão	0,082

A figura 14 mostra a distribuição de frequências relativa aos tempos de escavação e carregamento levantados em campo que foram utilizados para a geração das tabelas e gráficos de frequência relativa acumulada, base para a realização da simulação pela Técnica de Monte Carlo.

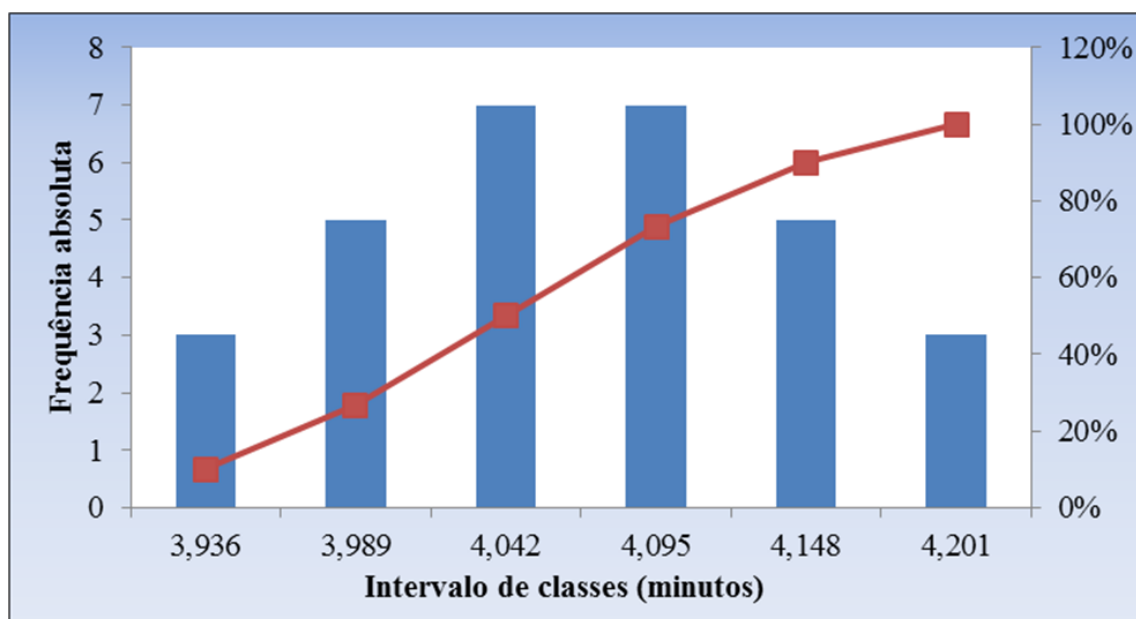


Figura 4.1 - Histograma indicando a distribuição de probabilidade do tempo de escavação e carregamento de caminhões

Os resultados obtidos referentes aos tempos de escavação e carregamento dos caminhões que transportam o estéril da cobertura na descobertura mostram que o comportamento da curva se aproxima de uma distribuição normal.

Pelos resultados tem-se que a média esperada para essa operação é de 4'26,4" com um desvio padrão de 4,92", valores esses que foram utilizados para dimensionamento dos caminhões pelas métodos estocástico e estatístico.

As tabelas 10 e 11 mostram os valores cronometrados do tempo de percurso de ida dos caminhões da frente de descobertura da mina Ponta da Serra até o bota-fora e a distribuição de frequências, média e desvio padrão dos dados de campo.

Tabela 4.3 - Tempos observados na operação do percurso de ida dos caminhões na frente de descobertura da Mina Ponta da Serra - Araripina/PE

Tempos cronometrados de operação			
h:min:seg	minutos	h:min:seg	minutos
00:04:09	4,150	00:04:16	4,267
00:04:09	4,150	00:04:16	4,278
00:04:11	4,187	00:04:17	4,289
00:04:12	4,200	00:04:17	4,290
00:04:12	4,200	00:04:17	4,290
00:04:13	4,220	00:04:18	4,302
00:04:13	4,224	00:04:18	4,302
00:04:13	4,224	00:04:18	4,302
00:04:13	4,226	00:04:19	4,321
00:04:13	4,229	00:04:19	4,325
00:04:13	4,231	00:04:20	4,335
00:04:14	4,236	00:04:20	4,347
00:04:15	4,257	00:04:21	4,361
00:04:15	4,257	00:04:22	4,368
00:04:09	4,265	00:04:23	4,384

Tabela 4.4 - Tabela de frequência dos valores observados dos tempos de percurso de ida dos caminhões da Mina Ponta da Serra - Araripina/PE

Limites das Classes		Xm	Fa	Fr	Fac
4,150	4,189	4,17	3	0,1000	10,00%
4,210	4,249	4,23	6	0,2000	30,00%
4,270	4,309	4,29	7	0,2333	53,33%
4,330	4,369	4,35	7	0,2333	76,67%
4,390	4,429	4,41	4	0,1333	90,00%
4,450	4,489	4,47	3	0,1000	100,00%
		30	1		

Média	4,267
Desvio Padrão	0,061

A figura 15 mostra a distribuição de frequências relativa ao tempo de percurso de ida levantado em campo que foram utilizados para a geração das tabelas e gráficos de frequência relativa acumulada, base para a realização da simulação pela Técnica de Monte Carlo.

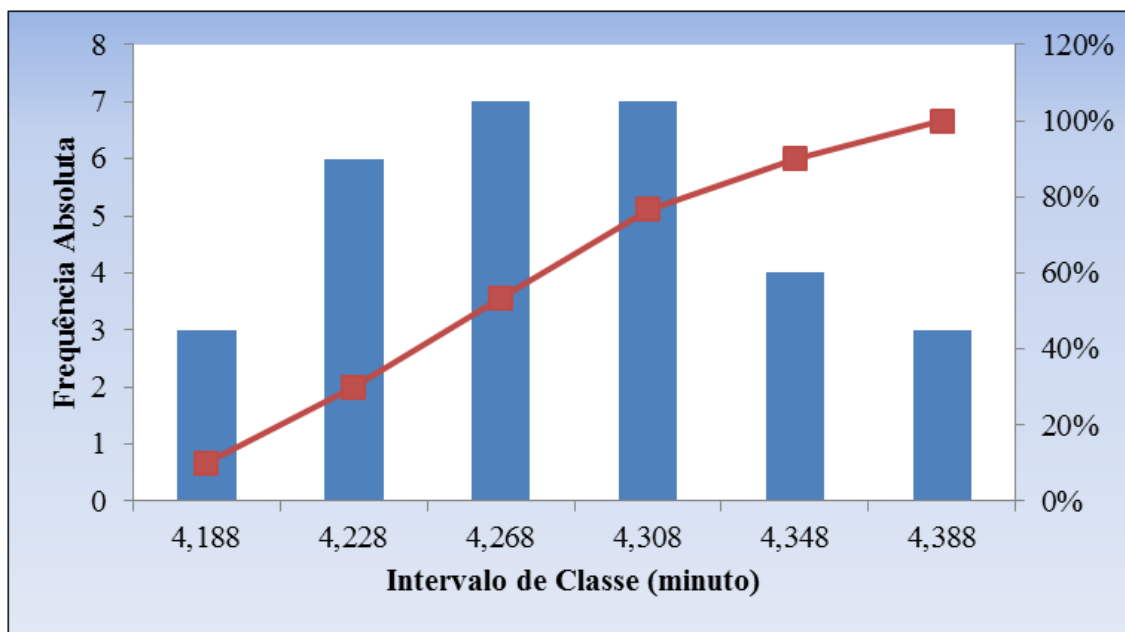


Figura 4.2 - Histograma indicando a distribuição de probabilidade do tempo referente ao percurso de ida dos caminhões

Os resultados obtidos referentes ao tempo do transporte de ida dos caminhões que transportam o estéril da cobertura até o bota-fora mostram que o comportamento da curva se aproxima de uma distribuição normal.

Pelos resultados tem-se que a média esperada para essa operação é de 4'16" com um desvio padrão de 3,66", valores esses que foram utilizados para dimensionamento dos caminhões pelas métodos estocástico e estatístico.

O critério que foi utilizado para obtenção dos tempos de ciclo em campo baseou-se em acompanhar o caminhão durante seu percurso até o bota-fora e em paralelo cronometrar os tempos que de fato foram necessários para o veículo completar o seu ciclo de operação.

Para o tempo decorrido na ida do caminhão para o bota fora podemos perceber que esta variável tem um comportamento aproximadamente normal, o que nos permite, através da estatística, definir um intervalo de variação para essa variável e utilizar esses valores para o dimensionamento dos caminhões.

As tabelas 12 e 13 mostram os valores cronometrados do tempo de percurso de volta dos caminhões levantados na mina Ponta da Serra e a distribuição de frequências, média e desvio padrão dos dados de campo.

Tabela 4.5 - Tempos observados na operação de percurso de volta dos caminhões na frente de descobertura da Mina Ponta da Serra - Araripina/PE

Tempos cronometrados de operação			
h:min:seg	minutos	h:min:seg	minutos
00:02:11	2,183	00:02:19	2,317
00:02:11	2,183	00:02:19	2,317
00:02:14	2,233	00:02:19	2,317
00:02:14	2,233	00:02:19	2,317
00:02:15	2,250	00:02:19	2,317
00:02:15	2,250	00:02:19	2,317
00:02:16	2,267	00:02:20	2,333
00:02:17	2,283	00:02:20	2,333
00:02:17	2,283	00:02:20	2,333
00:02:17	2,283	00:02:20	2,333
00:02:17	2,283	00:02:21	2,350
00:02:17	2,283	00:02:21	2,350
00:02:17	2,283	00:02:22	2,367
00:02:18	2,300	00:02:22	2,367
00:02:18	2,300	00:02:22	2,367

Tabela 4.6 - Frequência dos valores observados dos tempos de percurso de volta dos caminhões da Mina Ponta da Serra - Araripina/PE

Limites das Classes		Xm	Fa	Fr	Fac
0,1840	0,2240	0,20	2	0,0667	6,67%
0,2340	0,2740	0,25	4	0,1333	20,00%
0,2840	0,3240	0,30	7	0,2333	43,33%
0,3340	0,3740	0,35	8	0,2667	70,00%
0,3840	0,4240	0,40	6	0,2000	90,00%
0,4340	0,4740	0,45	3	0,1000	100,00%
			30	1	

Média	2,298
Desvio Padrão	0,048

A figura 16 mostra a distribuição de frequências relativa do tempo de percurso de volta levantado em campo que foram utilizados para a geração das tabelas e gráficos de frequência relativa acumulada, base para a realização da simulação pela Técnica de Monte Carlo.

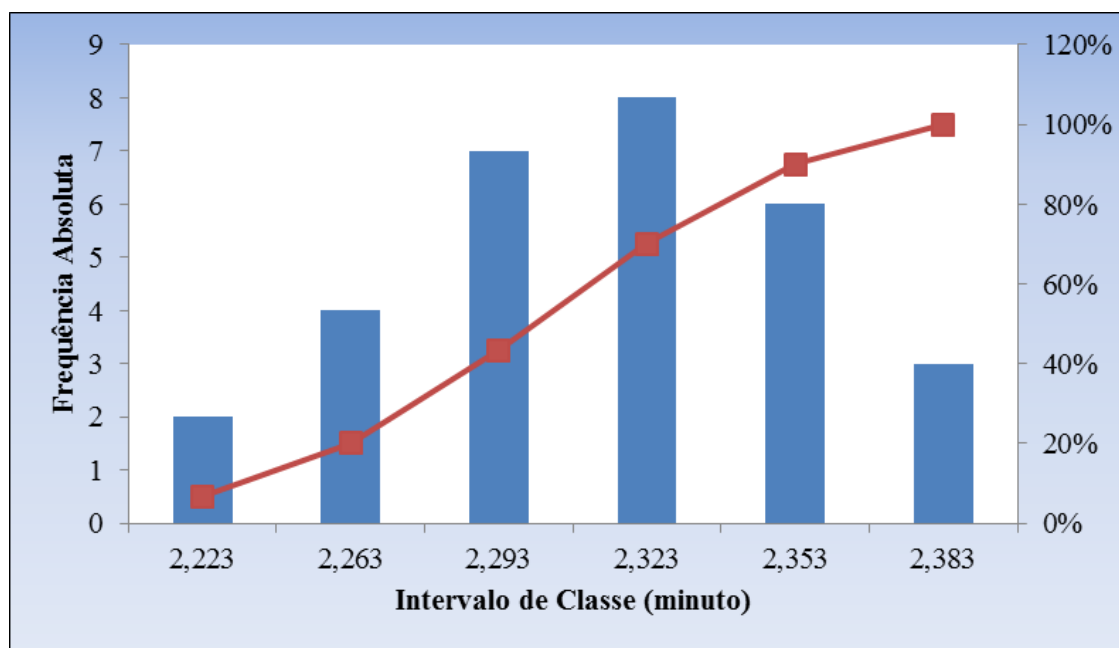


Figura 4.3 - Histograma indicando a distribuição de probabilidade do tempo referente ao percurso de volta dos caminhões

Os resultados obtidos referentes ao tempo do percurso de volta dos caminhões que transportam o estéril da cobertura até o bota-fora mostram que o comportamento da curva se aproxima de uma distribuição normal.

Pelos resultados tem-se que a média esperada para essa operação é de 2'18" com um desvio padrão de 2,88", valores esses que foram utilizados para dimensionamento dos caminhões pelas métodos estocástico e estatístico.

A forma de obtenção dos dados foi semelhante ao levantamento de dados de tempo de ida da frente de descobertura até o bota-fora.

Para obter este tempo foi observado o tempo de basculamento e, logo após o término desse procedimento, se faz o regresso para frente de estéril, onde se registra o tempo de volta, de forma precisa, com a intenção de se obter resultados de alta confiabilidade na intensão de que as decisões que posteriormente sejam tomadas possam de fato ser revertidas em ganhos para a empresa.

Os resultados obtidos referentes ao tempo do percurso de volta dos caminhões que transportam o estéril da cobertura até o bota-fora mostram que o comportamento da curva se aproxima de uma distribuição normal.

As tabelas 14 e 15 mostram os valores cronometrados do tempo de basculamento dos caminhões levantado no bota-fora e a distribuição de frequências, média e desvio padrão dos dados de campo.

Tabela 4.7 - Tempos observados na operação de basculamento dos caminhões no bota-fora da Mina Ponta da Serra - Araripina/PE

Tempos cronometrados de operação			
h:min:seg	minutos	h:min:seg	minutos
00:01:14	1,233	00:01:22	1,367
00:01:15	1,250	00:01:22	1,367
00:01:16	1,267	00:01:22	1,367
00:01:18	1,300	00:01:22	1,367
00:01:18	1,300	00:01:23	1,383
00:01:18	1,300	00:01:23	1,383
00:01:18	1,300	00:01:23	1,383
00:01:18	1,300	00:01:24	1,400
00:01:20	1,333	00:01:25	1,417
00:01:20	1,333	00:01:25	1,417
00:01:21	1,350	00:01:25	1,417
00:01:21	1,350	00:01:25	1,417
00:01:21	1,350	00:01:27	1,450
00:01:21	1,350	00:01:27	1,450
00:01:21	1,350	00:01:28	1,467

Tabela 4.8 - Frequência dos valores observados dos tempos de basculamento dos caminhões da Mina Ponta da Serra - Araripina/PE

Limites das Classes		Xm	Fa	Fr	Fac
0,234	0,274	0,254	3	0,1000	10,00%
0,294	0,334	0,314	5	0,1667	26,67%
0,354	0,394	0,374	7	0,2333	50,00%
0,414	0,454	0,434	7	0,2333	73,33%
0,474	0,514	0,494	5	0,1667	90,00%
0,534	0,574	0,554	3	0,1000	100,00%
			30	1	

Média	1,357
Desvio Padrão	0,058

A figura a seguir mostra a distribuição de frequências relativa ao tempo de basculamento levantados em campo, que foram utilizados para a geração das tabelas e gráficos de frequência relativa acumulada, base para a realização da simulação pela Técnica de Monte Carlo.

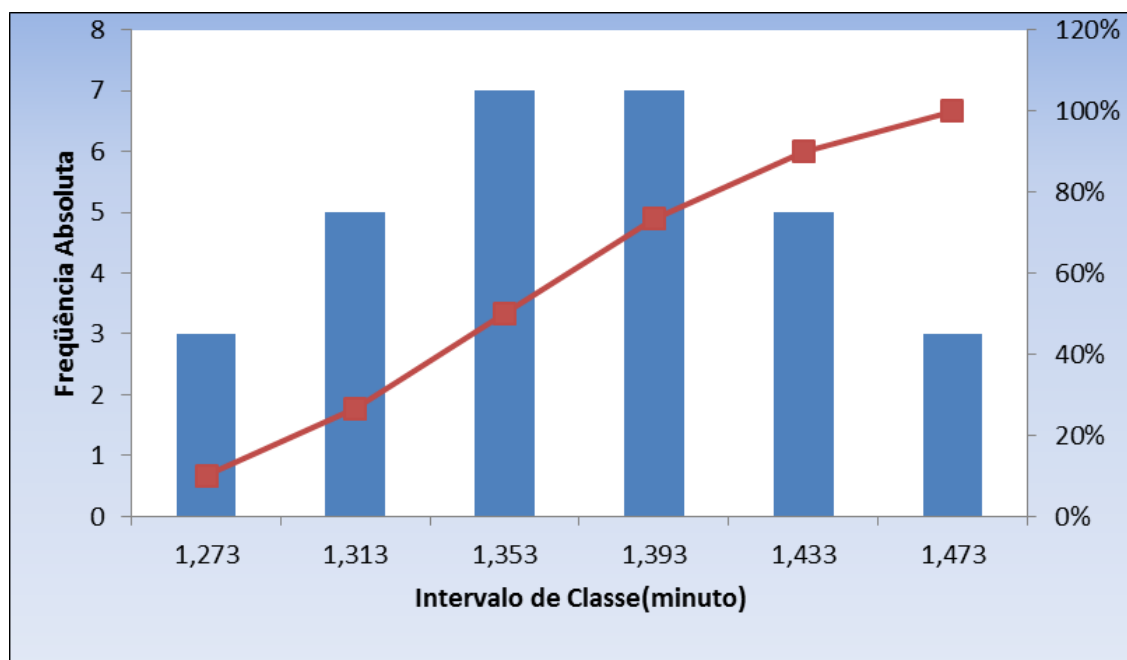


Figura 4.4 - Histograma indicando a distribuição de probabilidade do tempo referente ao basculamento dos caminhões

Os resultados obtidos referentes ao tempo de basculamento dos caminhões que transportam o estéril da cobertura mostram que o comportamento da curva se aproxima de uma distribuição normal.

Pelos resultados tem-se que a média esperada para essa operação é de 1'21" com um desvio padrão de 3,48", valores esses que foram utilizados para dimensionamento dos caminhões pelas métodos estocástico e estatístico.

4.3 – DIMENSIONAMENTO ESTOCÁSTICO DA FROTA DE CAMINHÕES

4.3.1 – Alternativa 1 – Lavra em open pit (método atual – lavra tipo cratera)

4.3.2 – Metodologia 1: Dimensionamento baseado no percurso e na produção de estéril

Os tempos definidos para cada parâmetro (média), de acordo com as tabelas 08, 10, 12 e 14 que se encontram nas páginas 87, 89, 91 e 93 respectivamente são:

Tempo de Carga = 4,04 min

Tempo de Percurso de Ida = 4,27 min

Tempo de Descarga = 1,36 min

Tempo de Percurso de Retorno = 2,30 min

Tempo Total do Ciclo = 11,97 min/ciclo => 12 min/ciclo

Considerando um volume da caçamba do caminhão utilizado no transporte de estéril de 12 m^3 e aplicando um coeficiente de enchimento da caçamba de 90%, o volume líquido transportado por caminhão é de cerca de $10,8 \text{ m}^3/\text{ciclo}$.

Dessa forma, utilizando-se a formulação proposta por Souza, J. C. (2002) pode-se definir a produção horária de cada unidade de transporte como:

Produção horária = Volume transportado/ciclo x nº de ciclos/h x eficiência do transporte

$$\text{Produção Horária} = 10,8 \text{ m}^3/\text{ciclo} \times (60'/12') \times 0,85 = 45,9 \text{ m}^3/\text{hora}/\text{caminhão}$$

Obs: considerou-se uma eficiência do sistema de transporte de 85%

Definindo-se um regime de trabalho de 6 horas/dia e 22 dias mês, tem-se que cada caminhão empregado na remoção da cobertura estéril poderá realizar o transporte de:

$$45,9 \text{ m}^3/\text{h} \times 6 \text{ h}/\text{dia} \times 22 \text{ dias}/\text{mês} = (6.058,8 \times 0,9) \Rightarrow 5.500 \text{ m}^3/\text{mês}$$

Obs: Considere uma eficiência para esse sistema de 90%

Sabendo-se que a movimentação média de material estéril da cobertura é de cerca de 45.000 ton/mês e que a densidade média da argila local é de cerca de 2,55 ton/m³, tem-se que o volume total a ser transportado mensalmente ascende a:

$$\text{Volume total} = 45.000 \text{ ton}/\text{mês} / 2,55 \text{ ton}/\text{m}^3 = 17.647 \Rightarrow 18.000 \text{ m}^3/\text{mês}$$

Sendo esta a necessidade volumétrica de estéril de cobertura a ser transportada por mês na mina, pode-se determinar o número de caminhões que serão necessários para trabalhar na descobertura da jazida de gipsita da mina Ponta da Serra, como segue:

$$\text{Número de caminhões} = 18.000 \text{ m}^3/\text{mês} / 5.500 \text{ m}^3/\text{mês} = 4 \text{ unidades}$$

Logo conclui-se que o número de caminhões necessário para o transporte de estéril da cobertura do depósito de gipsita na mina Ponta da Serra, na configuração de lavra atualmente em operação, baseada no método de lavra tipo open pit (lavra em cratera) é de 4 unidades de 12 m³ de capacidade volumétrica de caçamba, nas condições operacionais estipuladas acima.

4.3.3 – Metodologia 2: Dimensionamento baseado no sincronismo entre as operações de carga e transporte

Para desenvolvimento do dimensionamento por esse método é necessário o dimensionamento do número de escavadeiras hidráulicas para obtenção da produção desejada de cerca 18.000 m³/mês. Para tanto utilizou-se o modelo de escavadeira disponível na mina Ponta da Serra que é uma Hyundai 320LC com caçamba de 1,7 m³ de capacidade.

Na definição do número de escavadeiras hidráulicas deve-se determinar a produção horária do equipamento e comparar com o volume de material a ser escavado. A seguir apresentamos o cálculo da produtividade horária da escavadeira hidráulica em operação na mina Ponta da Serra utilizando os parâmetros técnicos e operacionais levantados durante o estudo de tempos e movimentos realizados na empresa.

A fórmula padrão para determinação da produção horária de equipamentos de carregamento cíclicos, de acordo com Souza, J.C. (2002), utilizada para o cálculo da produtividade da escavadeira hidráulica da mina Lagoa da Serra é:

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

Onde:

P_h = Produção Horária

C_e = Coeficiente de Enchimento da Caçamba

E_f = Eficiência do Equipamento de Carregamento

T_c = Tempo de Ciclo da Escavadeira

V_c = Volume da Caçamba da Carregadeira

C_g = Coeficiente de Giro da Carregadeira

Considerando um coeficiente de enchimento da caçamba de 0,57; uma eficiência de carregamento de 0,80 e um coeficiente de giro da escavadeira de 1,1 têm-se uma produtividade horária média de:

$$P_h = \frac{60 \cdot 60 \cdot 0,57 \cdot 0,80 \cdot 1,7}{17 \cdot 1,1} = 149,23 = 150 \text{ m}^3/\text{h}$$

As variáveis tempo de ciclo e volume da caçamba da carregadeira foram adquiridas a partir dos estudos de tempos e movimentos realizado na mina Ponta da Serra e do fabricante do equipamento respectivamente.

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

$$150 \text{ m}^3/\text{h} \times 6 \text{ h/dia} \times 22 \text{ dias/mês} = 19.800 \text{ m}^3/\text{mês}$$

Sendo assim o número de escavadeiras necessárias para obtenção da produção desejada de 18.000 m³/mês é de:

$$18.000 / 19.800 = 0,91 \text{ unidades} \Rightarrow 1 \text{ unidade}$$

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:

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

Onde:

T_{ciclo} = tempo do ciclo de transporte

T_{carga} = tempo de carregamento do caminhão

Ef_{carreg} = eficiência da operação de carregamento

Ef_{cam} = eficiência da operação de transporte

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:

$$T_{\text{ciclo}} = 12 \text{ min}$$

$$T_{\text{carga}} = 4 \text{ min}$$

$$E_{\text{carreg}} = 80\%$$

$$E_{\text{cam}} = 85\%$$

$$N_{\text{cam}} = \frac{12 \text{ min/ciclo}}{4 \text{ min}} * \frac{85\%}{80\%} = 3,19 \Rightarrow 4 \text{ caminhões}$$

4.3.4 – Alternativa 2 – Lavra em strip mining (método alternativo – lavra em tiras)

4.3.5 – Metodologia 1: Dimensionamento baseado no percurso e na produção de estéril

Para o cálculo do número de caminhões por meio do método Strip Mining haverá poucas variações nos parâmetros de tempo, uma vez que, as principais mudanças ocorrem nos tempos de percursos de ida e de volta. Para tanto vamos utilizar uma distância de aproximadamente 100 metros visto que esta distancia se permanece constante durante o todo o tempo que levará a remoção do estéril.

Neste caso calcularemos o tempo de ida juntamente com o de volta pela velocidade média do caminhão na ida e na volta respectivamente.

$$V_{\text{mi}} = \frac{700 \text{ m}}{4,267 \text{ min}} = 164,05 \text{ m/min}$$

$$V_{\text{mv}} = \frac{700 \text{ m}}{2,298 \text{ min}} = 304,61 \text{ m/min}$$

Logo a partir destes valores e considerando uma distância de 100 metros podemos concluir que os tempos médios de ida e volta são:

$$T_{ida} = \frac{100 \text{ m}}{164,5 \text{ m/min}} = 0,61 \text{ min}$$

$$T_{volta} = \frac{100 \text{ m}}{304,61 \text{ m/min}} = 0,33 \text{ min}$$

Os tempos definidos para cada parâmetro (média), de acordo com as tabelas 08 e 12 que se encontram nas páginas 87 e 91 respectivamente são:

Tempo de Carga = 4,04 min

Tempo de Percurso de Ida = 0,61 min

Tempo de Descarga = 1,36 min

Tempo de Percurso de Retorno = 0,33 min

Tempo Total do Ciclo = 6,34 min/ciclo => 7,00 min/ciclo

Considerando um volume da caçamba do caminhão utilizado no transporte de estéril de 12 m³ e aplicando um coeficiente de enchimento da caçamba de 90%, o volume líquido transportado por caminhão é de cerca de 10,8 m³/ciclo.

Dessa forma, utilizando-se a formulação proposta por Souza, J. C. (2002) pode-se definir a produção horária de cada unidade de transporte como:

Produção horária = Volume transportado/ciclo x nº de ciclos/h x eficiência do transporte

$$\text{Produção Horária} = 10,8 \text{ m}^3/\text{ciclo} \times (60'/7') \times 0,85 = 78,7 \text{ m}^3/\text{hora/caminhão}$$

Obs: considerou-se uma eficiência do sistema de transporte de 85%

Definindo-se um regime de trabalho de 6 horas/dia e 22 dias mês, tem-se que cada caminhão empregado na remoção da cobertura estéril poderá realizar o transporte de:

$$78,7 \text{ m}^3/\text{h} \times 6 \text{ h/dia} \times 22 \text{ dias/mês} = 10.388,4 \Rightarrow 10.400 \text{ m}^3/\text{mês}$$

Sabendo-se que a movimentação média de material estéril da cobertura é de cerca de 45.000 ton/mês e que a densidade média da argila local é de cerca de 2,55 ton/m³, tem-se que o volume total a ser transportado mensalmente ascende a:

$$\text{Volume total} = 45.000 \text{ ton/mês} / 2,55 \text{ ton/m}^3 = 17.647 \Rightarrow 18.000 \text{ m}^3/\text{mês}$$

Sendo esta a necessidade volumétrica de estéril de cobertura a ser transportada por mês na mina, pode-se determinar o número de caminhões que serão necessários para trabalhar na descobertura da jazida de gipsita da mina Ponta da Serra, como segue:

$$\text{Número de caminhões} = 18.000 \text{ m}^3/\text{mês} / 10.400 \text{ m}^3/\text{mês} = 1,73 \Rightarrow 2 \text{ unidades}$$

Logo conclui-se que o número de caminhões necessário para o transporte de estéril da cobertura do depósito de gipsita na mina Ponta da Serra, na configuração de lavra atualmente em operação, baseada no método de lavra tipo Strip Mining (lavra em tiras) é de 2 unidades de 12 m³ de capacidade volumétrica de caçamba, nas condições operacionais estipuladas acima.

4.3.6 – Metodologia 2: Dimensionamento baseado no sincronismo entre as operações de carga e transporte

Para desenvolvimento do dimensionamento por esse método é necessário o dimensionamento do número de escavadeiras hidráulicas para obtenção da produção desejada de cerca 18.000 m³/mês. Para tanto utilizou-se o modelo de escavadeira disponível na mina Ponta da Serra que é uma Hyundai 320LC com caçamba de 1,7 m³ de capacidade.

Na definição do número de escavadeiras hidráulicas deve-se determinar a produção horária do equipamento e comparar com o volume de material a ser escavado. A seguir apresentamos o cálculo da produtividade horária da escavadeira hidráulica em operação na mina Ponta da Serra utilizando os parâmetros técnicos e operacionais levantados durante o estudo de tempos e movimentos realizados na empresa.

A fórmula padrão para determinação da produção horária de equipamentos de carregamento cíclicos, de acordo com Souza, J.C. (2002), utilizada para o cálculo da produtividade da escavadeira hidráulica da mina Ponta da Serra é:

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

Onde:

P_h = Produção Horária

C_e = Coeficiente de Enchimento da Caçamba

E_f = Eficiência do Equipamento de Carregamento

T_c = Tempo de Ciclo da Escavadeira

V_c = Volume da Caçamba da Carregadeira

C_g = Coeficiente de Giro da Carregadeira

Considerando um coeficiente de enchimento da caçamba de 0,57; uma eficiência de carregamento de 0,80 e um coeficiente de giro da escavadeira de 1,1 têm-se uma produtividade horária média de:

$$P_h = \frac{60*60*0,57*0,80*1,7}{17*1,1} = 149,23 = 150 \text{ m}^3/\text{h}$$

As variáveis tempo de ciclo e volume da caçamba da carregadeira foram adquiridas a partir dos estudos de tempos e movimentos realizado na mina Ponta da Serra e do fabricante do equipamento respectivamente.

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

$$150 \text{ m}^3/\text{h} \times 6 \text{ h/dia} \times 22 \text{ dias/mês} = 19.800 \text{ m}^3/\text{mês}$$

Sendo assim o número de escavadeiras necessárias para obtenção da produção desejada de 18.000 m³/mês é de:

$$18.000 / 19.800 = 0,91 \text{ unidades} \Rightarrow 1 \text{ unidade}$$

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:

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

Onde:

T_{ciclo} = tempo do ciclo de transporte

T_{carga} = tempo de carregamento do caminhão

Ef_{carreg} = eficiência da operação de carregamento

Ef_{cam} = eficiência da operação de transporte

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:

$$T_{\text{ciclo}} = 7 \text{ min}$$

$$T_{\text{carga}} = 4 \text{ min}$$

$$Ef_{\text{carreg}} = 80\%$$

$$Ef_{\text{cam}} = 85\%$$

$$N_{\text{cam}} = \frac{7 \text{ min/ciclo}}{4 \text{ min}} * \frac{85\%}{80\%} = 1,86 \Rightarrow 2 \text{ caminhões}$$

Para definição dos tempos médios de transporte foram utilizados os parâmetros obtidos no estudo de tempos e movimentos realizados na cava da empresa, sendo considerados num primeiro momento os tempos médios sem a inclusão da variabilidade desses parâmetros. Essa variabilidade e seu reflexo nos cálculos de dimensionamento de frota serão realizados através da técnica de simulação de Monte Carlo.

Os tempos necessários para definição do ciclo de transporte (tempo de percurso) são: Tempo de Carga, Tempo de Percursos de Ida, Tempo de Descarga e Tempo Percurso de Retorno. Os valores dos tempos que foram utilizados no cálculo do dimensionamento da frota foram a média aritmética obtida no tratamento estatístico dos dados colhidos em campo para cada variável analisada.

4.4 – DIMENSIONAMENTO PROBABILÍSTICO ATRAVÉS DA TÉCNICA DE MONTE CARLO DA FROTA DE CAMINHÕES

Os resultados da aplicação da técnica de Monte Carlo permitem a obtenção do intervalo de número mínimo de caminhões necessários para o transporte do volume desejado de estéril das frentes de descobertura até o bota-fora, com um nível de confiança de 95%.

A seguir são apresentadas as distribuições de probabilidade referentes ao número mínimo de caminhões necessários para cada metodologia de lavra estudada para cada um dos dois métodos de dimensionamento utilizados para cálculo.

Tabela 4.9 - Representa os valores acumulados para o método de MOnTe Carlo através do dimensionamento pelo tempo de ciclo dos caminhões

Valores Acumulados MC Cratera									
2,2	2,95	2,65	2,71	2,57	2,64	3,24	1,9	2,67	3,3
2,6	3,2	3,73	1,9	3,69	2,6	2,69	3,23	2,22	2,96
2,99	2,24	2,62	2,65	2,18	3,29	2,63	2,88	2,66	3
1,88	2,66	2,94	2,62	2,91	3,32	3,63	2,18	3,29	3,37
2,2	2,98	3,29	2,46	2,23	2,7	2,62	1,87	2,94	2,59
3,67	2,18	2,24	2,98	2,98	2,92	2,94	2,44	2,19	4,06
3	1,93	2,64	2,9	2,63	3,27	3	3,2	3,53	2,18
2,45	1,89	2,37	2,67	2,5	2,63	3,01	2,87	2,92	2,68
2,73	2,92	2,97	3,69	2,66	2,61	4,58	2,73	4,15	3,56
1,93	2,95	3,28	2,94	3,29	3,19	1,91	3,22	3,34	2,64
4,05	2,62	3,31	2,98	2,71	3,22	2,2	2,23	3,04	2,21
1,91	3,36	3,7	2,67	2,6	1,89	2,94	3,64	2,91	2,58
2,69	2,94	2,67	2,69	2,23	3,27	2,45	2,93	2,92	2,17
2,64	1,9	2,61	2,15	2,62	2,93	2,67	2,61	3,24	2,66
3,27	2,99	2,7	4,06	3,67	2,19	4,58	2,14	3,62	3,55
2,57	2,91	2,97	1,89	2,14	1,92	3,28	2,6	2,96	2,45
2,61	2,99	2,91	2,23	2,58	2,87	3,58	1,9	2,68	3,29
2,67	3,69	1,94	2,59	1,93	2,91	2,17	2,88	2,14	2,74
3	2,69	3,01	2,68	2,66	2,18	3,02	1,92	2,89	2,91
2,71	2,68	2,96	3,26	2,48	2,1	3,7	3,61	3,63	2,94

A figura 18 mostra a distribuição de probabilidades relativa ao dimensionamento de caminhões pelo tempo de ciclo, sendo estes tempos levantados em campo.

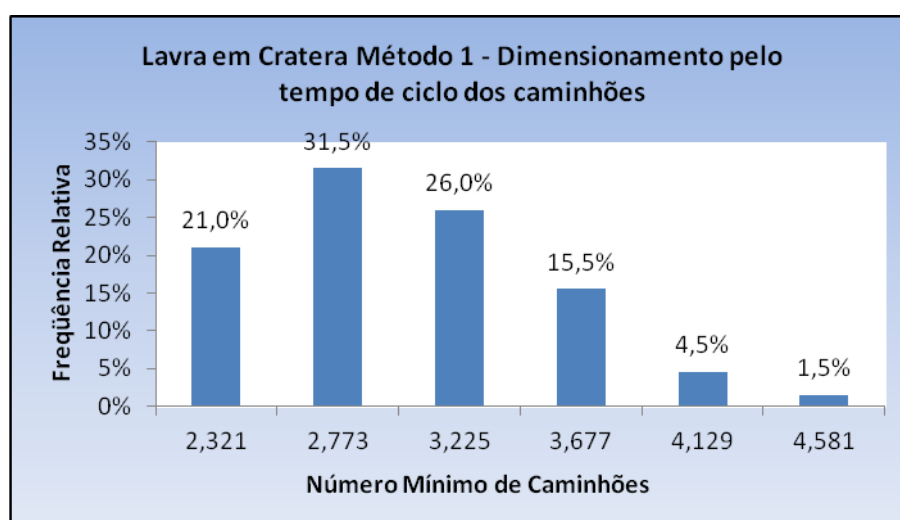


Figura 4.5 - Histograma indicando a distribuição de probabilidade, pelo método de Monte Carlo, do dimensionamento de caminhões

Tabela 4.108 - Representa os valores acumulados para o método de Monte Carlo através do dimensionamento pelo tempo de ciclo dos caminhões com o uso da alternativa Strip Mining

Valores Acumulados MC Strip Mining									
1,08	0,96	2,19	1,21	1,49	1,46	1,81	0,94	0,89	0,95
1,31	1,28	1,11	1,36	1,23	1,42	1,28	1,31	1,41	1,5
1,13	1,44	1,62	0,92	1,09	1,34	1,42	0,98	1,31	0,94
1,27	1,66	1,27	1,06	1,41	1,29	1,45	1,44	0,91	1,06
1,34	1,3	1,23	1,1	1,28	1,45	1,31	1,24	1,79	1,33
1,09	0,94	1,42	1,47	1,36	1,26	1,11	0,93	1,3	0,97
1,41	1,21	1,28	1,31	1,51	1,29	0,92	1,43	1,43	1,59
1,04	1,06	0,93	1,84	0,92	1,58	0,88	1,21	1,37	1,17
1,46	1,6	1,12	1,28	1,64	1,44	1,06	2,18	1,3	1,63
1,89	1,29	1,3	0,92	1,57	1,23	1,83	1,16	1,42	1,36
0,94	1,33	1,3	1,45	1,25	1,28	1,51	1,14	1,41	1,14
1,26	1,44	1,45	1,1	1,39	1,32	1,34	1,61	1,29	1,07
0,92	1,4	1,9	1,46	1,44	1,45	1,32	0,94	1,1	1,8
1,39	1,42	1,17	1,3	0,93	1,05	1,31	1,26	1,22	1,37
1,31	1,43	1,61	1,43	1,52	1,34	1,26	1,19	0,93	1,48
1,45	1,78	1,55	1,35	1,02	1,48	1,32	1,45	1,26	1,22
1,67	0,94	1,34	1,47	1,42	0,88	1,11	0,95	1,37	1,19
1,6	0,9	0,93	1,04	1,07	1,42	1,54	1,83	1,49	1,41
1,27	1,29	1,28	1,33	1,2	1,26	0,99	1,26	1,65	1,28
1,32	1,33	1,32	1,82	1,05	1,18	1,06	1,43	0,96	1,83

A figura 19 mostra a distribuição de probabilidades relativa ao dimensionamento de caminhões pelo tempo de ciclo com a utilização do método lavra em tiras (Strip Mining) sendo estes tempos levantados em campo.

A tabela 16 apresenta os valores simulados do número de mínimo de caminhões necessários para transporte do estéril da cobertura pelo Método de Lavra em Tiras (“*strip mining*”) dimensionados pelo tempo de ciclo dos caminhões e produção necessária.

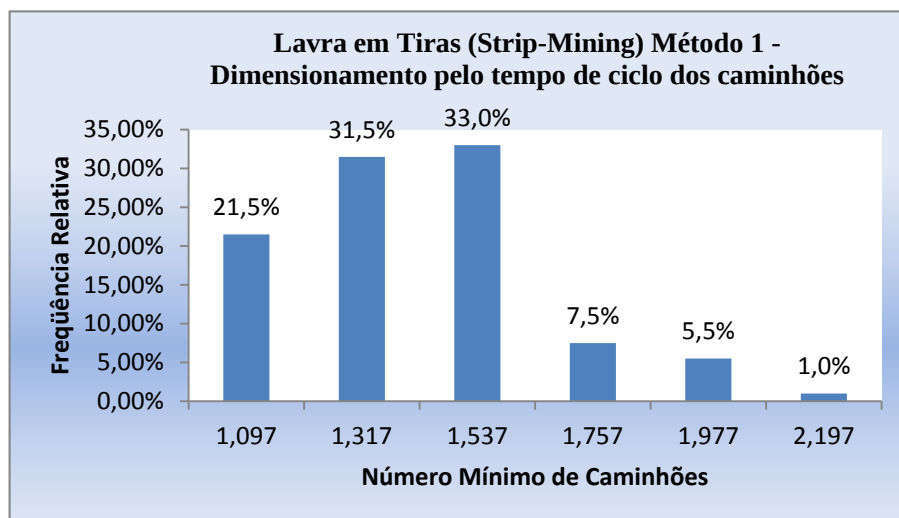


Figura 4.6 - Histograma indicando a distribuição de probabilidade, pelo método de Monte Carlo, com a utilização da alternativa de lavra em tiras, do dimensionamento de caminhões

Tabela 4.11 - Representa os valores acumulados para o método de Monte Carlo através do dimensionamento pelo tempo de ciclo dos caminhões utilizando o segundo método para cratera

Valores Acumulados MC Cratera método 2									
3,03	2,74	2,84	2,97	2,84	3,05	2,96	2,51	2,85	3,01
2,5	2,72	2,65	2,9	2,86	2,81	2,89	2,88	2,91	2,48
2,71	2,79	3,13	2,82	2,88	2,89	2,99	2,92	2,73	2,85
2,61	2,99	2,94	2,73	2,5	2,6	2,5	2,88	3,02	2,83
2,96	2,5	2,66	2,79	2,7	2,63	2,96	2,72	2,83	2,7
2,8	2,87	2,85	3	2,81	2,83	3,08	2,57	2,86	2,87
2,85	2,82	2,61	3,15	2,9	2,87	2,75	2,92	2,65	2,96
2,37	3,01	2,88	2,86	2,87	2,97	2,48	3,01	2,51	2,75
2,59	3	2,89	2,85	2,57	2,85	2,62	2,49	2,85	2,85
3,01	2,97	2,55	2,82	3,02	2,88	2,85	2,57	2,91	2,75
2,89	2,88	2,87	2,66	2,82	2,96	2,92	2,85	2,81	2,64
2,96	2,91	2,49	2,64	2,92	3	2,91	2,71	2,63	2,57
2,89	3,11	2,86	2,55	2,55	3,04	2,59	2,91	3,1	3,07
2,74	2,95	3,12	2,72	2,74	2,62	2,73	2,82	2,67	2,85
2,71	2,75	3,01	3,18	2,72	2,79	2,38	3	2,7	2,71
2,86	2,33	2,58	2,85	2,83	2,85	2,64	2,91	2,62	2,57
2,61	2,85	2,93	3,01	2,59	2,85	2,84	2,87	2,92	2,82
2,52	2,62	2,99	2,85	2,87	2,9	2,91	2,72	2,98	2,9
2,76	2,93	3,01	2,89	2,91	2,75	2,82	2,57	2,7	2,94
3,01	2,65	2,92	2,85	2,93	2,75	2,86	2,51	2,76	2,58

A figura 20 mostra a distribuição de probabilidades relativa ao dimensionamento de caminhões pelo tempo de ciclo com a utilização do segundo método para a cratera, onde estes tempos são os mesmos adotados na primeira metodologia.

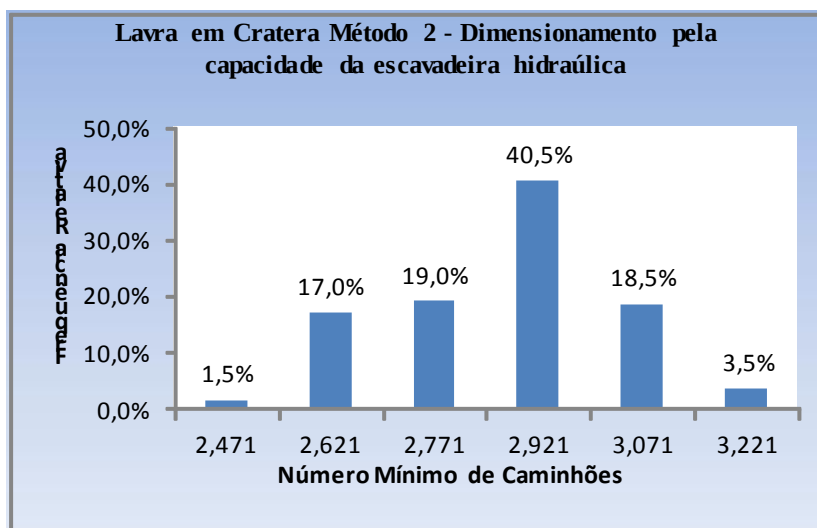


Figura 4.7 - Histograma indicando a distribuição de probabilidade pelo segundo método cratera, de Monte Carlo, do dimensionamento de caminhões

A tabela 17 apresenta os valores simulados do número de mínimo de caminhões necessários para transporte do estéril da cobertura pelo Método de Lavra em Tiras (“*strip mining*”) dimensionados pela necessidade de caminhões das escavadeiras utilizadas na descobertura.

Tabela 4.12 - Representa os valores acumulados para o método de Monte Carlo através do dimensionamento pela necessidade de caminhões de cada escavadeira utilizada na descobertura utilizando o método Strip Mining

Valores Acumulados MC Strip Mining método 2									
1,48	1,39	1,49	1,38	1,52	1,37	1,28	1,3	1,37	1,16
1,34	1,37	1,24	1,19	1,43	1,51	1,38	1,51	1,23	1,39
1,52	1,43	1,33	1,35	1,26	1,4	1,4	1,35	1,37	1,26
1,4	1,37	1,4	1,29	1,4	1,34	1,46	1,17	1,39	1,25
1,31	1,51	1,36	1,12	1,39	1,38	1,13	1,38	1,34	1,5
1,24	1,35	1,25	1,48	1,48	1,25	1,29	1,27	1,53	1,48
1,41	1,48	1,22	1,42	1,35	1,51	1,5	1,48	1,43	1,34
1,22	1,27	1,57	1,33	1,37	1,37	1,42	1,51	1,45	1,26
1,42	1,4	1,19	1,45	1,39	1,54	1,32	1,28	1,43	1,4
1,2	1,44	1,48	1,39	1,2	1,45	1,29	1,16	1,42	1,36
1,34	1,31	1,18	1,43	1,46	1,42	1,32	1,3	1,45	1,44
1,28	1,32	1,15	1,37	1,3	1,31	1,34	1,31	1,44	1,27
1,41	1,41	1,42	1,4	1,4	1,23	1,4	1,36	1,3	1,34
1,46	1,49	1,41	1,26	1,32	1,33	1,18	1,32	1,44	1,44
1,42	1,34	1,26	1,41	1,31	1,4	1,22	1,31	1,31	1,24
1,32	1,43	1,3	1,25	1,42	1,39	1,43	1,41	1,37	1,31
1,35	1,41	1,26	1,29	1,44	1,36	1,14	1,27	1,42	1,51
1,26	1,34	1,45	1,41	1,41	1,41	1,38	1,32	1,39	1,4
1,3	1,45	1,37	1,22	1,4	1,38	1,4	1,46	1,35	1,34
1,45	1,41	1,39	1,25	1,42	1,43	1,26	1,31	1,44	1,42

A figura 21 mostra a distribuição de probabilidades relativa ao dimensionamento de caminhões pelo tempo de ciclo com a utilização do segundo método Strip Mining, sendo estes tempos os mesmos adotados na primeira metodologia.

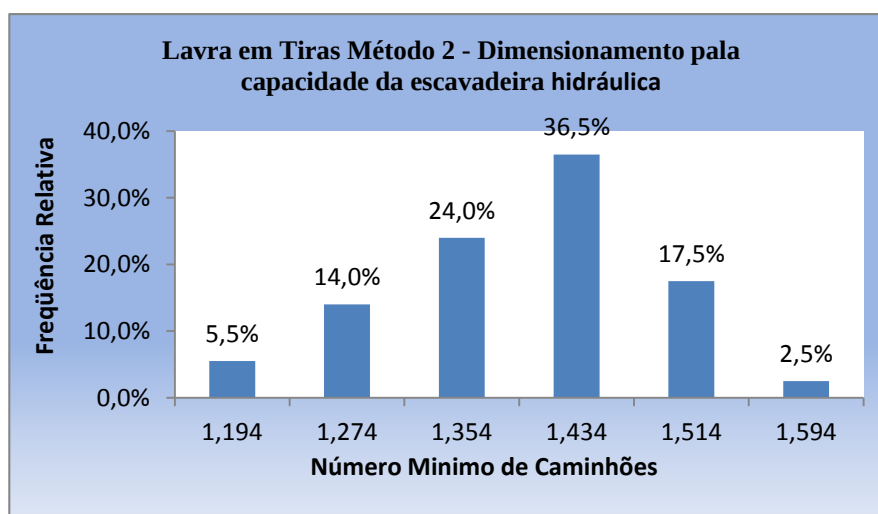


Figura 4.8 - Histograma indicando a distribuição de probabilidade, pelo segundo método strip mining, com o uso do método Monte Carlo, do dimensionamento de caminhões

4.5 – ANÁLISE DE CUSTOS PARA OS DOIS MÉTODOS DE LAVRA

A seguir apresentamos a avaliação de custos referentes aos métodos de lavra e alternativas de deposição de estéril estudados, que servem de base para realização de análise comparativa entre as duas alternativas de método de lavra para gipsita a céu aberto.

Em primeiro lugar foi calculado o número de viagens necessárias para transportar 40.000 ton/mês do material de descobertura, o que é equivalente a 18.000 m³/mês. Para tanto foi utilizada a capacidade de carga por viagem dos caminhões já definidas ao longo do presente estudo.

Em seguida utilizou-se a quilometragem total percorrida em um ciclo de transporte de estéril até o bota-fora e a produção horária para calcularmos o custo atual de transporte de estéril para a alternativa de lavra por strip mining para comparar com o custo atual de transporte, que é terceirizado e definido por viagem.

Número de viagens necessárias durante um mês para transporte das 40.000 ton de estéril:

$$\text{nº de Viagens} = \frac{18.000 \text{ m}^3/h}{10,8 \text{ m}^3/\text{viagem}} = 1.666 \text{ viagens/mês.}$$

Distância total percorrida pelo caminhão durante sua ida e volta até a frente de descobertura:

Percurso total = 50 m (dentro da cava) + 700 m (Percurso de ida até o bota-fora) + 50 m (dentro do bota-fora) + 700 m (Percurso de volta até a frente de descobertura)

$$\text{Percurso total} = 1.500 \text{ m}$$

Quilometragem mensal:

$$K_{\text{mensal}} = (1.667 \text{ viagens}) \times (1,5 \text{ km}) = 2.500,5 \text{ km/mês}$$

Sabendo que empresa tem um custo atual (terceirizado) de 18,50 R\$/viagem conclui-se que ela terá um custo mensal no valor de:

$$\text{Custo Mensal} = (1.667 \text{ viagens}) \times (18,50 \text{ R\$/viagem}) = \text{R\$ } 40.000,00 / \text{ mês}$$

Para a lavra em tiras (strip mining), a estimativa de custos de transporte de estéril refere-se ao custo para deslocamento até o corte já minerado, em processo de aterramento, e é composto por gasto em salário (motorista) e despesas com combustível, depreciação, pneus e manutenção do caminhão.

A seguir é apresentado o cálculo do custo operacional para a lavra de gipsita na mina Ponta da Serra utilizando o método de lavra em tiras (“strip mining”), que foi adaptado para exploração de gipsita visando obter-se uma extração mineral com menos impacto ao meio ambiente como também obter um menor custo de operação na lavra de gipsita.

Custo de transporte utilizando a opção de lavra em tiras (“strip mining”):

1- Custo da mão de obra (motorista)

Salário:	1.200,00 reais/mês
Encargos Sociais:	800,00 reais/mês
Total:	2.000,00 reais/mês (por motorista)

2- Consumo mensal de combustível

Considerando um total de 1.667 viagens/mês para transportar 40.000 ton a uma distância média, da frente de descobertura até o aterro lateral e retorno, incluindo as manobras, de 250 metros e um consumo por caminhão de 2 km/lt podemos calcular o consumo mensal de combustível para a alternativa de exploração através da lavra em tiras. Daí tem-se:

Nº de viagens:	1.667 viagens
Distância total:	0,250 km
Quilometragem mensal:	$(1667 \times 0,250) = 416,75 \text{ km/mês}$
Consumo de combustível:	$(416,75 \text{ km/mês}) / (2,00 \text{ km/lt}) = 208,37 \text{ lt/mês}$

Considerando outros custos envolvidos no transporte acrescentou-se 20% sobre este valor para que não incorramos em erros de subestimativa desse parâmetro. Dessa forma conclui-se que o consumo mensal de combustível é da ordem de 250 litros/mês. Sabendo que o preço do óleo diesel é aproximadamente R\$ 3,00, temos que o custo mensal é:

$$\text{Custo: } (250 \text{ lt/mês}) * (3,00 \text{ R\$/lt}) = 750,00 \text{ R\$/mês}$$

3- Depreciação horária do caminhão

$$\text{Valor do caminhão} = \text{R\$ } 250.000,00$$

$$\text{Valor residual} = (15\%) * (250.000) = \text{R\$ } 37.500,00$$

Considerando que o caminhão trabalha 8 h/dia durante 25 dias/mês nas condições previstas de operação na mina Ponta da Serra, uma vida útil de oito anos conclui-se que a depreciação horária do caminhão é:

$$\text{Depreciação} = \frac{\text{valor do bem} - \text{valor residual}}{\text{período}}$$

$$\text{Depreciação} = \frac{\text{R\$ } 250.000 - \text{R\$ } 37.000}{\frac{8 \text{ h}}{\text{dia}} * \frac{25 \text{ dias}}{\text{mês}} * 12 \text{ meses} * 8 \text{ anos}} = 11,06 \text{ R\$/h}$$

$$\text{Produção horária (Strip Mining)} = 78,70 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Nº de viagens necessárias na Strip Mining} = \frac{18.000 \text{ m}^3/\text{mês}}{78,70 \text{ m}^3/\text{h}} = 229 \text{ h/mês}$$

$$\text{Custo da Depreciação} = (229 \text{ h}) * (11,06 \text{ R\$/h}) = 2.533,00 \text{ R\$/mês}$$

4- Consumo de Pneus

Como estamos trabalhando com caminhões traçados, necessita-se um pneu reforçado de modo a suportar as solicitações de transporte e condições das estradas. O custo de um pneu reforçado para este tipo de caminhão é da ordem de R\$ 5.000,00. Considerando um total de 10 pneus para este tipo de caminhão, temos um investimento total de R\$ 50.000,00 em pneus para cada caminhão.

Considerando uma vida útil para cada pneu de 8.000 quilômetros em média podemos calcular o custo unitário de pneus para cada caminhão necessário na lavra em tiras como segue:

$$\text{Custo unitário} = (\text{R\$ } 50.000) / (8.000 \text{ km}) = 6,25 \text{ R\$/km}$$

$$\text{Custo de pneus} = (450 \text{ km/mês}) * (6,25 \text{ R\$/mês}) = 2.812,50 \text{ R\$/mês}$$

5- Manutenção

Considerando um gasto anual de 5% do valor do veículo para a manutenção geral deste (incluindo troca de peças, lubrificação e limpeza), podemos calcular o custo mensal que teremos para manter o caminhão funcionando como segue:

$$\text{Custo de manutenção anual} = (\text{R\$ } 250.000) * (0,05) = 12.500 \text{ R\$/ano}$$

$$\text{Custo unitário mensal} = (12.500 \text{ R\$/ano}) / (12 \text{ meses}) \cong 1.050 \text{ R\$/mês}$$

4.6 – CUSTO TOTAL PARA A ALTERNATIVA STRIP MINING

Considerando os resultados obtidos no cálculo dos parâmetros de custo envolvidos na operação, encontrar o custo total envolvido para esta metodologia de lavra e comparar o resultado com dados obtidos para o método atual que é utilizado, ou seja, o método cratera (open pit mine).

Mão de Obra =	4.000,00 R\$
Combustível =	750,00 R\$
Depreciação =	2.533,00 R\$
Pneus =	2.812,00 R\$
Manutenção =	1.050,00 R\$

Total do custo previsto para lavra em tiras:: 11.145,00 R\$/mês

O custo a ser comparado com a operação atual, levando em consideração eventuais despesas não consideradas na metodologia de cálculo utilizada para a lavra em tiras, na base de 15% do custo total calculado, será de:

$$\text{Custo lavra em tiras: } 11.145,00 \times 1,20 = 13.500,00 \text{ R$/mês}$$

Comparação do custo entre as alternativas estudadas:

Cratera =	R\$ 40.000,00
Tiras =	R\$ 13.500,00

Diferença de custo: R\$ 26.500,00

Comparando este valor, que foi encontrado pelo método Strip Mining, com o encontrado pelo método da cratera, percebemos que existe uma diferença bastante significativa entre as duas operações. Logo fica claro que é melhor optar pelo método da lavra em tiras (“strip mining”) adaptado para a exploração de gipsita e com isto obter uma economia estimada em:

$$26.500,00 \times 12 = 318.000,00 \text{ R\$/ano}$$

4.7 – CUSTO MENSAL DO TERRENO DE DEPOSIÇÃO

Considerando que há um custo de deposição para o estéril retirado na descobertura podemos avaliar, segundo as variações de preço dos hectares, o valor que será adicionado ao custo total para o caso da extração da mineral pelo método cratera (open pit mining), como se segue:

Faremos uma avaliação que servirá de base para ser aplicada segundo as variações de preço do terreno e dimensão do depósito de rejeito.

Analisaremos o custo desse volume de estéril considerando uma área de 1 hectare e uma altura de 15m, sabendo que o preço do hectare, sem gipsita, pois servirá apenas para o rejeito, é da ordem de 15.000 reais, temos assim que o custo do terreno é calculado como se segue:

$$\text{Volume} = 100 \times 100 \times 15 = 150.000 \text{ m}^3/\text{ha}$$

$$\text{Custo por hectare} = 15.000 \text{ R\$/ha}$$

$$\text{Custo do terreno} = 15.000/150.000 = 0,10 \text{ R\$/m}^3$$

Sendo a deposição mensal da mina da ordem de 18.000 m^3 temos que o custo que a empresa terá por mês, apenas com terreno é o equivalente a:

$$\text{Custo mensal do terreno} = (18.000 \text{ m}^3/\text{mês}) \times (0,10 \text{ R\$/m}^3) = 1.800 \text{ R\$/mês.}$$

CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES FINAIS

Comparando os dois métodos estudados podemos concluir, através da determinação do custos de transporte da cobertura estéril, que o método de lavras em tiras representa uma vantagem tanto econômica quanto ambiental por se tratar de uma metodologia que torna as operações de decapeamento integradas com a reabilitação ambiental da área minerada..

O estudo de tempos e movimentos nos proporciona uma enorme vantagem no que se refere ao tratamento estatístico dos dados operacionais, pois através deles temos a possibilidade de obter informações precisas dos tempos de ciclo de transporte para os diferentes métodos avaliados, e através deles otimizar o processo produtivo.

Pelos levantamentos de campo determinou-se que o tempo de ciclo para a escavadeira é em média de 4 minutos e que os tempos de ciclos de transporte para o método da cratera (open pit) e a lavra em tiras (strip mining) de extração são, respectivamente, em média de 12 minutos por ciclo e 7 minutos por ciclo.

Os resultados do dimensionamento da frota mínima necessária para transporte do capeamento estéril pela metodologia estocástica é para o método da cratera de 4 caminhões e para o strip mining de 2 caminhões.

Observou-se na simulação de Monte Carlo, que os resultados não apresentaram divergência significativa e confirmam a análise de cálculo do número mínimo de caminhões para atender a demanda com o custo mínimo.

Comparando-se globalmente os métodos estudados fica claro que o método de lavra em tiras representa um menor custo para a empresa, tanto em termos de menor investimento em caminhões de transporte como nas despesas operacionais.

Além do fator econômico, em função da arquitetura operacional do método de lavra em tiras, os benefícios ambientais são evidentes em termos de área de influência ambiental, que se traduz na minimização dos deslocamentos de terra ou a sua deposição em outros terrenos, possibilitando assim um ganho ambiental e econômico.

Todos os estudos realizados vêm a corroborar o objetivo da presente dissertação que basicamente foi demonstrar que o método de lavra em tiras possui vantagens operacionais, econômicas e ambientais em relação ao método de lavra em cratera e deveria ser a alternativa para lavra de jazidas de gipsita no Polo Gesseiro do Araripe.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRITISH Geological Survey. European Mineral Statistics. Disponível em: <http://www.bgs.ac.uk>

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral, 2009. Ferramenta de pesquisa e banco de dados Mineral Data, do Ministério de Ciência e Tecnologia. Disponível em: <http://www3.cetem.gov.br:8080/mineraldata/app>

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. Gipsita. In: Sumário Mineral. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br>

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. Universo da mineração brasileira, 2007. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br>

HARDER, J. Latest market trends in the global gypsum industry. In: 9TH GLOBAL GYPSUM CONFERENCE & EXHIBITION, 2009, Rio de Janeiro.

<http://jus.com.br/revista/texto/18179/o-desenvolvimento-sustentavel-do-polo-gesseiro-pernambucano-frente-as-normas-ambientais-vigentes>

Andrade, Eduardo Leopodino de, INTRODUÇÃO À PESQUISA OPERACIONAL: métodos e modelos para análise de decisões / Eduardo Leopodino de Andrade. 4ª.ed – Rio de Janeiro: LTC, 2009.

Lachtermarcher, Gerson, PESQUISA OPERACIONAL NA TOMADA DE DECISÕES / GERSON LACHTERMARCHER

Hartman, H. L., SME MINING ENGINEERING HANDBOOK, 2ND EDITION, Ed. SME-AIME, 1992. Carr, D. D., INDUSTRIAL MINERALS AND ROCKS, 6TH EDITION, Ed. SME, 1994.

Hartman, H., INTRODUCTORY MINING ENGINEERING, Ed. John Wiley & Sons Canada Limited, 1987, 633 p., ISBN: 0471820040.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA, Balanço energético nacional, Brasília, 2005.

BARNES, R. M. Motion and time study: design and measurement of work. 6th ed. New York: John Wiley and Sons, 1968. 799 p.

- BARNES, R. M. Estudos de movimentos e de tempos - projeto e medida do trabalho. Tradução da 6. ed. Americana. São Paulo: E. Blucher, 1977. 635 p.
- FERREIRA, J. P. R. J. Análise da cadeia produtiva e estrutura de custos do setor brasileiro de produtos resinosos. 2002. 105f. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura Luís de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- GILBRETH, F. B. Motion Study. D. Van Nostrand Co., Princeton, New Jersey, 1991. p. 88.
- MALINOVSKI, J.R. Análise de tempos, movimentos e esforços físicos em algumas atividades de corte e extração de *Eucalyptus grandis*. Curitiba: UFPR, 1993. (Concurso para Professor Titular)
- TAYLOR, F. W. The Principles of Scientific Management. New York, Harper and Bros, 1929. p.52.

ANEXOS

CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE TRINDADE

Localização e Acesso

O município de Trindade está localizado na mesorregião Sertão e na Microrregião Araripina do Estado de Pernambuco, limitando-se a norte com Araripina, a sul com Ouricuri, a leste com Ouricuri e Ipubi, e a oeste com Araripina. A área municipal ocupa 228,3 km² e representa 0.23 % do Estado de Pernambuco. Está inserido na Folha SUDENE de Ouricuri na escala 1:100.000.

A sede do município tem uma altitude aproximada de 518 metros e coordenadas geográficas de 07 Graus 45 min. 43 seg de latitude sul e 40 Graus 16 min. 04 seg de longitude oeste, distando 645,2 km da capital, cujo acesso é feito pela BR-232/316.

Aspectos Socioeconômicos

O município foi criado em 20/12/1963, pela Lei Estadual n. 4.957, sendo formado pelo distrito-sede e pelo povoado de Saco Verde. De acordo com o censo 2000 do IBGE, a população residente total é de 21 930 habitantes sendo 17 195 (78,4) na zona urbana e 4 735 (21,6) na zona rural. Os habitantes do sexo masculino totalizam 10 786 (49,2) %, enquanto que do feminino totalizam 11 144 (50,3) %, resultando numa densidade demográfica de 96,1 hab/km².

A rede de saúde se compõe de 03 Hospitais, 85 Leitos, 09 Ambulatórios, e 25 Agentes Comunitários de Saúde Pública. A taxa de mortalidade infantil, segundo dados da DATASUS é de 74,75 para cada mil crianças. Na área de educação, o município possui 39 estabelecimentos de ensino fundamental com 5176 alunos matriculados, e 02 estabelecimentos de ensino médio com 957 alunos matriculados. A rede de ensino totaliza 160 salas de aula, sendo 44 da rede estadual, 109 da municipal e 07 particulares. Dos 5 042 domicílios particulares permanentes, 368 (7,3)% são abastecidos pela rede geral de água, 263 (5,2)% são atendidos por poços ou fontes naturais e 4411 (87,5)% por outras formas de abastecimento.

A coleta de lixo urbano atende 2775 (55,0)% dos domicílios. Os gastos sociais per capita são R\$ 68,00 em educação e cultura, R\$ 23,00 em habitação e urbanismo, R\$ 38,00 em saúde e saneamento e R\$ 10,00 em assistência e previdência social (2000). Os setores de atividade econômica formais são: Indústria de transformação, gerando 455 empregos em 42 estabelecimentos, Extrativa mineral com 12 em 1, Comércio com 91 em 44, Serviços com 64 em 16, e Administração pública com 268 em 02. O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal-IDH-M é de 0,641.

Este índice situa o município em 61º no ranking estadual e em 3913º no nacional. O Índice de Exclusão Social, que é construído por 07 (sete) indicadores (pobreza, emprego formal, desigualdade, alfabetização, anos de estudo, concentração de jovens e violência) é de 0,353, ocupando a 63ª colocação no ranking estadual e a 3.977º no ranking nacional.

Aspectos Fisiográficos

O município de Trindade, está inserido na unidade geoambiental da Depressão Sertaneja, que representa a paisagem típica do semiárido nordestino, caracterizada por uma superfície de pediplanação bastante monótona, relevo predominantemente suave-ondulado, cortada por vales estreitos, com vertentes dissecadas.

Elevações residuais, cristas e/ou outeiros pontuam a linha do horizonte. Esses relevos isolados testemunham os ciclos intensos de erosão que atingiram grande parte do sertão nordestino. A vegetação é basicamente composta por Caatinga Hiperxerófila com trechos de Floresta Caducifólia. O clima é do tipo Tropical Semiárido, com chuvas de verão. O período chuvoso se inicia em novembro com término em abril.

A precipitação média anual é de 431,8mm. Com respeito aos solos, nos Patamares Compridos e Baixas Vertentes do relevo suave ondulado ocorrem os Planossolos, mal drenados, fertilidade natural média e problemas de sais; Topos e Altas Vertentes, os solos Brunos não Cálcicos, rasos e fertilidade natural alta; Topos e Altas Vertentes do relevo ondulado ocorrem os Podzólicos, drenados e fertilidade natural

média e as Elevações Residuais com os solos Litólicos, rasos, pedregosos e fertilidade natural média.

Geologia

O município de Trindade encontra-se inserido, geologicamente, na Província Borborema, sendo constituído pelos litotipos do Complexo Itaizinho dos Granitóides Indiscriminados, das formações Santana e Exú e dos Depósitos Colúvio-eluviais como pode ser observado na figura abaixo.

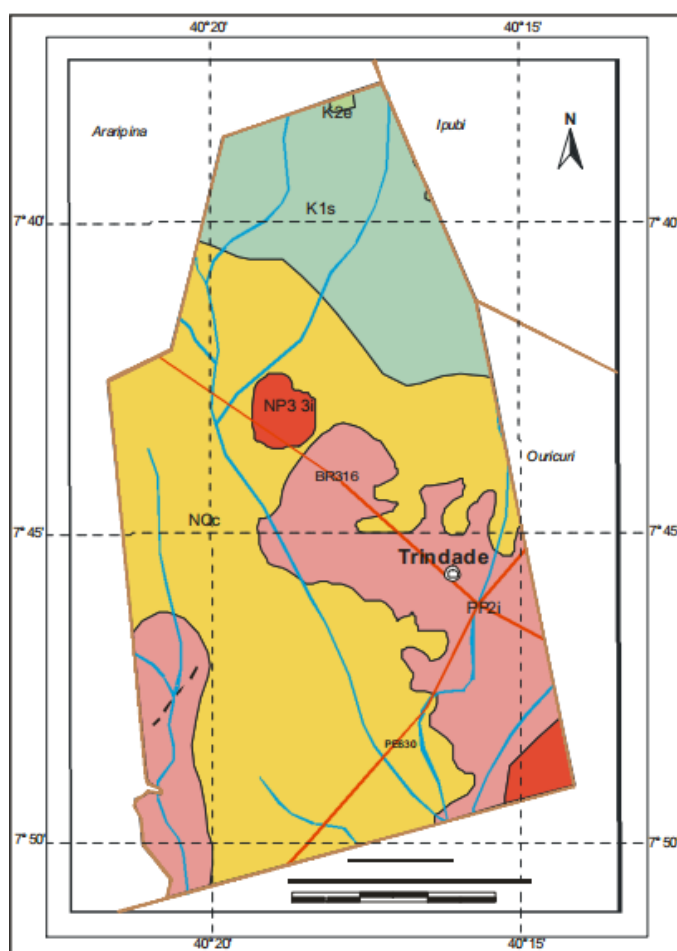


Figura A.1 - Mapa de Trindade

Tabela A.1 - Legenda geológica do município de Trindade

NQc	Depósitos colúvios eluviais: Sedimento arenoso, areno-argiloso e conglomerático.
PP2i	Complexo Itaizinho (i): Ortognaisse migmatizado tonalítico agranodiorítico e granítico, migmatito e restos de espracrustais.
K1s	Formação Santana (s): Flolhelho, calcário, Argilito, Marga e Evaporito (Marinho e estuarino).

CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE OURICURI

Localização e Acesso

O município de Ouricuri está localizado na mesorregião Sertão e na Microrregião Araripina do Estado de Pernambuco, limitando-se a norte com Araripina, Trindade e Ipubi, a sul com Santa Cruz e Santa Filomena, a leste com Parnamirim e Bodocó, e a oeste com Estado do Piauí.

A área municipal ocupa 2373,9 km² e representa 2.25 % do Estado de Pernambuco. Está inserido nas Folhas SUDENE de Ouricuri, Bodocó, Parnamirim e Cruz de Malta na escala 1:100.000.

A sede do município tem uma altitude aproximada de 451 metros e coordenadas geográficas de 07 Graus 52 min. 57 seg de latitude sul e 40 Graus 04 min. 54 seg de longitude oeste, distando 620,6 km da capital, cujo acesso é feito pela BR-232/316.

Aspectos Socioeconômicos

O município foi criado em 18/06/1849, pela Lei Estadual n. 249, sendo formado pelos distritos: Sede, Barra de Sao Pedro e Santa Filomena e ainda, pelos povoados de Jacar, Jatob á, Santa Rita, Videu, Varzinha, Poço Comprido, Socorro, Camo Santo e Extrema.

De acordo com o censo 2000 do IBGE, a população residente total é de 56 733 habitantes sendo 26 608 (46,9) na zona urbana e 30 125 (53,1) na zona rural. Os habitantes do sexo masculino totalizam 28 203 (49,7) %, enquanto que do feminino totalizam 28 530 (50,3) %, resultando numa densidade demográfica de 23,9 hab/km².

A rede de saúde se compõe de 02 Hospitais, 153 Leitos, 18 Ambulatórios, e 71 Agentes Comunitários de Saúde Pública. A taxa de mortalidade infantil, segundo dados da DATASUS é de 74,75 para cada mil crianças.

Na área de educação, o município possui 185 estabelecimentos de ensino fundamental com 15337 alunos matriculados, e 04 estabelecimentos de ensino médio com 2071 alunos matriculados.

A rede de ensino totaliza 409 salas de aula, sendo 68 da rede estadual, 295 da municipal e 46 particulares. Dos 12 536 domicílios particulares permanentes, 5477 (43,7)% são abastecidos pela rede geral de água, 680 (5,4)% são atendidos por poços ou fontes naturais e 6379 (50,9)% por outras formas de abastecimento. A coleta de lixo urbano atende 3838 (30,6)% dos domicílios.

Os gastos sociais *per capita* são R\$ 29,00 em educação e cultura, R\$ 20,00 em habitação e urbanismo, R\$ 07,00 em saúde e saneamento e R\$ 16,00 em assistência e previdência social (2000).

Os setores de atividade econômica formais são: Indústria de transformação, gerando 104 empregos em 22 estabelecimentos, Comércio com 384 em 115, Serviços com 195 em 32, Administração pública com 567 em 02, Agropec., extr vegetal, caça e pesca com 03 em 03, Extrativa mineral com 65 em 4, e Construção civil com 90 em 03.

O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal-IDH-M é de 0,614. Este índice situa o município em 98º no ranking estadual e em 440º no nacional.

O Índice de Exclusão Social, que é construído por 07 (sete) indicadores (pobreza, emprego formal, desigualdade, alfabetização, anos de estudo, concentração de jovens e violência) é de 0,313, ocupando a 149ª colocação no ranking estadual e a 5.013ª no ranking nacional.

Aspectos Fisiográficos

O município de Ouricuri, está inserido na unidade geoambiental dos Maciços e Serras Baixas, caracterizada por altitudes entre 300 a 800 metros, essa unidade ocupa área expressiva nos Estados do Ceará, Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte.

É formada por maciços imponentes, que se caracterizam por relevo pouco acidentado, com solos de alta fertilidade, os quais são bastante aproveitados nas partes mais acessíveis do relevo.

A área dessa unidade apresenta distinção climática em função da altitude, ou seja, áreas de clima mais ameno nas cotas mais altas e áreas mais quentes nos sopés e encostas das serras e maciços. Essas áreas, no entanto, apresentam período chuvoso de janeiro a maio e precipitação média anual de 700 a 900mm.

A vegetação é predominantemente de *Floresta Caducifolia* e *Caatinga Hipoxerófila*. Nos *Topos e Vertentes de Relevos Ondulados*, ocorrem os solos *Brunizens*, pouco profundos, bem drenados, textura argilosa e fertilidade natural alta. Nos *Topos e Vertentes* de fertilidade natural alta.

Nos *Topos e Vertentes de Relevos Fortes Ondulados e Montanhosos*, ocorrem os solos *Litólicos*, rasos, pedregosos, ácidos e de fertilidade natural média. Nos *Fundos de Vales Estreitos*, ocorrem os solos *Aluviais*, profundos, moderadamente drenados e fertilidade natural alta.

Geologia

O município de Ouricuri encontra-se inserido, geologicamente, na Província Borborema, estando constituído pelos litotipos dos complexos Parnamirim e Itaizinho, da Suíte Intrusiva Calcálica, dos complexos Cabrobó, Belém do São Francisco e Lagoa das Contendas, da Formação Santana dos Garrotes, da Suíte Intrusiva Metaluminosa e Peraluminosa Rajada, das formações Barra Bonita 1 e 2 e Mandacaru, dos Granitóides Indiscriminados e de Quimismo Indiscriminados, da Suíte Alcalina de Médio a Alto Potássio Itaporanga, dos sedimentos das formações Santana e Exu e dos Depósitos Colúvio-eluviais, como pode ser observado na figura abaixo.

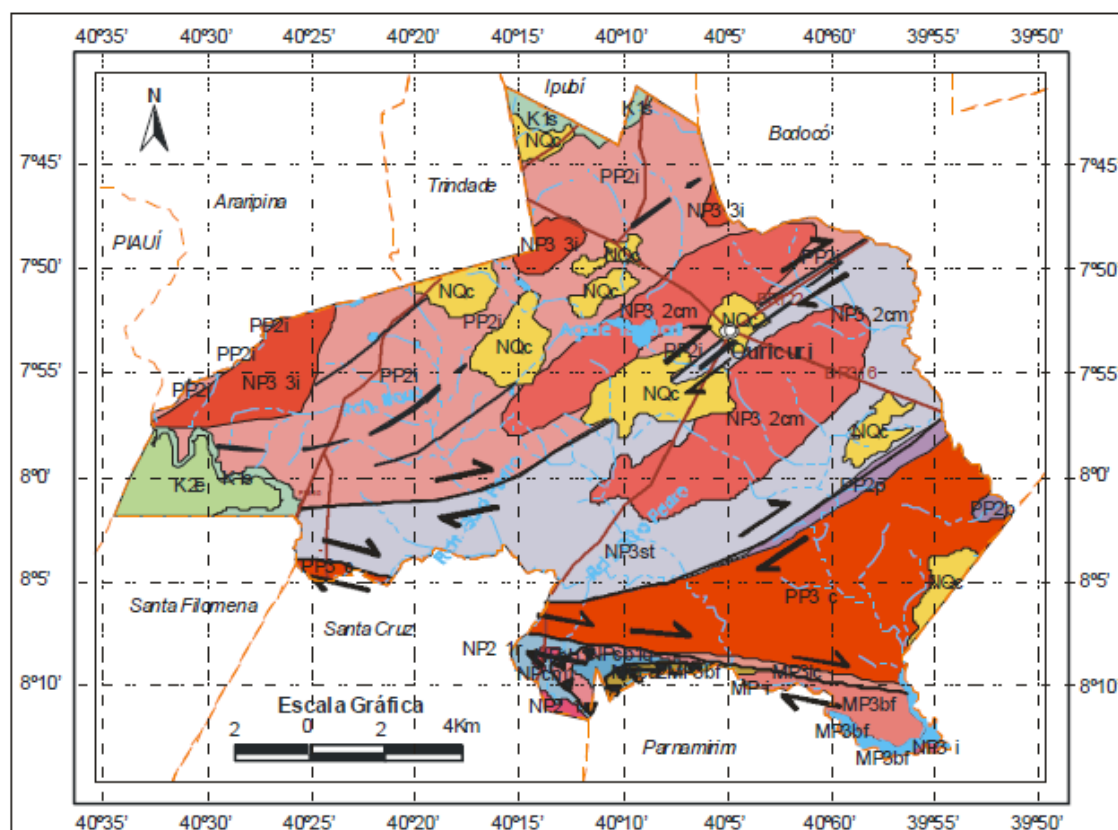


Figura A.2 - Mapa de Ouricuri

Tabela A.2 - Legenda geológica do município de Ouricuri

NQc	Depósitos colúvios eluviais: Sedimento arenoso, areno-argiloso e conglomerático.
PP3c	Suíte intrusiva calcialcalina (c): Biotita ortognaisse 1969 Ma Pb-Pb.
PP2i	Complexo Itaizinho (i): Ortognaisse migmatizado tonalítico agranodiorítico e granítico, migmatito e restos de espracrustais.
NP3 2cm	Suíte Calcialcalina de médio e alto potássio Itaporanga (cm): Granito e Granodiorito porfirítico associado a diorito 588 Ma U-Pb.
NP3st	Formação Santana dos Garrotes (st): Metarritmito, Turbidítico, Metagrauvaca, Metavulvânica básica e ácida e Metapirodástica.

CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE IPUBI

Localização e Acesso

O município de Ipubi está localizado na mesorregião Sertão e na Microrregião Araripina do Estado de Pernambuco, limitando-se a norte com Estado do Ceará, a sul com Ouricuri, a leste com Bodocó, e a oeste com Araripina e Trindade.

A área municipal ocupa 968 km² e representa 0.98 % do Estado de Pernambuco. está inserido nas Folhas SUDENE de Campos Sales e Ouricuri na escala 1:100.000. A sede do município tem uma altitude aproximada de 535 metros e coordenadas geográficas de 07 Graus 39 min. 07 seg de latitude sul e 40 Graus 08 min. 56 seg de longitude oeste, distando 665,8 km da capital, cujo acesso é feito pela BR-232/316 e PE-630.

Aspectos Socioeconômicos

O município foi criado em 31/12/1958, pela Lei Estadual n. 3.340, sendo formado pelos distritos de: Ipubi (sede), Serra Branca e Serrolandia e pelo povoado da Mineradora São Severino. De acordo com o censo 2000 do IBGE, a população residente total é de 23 042 habitantes sendo 13 439 (58,3)% na zona urbana e 9 603 (41,7)% na zona rural.

Os habitantes do sexo masculino totalizam 11 349 (49,3) %, enquanto que do feminino totalizam 11 693 (50,7) %, resultando numa densidade demográfica de 23,8 hab/km².

A rede de saúde se compõe de 02 Hospitais, 40 Leitos, 05 Ambulatórios, e 38 Agentes Comunitários de Saúde Pública.

A taxa de mortalidade infantil, segundo dados da DATASUS é de 74,75 para cada mil crianças. Na área de educação, o município possui 42 estabelecimentos de ensino fundamental com 6167 alunos matriculados, e 04 estabelecimentos de ensino médio com 893 alunos matriculados. A rede de ensino totaliza 133 salas de aula, sendo 39 da rede estadual, 89 da municipal e 05 particulares.

Dos 5 081 domicílios particulares permanentes, 724 (14,2)% são abastecidos pela rede geral de água, 539 (10,6)% são atendidos por poços ou fontes naturais e 3818 (75,1)% por outras formas de abastecimento. A coleta de lixo urbano atende 2310 (45,5)% dos domicílios.

Os gastos sociais per capita são R\$ 32,00 em educação e cultura, R\$ 09,00 em habitação e urbanismo, R\$ 23,00 em saúde e saneamento e R\$ 03,00 em assistência e previdência social (2000). Os setores de atividade econômica formais são: Indústria de transformação, gerando 190 empregos em 22 estabelecimentos, Comércio com 26 em 13, Serviços com 13 em 06, Extrativa mineral com 89 em 6, e Administração pública com 317 em 02. O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal-IDH-M é de 0,600.

Este índice situa o município em 118º no ranking estadual e em 4657º no nacional. O Índice de Exclusão Social, que é construído por 07 (sete) indicadores (pobreza, emprego formal, desigualdade, alfabetização, anos de estudo, concentração de jovens e violência) é de 0,320, ocupando a 134ª colocação no ranking estadual e a 4.867ª no ranking nacional.

Aspectos Fisiográficos

O município de Ipubi, está inserido na unidade geoambiental das Chapadas Altas da com altitude superior a 800 metros, são formadas por platôs altos e extensos, apresentando encostas íngremes e vales abertos. São observadas as chapadas do Araripe (PE/CE) e da Ibiapaba (CE), ambas com solos profundos de baixa fertilidade nos topos, com vegetação de Florestas de porte e caducidade variáveis, em parte de transição para a Caatinga, enquanto nas encostas predominam solos mais férteis sob vegetação natural de Caatinga. Parte da área do município, a sul, ocorre a unidade geoambiental da Depressão Sertaneja.

Nessa unidade ocorrem três regimes climáticos mais ou menos semelhantes: o primeiro, com maior predominância, ocorre no oeste da Bahia e norte de Minas Gerais, com precipitação média anual superior a 1.000mm e período chuvoso de outubro a abril; o segundo, na Serra da Ibiapaba (CE), também com precipitação média anual superior a 1.000mm e período chuvoso de dezembro a junho; e o terceiro, em área do Planalto da Borborema e na Chapada do Araripe (CE/PE), com precipitação média anual de 600 a 900mm e período chuvoso de dezembro a maio.

Nas Chapadas Altas, ocorrem os Latossolos, profundos bem drenados, ácidos e de fertilidade natural baixa. Nas Altas Vertentes, os solos Litólicos, rasos, pedregosos, ácidos e fertilidade natural baixa. Nas Médias e Baixas Vertentes, ocorrem os Podzólicos, medianamente profundos e fertilidade natural média alta.

Geologia

O município de Ipubi encontra-se inserido, geologicamente, na Província Borborema, sendo constituído pelos litotipos do Complexo Itaizinho, das formações Santana e Exu, como pode ser observado na figura abaixo.

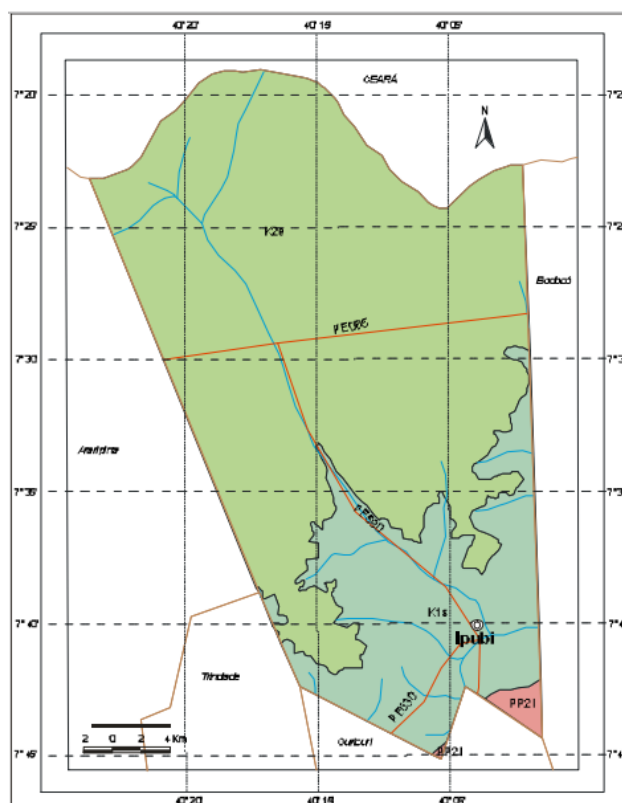


Figura A.3 - Mapa de Ipubi

Tabela A.3 - Legenda geológica do município de Ipubi

K2e	Formação Exu (e): Arenito caulínico, Siltito e conglomerados (fluvial entrelaçado)
K1s	Formação Santana (s): Flolhelho, calcário, Argilito, Marga e Evaporito (Marinho e estuarino).

CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE BODOCÓ

Localização e Acesso

O município de Bodocó está localizado na mesorregião Sertão e na Microrregião Araripina do Estado de Pernambuco, limitando-se a norte com Estado do Ceará, a sul com Parnamirim, Exu e Granito, a leste com Exu e Granito, e a oeste com Ipubi e Ouricuri. A área municipal ocupa 1598,1 km² e representa 1.62 % do Estado de Pernambuco.

Está inserido nas Folhas SUDENE de Campos Sales, Santana do Cariri, na escala 1:100.000. A sede do município tem uma altitude aproximada de 443 metros e coordenadas geográficas de 07 Graus 46 min. 42 seg de latitude sul e 39 Graus 56 min. 28 seg de longitude oeste, distando 639,8 km da capital, cujo acesso é feito pela BR-232/316/122.

Aspectos Socioeconômicos

O município foi criado em 31/12/1943, pela lei estadual n. 952, sendo formado pelos distritos: Sede, Clarana e Feitoria, e dos povoados de: Várzea do Meio, Sipaubá e Cacimba Nova. De acordo com o censo 2000 do IBGE, a população residente total é de 31 731 habitantes sendo 9 302 (29,3) na zona urbana e 22 429 (70,7) na zona rural. Os habitantes do sexo masculino totalizam 16 002 (50,4) %, enquanto que do feminino totalizam 15 729 (49,6) %, resultando numa densidade demográfica de 19,9 hab/km².

A rede de saúde se compõe de 02 Hospital, 52 Leitos, 10 Ambulatórios, e 14 Agentes Comunitários de Saúde Pública. A taxa de mortalidade infantil, segundo dados da DATASUS é de 74,75 para cada mil crianças. Na área de educação, o município possui 91 estabelecimentos de ensino fundamental com 8536 alunos matriculados, e 02 estabelecimentos de ensino médio com 1023 alunos matriculados.

A rede de ensino totaliza 226 salas de aula, sendo 38 da rede estadual, 180 da municipal e 08 particulares. Dos 6 803 domicílios particulares permanentes, 2611 (38,4)% são abastecidos pela rede geral de água, 680 (10,0)% são atendidos por poços ou fontes naturais e 3512 (51,6)% por outras formas de abastecimento. A coleta de lixo urbano atende 1943 (28,6)% dos domicílios. Os gastos sociais per capita são R\$ 55,00 em educação e cultura, R\$ 25,00 em habitação e urbanismo, R\$ 29,00 em saúde e saneamento e R\$ 08,00 em assistência e previdência social (2000).

Os setores de atividade econômica formais são: Indústria de transformação, gerando 6 empregos em 3 estabelecimentos, Comércio com 42 em 21, Serviços com 36 em 08, Extrativa mineral com 05 em 01 e Administração pública com 717 em 02. O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal-IDH-M é de 0,612. Este índice situa o município em 104º no ranking estadual e em 4454º no nacional.

O Índice de Exclusão Social, que é construído por 07 (sete) indicadores (pobreza, emprego formal, desigualdade, alfabetização, anos de estudo, concentração de jovens e violência) é de 0,316, ocupando a 140º colocação no ranking estadual e a 4.963º no ranking nacional.

Aspectos Fisiográficos

O município de Bodocó, está inserido na unidade geoambiental das Chapadas Altas da com altitude superior a 800 metros, são formadas por platôs altos e extensos, apresentando encostas íngremes e vales abertos. São observadas as chapadas do Araripe (PE/CE) e da Ibiapaba (CE), ambas com solos profundos de baixa fertilidade nos topos, com vegetação de Florestas de porte e caducidade variáveis, em parte de transição para a Caatinga, enquanto nas encostas predominam solos mais férteis sob vegetação natural de Caatinga.

Parte da área do município, a sul, ocorre a unidade geoambiental da Depressão Sertaneja. Nessa unidade ocorrem três regimes climáticos mais ou menos semelhantes: o primeiro, com maior predominância, ocorre no oeste da Bahia e norte de Minas Gerais, com precipitação média anual superior a 1.000mm e período chuvoso de outubro a abril; o segundo, na Serra da Ibiapaba (CE), também com precipitação média anual superior a 1.000mm e período chuvoso de dezembro a junho; e o terceiro, em área do Planalto da Borborema e na Chapada do Araripe (CE/PE), com precipitação média anual de 600 a 900mm e período chuvoso de dezembro a maio. Nas Chapadas Altas, ocorrem os Latossolos, profundos bem drenados, ácidos e de fertilidade natural baixa.

Nas Altas Vertentes, os solos Litólicos, rasos, pedregosos, ácidos e fertilidade natural baixa. Nas Médias e Baixas Vertentes, ocorrem os Podzólicos, medianamente profundos e fertilidade natural média alta.

Geologia

O município de Bodocó encontra-se inserido, geologicamente, na Província Borborema, sendo constituído pelos litotipos do complexos Barro, Parnamirim e Itaizinho, das suítes Intrusiva Calcialcalina e Calcialcalina de Médio a Alto Potássio Itaporanga, da Formação Santana dos Garrotes e dos Granitóides de Quimismo Indiscriminado e pelos Sedimentos da Formação Santana e Exú como pode ser observado na figura abaixo.

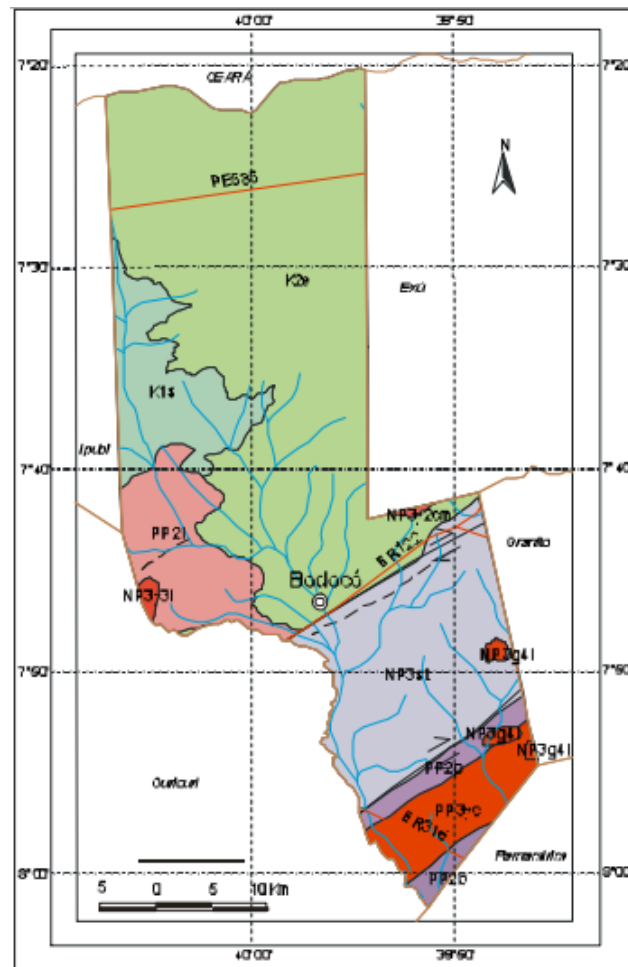


Figura A.4 - Mapa de Bodocó

Tabela A.4 - Legenda geológica do município de Bodocó

K2e	Formação Exu (e): Arenito caulínico, Siltito e conglomerados (fluvial entrelaçado)
K1s	Formação Santana (s): Flolhelho, calcário, Argilito, Marga e Evaporito (Marinho e estuarino).
PP2i	Complexo Itaizinho (i): Ortognaisse migmatizado tonalítico agranodiorítico e granítico, migmatito e restos de espracrustais.
NP3st	Formação Santana dos Garrotes (st): Metarritmito, Turbidítico, Metagrauvaca, Metavulvânica básica e ácida e Metapirodástica.

CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE ARARIPINA

Antes de ser elevada a categoria de município, Araripina era distrito de Ouricuri e tinha o nome de São Gonçalo. A mudança do nome para araripina é atribuída à proximidade com a Chapada do Araripe. Em meados da década de 70, Araripina defronta-se com uma mudança na sua base econômica que até então era basicamente agrária, passando assim para o setor industrial com o advento da exploração e beneficiamento em grande escala do mineral gipsita. Essa nova base econômica alterou profundamente o perfil do município, possibilitando a formação de um pequeno parque industrial na região envolvendo, atualmente, 47 mineradoras, 72 calcinadoras e 193 fábricas de pré-moldados de gesso. Esse novo perfil industrial abriu espaço para o surgimento de um expressivo número de empresas dedicadas à fabricação de fornos, reparos e manutenção de equipamentos afins.

A partir da década de 90, com a crescente demanda dos derivados da gipsita, o município passa a receber filial de empresas estrangeiras, evidenciando-se, localmente, a inserção de capital externo. Assim a transferência das atividades antes vinculadas à agricultura para a indústria mineral e de serviços, gerou um grande migração de pessoas das cidades circunvizinhas o que transformou Araripina em uma cidade de porte médio no Estado de Pernambuco, o que a faz a cidade de maior destaque econômico da região do Polo Gesseiro.

Localização e Acesso

O município de Araripina está localizado na mesorregião Sertão e na Microrregião Araripina do Estado de Pernambuco, limitando-se a norte com Estado do Ceará, a sul com Ouricuri, a leste com Ipubi e Trindade, e a oeste com Estado do Piauí.

A área municipal ocupa 1906,3 km² e representa 1.93 % do Estado de Pernambuco. Está inserido nas Folhas SUDENE de Fronteira, Campos Sales, Ouricuri e Simões na escala 1:100.000. A sede do município tem uma altitude aproximada de 622 metros e coordenadas geográficas de 07 Graus 34 min. 34 seg de latitude sul e 40 Graus 29 min. 54 seg de longitude oeste, distando 683,2 km da capital, cujo acesso é feito pela BR-232/316.

Aspectos Socioeconômicos

O município foi criado em 11/09/1928, pela Lei Estadual n. 1.931, sendo formado dos distritos: sede, Lagoa do Barro, Nascente e Rancharia, pelos povoados de Feira Nova e Gergelim. De acordo com o censo 2000 do IBGE, a população residente total é de 70 898 habitantes sendo 34 651 (48,9) na zona urbana e 36 247 (51,1) na zona rural. Os habitantes do sexo masculino totalizam 34 746 (49,0) %, enquanto que do feminino totalizam 36 152 (51,0) %, resultando numa densidade demográfica de 37,2 hab/km². A rede de saúde se compõe de 02 Hospitais, 209 Leitos, 16 Ambulatórios, e 62 Agentes Comunitários de Saúde Pública.

Na área de educação, o município possui 156 estabelecimentos de ensino fundamental com 16261 alunos matriculados, e 10 estabelecimentos de ensino médio com 2282 alunos matriculados. A rede de ensino totaliza 478 salas de aula, sendo 120 da rede estadual, 246 da municipal e 112 particulares. Dos 16 294 domicílios particulares permanentes, 7017 (43,4)% são abastecidos pela rede geral de água, 1018 (6,2)% são atendidos por poços ou fontes naturais e 8259 (50,7)% por outras formas de abastecimento. A coleta de lixo urbano atende 7007 (43,0)% dos domicílios. Os gastos sociais per capita são R\$ 45,00 em educação e cultura, R\$ 16,00 em habitação e

urbanismo, R\$ 02,00 em saúde e saneamento e R\$ 03,00 em assistência e previdência social (2000).

Os setores de atividade econômica formais são: Indústria de transformação, gerando 1086 empregos em 90 estabelecimentos, Comércio com 493 em 165, Serviços com 463 em 64, Administração pública com 834 em 02, e Agropecuária, extração vegetal, caça e pesca com 08 em 06, Extrativa mineral com 272 em 09, Serviços industriais de utilidade pública com 03 em 03, e Construção civil com 21 em 08.

O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal-IDH-M é de 0,650. Este índice situa o município em 52º no ranking estadual e em 3779º no nacional. O Índice de Exclusão Social, que é construído por 07 (sete) indicadores (pobreza, emprego formal, desigualdade, alfabetização, anos de estudo, concentração de jovens e violência) é de 0,345, ocupando a 72º colocação no ranking estadual e a 4.158º no ranking nacional.

Aspectos Fisiográficos

O município de Araripina está inserido na unidade geoambiental da Depressão Sertaneja, que representa a paisagem típica do semiárido nordestino, caracterizada por uma superfície de pediplanação bastante monótona, relevo predominantemente suave-ondulado, cortada por vales estreitos, com vertentes dissecadas. Elevações residuais, cristas e/ou outeiros pontuam a linha do horizonte.

Esses relevos isolados testemunham os ciclos intensos de erosão que atingiram grande parte do sertão nordestino. Parte de área, a norte, está inserida na unidade geoambiental das Chapadas Altas. A vegetação é basicamente composta por Caatinga Hiperxerófila com trechos de Floresta Caducifólia. O clima é do tipo Tropical Semi-Árido, com chuvas de verão.

O período chuvoso se inicia em novembro com término em abril. A precipitação média anual é de 431,8mm. Com respeito aos solos, nos Patamares Compridos e Baixas Vertentes do relevo suave ondulado ocorrem os Planossolos, mal drenados, fertilidade natural média e problemas de sais; Topos e Altas Vertentes, os solos Brunos não Cálcicos, rasos e fertilidade natural alta; Topos e Altas Vertentes do relevo ondulado ocorrem os Podzólicos, drenados e fertilidade natural média e as Elevações Residuais com os solos Litólicos, rasos, pedregosos e fertilidade natural média.

Geologia

O município de Araripina encontra-se inserido, geologicamente, na Província Borborema, sendo constituído pelos litotipos dos complexos Granjeiro e Itaizinho, da Suíte Calcialcalina de Médio a Alto Potássio Itaporanga, dos Granitóides de Quimismo Indiscriminado, das formações Santana e Exú e dos depósitos Colúvio-eluviais, como pode ser observado na figura abaixo.

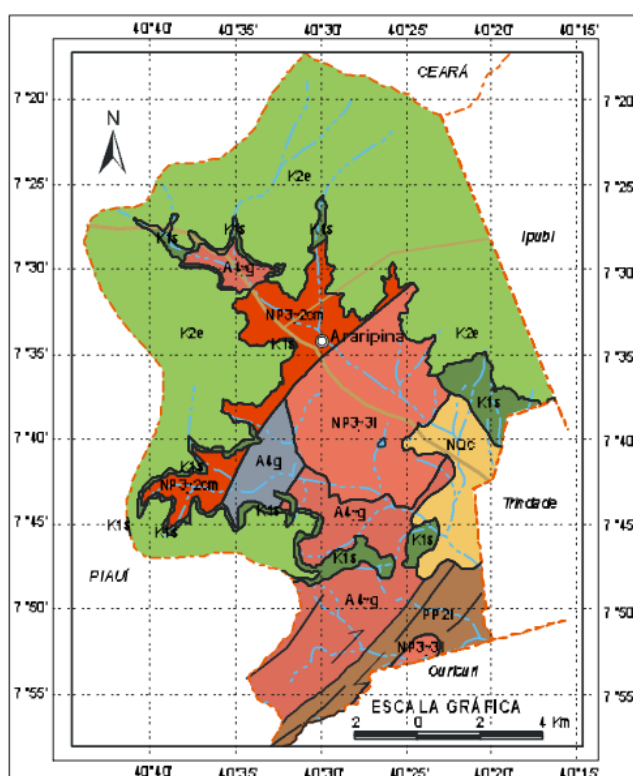


Figura 8 - Mapa de Araripina

Tabela A.5 - Legenda geológica do município de Araripina

K2e	Formação Exu (e): Arenito caulínico, Siltito e conglomerados (fluvial entrelaçado)
NP3 2cm	Suíte Calcialcalina de médio e alto potássio Itaporanga (cm): Granito e Granodiorito porfirítico associado a diorito 588 Ma U-Pb.