



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"
Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005

André Augusto Pimentel de Souza

**GUIA PARA O DIMENSIONAMENTO DE FROTAS DE
CARREGAMENTO E TRANSPORTE POR CAMINHÕES EM
MINERAÇÃO A CÉU ABERTO**

**Palmas-TO
2014/2**

André Augusto Pimentel de Souza

**GUIA PARA O DIMENSIONAMENTO DE FROTAS DE
CARREGAMENTO E TRANSPORTE POR CAMINHÕES EM
MINERAÇÃO A CÉU ABERTO**

Trabalho apresentado como requisito parcial da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II) do curso de Engenharia de Minas, orientado pelo Professor Especialista Leonardo Pedrosa.

**Palmas-TO
2014/2**

André Augusto Pimentel de Souza

**GUIA PARA O DIMENSIONAMENTO DE FROTAS DE
CARREGAMENTO E TRANSPORTE POR CAMINHÕES EM
MINERAÇÃO A CÉU ABERTO**

Trabalho apresentado como requisito parcial da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II) do curso de Engenharia de Minas, orientado pelo Professor Especialista Leonardo Pedrosa.

Aprovado em _____ de 2014.

BANCA EXAMINADORA

Prof. e Orientador Esp. Leonardo Pedrosa
Centro Universitário Luterano de Palmas

Prof. M.Sc. Rodrigo Meireles Mattos Rodrigues
Centro Universitário Luterano de Palmas

Prof. Valério Sousa Lima
Centro Universitário Luterano de Palmas

Palmas-TO

2014/2

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	5
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	7
2.1.	Seleção de Equipamentos de Carregamento e Transporte	7
2.2.	Dimensionamento e Compatibilização do Porte de Equipamentos	8
2.3.	Operação de carregamento e transporte na lavra a céu aberto.....	15
2.4.	Equipamentos de carregamento em lavra a céu aberto.....	15
2.4.1.	Escavadeira	16
2.5.	Lavra com transporte por caminhões	25
2.6.	Vantagens da lavra com transporte por caminhões.....	27
2.7.	Desvantagens da lavra com transporte por caminhões	28
2.8.	Processo de carregamento e transporte	28
3	MATERIAS E MÉTODOS	31
3.1.	Pesquisa Quantitativa	31
3.2.	Pesquisa Qualitativa.....	32
3.2.1.	Procedimentos Metodológicos	33
3.2.2.	Coleta de Dados	33
3.2.3.	Características da Pesquisa Qualitativa	33
3.2.4.	Limites e Riscos.....	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1.	Guia Para o Dimensionamento da Frota de Carregamento e Transporte.....	35
4.1.1.	Passo 1 – Levantamento de Fatores Naturais	35
4.1.2.	Passo 2 – Levantamento dos Fatores de Projeto	36
4.1.3.	Passo 3 – Levantamento de Fatores Econômicos.....	37
4.1.4.	Passo 4 – Seleção dos Equipamentos	37
4.1.5.	Dimensionamento e compatibilização dos equipamentos de carga e transporte.....	38
4.1.6.	Compatibilização dos equipamentos.....	41
4.2.	Dimensionamento de Frota: Um Estudo de Caso	42
4.2.1.	Descrição do caso	42
4.2.2.	Características dos equipamentos	43
4.2.3.	Simulação	46

4.2.4.	Números de caminhões.....	48
4.2.5.	Resultados	48
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49

RESUMO

As operações de carregamento e transporte são importantes etapas do processo de lavra de minas. Fatores como volume de produção e condições operacionais interferem diretamente na seleção de equipamentos e dimensionamento de frotas, sempre com vista aos menores custos de operação. A constante busca por aumento de produtividade e redução de custos operacionais exige um bom planejamento e gerenciamento em todas as etapas do processo. O presente trabalho apresentou um guia para dimensionamento de frota e demonstrou, através de um estudo de caso, o dimensionamento de uma frota de carregamento e transporte para uma mineração a céu aberto utilizando indicadores de produção. O estudo foi desenvolvido a partir da análise dos métodos e conceitos fundamentais da seleção de equipamentos e dimensionamento de frotas presentes na literatura atual. O método de análise do tamanho de frota ótimo proposto por esse estudo é aplicável a quaisquer frotas de carregamento e transporte, independente do seu porte e volume de produção, bastando alterar os valores das variáveis imputados nos cálculos para o dimensionamento da frota, diferentes para cada mina. A partir do que foi exposto no presente trabalho, pôde-se concluir que o número mais interessante de equipamentos na frota é o equilíbrio entre os equipamentos de carga e transporte, ou seja, a frota ótima não é necessariamente a que resulta em maior produção, mas sim a que tenha a melhor relação entre os seus componentes.

PALAVRAS-CHAVE: dimensionamento de frota, carregamento e transporte, mineração a céu aberto.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – <i>Dados para cálculo da produtividade dos equipamentos de transporte.....</i>	39
Tabela 2 – <i>Obtenção dos dados componentes do ciclo.....</i>	41
Tabela 3 – <i>Movimentação de minério para 2013 a 2015.....</i>	42
Tabela 4 – <i>Obtenção dos dados componentes do ciclo.....</i>	45
Tabela 5 – <i>Obtenção dos dados componentes do ciclo.. ..</i>	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Formação de fila na operação de carregamento dos caminhões. (Fonte: SABINO, 2008)

Figura 02: Considerações para a seleção de Equipamentos e Fatores Sensíveis ao Dimensionamento dos equipamentos. (Fonte: BOZORGEBRAHIMI, HALL and BLACKWELL, 2003 – Adaptado)

Figura 03: Escavadeira Hidráulica Shovel 6090 FS. (Fonte: www.cat.com 2014)

Figura 04: Caminhões posicionados para maior rendimento. (Fonte Revista Brasil Mineral. Ano XII – N° 126)

Figura 05: Escavadeira de Arrasto (Dragline)

Figura 06: Retroescavadeira Volvo 360B

Figura 07: Escavadeira Bucket Wheel, Bagger 288. (Fonte: www.asmaquinaspesadas.com)

Figura 08: Pá-carregadeira sobre pneus Caterpillar 980G. (Fonte <http://sotreq.com.br>)

Figura 09: Pá-carregadeira sobre esteiras Caterpillar 973D . (Fonte <http://www.cat.com>)

Figura 10: Evolução do tamanho dos caminhões fora-de-estrada. (Fonte: LOPES, 2010)

Figura 11: Diagrama do processo de carregamento e transporte.

Figura 12: Frota de carregamento e transporte bem selecionada e dimensionada (Fonte: Quinterra)

Figura 13: Imagem 13: Volvo EC360B (Fonte: Volvo)

Figura 14: Caterpillar 320 DL (Fonte: Caterpillar)

Figura 15: Caminhão Volkswagen 6x4 constellation 31.390 (Fonte: Volkswagen)

Figura 16: Caminhão Mercedes-Benz 6x4 Axor 4144K (Fonte: Mercedes Benz)

LISTA DE ABREVIATURAS

CAPEX – Custo de aquisição

OPEX – Custo de operação

CAT - Caterpillar

BWE - Bucket Whell

C_e = Capacidade da concha em toneladas (t)

FE = Fator de enchimento

V = Volume de concha (m^3)

DE = Densidade empolada do minério (t/m^3)

DMT – Distância média de transporte

ROM – Minério fora da mina

1 INTRODUÇÃO

Com o avanço do setor minerário nos últimos anos e o aumento significativo dos ritmos de produção, juntamente com o surgimento de novas tecnologias e equipamentos mais robustos, possibilitaram extrair um volume cada vez maior de material em um curto intervalo de tempo, melhorando assim, a capacidade produtiva da indústria mineira. (BORGES 2013)

Em termos de produtividade, a indústria da mineração continua a aderir a mentalidade do 'quanto maior melhor'. Porém existem indicações que essa estratégia nem sempre pode ser vantajosa (BOZORGEBRAHIMI; et al, 2003).

Segundo KOPPE (2007), na maioria das minas a céu aberto, não existe um planejamento adequado em relação ao porte da operação e tamanho de equipamentos de perfuração, escavação, carregamento e transporte. Poucas minas conseguem harmonizar essa relação redundando em desperdício, diminuição de produtividade e aumento de custos. Um erro no dimensionamento dos equipamentos pode levar a empresa a super ou subestimar os equipamentos, o que pode gerar diminuição de produtividade e aumento de custos.

Para a definição do tipo de equipamento, diversos fatores devem ser considerados e avaliados, tais como, custo da aquisição (CAPEX) e de operação (OPEX), produtividades, distância de transporte, topografia do terreno, infraestrutura disponível na região, interferência com o meio ambiente e economicidade, além de condições de cada mina.

Ter um bom dimensionamento de frota significa estimar a frota de equipamentos para o cumprimento de metas de produção, pois o objetivo principal é atingir as movimentações planejadas no plano de lavra, seja de minério ou estéril. GAPSO (2014)

A preocupação com o dimensionamento da frota não deve ser priorizada somente no início de novos projetos ou expansões, mas também para otimização da frota já existente. O intuito é que o usuário, independente do porte de sua mineração, trabalhe com equipamentos mais ajustados à sua necessidade, com um menor custo por volume movimentado.

Este projeto tem por objetivo levantar um referencial teórico a respeito do dimensionamento da frota de carregamento e transporte, servindo como base para

elaboração de um guia de orientação para se dimensionar uma frota de carregamento e transporte. Os gastos com transporte de minério podem chegar até 60% do custo de produção, esse projeto se faz necessário, pois, um bom dimensionamento da frota reduzirá os custos, aumentará a produção e lucro da empresa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico se faz necessário pra tê-lo como base na elaboração do guia para o dimensionamento da frota de carregamento e transporte, partindo da seleção dos equipamentos que é de suma importância para ter uma frota bem definida, levantou-se critérios para uma boa seleção e os vários tipos de equipamentos existentes e suas características, em seguida é feita uma abordagem sobre como dimensionar o tamanho e a quantidade de equipamentos.

2.1. Seleção de Equipamentos de Carregamento e Transporte

O problema da seleção de equipamentos, de acordo com BAŞÇETIN *et al.* (2006), tem interface com as fases de projeto das instalações da mina e com a fase de produção, influenciando nos parâmetros econômicos operacionais e de longo prazo. Assim, a seleção de equipamentos baseada somente na experiência do tomador de decisões incorre em altos riscos econômicos, motivando o desenvolvimento de estudos e pesquisas na área. Alguns estudos anteriores sobre seleção de equipamentos presentes na literatura atual serão apresentados em um tópico específico neste trabalho.

Segundo AMARAL (2008), a seleção de equipamentos para aplicações de mineração não é um processo bem definido. Uma das razões para isso é que não há duas minas com características idênticas que proporcionem as mesmas condições para seleção dos equipamentos mais adequados.

Equipamentos de carregamento são tipicamente selecionados para corresponder às condições de minas em termos de capacidade necessária, às condições climáticas, exigências de mobilidade e número de frentes de lavra, ao mesmo tempo. (AMARAL, 2008)

Para BORGES (2013), a seleção de equipamentos de transporte, como caminhões, por exemplo, algumas empresas contam com o auxílio do fabricante para apresentá-los uma proposta de aplicação baseada em requisitos de produção determinados. Em seguida as empresas selecionam o tipo e a capacidade do

caminhão a partir das diferentes propostas com base em alguns dos seguintes critérios:

- Compatibilidade com equipamento de carga existente;
- Capacidade de atender às projeções de produção;
- Experiência anterior com o equipamento;
- Requisitos de serviço e manutenção;
- Custo de aquisição e custo operacional;
- Utilização e disponibilidade estimadas.

Para SILVA (2009), as principais considerações na seleção primária dos equipamentos são:

- Geologia do depósito;
- Metas de produção;
- Vida útil do projeto;
- Disponibilidade de capital;
- Custo de operação;
- Parâmetros geotécnicos;
- Retorno de investimentos;
- Interferências com o meio ambiente.

Porém, para uma escolha acertada na seleção de equipamentos de carregamento e transporte, esses devem ser selecionados de forma integrada, a fim de aumentar a compatibilidade entre estes, otimizando a produtividade e principalmente minimizando os custos de produção. (BORGES, 2013)

2.2. Dimensionamento e Compatibilização do Porte de Equipamentos

Segundo SILVA (2009), uma vez selecionados os tipos de equipamentos que atendam às condições específicas do trabalho, é importante que se selecione também os portes destes equipamentos, que irão operar conjugadamente, visando uma maior eficiência global, bem como para evitar que os cálculos do

dimensionamento sejam feitos para alternativas que, de antemão, já se mostrem incompatíveis. Esta compatibilização deve, inicialmente, basear-se em restrições físicas, como, por exemplo, as seguintes.

- A altura da bancada (H), condicionando o porte do equipamento de carregamento:
 - Pá carregadeira: $H = 5 \text{ a } 15 \text{ m}$;
 - Escavadeira hidráulica: $H = 4 + 0,45cc \text{ (m)}$;
 - Escavadeira a cabo: $H = 10 + 0,57(cc - 6) \text{ (m)}$;
 - Sendo $cc = \text{capacidade da caçamba em m}^3$.

- O alcance da descarga do equipamento de carregamento, condicionando o porte do equipamento de transporte.

Figura 1: Formação de fila na operação de carregamento dos caminhões



Fonte: SABINO, 2008.

De acordo com o mesmo autor, observadas estas restrições, a compatibilização dos equipamentos em operação conjugada deve, então, atender a outros fatores que irão afetar diretamente a eficiência da operação, tais como o número de passes do equipamento de carregamento para encher o equipamento de transporte. Considera-se que a quantidade de 3 a 5 passes representa um bom equilíbrio. Um número menor seria preferível, contanto que:

- O tamanho da caçamba da unidade de transporte não seja muito pequeno em comparação com o tamanho da caçamba da unidade de carregamento, resultando em impactos sobre a suspensão e a estrutura do veículo e derramamento excessivo da carga;
- O tempo de carregamento não seja tão curto que ocasione a demora da chegada da unidade de transporte seguinte, ocasionando um tempo excessivo de espera por parte da unidade de carregamento;
- O número de unidades de transporte para cada unidade de carregamento seja equilibrado. Se este número for muito pequeno poderá ocorrer ociosidade da unidade de carregamento; se o contrário é provável que ocorram filas dos equipamentos de transporte;
- O número excessivo de unidades da frota não ocasione dificuldades de tráfego e manutenção (SILVA, 2009).

A seguir um diagrama esquemático com algumas das principais considerações para a seleção de equipamentos e fatores sensíveis ao dimensionamento dos equipamentos.

Diagrama 1: Considerações para a seleção de equipamentos e fatores sensíveis ao dimensionamento dos equipamentos



Fonte: BOZORGEBRAHIMI, HALL and BLACKWELL, 2003 – Adaptado.

Para o correto dimensionamento dos equipamentos em uma mina a céu aberto, é necessário, primeiramente, a definição e conhecimento de alguns termos técnicos que tratam de características importantes de cada equipamento de carregamento e transporte. Dentre as principais características pode-se citar (HARTMAN, 1992; GONTIJO, 2009; RICHARDS e WEST, 2003):

1) Produção: é o volume total ou massa do material que será movimentado em uma operação específica e se refere tanto a minério quanto a estéril; (HARTMAN, 1992)

2) Taxa de produção: produção teórica de massa ou volume de uma máquina por unidade de tempo. É usualmente expressa em horas, porém pode ser relacionada a turno ou dia de trabalho; (RICHARDS e WEST, 2003)

3) Produtividade: é a taxa real de produção por unidade de tempo, considerando-se todos os outros fatores de gerenciamento, tais como eficiência, sendo analisado também o trabalho em conjunto com outros equipamentos; (HARTMAN, 1992)

4) Eficiência: percentual das horas realmente trabalhadas em relação às horas programadas. Reduções na taxa eficiência podem ser relacionadas aos seguintes fatores:

- a. características do material;
- b. supervisão no trabalho;
- c. esperas no britador;
- d. falta de caminhão;
- e. maior ou menor habilidade do operador;
- f. interrupções para limpeza da frente de lavra;
- g. qualidade do desmonte de rochas;
- h. capacidade da caçamba de máquina de carregamento;
- i. pequenas interrupções devido a defeitos mecânicos, não computados na manutenção.

A eficiência pode ser expressa como sendo:

$$\text{Eficiência} = \frac{\text{minutos trabalhados em 1 hora}}{1 \text{ hora}} \times 100 \%$$

Analisando a equação, pode-se concluir que, quanto mais minutos de trabalho efetivo de um equipamento forem trabalhados em uma hora, maior será sua eficiência, aproximando-se do máximo teórico de 100%. Devido a procedimentos de manutenção e deslocamento, é impossível se alcançar este máximo no que se refere a equipamentos de carregamento e transporte. (RICHARDS e WEST, 2003)

5) Disponibilidade: parte do tempo programado em que a máquina está disponível para trabalhar. A disponibilidade pode ser:

a. Mecânica: que considera as horas possíveis de serem trabalhadas menos as horas de manutenção (preventiva, corretiva e preditiva).

b. Física: é a disponibilidade real da máquina, pois, considera todos os possíveis descontos nas horas de trabalho como: esperas, paradas não programadas, deslocamentos, entre outros. (RICHARDS e WEST, 2003)

6) Utilização: parte do tempo disponível em que o equipamento está realmente trabalhando. Alguns fatores que influenciam na utilização de um equipamento são:

- a. número de unidades ou porte maior ou menor do que o requerido;
- b. paralização de outros equipamentos;
- c. falta de operador;
- d. deficiência do operador;
- e. condições climáticas que impeçam a operação do equipamento;
- f. qualidade do desmonte de rocha;
- g. preparação das frentes de lavra.

A taxa de utilização é expressa por:

$$\text{Utilização} = \frac{\text{horas efetivamente trabalhadas}}{\text{Horas calculadas por ano} - \text{horas de manutenção}}$$

7) Capacidade: refere-se ao volume de material que um equipamento pode carregar ou transportar. A capacidade de carregamento e transporte pode ser:

a. Rasa: quando a capacidade nominal não é atingida, devido a fatores de operação que não permitem o completo preenchimento da caçamba.

b. Coroada: quando se explora ao máximo a capacidade de um equipamento, mesmo que seja pouco provável ser operacionalmente viável;

8) Carga útil: é a massa de material que o equipamento pode carregar ou transportar, não podendo ultrapassar 80% da carga necessária para desestabilizar ou pôr em risco a operação (80% da carga de tombamento). Em geral, os equipamentos são projetados para conter uma massa específica ao invés de um volume específico, possibilitando ajustes da capacidade, por parte do comprador; (GONTIJO, 2009)

9) Empolamento: é o aumento do volume aparente de um material que ocorre quando é fragmentado e removido de seu estado natural, mais compacto, para um estado mais solto (desagregado/fragmentado). Pode ser expresso pela seguinte equação:

$$\text{Empolamento} = \frac{\text{volume antes da fragmentação}}{\text{volume depois da fragmentação}} \times 100\%$$

10) Fator de enchimento da caçamba: fator aplicável sobre a capacidade operacional da caçamba e que, basicamente, apresenta-se em função das características do material, e ou das condições do desmonte, da altura da bancada e da forma de penetração do equipamento, determinando o percentual de enchimento da caçamba; (GONTIJO, 2009)

11) Ciclo: as operações de uma mina são compostas de tarefas básicas que compõem um ciclo de operações. Em geral, tarefas como carregamento, transporte, descarregamento e retorno são repetidas continuamente. A contabilização do tempo necessário para a realização de cada tarefa faz com que o somatório dos tempos necessário para completar um ciclo seja chamado de “tempo de ciclo”; (HARTMAN, 1992)

12) Operação Conjugada: é a partir da análise da operação conjugada entre os equipamentos de carregamento, transporte e britagem que se determina a produção máxima que um sistema pode gerar, através da associação da distribuição binomial, calculada com as probabilidades de disponibilidade de operação de cada máquina e suas possíveis combinações; (HARTMAN, 1992)

13) Resistência: pode ser o atrito existente entre o pneu e a superfície da estrada, entre o eixo da roda e o sistema de locomoção e de desnível provocado por uma rampa (aclives). Todos estes fatores devem ser considerados, pois cada equipamento tem um nível de operação ideal, fornecido pelo fabricante, que determina as condições da estrada de rodagem e do percentual (ângulo) de rampa que o equipamento é capaz de operar. (RICHARDS e WEST, 2003)

14) Desenho das estradas e acessos: de acordo com os equipamentos que irão trafegar pelas estradas, condições especiais são necessárias para a operação dos mesmos. Alguns itens devem ser considerados para construção e manutenção do pavimento, garantindo a segurança das pessoas e o menor custo de manutenção dos equipamentos. (GONTIJO, 2009)

2.3. Operação de carregamento e transporte na lavra a céu aberto

Segundo BORGES (2013), as operações de carregamento e transporte consistem em retirar o material extraído da frente de lavra até diferentes pontos de descarga.

Segundo QUEVEDO (2009), em minas a céu aberto as atividades se iniciam com a preparação da área a ser lavrada para que ela possa ser perfurada e detonada, quando necessário. Então a escavação e o carregamento são feitos por equipamentos de carga (pás carregadeiras ou escavadeiras) que estão alocados nas frentes de lavra. Estes retiram o material e o carregam nos equipamentos de transporte, caminhões, correias transportadoras, vagões, entre outros. O equipamento de transporte transporta o material até um determinado ponto de descarga, esses pontos de descargas podem ser britadores, pilha estéril ou pilha pulmão, e o ciclo da operação recomeça, sendo realizada de forma contínua.

2.4. Equipamentos de carregamento em lavra a céu aberto

As operações de escavação e carregamento podem ser feitas pelo mesmo equipamento ou por equipamentos distintos, sendo o primeiro caso chamado, segundo RICARDO & CATALANI (2007), de unidades escavocarregadoras, mais comuns para corpos de minério friáveis.

Os equipamentos mais utilizados para as operações de escavação e carregamento, concomitante ou não, são escavadeiras a cabo, escavadeiras hidráulicas, retroescavadeiras hidráulicas, carregadeiras sobre pneus ou esteira, motoscrapers, dragas e monitores hidráulicos. (BORGES, 2013)

Na mineração de outros países são mais comuns equipamentos de maior porte, existindo assim, um número superior de escavadeiras a cabo de grande porte. Já nas empresas de mineração no Brasil é mais frequente o uso de escavadeiras tipo “shovel”, ou caçamba frontal, nas operações de escavação direta na frente de lavra, e concomitante carregamento da unidade de transporte, para corpos friáveis. Estas escavadeiras “shovel”, segundo RICARDO & CATALANI (2007), são adequadas para o uso em taludes por ter um elevado alcance máximo para o corte.

2.4.1. Escavadeira

É um equipamento que trabalha estacionado, com sua estrutura destinada apenas para lhe permitir seu deslocamento, sem, contudo participar do ciclo de trabalho. Pode ser montada sobre esteiras, sobre pneumáticos e sobre trilhos, sendo que a montagem sobre as esteiras é disparada a mais usada. (GONÇALVES, Elessandro et al...)

Características:

A escavação é feita diretamente pela caçamba que é acionada pelos seguintes elementos móveis:

- cabos de aço;
- cilindros hidráulicos;
- motores elétricos independentes;
- possui mecanismo que permite o giro de 360° através de uma coroa de giro.

O deslocamento é obtido através das esteiras acionadas por um sistema de transmissão ligado ao eixo motriz. A velocidade de deslocamento é muito baixa, cerca de 1,5 Km/h, devido ao grande porte da máquina e ao seu balanceamento. O seu deslocamento deve ser efetuado somente em pequenas distâncias, dentro do local de trabalho e em distâncias maiores deve ser feitos em carretas especiais.

2.4.1.1. Tipos de escavadeiras

- Escavadeira Shovel

É a escavadeira com caçamba frontal, equipada com implemento frontal constituído de lança e braço transversal articulado, tendo na extremidade caçamba com fundo móvel para descarga do material. É o tipo mais utilizado em mineração. Destina-se escavar taludes situados acima do nível em que a máquina se encontra. Pela combinação do movimento da lança e do braço articulado, escava de baixo para cima elevando a carga, deslocando-a no sentido horizontal e efetuando a sua descarga. (GONÇALVES, Elessandro et al...)

Figura 3: Escavadeira Hidráulica Shovel 6090 FS



Fonte: Site da Caterpillar – Disponível em < <http://www.caterpillar.com/pt.html>>

Suas partes principais são:

1. Lança: é sustentada por cabos, havendo possibilidade de variar seu ângulo de inclinação de 35° a 65°, aproximadamente.
2. Braço Móvel: fica na parte intermediária da lança e pode girar em torno de uma articulação, executando em um movimento de baixo para cima o corte do talude. (GONÇALVES, Elessandro et al...)
3. Caçamba: fica acoplada ao braço móvel e é provida de dentes que facilitam o corte da rocha. A descarga do material é feita em sua parte inferior, através de uma abertura móvel. Sua capacidade é dada pelo volume de sua caçamba (jardas cúbicas), podendo a máquina trabalhar com diferentes caçambas, dependendo da densidade do material em que se está trabalhando. (GONÇALVES, Elessandro et al...)

Movimentos básicos efetuados pela máquina são:

- Deslocamento para frente ou para ré, pelas esteiras;
- Levantamento da caçamba;
- Avanço ou recuo do braço móvel;
- Giro da superestrutura;

- Variação do ângulo da lança;
- Abertura da tampa de fundo da caçamba.

Altura ótima de corte:

É a altura ideal do banco no qual trabalhará a máquina. É uma função da capacidade da caçamba, sendo determinada por tabelas, O ideal seria que após o giro do braço móvel para permitir o carregamento do material, a caçamba tenha sido completamente enchida. Se o banco é muito baixo, o enchimento da caçamba não será completo, diminuindo a produção da maquina. Se a altura for excessiva, haverá problemas, para a escavação do material situado ao topo do banco. (GONÇALVES, Elessandro et al...)

Rendimento:

Para otimização do rendimento da escavadeira, o ideal seria que ela trabalhe tendo sempre ao seu lado dois caminhões estacionados e prontos para serem carregados. (GONÇALVES, Elessandro et al...)

Figura 4: Caminhões posicionados para maior rendimento



Fonte: Revista Brasil Mineral. Ano XII – N° 126.

– Escavadeira de Arrasto (DRAGLINE)

Destina-se a escavar em níveis abaixo do terreno em que a máquina se apoia. Sua lança é constituída por uma estrutura em treliça metálica, em cuja

extremidade passa o cabo de elevação da caçamba. É sustentada por cabos que permite variação do ângulo de 25° a 40°. (GONÇALVES, Elessandro et al...)

A escavação é feita pelo arrastamento da caçamba através da utilização de um cabo de arrasto. É um equipamento aplicado em escavações de material pouco compacto, podendo escavar material dentro da água e o que possui maior raio de alcance. Todavia, se o alcance é muito grande, as condições de balanceamento são ruins, o que limita a capacidade da caçamba da máquina. (GONÇALVES, Elessandro et al...)

Figura 5: Escavadeira de Arrasto (Dragline)



Fonte: http://img.directindustry.com/images_di/photo-g/dragline-40115-4124699.jpg

Como a caçamba deste equipamento não é fixa, a operação de descarga em caminhões torna-se difícil refletindo pelo aumento do tempo de ciclo uma redução considerável na produção. Neste caso, é recomendável a descarga em montes com carregamento dos caminhões sendo feito com o emprego de carregadeiras frontais. (GONÇALVES, Elessandro et al...)

Quando empregada em locais de material de baixo suporte, o equipamento é apoiado sobre plataforma de madeira ou outro dispositivo auxiliar, esta operação tem

como objetivo reduzir a pressão do equipamento sobre o terreno.(GONÇALVES, Elessandro et al...)

Usada na remoção de solos moles, que impeçam o tráfego até de tratores de esteiras. É comum a necessidade de esteiras. Para a chegada das unidades de transporte pode ser necessário construir estradas de serviço com solos de melhor qualidade, com espessuras a partir de 1,00. (GONÇALVES, Elessandro et al...)

– Retroescavadeiras

A escavadeira com caçamba invertida, também denominada de retroescavadeira, é equipada com implemento frontal, constituído de lança segmentada e um braço articulado em sua extremidade livre que sustenta a caçamba. (GONÇALVES, Elessandro et al...)

É semelhante à shovel, com diferença de que a caçamba é voltada para baixo, de modo que a escavação é realizada abaixo do nível onde se apoia a máquina. À medida que a escavação prossegue, a máquina se desloca em marcha ré. São máquinas de capacidade de caçamba relativamente pequena e de raio de alcance limitado, podem executar escavação em terrenos mais compactados. (GONÇALVES, Elessandro et al...)

Atualmente, as Retroescavadeiras são dotadas de acionamento hidráulico, dispensando desta forma os cabos de comando e permitindo á maquina maior precisão e maior rapidez de operação. (GONÇALVES, Elessandro et al...)

Figura 6: Retroescavadeira Volvo 360B



Fonte: Site da volvo – disponível em <http://www.volvo.com.br/>

– Bucket Wheel

As BWE foram desenvolvidas para a mineração de linhito na Europa e tem como característica principal operarem em ciclo contínuo, ou seja, escava e despeja o material na correia transportadora. Algumas características da BWE são:

- Deve ser operada sobre condições de engenharia muito rígidas,
- Alto custo de investimento inicial,
- Limitada a escavações de rochas muito brandas, (inconsolidadas);
- Capacidade de altas taxas de produção, operando em ciclo contínuo;
- Necessita de sistema auxiliar de deposição de estéril;
- Deve ser operado sob condições de engenharia extremamente rígidas.

Figura 7: Escavadeira Bucket Wheel, Bagger 288



Fonte: <http://www.asmaquinaspesadas.com/2012/02/fotos-de-maquina-pesadas-gigantes.html> – 2014.

- Operação das escavadeiras

O tempo de escavação direta depende da escavabilidade do material e da altura da bancada, enquanto o de carregamento depende da fragmentação e da altura da pilha de material desmontado. Bancadas e pilhas baixas reduzem a eficiência durante o enchimento, aumentando o tempo necessário. Material mal

fragmentado, com blocos grandes, também tem o efeito de dificultar o enchimento da caçamba. (GONÇALVES, Elessandro et al...)

O tempo de descarga depende apenas das dimensões relativas dos caminhões e da escavadeira e do posicionamento daquele em relação a esta. As dimensões são decididas na seleção e dimensionamento dos equipamentos e são definidas na compra. O posicionamento correto dos caminhões depende do treinamento dado aos motoristas e aos ajudantes da escavadeira. (GONÇALVES, Elessandro et al...)

O ciclo de carregamento é composto pelos tempos necessários as seguintes operações:

- escavação (ou carga da caçamba);
- giro com carga;
- descarga;
- giro sem carga;
- posicionamento;
- esperas.

A principal espera é da escavadeira enquanto um novo caminhão se posiciona para carga. O carregamento pelos dois lados da escavadeira pode eliminar esta espera. A espera por um novo caminhão é minimizada pelo ajustes do portes dos equipamentos aos respectivos ciclos. Vale lembrar que esta condição raramente é totalmente satisfeita, desde que as frentes são móveis e passarão necessariamente por períodos de maior e de menor ajuste. (GONÇALVES, Elessandro et al...)

2.4.1.2. Pá-carregadeira

Quando as condições particulares como operação em jazidas em locais restritos ou mesmo quando as distâncias de transporte tornam o emprego de moto scraper antieconômico, deve ser estudado o emprego de equipamentos alternativos. Entre os equipamentos destinados à escavação e carga de veículos, sem dúvida o mais empregado é a pá carregadeira. (GONÇALVES, Elessandro et al...)

A pá-carregadeira é um equipamento dotado de uma caçamba frontal, operada hidráulica, que executa serviços de escavação, transporte e descarga de

material em veículos de transporte, usinas de solos, executando ainda inúmeras outras tarefas. Sobre um trator convencional, ligeiramente modificado, são adaptados dois braços laterais de levantamento da caçamba, acionado por pistões hidráulicos de duplo efeito. A caçamba é articulada em relação aos braços, podendo ocupar diversas posições (de escavação, de carga ou qualquer outra posição intermediária). (GONÇALVES, Elessandro et al...)

Para o carregamento das unidades de transporte, as carregadeiras é que se deslocam, movimentando-se entre o talude de rocha e o veículo, sendo intensa a sua movimentação em seu trabalho. Este tipo de equipamento é usado para pequenos cortes de materiais com pouca resistência, carregamento de material solto, limpeza de praças de trabalho e pequenos nivelamentos e espalhamentos. Sua locomoção poderá ser feita sobre esteiras ou sobre pneus. (GONÇALVES, Elessandro et al...)

- Carregadeiras sobre pneus

As carregadeiras sobre pneus são utilizadas em serviços de grandes volumes, permitindo também o transporte do material escavado a pequenas e medias distancias. Tendo em vista melhorar esta capacidade, é construída com tração nas quatros rodas. Alguns modelos possuem uma articulação entre eixos dianteiros e traseiro, por meio de sistema hidráulico, que confere a maquina excelentes condições de manobrabilidade. (GONÇALVES, Elessandro et al...)

Montada sobre pneus de grande diâmetro, à pá-carregadeira exerce uma baixa pressão sobre o solo permitindo-lhe executar uma grande variedade de trabalhos. Deslocando-se à velocidade de até 45km/h, pode mover-se rapidamente de uma frente de trabalho para outra, sendo ainda capaz de manter uma velocidade de até 32Km/h quando carregada. (GONÇALVES, Elessandro et al...)

Figura 8: Pá-carregadeira sobre pneus Caterpillar 980G



– Carregadeiras sobre Esteiras

As carregadeiras de esteiras são empregadas nos serviços de pequenos e médios volumes ou quando as condições do terreno não permitem um maior esforço a tração. (GONÇALVES, Elessandro et al...)

Montada sobre esteiras, a carregadeira transmite uma baixa pressão sobre o terreno, possibilitando a operação em solos com baixa capacidade de suporte e trabalhando em áreas que seriam inacessíveis aos equipamentos montados sobre rodas. (GONÇALVES, Elessandro et al...)

A pá carregadeira de esteiras normalmente é montada sobre sapatas com pequena altura de ressalto, que permitem o seu trabalho sobre superfícies duras, pavimentadas, sem provocar maiores danos à superfície. (GONÇALVES, Elessandro et al...)

O equipamento de esteiras opera à baixa velocidade. O que reduz sua capacidade de locomoção entre as frentes de serviço. O sistema hidráulico possibilita um controle eficiente e sensível sobre a caçamba. (GONÇALVES, Elessandro et al...)

Sendo um equipamento mais pesado que o de rodas e com centro de gravidade mais baixo, pode trabalhar com grade de inclinação transversal de até 35% e de 60% na direção de seu deslocamento. (GONÇALVES, Elessandro et al...)

A maior vantagem das carregadeiras de pneus sobre as de esteiras reside em sua maior velocidade de deslocamento. Por outro lado, a tração sobre pneus revela-se deficiente principalmente na fase de escavação, pois há sempre o risco de deslizamento. Além disso, terrenos fracos ou excessivamente úmidos dificultam bastantes os trabalhos das máquinas de pneus. (GONÇALVES, Elessandro et al...)

Figura 9: Pá-carregadeira sobre esteiras Caterpillar 973D



Fonte: Site da Caterpillar – Disponível em <http://www.cat.com/pt_BR/products/new/equipment/track-loaders/large-track-loaders.html>

- Operação da Pá-carregadeira

Durante a operação, a pá-carregadeira também executa transportes à curta distância, deslocando-se entre o corte e as unidades de transporte.

A caçamba ou concha é umas das principais características da máquina. Consta de uma caixa de aço que tem um de seus bordos uma lâmina cortante(lisa ou dentada), que é aparafusada na carcaça da caçamba. O sistema hidráulico dá um controle sensível sobre a ferramenta de trabalho, possibilitando manobras de posicionamento rápido e preciso da caçamba. (GONÇALVES, Elessandro et al...)

A carga de operação é admitida como 50% da carga de tombamento, considerando o peso do conjunto da caçamba e da carga, medida do centro de gravidade da caçamba afastada no alcance máximo com os contrapesos padrões e pneus sem lastro. (GONÇALVES, Elessandro et al...)

O ciclo das carregadeiras compreende 4 movimentos:

1. Ir até a pilha;
2. Recuo;
3. Avanço e descarga;
4. Retorno.

Quando a distancia entre a unidade transportadora e a carregadeira é inferior a 10m, os ciclos das carregadeiras são bem aproximados. O número ideal de caçambadas por caminhão é de 3 a 5 caçambadas. (GONÇALVES, Elessandro et al...)

2.5. Lavra com transporte por caminhões

O método de lavra por caminhões é o mais utilizado em todo o mundo. Com o surgimento da mecanização alavancou-se a capacidade de lavra das minas, as rampas começaram a ser vencidas e o aprofundamento das cavas tornou-se realidade. Os equipamentos foram sendo modernizados e os conceitos de desmonte, carregamento e transporte se consolidaram. Com o avanço da tecnologia surgiram variações, tais como as escavadeiras elétricas a cabo, diesel-elétricas e hidráulicas. Segundo LOPES (2010), os caminhões acompanharam o porte das escavadeiras, mas por falta de tecnologia, foram barrados pelo tamanho dos pneus,

caso que ocorreu no mesmo período com as carregadeiras. Nas últimas décadas a tecnologia de fabricação de pneus avançou e o tamanho dos caminhões e carregadeiras foi ampliado atingindo as capacidades atuais de produção, o que provocou a possibilidade de ajuste de tamanho das escavadeiras para as novas dimensões dos equipamentos de transporte.

A lavra com transporte por caminhões consiste basicamente de desmonte do material “*in situ*”, que normalmente é executado por meio de perfuração e desmonte por explosivo ou mecanicamente (tratores, escavadeiras ou carregadeiras, dependendo da resistência do material). Outra possibilidade, dependendo da geologia do minério lavrado é a própria escavadeira ou carregadeira escavar e carregar o equipamento de transporte, no caso, caminhões. O transporte do material por caminhões até a estação de britagem, descarga no silo e retorno até a frente de lavra, finaliza o ciclo do método. (LOPES, 2010)

Atualmente o mercado oferece caminhões com capacidades variando de 10 toneladas a 400 toneladas, ilustrado na Figura 10, e escavadeiras compatíveis para o carregamento eficiente dos mesmos. A aplicação e o porte do conjunto de carga e transporte estão inteiramente ligados à escala de produção, geometrias da cava e geologia da jazida. (LOPES, 2010).

Figura 10: Evolução do tamanho dos caminhões fora-de-estrada.



Fonte: LOPES, 2010.

No estudo dos tempos e movimentos característicos do método convencional por caminhões, esses são divididos em fixos e variáveis, sendo o primeiro composto por: tempo de carga, tempo de descarga e tempo de manobras - soma de manobras para carregamento e manobras para descarga. Já os tempos de transporte, carregado e vazio, somados formam o tempo de ciclo variável. A distância de

transporte está diretamente ligada ao tempo de ciclo por viagem dos caminhões que por consequência reflete a produtividade da frota. (LOPES, 2010)

2.6. Vantagens da lavra com transporte por caminhões

Segundo LOPES (2010), são vantagens da Lavra com transporte por caminhões:

- Alta flexibilidade operacional por poder ser transferido rapidamente para outras frentes de lavra;
- Os pontos de lavra podem ser em níveis diferentes e simultaneamente, facilitando a “blendagem” do material, garantindo a qualidade;
- Os caminhões podem ser deslocados para a operação no estéril quando a estação de tratamento que recebe o minério dos caminhões estiver parada;
- Menor variação nos teores médios da jazida devido à possibilidade de verticalização da mina;
- Facilidade de contratação de mão de obra no mercado de trabalho devido à predominância do método por caminhões nas minas a céu aberto;
- Tempo de “posto-em-marcha” reduzido. Os caminhões são pré-montados na fábrica por partes e transportados, bastando montar o conjunto total no local da obra;
- O desenvolvimento de estradas e praças para que os caminhões comecem as operações são reduzidos, pois assim que são montados e iniciam as operações a continuação dos mesmos pode ser feita pela própria frota;
- As operações não são interrompidas quando uma unidade de transporte é paralisada por problemas de manutenção, é possível continuar a atividade até um limite mínimo econômico de caminhões operando simultaneamente;
- Pode-se manter a frota em operação, mesmo quando o silo de descarga estiver paralisado, construindo pilhas reservas estratégicas próximo às estações de descarga, para retomada posterior, quando a frota não puder operar normalmente;
- O casamento das operações conjugadas com escavadeiras (shovel ou backhoe), e carregadeiras (esteiras ou pneumáticas), pode ser alterado, caso as dimensões sejam compatíveis, aumentando as opções de carregamento;

- Agilidade na evacuação dos equipamentos das áreas de risco iminente.

2.7. Desvantagens da lavra com transporte por caminhões

Ainda segundo LOPES (2010), são desvantagens da lavra com transporte por caminhões:

- Possui eficiência energética relativamente baixa, dividida em 50% para o próprio deslocamento do seu peso e 50% para o deslocamento das cargas;
- Elevado tempo de deslocamento vazio, em média 50% do tempo de ciclo de transporte é gasto na atividade de retorno da descarga para frente de lavra em operação;
- As estradas são relativamente longas devido à limitação de inclinação das rampas, aumentando a distância de transporte gradativamente à medida que novos níveis de operação são abertos na mina. Recomenda-se o máximo de 10% de inclinação das rampas;
- Custo elevado para a abertura e conservação das vias de acesso dos caminhões;
- Redução e às vezes paralisação das operações devido a chuvas e neblinas que causam instabilidade de tração e baixa visibilidade;
- Necessidade de equipamento de apoio para umectação de vias de acesso com o objetivo de reduzir a poeira (sólidos em suspensão no ar), garantindo a boa visibilidade para o operador e a redução do impacto ambiental da atividade;
- O aumento da distância de transporte implica em aditivo no número de caminhões da frota necessário para garantir a produção desejada ou ampliação do porte unitário com aquisição de caminhões de maior capacidade de transporte de carga.

2.8. Processo de carregamento e transporte

Conforme dito, as operações de carregamento e transporte consistem em transportar o material extraído da jazida até diferentes pontos de descarga. Os

locais de extração e remoção são denominados frentes de lavra ou áreas de escavação (RODRIGUES, 2006).

Em minas a céu aberto as atividades se iniciam com a preparação da área a ser lavrada para que ela possa ser perfurada e detonada. Com isso os caminhões são direcionados até uma determinada frente de lavra, os equipamentos de carga (pás carregadeiras ou escavadeiras) que estão alocados nas frentes retiram o material e o carregam nos caminhões. Os caminhões carregados transportam o material até um determinado ponto de descarga (britadores, pilha estéril ou pilha pulmão) e em seguida voltam para uma frente de lavra disponível, onde repetirão as mesmas operações (RODRIGUES, 2006).

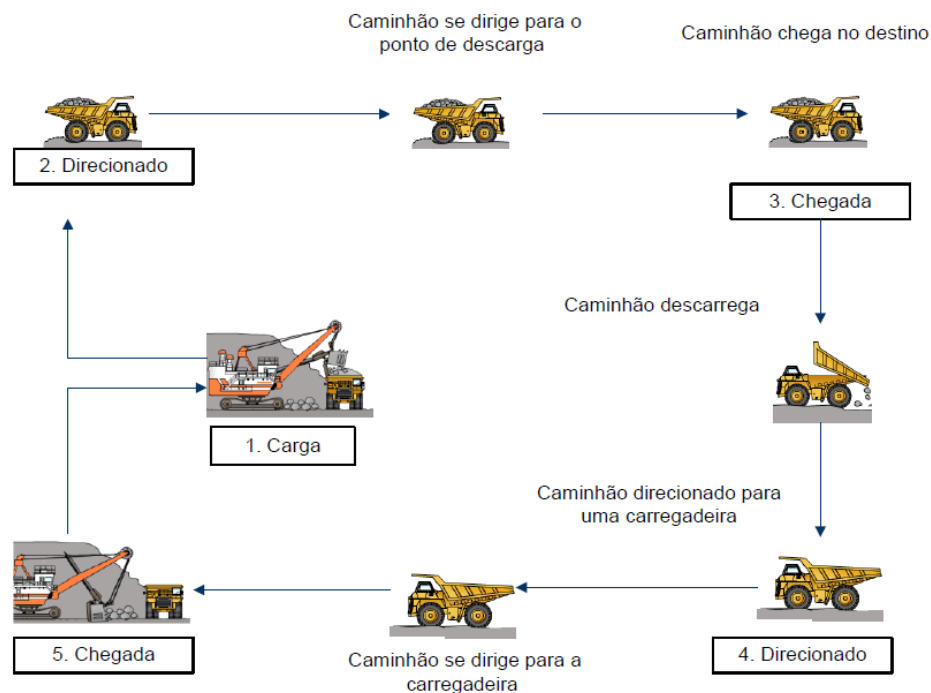
Os pontos de descarga podem ser:

- Pilhas de estéril (material não aproveitado pelo processo);
- Pilhas de homogeneização (para mistura de material);
- Britador (onde o minério é enviado até a usina de beneficiamento).

As operações de carregamento e transporte são realizadas de forma contínua.

A Figura 11 apresenta o diagrama de movimentação de caminhões nas operações de Carregamento e Transporte.

Figura 11: Diagrama do processo de carregamento e transporte.



Os caminhões realizam ciclos de carregamento e basculamento repetidamente, percorrendo as possíveis rotas disponíveis; quando partem de um ponto de carga para um ponto de basculamento, ou vice-versa, o fazem diretamente sem paradas intermediárias (RODRIGUES, 2006).

Nos ciclos repetitivos de transporte de minério entre os pontos de carga e descarga, as necessidades de se optar por uma entre as várias rotas disponíveis ocorrem no término de carregamento e no término do basculamento, dependendo de haver operações disponíveis (RODRIGUES, 2006).

O melhor resultado na operação da mina é obtido tomando as decisões certas de despacho para os caminhões que transportam minério e estéril, das frentes de lavra para os pontos de basculamento, que levam em consideração diferentes critérios, entre eles:

- Maximizar a produção para uma frota de caminhões;
- Minimizar filas nos pontos de carga e descarga;
- O material a ser extraído de cada frente de lavra deve

estar em conformidade com as metas de qualidade (RODRIGUES, 2006).

O transporte de material de uma frente de lavra até um determinado ponto de descarga deve considerar uma série de rotas disponíveis, assim também a geração de filas tanto no ponto de carga como descarga dependerão da capacidade do caminhão e do tipo de equipamento que irá a carregar, descarregar o receber o material. É comum que se formem filas nas frentes em que são alocados os equipamentos de carga, onde os caminhões com diferentes capacidades são direcionados, e têm que esperar um determinado tempo para poderem ser carregados, o que gera tempos ociosos e diminuição da produção (Çetin, 2004).

De acordo com Çetin (2004), é importante considerar que os equipamentos de transporte são produtivos quando estão transportando material, da mesma forma que os equipamentos de carga são considerados produtivos quando estiverem carregando material. Os tempos em fila e ociosidade dos equipamentos são a maior fonte de não produtividade.

3 ATERIAS E MÉTODOS

3.1. Pesquisa Quantitativa

Seguindo ensinamentos de Richardson (1989), este método caracteriza-se pelo emprego da quantificação, tanto nas modalidades de coleta de informações, quanto no tratamento dessas através de técnicas estatísticas, desde as mais simples até as mais complexas.

Conforme supramencionado, ele possui como diferencial a intenção de garantir a precisão dos trabalhos realizados, conduzindo a um resultando com poucas chances de distorções.

De uma forma geral, tal como a pesquisa experimental, os estudos de campo quantitativos guiam-se por um modelo de pesquisa onde o pesquisador parte de quadros conceituais de referência tão bem estruturados quanto possível, a partir dos quais formula hipóteses sobre os fenômenos e situações que quer estudar. Uma lista de consequências é então deduzida das hipóteses. A coleta de dados enfatizará números (ou informações conversíveis em números) que permitam verificar a ocorrência ou não das consequências, e daí então a aceitação (ainda que provisória) ou não das hipóteses. Os dados são analisados com apoio da Estatística (inclusive multivariada) ou outras técnicas matemáticas. Também, os tradicionais levantamentos de dados são o exemplo clássico do estudo de campo quantitativo (POPPER, 1972).

Richardson (1989) expõe que este método é frequentemente aplicado nos estudos descritivos (aqueles que procuram descobrir e classificar a relação entre variáveis), os quais propõem investigar “o que é”, ou seja, a descobrir as características de um fenômeno como tal.

Nesse tipo de abordagem, os pesquisadores buscam exprimir as relações de dependência funcional entre variáveis para tratarem do como dos fenômenos. Eles procuram identificar os elementos constituintes do objeto estudado, estabelecendo a estrutura e a evolução das relações entre os elementos. Seus dados são métricos (medidas, comparação/padrão/metro) e as abordagens são experimental, hipotético-dedutiva, verificatória. Eles têm como base as metatérias formalizantes e descritivas. Suas principais vantagens são automaticidade e precisão (Portela G. L.).

As Pesquisas Quantitativas são mais adequadas para apurar opiniões e atitudes explícitas e conscientes dos entrevistados, pois utilizam instrumentos estruturados (questionários). Devem ser representativas de um determinado universo de modo que seus dados possam ser generalizados e projetados para aquele universo. Seu objetivo é mensurar e permitir o teste de hipóteses, já que os resultados são mais concretos e, conseqüentemente, menos passíveis de erros de interpretação. Em muitos casos geram índices que podem ser comparados ao longo do tempo, permitindo traçar um histórico da informação (ZAYTEC).

Se você quer saber quantas pessoas usam um produto ou serviço ou têm interesse em um novo conceito de produto, a pesquisa quantitativa é o que você precisa. Ela também é usada para medir um mercado, estimar o potencial ou volume de um negócio e para medir o tamanho e a importância de segmentos de mercado (ZAYTEC).

3.2. Pesquisa Qualitativa

A pesquisa qualitativa não se preocupa com representatividade numérica, mas sim com o aprofundamento da compreensão de um grupo social, de uma organização etc. Os pesquisadores que adotam a abordagem qualitativa se opõem ao pressuposto que defende um modelo único de pesquisa para todas as ciências, já que as ciências sociais têm sua especificidade, o que pressupõe uma metodologia própria. Assim, os pesquisadores qualitativos recusam o modelo positivista aplicado ao estudo da vida social, uma vez que o pesquisador não pode fazer julgamentos nem permitir que seus preconceitos e crenças contaminem a pesquisa (Goldenberg, 1999).

Os pesquisadores que utilizam os métodos qualitativos buscam explicar o porquê das coisas, exprimindo o que convém ser feito, mas não quantificam os valores e as trocas simbólicas nem se submetem à prova de fatos, pois os dados analisados são não métricos (suscitados e de interação) e se valem de diferentes abordagens (Portela G. L.).

3.2.1. Procedimentos Metodológicos

Através da participação na vida cotidiana do grupo ou da organização que estuda; entrevistas ou conversa para descobrir as interpretações sobre as situações que observou, podendo comparar e interpretar as respostas dadas em diferentes momentos e situações (Portela G. L.).

3.2.2. Coleta de Dados

Investigação descritiva (fonte direta de dados é o ambiente natural); os materiais registrados são revistos na sua totalidade pelo investigador. Os dados são recolhidos em situação natural e complementados pela informação que se obtém através do contato direto; transcrições de entrevistas, notas de campo, fotografias, vídeos, documentos pessoais, memorandos e outros registros oficiais; supremacia do processo em detrimento do produto; familiaridade com o ambiente, pessoas e outras fontes de dados, adquiridos principalmente através da observação direta, do estudo de caso da entrevista, além da história de vida, entre outros (Portela G. L.).

3.2.3. Características da Pesquisa Qualitativa

Objetivação do fenômeno, hierarquização das ações descrever, compreender, explicar, precisão das relações entre o global e o local em determinado fenômeno, observância das diferenças entre o mundo social e o mundo natural, respeito ao caráter interativo entre os objetivos buscados pelos investigadores, suas orientações teóricas e seus dados empíricos, busca de resultados os mais fidedignos possíveis, oposição ao pressuposto que defende um modelo único de pesquisa para todas as ciências (Portela G. L.).

3.2.4. Limites e Riscos

Excessiva confiança no investigador enquanto instrumento de coleta de dados, reflexão exaustiva acerca das notas de campo pode representar uma forma de tentar dar conta do objeto estudado, além de controlar o efeito do observador,

falta de detalhes sobre os processos através dos quais suas conclusões foram alcançadas, falta de observância de aspectos diferentes sob enfoque diferentes, certeza do próprio pesquisador com relação a seus dados, sensação de dominar profundamente o seu objeto de estudo, envolvimento do pesquisador na sua situação (ou com sujeitos) pesquisada (Portela G. L.).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Guia Para o Dimensionamento da Frota de Carregamento e Transporte.

Este guia tem por objetivo apresentar todos os passos que se deve ter para o dimensionamento de uma frota de carregamento e transporte para empresas de mineração a céu aberto e por fim demonstrar o dimensionamento feito para uma empresa existente.

4.1.1. Passo 1 – Levantamento de Fatores Naturais

4.1.1 - Natureza do solo

A natureza do solo é o primeiro fator a ser considerado no estudo da seleção do equipamento, devendo ser determinadas as principais características físicas do solo, como a granulometria, resistência ao rolamento, representada pelo coeficiente de rolamento K, capacidade de suporte à ação das cargas e umidade natural.

Quando os solos locais apresentam baixa capacidade de suporte, devido ao excesso de umidade ou a presença de matéria orgânica e a resistência de rolamento muito elevada, esses fatores já eliminam todas as soluções que envolvam máquinas de pneus, pois estas enfrentariam problemas de afundamento excessivo e falta de aderência, que impossibilitariam a sua utilização ou conduziriam a custos muito elevados e antieconômicos.

Nesse caso, resta a opção de emprego de máquinas de esteiras, as quais, graças à sua boa flutuação e aderência, poderiam levar a cabo a movimentação de terras prevista.

4.1.2 – Topografia

A topografia local, mais ou menos acidentada, que resulta em rampas, aclives e declives também mais ou menos pronunciados, é fator muito importante a ser levado em conta, pois certos tipos de equipamentos não podem ser empregados, desde que não consigam vencer as rampas, por falta de potência ou aderência entre

o trem propulsor e o solo. Por outro lado quando os declives são muito acentuados, a falta de segurança na operação pode levar ao impedimento de sua utilização.

4.1.3 – Regime de chuvas

Em certas regiões em que a precipitação pluvial é intensa e/ou frequente em certas épocas do ano, esse fato deve ser considerado na seleção do equipamento, pois a ocorrência de pequenas precipitações frequentes constitui-se num fator extremamente negativo na produtividade dos equipamentos e, conseqüentemente, nos custos dos serviços por eles realizados.

4.1.2. Passo 2 – Levantamento dos Fatores de Projeto

4.1.2.1 – Volume a ser movido

Este é um dos fatores preponderantes na escolha do equipamento a ser utilizado, porque, sendo grande o volume a ser movido, significa um faturamento elevado que permitirá o emprego de máquinas em grandes quantidade e qualidade, implicando grandes investimentos.

Inversamente, pequenos volumes a serem trabalhados têm, como resultado, o emprego de equipamentos de menor produtividade e de menor custo de aquisição.

4.1.2.2 – Distância de transporte

É incontestável que, se considerado individualmente, é o principal fator a ser levado em conta na seleção dos equipamentos.

Sabe-se que as operações de carga, descarga, manobras etc. demandam tempos relativamente pequenos, se cotejados com os tempos variáveis que dependem diretamente da distância percorrida.

Portanto, o custo dessas operações é pequeno, quando comparado com os de transporte para as distâncias médias e longas e que constituem a maior parcela no custo de produção.

4.1.3. Passo 3 – Levantamento de Fatores Econômicos

É evidente que a escolha, levando-se em conta, tão-somente, o custo, deve supor que outras condições sejam satisfeitas pelo equipamento, no que concerne, por exemplo, às rampas, natureza do solo, volumes a serem movidos etc.

Num mercado de trabalho competitivo, em que as obras são licitadas quase exclusivamente mediante critérios de custo, torna-se óbvia a importância da seleção correta do equipamento que conduza aos menores preços unitários.

Por outro lado, na realidade, a escolha definitiva de uma equipe deverá ser feita mediante a estimativa bem realista da produção provável e do seu custo.

Como são muitos os parâmetros que intervêm na escolha, só será possível chegar a uma solução definitiva através do conhecimento de todos os dados do problema, verificando o desempenho de várias equipes diferentes, para, finalmente, concluir, com segurança, qual a mais econômica.

4.1.4. Passo 4 – Seleção dos Equipamentos

Para correta seleção dos equipamentos devem-se analisar todos os fatores que exercem influencia no seu comportamento.

Há a considerar, também, que em muitos casos pode haver mais de uma configuração de frota que satisfaça às condições vigentes, ficando a escolha ao arbítrio de critérios pessoais, econômicos e de cronograma.

Os fatores que influenciam nessa escolha podem ser classificados em três grupos:

1º) **Fatores naturais** – são aqueles que dependem das condições vigentes no local dos trabalhos, como topografia mais ou menos acidentada, natureza dos solos existentes, presença de lençol freático, regime de chuvas etc.

2º) **Fatores do projeto** – são representados pelo volume de material a ser movido, as distâncias de transporte, as rampas e as dimensões das plataformas.

3º) **Fatores econômicos** – podem ser resumidos no custo unitário do trabalho (custo do metro cúbico movimentado), que, em última análise, é o fator predominante e frequentemente, decisivo na escolha a ser feita.

Porém, para uma escolha acertada na seleção de equipamentos de carregamento e transporte, esses devem ser selecionados de forma integrada, a fim

de aumentar a compatibilidade entre estes, otimizando a produtividade e principalmente minimizando os custos de produção. (BORGES, 2013)

4.1.5. Dimensionamento e compatibilização dos equipamentos de carga e transporte

A partir do momento que se determina o método a ser utilizado para a exploração de uma jazida e seus respectivos ciclos básicos de operação, são realizadas as tarefas de dimensionamento dos equipamentos de lavra e beneficiamento necessários para se atingir as metas de produção. Em especial neste trabalho, serão analisados os equipamentos para carga e transporte de ROM, devido ao fato deste representar grande parte dos custos do produtos (LOPES, 2010).

4.1.5.1. Dimensionamento do equipamento de carga

Através do cálculo da equação a seguir se obtém a capacidade da concha em toneladas, que multiplicada pelo número de passes necessários para enchimento do caminhão, vezes o tempo de carregamento, obtém-se, a produtividade em toneladas por hora do equipamento de carregamento.

$$C_e = FE \times V \times DE$$

Onde,

C_e = Capacidade da concha em toneladas (t)

FE = Fator de enchimento

V = Volume de concha (m^3)

DE = Densidade empolada do minério (t/m^3)

- Número de passes

É a quantidade de caçambadas necessárias da escavadeira/carregadeira para se encher o caminhão, expressa pela equação abaixo.

$$N^{\circ} \text{ passes} = \frac{\text{capacidade do caminhão}}{\text{capacidade da concha da escavadeira}}$$

Costuma-se escolher o porte destas máquinas, de acordo que o caminhão seja enchido com de 4 a 6 caçambadas da escavadeira/carregadeira, se o número de passes for superior a 6, é recomendável aumentar a capacidade da concha do equipamento.

A carregadeira ou escavadeira deve ter porte suficiente para passar a altura do caminhão. Deve haver um compromisso entre os tamanhos dos equipamentos de carga e transporte.

- Tempo de ciclo

É um outro fator muito importante, pois, é o tempo que o equipamento gasta para realizar um ciclo na sua atividade. O ciclo de carregamento é composto pelos tempos necessários as seguintes operações: escavação (ou carga da caçamba), giro com carga, descarga, giro sem carga e posicionamento.

O tempo de ciclo total do equipamento de carregamento é dado pelo numero de passes necessários para encher o caminhão, multiplicado pelo tempo de ciclo de um único passe.

4.1.5.2. Dimensionamento dos caminhões

Para o dimensionamento da capacidade de carga do caminhão e determinação do número de caminhões para compor a frota é necessário saber fatores do projeto como: produção exigida, distância média de transporte (DMT), inclinação das rampas, horas trabalhadas dia, tipo de solo a ser percorrido e limites de velocidade a ser trafegado.

Tendo em base a produção de ROM diária que se pretende ter, estima-se a capacidade de carga de um caminhão previamente selecionado, então verifica-se as quantidades de viagens necessárias em um dia, a partir do tempo de ciclo de cada caminhão e horas trabalhadas dia se tem a quantidade exata de caminhões para-se atender a produção exigida.

É relevante ressaltar que se a quantidade de caminhões for elevada, implicará na quantidade de equipamentos de carregamento, pois, um único equipamento não poderá atender todos os caminhões e se o número de caminhões for pequeno resultará em tempos ociosos do equipamento de carregamento. Por isso que a compatibilização dos equipamentos é de fundamental importância.

O tempo médio de viagem é determinante na produtividade da frota de transporte, pois quanto maior o tempo médio de transporte menor será o número de viagens por hora, reduzindo a produtividade em toneladas por hora.

Para o dimensionamento e estimativas da produtividade dos equipamentos de transporte, se faz necessário as informações descritas na tabela 1 a seguir.

Tabela 1 – Dados para cálculo da produtividade dos equipamentos de transporte.

Caminhão	Unidade
Capacidade nominal	t
Capacidade efetiva	t
DMT	km
Velocidade carregado	km/h
Velocidade de volta (vazio)	km/h

Fonte: próprio autor.

Para o cálculo do tempo médio para cada viagem do caminhão, levam-se em conta os valores informados na Tabela, onde o tempo médio de viagem é diretamente proporcional a DMT (Distância média de Transporte) e inversamente proporcional a velocidade de deslocamento do caminhão, limitadas por premissas de segurança da empresa. O tempo médio de viagem dos caminhões é dado pela seguinte equação:

$$T_{\text{viagem}} = \frac{\text{DMT}}{V_{\text{carregado}}} + \frac{\text{DMT}}{V_{\text{vazio}}}$$

Para obtenção do tempo total do ciclo total utiliza-se a seguinte sistemática descritos na Tabela 2, na qual se tem as componentes fixas e variáveis do tempo de ciclo. Como tempos fixos tem-se o tempo de manobra, tempo de basculamento e tempo de ciclo de carregamento, que sofrem pequenas variações em torno de uma

média constante. De acordo com RICARDO & CATALANI (2007), apesar de alguns tempos serem considerados fixos, estes dependem de fatores como tipo de equipamento, compacidade do solo; rampa favorável, habilidade do operador, entre outros.

Tabela 2 – Obtenção dos dados componentes do ciclo.

Componentes do ciclo	Fontes
(a) Tempo médio de viagem	Equação (22)
(b) Tempo ciclo carregamento	(e) + (f)
(c) Nº Passes (Carregamento)	Cap. Caminhão ÷ Cap. concha da escav.
(d) Tempo de ciclo escavadeira	De acordo com as característica do equip.
(e) Tempo de carregamento	(c) × (d)
(f) Tempo de manobra	De acordo com o equipamento
(g) Tempo de basculamento	De acordo com o equipamento
(h) Tempo TOTAL do ciclo	(a) + (b) + (g)

Fazendo uso dos dados apresentados na Tabela 2, estima-se o número de viagens por hora dividindo uma hora (60 minutos) pelo tempo total do ciclo, e o valor obtido em número de viagens multiplicado pela capacidade nominal do caminhão em toneladas, obtém-se a produtividade dos caminhões.

4.1.6. Compatibilização dos equipamentos

Após o dimensionamento, é realizado o estudo de seleção do conjunto de equipamentos de maneira que minimize o custo unitário de produção para o referido projeto de mineração.

Com a análise das requisições específicas para a operação dos equipamentos, de acordo com as condições estudadas e pré-estabelecidas no planejamento da lavra, ao se selecionar os equipamentos é de suma importância que também sejam analisados o porte destes equipamentos para que seja possível o trabalho em conjunto, da forma mais eficiente possível, evitando que alternativas impraticáveis sejam analisadas (GONTIJO, 2009).

A compatibilidade entre os equipamentos segue, em muitos aspectos, a análise das dimensões físicas da área de lavra e as restrições de operação dos equipamentos. Dentre as principais características, pode-se ressaltar a altura da

bancada condicionando o porte do equipamento e o tipo de carregamento a ser realizado.

Figura 12: Frota de carregamento e transporte bem selecionada e dimensionada



Fonte: Site da Quinterra – disponível em <http://quinterra.com.br/>

4.2. Dimensionamento de Frota: Um Estudo de Caso

A seguir será apresentado o dimensionamento de uma frota de carregamento e transporte utilizando como estudo de caso uma mineração de pequeno porte, bem como a situação presente das operações na mineração em questão, premissas para o dimensionamento da frota e o desenvolvimento e análises de cenários de produção.

4.2.1. Descrição do caso

Com o objetivo de fazer uma aplicação prática do dimensionamento de uma frota de carregamento e transporte com vistas à melhor relação custo e volume de produção, consideremos o caso de uma empresa de mineração de calcário, de pequeno porte que têm atividades de lavra a céu aberto.

Para o dimensionamento em questão será feito apenas para atender o minério que sai da mina e vai para o britador.

A empresa em questão tem aumentado anualmente significativamente sua capacidade de produção de minério, para o ano de 2014 foi previsto uma produção de 300.000 toneladas e para o ano de 2015 é prevista uma produção de 450.000 toneladas de calcário, variando entre calcário dolomítico e calcítico.

Tabela 3 – Movimentação de minério para 2013 a 2015

ROM	2013	2014	2015
Minério (t)	220.000	300.000	450.000
Calcário Dolomítico	170.000	240.000	380.000
Calcário Calcítico	50.000	60.000	70.000

Fonte: Empresa mineradora.

A empresa já possui equipamentos de carga e transporte, o dimensionamento será feito para analisar a necessidade de se aumentar o número de caminhões e o número de equipamento de carga ou o porte do equipamento.

A distância média de transporte das frentes de lavra da mina até o britador é de 3,6 km e se obteve através de medições feitas em campo.

As horas trabalhadas são 7,40 horas dia e seis dias por semana, totalizando 44,4 horas semanais.

4.2.2. Características dos equipamentos

A seguir serão descritas as principais características dos equipamentos de carga e transporte utilizados na mineradora, a serem simulados.

- Equipamentos de carga

Os equipamentos utilizados na empresa e a serem considerado no modelo são duas retroescavadeira hidráulicas, sendo uma Volvo EC360B (figura 13) e uma Caterpillar 320DL (figura 14), na atividade principal de lavra utiliza-se a Volvo EC360B e a CAT 320DL é utilizada somente quando a Volvo EC360B esta em manutenção.

A capacidade de carga da caçamba da Volvo EC360B é de 3,0 m³ e da Caterpillar 320DL é de 1,8 m³.

Figura 13: Volvo EC360B



Fonte: Site da volvo – disponível em <http://www.volvo.com.br/>

Figura 14: Caterpillar 320 DL



Fonte: site da Caterpillar – disponível em < <http://www.caterpillar.com/pt.html> >

- Equipamentos de transporte

O transporte do minério é terceirizado e conta com cinco caminhões sendo quatro Mercedes-Benz Axor 4144K e um Volkswagen Constellation 31.390, ambos possuem uma caçamba com capacidade de 13 m³ e capacidade de carga de 40 toneladas.

Os caminhões são reversados diariamente entre atividades de retirada de minério, estéril e rejeito, na lavra ficam fixos sempre três caminhões podendo aumentar até cinco dependendo das condições da mina, os outros dois caminhões ficam na retirada de estéril e retirada de rejeito da planta de beneficiamento.

Figura 15: Caminhão Volkswagen 6x4 constellation 31.390



Fonte: site da Volkswagen – disponível em <http://www.vw.com.br/pt.html>

Figura 16: Caminhão Mercedes-Benz 6x4 Axor 4144K



Fonte: site da Mercedes-Benz – disponível em <https://www.mercedes-benz.com.br/caminhoes/axor/axor-4144-basculante>

4.2.3. Simulação

Esta simulação será feita tendo o conjunto de uma escavadeira Volvo EC360B com concha de capacidade de 3,0 m³ e 3 caminhões com capacidade de 13 m³, para uma produção de 450.000 toneladas ano.

Como são trabalhadas 6,40 hora diárias e seis dias por semanas, temos 38,4 horas semanais multiplicado por 48 semanas, teremos 1.843,2 horas anuais de trabalho.

Para se produzir 450.000 toneladas em 1.843,2 horas será necessária uma produção de 245 t/h.

- Capacidade efetiva da concha

$$C_e = FE \times V \times DE$$

Tendo,

$$FE = 85\%$$

$$V = 3,0 \text{ m}^3$$

$$DE = 2,6$$

$$C_e = 0,85 \times 3,0 \times 2,6$$

$$C_e = 6,63 \text{ t}$$

- Capacidade efetiva do Caminhão

$$C_e = FE \times V \times DE$$

Tendo,

$$FE = 80\%$$

$$V = 13 \text{ m}^3$$

$$DE = 2,6$$

$$C_e = 0,75 \times 13 \times 2,6$$

$$C_e = 25,35 \text{ t}$$

- Número de Passes

$$N^{\circ} \text{ passes} = \frac{\text{capacidade do caminhão}}{\text{capacidade da concha da escavadeira}}$$

Tendo,

Capacidade do caminhão = 25,35 t

Capacidade da concha = 6,63 t

Assim,

$$N^{\circ} \text{ passes} = \frac{25,35}{6,63}$$

$$N^{\circ} \text{ passes} = 4,0$$

- Tempo de ciclo

Tabela 4 – Obtenção dos dados componentes do ciclo.

Componentes do ciclo	Fonte
(a) Tempo médio de viagem	Média de tempo obtido por observação
(b) Tempo ciclo carregamento	(e) + (f)
(c) N° Passes (Carregamento)	Cap. Caminhão ÷ Cap. concha da escav.
(d) Tempo de ciclo escavadeira	Média de tempo obtido por observação
(e) Tempo de carregamento	(c) × (d)
(f) Tempo de manobra	Média de tempo obtido por observação
(g) Tempo de basculamento	Média de tempo obtido por observação
(h) Tempo TOTAL do ciclo	(a) + (b) + (g)

Para o cálculo do tempo de ciclo precisou-se levantar os componentes que afeta e fazem parte do ciclo do processo de produção, presente na tabela 4, em seguida levantou os dados dos componentes de acordo como mostra a fonte presente na mesma, e assim possível obter o tempo total de ciclo de um caminhão, presente na tabela 5.

Tabela 5 – Obtenção dos dados componentes do ciclo.

Componentes do ciclo	Fontes
(a) Tempo médio de viagem	10,45 minutos
(b) Tempo ciclo carregamento	4,6 minutos
(c) N° Passes (Carregamento)	4
(d) Tempo de ciclo escavadeira	43 segundos
(e) Tempo de carregamento	3,6 minutos
(f) Tempo de manobra	1,6 minutos
(g) Tempo de basculamento	1,3 minutos
(h) Tempo TOTAL do ciclo	17 minutos

- Produção de um caminhão

$$Pc = \frac{60}{Tc} \times \text{Capacidade do caminhão}$$

Tendo,

$$Tc = 17 \text{ minutos}$$

$$Cc = 25,35 \text{ t}$$

Assim,

$$Pc = \frac{60}{17} \times 25,35$$

$$Pc = 89,5 \text{ t/h}$$

4.2.4. Números de caminhões

$$Nc = \frac{\text{Produção (t/h)}}{\text{Produção de um caminhão (t/h)}}$$

Temos,

$$\text{Produção} = 245 \text{ t/h}$$

$$\text{Prod. De um caminhão} = 89,5 \text{ t/h}$$

Assim,

$$Nc = \frac{245}{89,5}$$

$$Nc = 2,73$$

$$Nc = 3$$

4.2.5. Resultados

A configuração proposta na simulação de uma carregadeira e três caminhões atende a expectativa de produção para o ano de 2015 que será de 450.000 toneladas de minério, porém é recomendável a aquisição de um quarto caminhão para substituir eventuais manutenções e assim garantir a produção.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo apresentou um guia de dimensionamento de frota de carregamento e transporte e demonstrou através de um estudo de caso o dimensionamento de uma frota para uma mineração a céu aberto utilizando indicadores de produção. Dimensionamento este que foi o objetivo geral do trabalho, alcançado através da conclusão do dimensionamento da simulação do estudo de caso.

A partir do estudo na literatura atual foi apresentado o que se faz necessário para se obter uma boa seleção dos equipamentos.

O estudo de caso teve como objetivo verificar se seria necessário o aumento da frota de caminhões ou a configuração existente atenderia o aumento da produção.

Como resultado final visualizou-se que a configuração atual de uma escavadeira e três caminhões existente na empresa, atendem a expectativa de aumento da produção, mas por garantia se recomenda a aquisição de um quarto caminhão para atender as possíveis manutenções. Dessa maneira a empresa poderá atingir sua produção prevista para 2015 sem ter que aumentar sua frota, pois, ela conta com uma frota total de cinco caminhões.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAŞÇETİN, A.; ÖZTAŞ, O.; KANLI, A. İ. A new development software for equipment selection in mining engineering. South-African Institute of Mining and Metallurgy, South-Africa, p. 28 - 44, 2006.

BORGES, T. C. Análise dos custos operacionais de produção no dimensionamento de frotas de carregamento e transporte em mineração, p. 30 – 57, 2013.

BOZORGEBRAHIMI, E.; HALL, R. A.; BLACKWELL, G. H. "Sizing equipment for open pit mining – a review of critical parameters". Institute of Materials, Minerals and Mining in association with AusIMM. Canadá, v. 112, p. 112- 171. 2003.

CANTANHEDE S. S. Dimensionamento da capacidade ótima de produção em lavra pelo método de tiras. Universidade Federal de Goiás. Trabalho de Conclusão de Curso. 2013.

CATERPILLAR – (www.cat.com, data da visualização 05/12/2014).

COSTA, F. P. Aplicações de técnicas de otimização a problemas de planejamento operacional de lavra em minas a céu aberto. Ouro Preto: Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral. 2005. 140 p.

COSTA, F. P.; SOUZA, M. J. F.; PINTO, L. R. Um modelo de programação matemática para alocação estática de caminhões visando ao atendimento de metas de produção e qualidade. Revista Escola de Minas, v. 58, n.1, p. 77-81, 2005.

CURI, A. Entrevista realizada com o professor do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto em setembro de 2010.

GERMANY, D. J. A mineração no Brasil – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Rio de Janeiro, 2002.

GONTIJO, C. de B. L. M. Estudo de variáveis relevantes que interferem na seleção dos modelos de caminhões para transporte de minério. Programa de Especialização em Sistemas Mineiro-Metalúrgico. Monografia, UFOP, 2009.

JÚNIOR, W. T. S. Seleção de caminhões rodoviários para mineração utilizando a metodologia de auxílio multicritério à decisão. Estudo de caso: mineração de bauxita. Ouro preto, 2009.

KOPPE, J. Capítulo 1 - A lavra e a indústria mineral no Brasil-estado da arte e tendências tecnológicas, In: Fernandes, F.; Castilhos, Z.; Luz, A. B.; Matos, G.(eds.), Tendências - Brasil 2015 - Geociências e Tecnologia Mineral, Parte II - Tecnologia Mineral, CETEM-Centro de Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro 2007.

LOPES, J. R. Viabilização técnica e econômica da lavra contínua de minério de ferro com o uso de sistema de britagem móvel “in pit” auto-propelido. Ouro Preto: Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral. 2010. 105p.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. Metodologia do Trabalho Científico. São Paulo: Atlas, 2001. 185p.

MERCEDES-BENZ – (www.mercedes-benz.com.br, data de visualização 06/12/2014)

PINTO, L. R.; MERSCHMANN, L. H. C. Planejamento operacional de mina usando modelos matemáticos. Revista Escola de Minas, v. 54, n.3, 211-214. 2001.

PINTO, L. R.; SALIBY, E. SIMIN – Sistema para simulação a eventos discretos utilizando Borland Deplhi. III Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha, 1999.

QUEVEDO, J. M. G.; DIALLO, M.; LUSTOSA, L. J. Modelo de simulação para o sistema de carregamento e transporte em mina a céu aberto. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. 2009. 133 p.

RODRIGUES, L. F. Análise comparativa de metodologias utilizadas no despacho de caminhões em minas a céu aberto. Universidade Federal de Minas Gerais. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. 2006. 87p.

SILVA, V. C. e. Entrevista realizada com o professor do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto em outubro de 2010.

SMITH, D. Publicado em 1º de dezembro de 2008. Disponível em:

<<http://blogs.redding.com/dsmith/archives/2008/12/found-a-big-pie.html>>. Acessado em: 09/10/2014.