



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

ALEXANDRE GONÇALVES RIBEIRO

**DIMENSIONAMENTO DE FROTA: UM ESTUDO DE CASO EM UMA
EMPRESA MINERADORA**

**Juazeiro – BA
2017**

ALEXANDRE GONÇALVES RIBEIRO

**DIMENSIONAMENTO DE FROTA: UM ESTUDO DE CASO EM UMA
EMPRESA MINERADORA**

Trabalho apresentado à Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, Campus Juazeiro – BA, como requisito para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Paulo César Rodrigues de Lima Júnior

Juazeiro – BA

2017

R484d Ribeiro, Alexandre Gonçalves
Dimensionamento de frota: um estudo de caso em uma empresa
mineradora / Alexandre Gonçalves Ribeiro. -- Juazeiro, 2017.
xi, 78 f. : il. ; 29 cm.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de
Produção) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus
Juazeiro, Juazeiro - BA, 2017.

Orientador: Prof. Dr. Paulo César Rodrigues de Lima Júnior.

1. Logística. 2. Engenharia de produção. 3. Mineração. I. Título.
II. Lima Júnior, Paulo César Rodrigues de .III. Universidade Federal
do Vale do São Francisco
CDD 658.78

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas da UNIVASF.
Bibliotecária: Luciana Oliveira CRB4/2178.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

FOLHA DE APROVAÇÃO
Para TCC

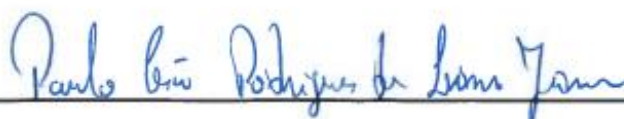
ALEXANDRE GONÇALVES RIBEIRO

DIMENSIONAMENTO DE FROTA: UM ESTUDO DE CASO EM UMA
EMPRESA MINERADORA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção, pela Universidade Federal do Vale do São Francisco.

Aprovado em: 22 de Dezembro de 2017.

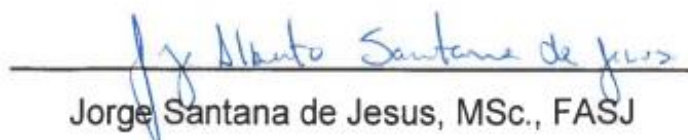
Banca Examinadora



Paulo César Rodrigues de Lima Júnior, DSc., UNIVASF



Fabiana Gomes dos Passos, MSc., UNIVASF



Jorge Santana de Jesus, MSc., FASJ

RESUMO

Este trabalho de monografia tem como objetivo, através de um estudo de caso, a aplicação de uma metodologia de dimensionamento de frota que utiliza informações operacionais para as operações de carregamento e transporte que compreendem as atividades unitárias de uma mina a céu aberto. Inicialmente foi realizada uma pesquisa de campo para a coleta dos dados necessários para o processamento das informações. Logo em seguida, com o auxílio do software Microsoft Excel, foi desenvolvida a planilha e feita a inserção dos dados possibilitando determinar a quantidade de equipamentos necessária para o atendimento das metas de produção planejadas, apresentando como resultado duas escavadeiras e nove caminhões para os próximos três anos. O estudo foi realizado em uma empresa terceirizada que contempla todas as atividades unitárias na lavra a céu aberto, onde possibilitou analisar o comportamento dos custos para vários cenários de capacidades de produção, como também demonstrou três anos como a idade mais economicamente adequada para a renovação de sua frota de caminhões. A metodologia se mostrou consistente à realidade das operações e desta forma os resultados se mostraram como um método de análise na reavaliação do valor de contrato conforme a empresa contratante modifique suas metas, pois possibilita a visualização dos custos unitários com a variação do volume das massas a movimentar.

Palavras-chave: Mina a Céu Aberto. Carregamento e Transporte. Dimensionamento de Frota. Custos. Renovação de frota.

ABSTRACT

This work of monograph has as objective, through a case study, the application of a methodology of sizing of fleet that uses operational information for the operations of loading and transportation that comprise the unit activities of an open pit mine. Initially, a field survey was carried out to collect the data needed to process the information. Afterwards, with the help of Microsoft Excel software, the spreadsheet was developed and inserted into the data, allowing the determination of the quantity of equipment required to meet the planned production targets, resulting in two excavators and nine trucks for the next three years. The study was carried out in an outsourced company that contemplates all the unitary activities in opencast mining, where it was possible to analyze the behavior of costs for several scenarios of production capacities, as well as demonstrated three years as the most economically appropriate age for the renovation of their fleet of trucks. The methodology proved to be consistent with the reality of the operations and thus the results were shown as a method of analysis in the reevaluation of the contract value as the contracting company modifies its goals, since it allows the visualization of the unit costs with the variation of the volume of the masses to move.

Key-words: Open pit mine. Loading and transportation. Sizing fleet. Costs. Fleet renewal.

Lista de Quadros

Quadro 1 - Ciclo de operações de uma mina a céu aberto genérica	18
--	----

Lista de Figuras

Figura 1: Distribuição dos custos da lavra convencional por caminhões	4
Figura 2: Atividades primárias e de apoio.....	7
Figura 3: Variação (%) do volume trimestral do PIB do Brasil – Acumulado em 12 meses - Quarto trimestre de 2010 a terceiro trimestre de 2016	9
Figura 4: Variação dos custos do veículo ao longo do tempo	13
Figura 5: Cotação (US\$/t) – Níquel, Cobre, Zinco – 2012 a Set/2017.....	15
Figura 6: Estimativas de mercado Banco Mundial	16
Figura 7: Operações unitárias	18
Figura 8: Ciclo de carregamento e transporte.....	24
Figura 9: Escavadeira hidráulica Shovel 6090.....	25
Figura 10: Escavadeira Hidráulica caterpillar 6015B.....	25
Figura 11: Carregamento e transporte por caminhões	26
Figura 12: Caminhão basculante comum com capacidade de carga de 35 toneladas	27
Figura 13: Caminhão articulado com capacidade de carga de 43 toneladas	27
Figura 14: Caminhão “off-road” com capacidade de carga de 363 toneladas.....	27
Figura 15: Fluxograma do delineamento da pesquisa	42
Figura 16: Mina a céu aberto.....	45
Figura 17: Plano de lavra - Sequenciamento	46
Figura 18: Ilustração de parâmetros que definem uma cava	48
Figura 19: Escavadeira CAT 320D2 GC	49
Figura 20: Caminhão Scania P420	49
Figura 21: Custos para 2018	59
Figura 22: Custos para 2019	59
Figura 23: Custos para 2020	59
Figura 24: Variação dos custos com o aumento da capacidade (2018).....	67

Lista de Tabelas

Tabela 1: Valores referentes ao material e sua movimentação	47
Tabela 2: Parâmetros do projeto de cava	48
Tabela 3: Informações para os caminhões	50
Tabela 4: Informações para as escavadeiras	50
Tabela 5: Informações sobre a produtividade dos equipamentos de carregamento.....	51
Tabela 6: Informações sobre a produtividade dos equipamentos de transporte	51
Tabela 7: Tempos de ciclo de carregamento e transporte.....	52
Tabela 8: Taxa horária nominal dos equipamentos	53
Tabela 9: Dimensionamento de caminhões e escavadeiras	55
Tabela 10: Capacidade ociosa dos caminhões	56
Tabela 11: Capacidade ociosa das escavadeiras.....	56
Tabela 12: Custos com materiais e peças de reposição por equipamento	58
Tabela 13: Desvalorização média anual.....	61
Tabela 14: Custo financeiro médio anual	62
Tabela 15: Custo anual médio de manutenção	62
Tabela 16: Soma dos custos.....	63
Tabela 17: Custo de capital com correção monetária	64
Tabela 18: Custo de manutenção com correção monetária	64
Tabela 19: Comportamento dos custos com a variação da capacidade (2018)	66
Tabela 20: Estimativa da massa transportada por um caminhão com o passar dos anos	68
Tabela 21: Idade para substituição da frota de transporte.....	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- BRICS – Brasil, Rússia, Índia, China e South Africa
- CBPM – Companhia Baiana de Pesquisa Mineral
- CNT – Confederação Nacional do Transporte
- COFEM – Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais
- COFINS – Contribuição para Financiamento da Seguridade Social
- CSLL – Contribuição Social sobre Lucro Líquido
- DMT – Distância Média de Transporte
- DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral
- FGTS – Fundo de Garantia do Tempo de Serviço
- GCS – Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração
- ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços
- INPC – Índice Nacional de Preços ao Consumidor
- INSS – Instituto Nacional do Seguro Social
- IRPJ – Imposto de Renda de Pessoa Jurídica
- LME – London Metal Exchange
- OEE – Overall Equipment Efficiency
- PIB – Produto Interno Bruto
- PIS – Programa de Integração Social
- ROM – Run Of Mine
- SCM – Supply Chain Management

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	OBJETIVOS	2
1.1.1	Objetivo Geral	2
1.1.2	Objetivos Específicos.....	3
1.2	JUSTIFICATIVA	3
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	6
2.1	Logística	6
2.1.1	Transportes.....	8
2.2	Mineração.....	14
2.2.1	Lavra em minas a céu aberto.....	17
2.2.2	Planejamento de lavra	20
2.2.3	Custos Operacionais.....	21
2.2.4	Operações de Carregamento e Transporte em Lavra a Céu Aberto.....	24
2.2.5	Seleção de Equipamentos	28
2.3	Manutenção de Equipamentos	29
2.3.1	Manutenção de Operação.....	29
2.3.2	Manutenção Preventiva.....	30
2.3.3	Manutenção Corretiva.....	30
2.3.4	Manutenção Preditiva	31
2.4	Métodos de Custeio	31
2.4.1	Custeio por Absorção.....	32
2.4.2	Custeio Variável	32
2.4.3	Custeio Baseado em Atividades (<i>Activity Based Costing – ABC</i>)	33
2.5	Projeto de Frota para Mineração	34
2.5.1	Indicadores de Produtividade.....	34
3	METODOLOGIA.....	40
3.1	Finalidade da pesquisa	40
3.2	Tipologia da pesquisa	40
3.3	Delineamento da pesquisa.....	41
3.4	Variáveis da pesquisa	43
4	DIMENSIONAMENTO DE FROTA: UM ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA MINERADORA.....	44
4.1	A empresa	44
4.2	A mina.....	44
4.3	Plano de Lavra	45

4.4 Operações de carregamento e transporte.....	47
4.5 Informações operacionais	50
4.6 Estimativa do ciclo e produtividade dos equipamentos.....	52
4.7 Dimensionamento dos equipamentos.....	53
4.8 Custos das Operações.....	57
4.9 Renovação de frota	60
5 RESULTADOS.....	66
6 CONCLUSÃO	70
REFERÊNCIAS	72
Anexo 1.....	77
Anexo 2.....	78

1 INTRODUÇÃO

A busca por redução de custos e aumento de produtividade aliada à exigência do mercado competitivo, frente à necessidade de adequação à crise econômica que a indústria de bens minerais enfrenta atualmente, propicia para a contínua busca por ferramentas e alternativas que auxiliem o planejamento operacional de lavra¹ à melhor tomada de decisão tendo em vista o melhoramento contínuo de seus processos (BORGES, 2013). Segundo Pantuza Jr (2009), essa melhoria é atingida com um planejamento e controle da produção eficiente em nível de alcançar a otimização de seus recursos físicos e humanos com o intuito de garantir um maior índice de qualidade, agilidade e menor preço do serviço prestado.

Pantuza Jr (2009) ainda afirma que os esforços voltados para o bom gerenciamento de equipamentos de carga e transporte estão direcionados às metas de qualidade e produção preestabelecidas pela empresa e considerando as determinadas restrições.

As metas de produção devem atender as restrições de capacidade do sistema, como também dentro do planejamento de lavra estão as mais importantes atividades relacionadas à previsão de demanda, análise de orçamentos e escala de produção (RODOVALHO, 2013).

O atendimento das metas é importante, pois uma produção superior à requerida pode causar transtornos quanto à falta de local para estoque de material e custos adicionais com manuseio, porém uma produção inferior acarretará em uma redução na taxa de utilização dos equipamentos da mina e usina de beneficiamento, além das multas contratuais pelo não atendimento da meta (COSTA et al., 2005).

Para que o atendimento das metas seja cada vez mais preciso, a indústria de mineração vem recebendo nos últimos anos a introdução de novas tecnologias computacionais, como diversos softwares de planejamento de lavra, avaliação geoestatística de depósitos, algoritmos de otimização de cava, dimensionamento de frotas entre outros. O desenvolvimento e implementação dessas tecnologias foram impulsionados pela atratividade dos preços das commodities juntamente com a

¹ Entende-se por lavra, o conjunto de operações coordenadas objetivando o aproveitamento industrial da jazida, desde a extração de substâncias minerais úteis que contiver, até o beneficiamento das mesmas (DNPM, 2017).

expansão da economia dos países emergentes e vem contribuindo para a diminuição dos desperdícios, aumento da produtividade e redução dos custos (KOPPE, 2007).

Por outro lado a crescente competitividade das empresas do ramo minerador fortalece a busca por novas tecnologias de lavra que resultem na redução de seus custos operacionais, onde em operações de extração o transporte por caminhões envolve a maior parte dos custos (LOPES, 2010).

Os custos (de capital ou de operação) envolvidos com uma frota de equipamentos de lavra representam, quase sempre, uma parcela considerável dos custos de uma mina, de modo que torna o dimensionamento otimizado dos mesmos assunto de relevante importância (BORGES, 2013).

Ainda conforme Borges (2013) uma maneira de se atingir um correto dimensionamento de frota, mais especificamente equipamentos de carregamento e transporte, é a estimativa da capacidade de produção utilizando indicadores de produtividade. Estes indicadores, se utilizados corretamente, podem, assim como simulação computacional, estimar e comparar diferentes cenários de produção e custos selecionando aquela alternativa que maximize os resultados da empresa.

Perante o contexto discorrido tem como ponto de partida para o estudo de caso a seguinte questão: Como dimensionar uma frota de equipamentos de carregamento e transporte por caminhões, que compreendem as operações unitárias de lavra em minas a céu aberto, observando as informações operacionais?

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar uma metodologia para o dimensionamento de uma frota de carregamento e transporte de minério/estéril em uma mina a céu aberto levando em consideração suas informações operacionais e possibilitando a contribuição para o atendimento da produção planejada e redução dos custos, servindo desta forma como base de auxílio à melhor tomada de decisão.

1.1.2 Objetivos Específicos

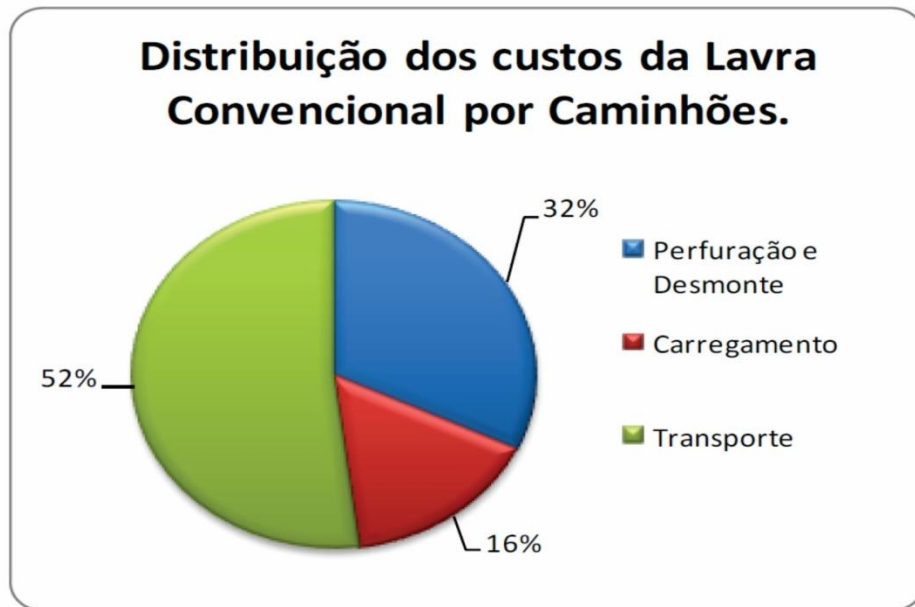
- Fazer uma análise do contexto sobre dimensionamento de frota e dos principais aspectos que envolvem a seleção de equipamentos de carregamento e transporte em lavra de minas a céu aberto;
- Destacar as informações operacionais que envolvem as atividades de carregamento e transporte, que serão as variáveis de entrada no dimensionamento da frota;
- Elaborar um estudo de caso para a obtenção do dimensionamento da frota de carregamento e transporte que possibilite a melhoria dos resultados da empresa e demonstre a variação dos custos unitários com mudanças na capacidade de produção, com o auxílio de planilha eletrônica para a resolução de cálculos.

1.2 JUSTIFICATIVA

O crescimento da indústria extrativa mineral nas últimas décadas, vem impulsionado à busca pelo melhor aproveitamento dos recursos minerais com a maximização da recuperação dos bens minerais lavrados e beneficiamento mineral, da mesma forma necessita utilizar, de forma mais eficiente possível, seus recursos (pessoas, máquinas e tecnologias) com o objetivo de buscar novas oportunidades e alcançar o aumento da produtividade e redução dos custos resultando desta forma em benefícios econômicos (SCHÄFER, 2012).

Segundo Trueman (2001) apud Lopes (2010) a composição dos custos das atividades unitárias em grande parte das minas que operam pelo método convencional de lavra por caminhões está dividida basicamente em: 32% perfuração e desmonte, 16% carregamento, e 52% com transporte por caminhões (Figura 1). Desta forma as duas últimas atividades totalizam 68% dos custos, o que justifica um estudo de dimensionamento dos equipamentos de carregamento e transporte levando em consideração a redução dos custos operacionais e aumento de produção.

Figura 1: Distribuição dos custos da lavra convencional por caminhões



Fonte: Trueman (2001) apud Lopes (2010)

Souza (2014) elaborou um projeto como um guia de orientação para o dimensionamento de uma frota de carregamento e transporte em minas a céu aberto, pondo em destaque que através dos custos envolvidos na operação o projeto se faz necessário. Pois um bom dimensionamento da frota reduzirá os custos, aumentará a produção e lucro da empresa.

Bernardi (2015), através da mesma ideia de Souza (2014), dimensionou os equipamentos envolvidos nas operações unitárias (perfuração, desmonte, carregamento e transporte) de uma mina a céu aberto, em função de parâmetros como os custos gerados e o volume de produção.

Cabe explicar que na literatura encontra-se varias obras relacionadas ao dimensionamento de frotas em ambiente urbano por diversos modelos, mas para uma operação de carregamento e transporte de uma mina a céu aberto são poucos os trabalhos e métodos.

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.

Conforme a ABEPRO (2008) o dimensionamento de frotas é um problema que utiliza informações advindas das áreas da engenharia de produção como a pesquisa operacional e a logística.

Ainda conforme a ABEPRO (2008) a pesquisa operacional esta envolvida com a resolução de problemas reais envolvendo situações de tomada de decisão, através de modelos matemáticos habitualmente processados computacionalmente. Enquanto a logística engloba técnicas para o tratamento das principais questões envolvendo o transporte, a movimentação, o estoque e o armazenamento de insumos e produtos, visando a redução de custos, a garantia da disponibilidade do produto, bem como o atendimento dos níveis de exigências dos clientes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Logística

O conceito de logística surgiu com as operações militares, durante a segunda guerra mundial, quando os generais ao decidir avançar com suas tropas, seguindo uma determinada estratégia militar, precisavam ter sob suas ordens uma equipe que providenciasse o deslocamento, na hora certa, de munição, víveres, equipamentos e socorro médico para o campo de batalha. Desde esse momento até os tempos atuais, a logística apresentou evolução continuada, sendo hoje considerada como um dos elementos-chave na estratégia competitiva das empresas, sendo hoje a espinha dorsal da cadeia produtiva integrada, buscando sempre atuar de acordo com os conceitos de SCM – Supply Chain Management (Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos) (NOVAES, 2004).

Novaes (2004) através do Council of Logistics Management define logística como o processo de planejar, implementar e controlar de maneira eficiente o fluxo e a armazenagem de produtos, bem como os serviços e informações associados, cobrindo desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o objetivo de atender aos requisitos do consumidor.

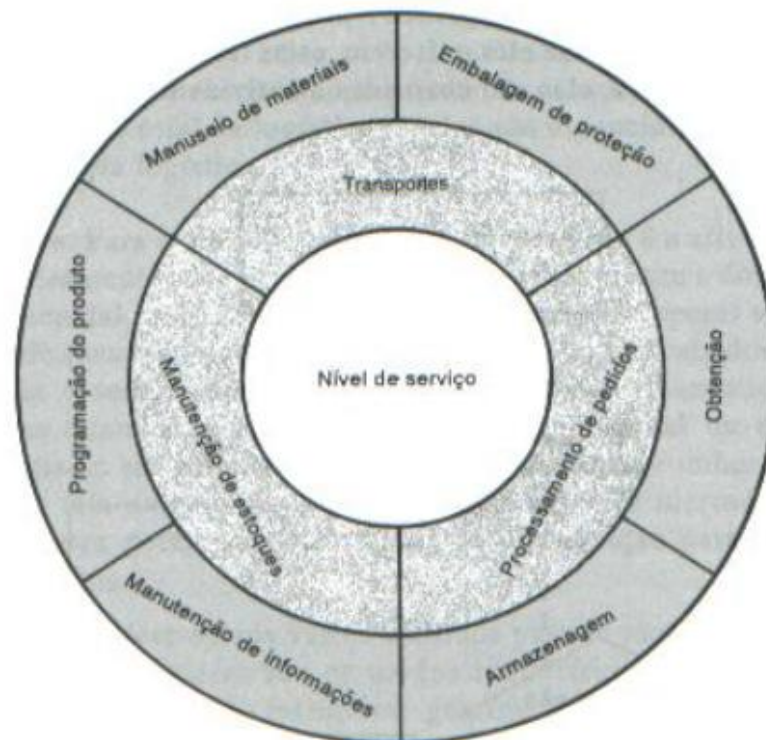
Contudo para Ballou (2006) essa definição implica em que a logística é parte do processo da cadeia de suprimentos, e não do processo inteiro. O gerenciamento da cadeia de suprimentos (GCS) é um termo atual e capta a essência da logística integrada e inclusive a ultrapassa, destacando as interações logísticas que ocorrem entre as funções de marketing, logística e produção no âmbito de uma empresa, e dessas mesmas interações entre as empresas legalmente separadas no âmbito do canal de fluxo de produtos.

Apesar de haver várias definições de logística empresarial e GCS presentes na literatura, Ballou (2006) destaca que, em número muito grande de aspectos, as duas têm missão idêntica: Colocar os produtos certos no lugar certo, no momento certo, e nas condições desejadas, dando ao mesmo tempo a melhor contribuição possível para a empresa.

A logística compreende desde o fornecimento da matéria-prima até o consumo, abrangendo o gerenciamento das compras, operações de produção e

transformação, controle de materiais e processos, embalagem, armazenagem e manuseio, a distribuição e o sistema de transportes (Figura 2). Com essa visão podemos separar a logística empresarial em atividades primárias (transporte, manutenção de estoques e processamento de pedidos), as quais possuem fundamental importância na redução de custos e aumento no nível de serviços, e as atividades de apoio (armazenagem, manuseio de materiais, embalagem e sistemas de informação) que dão suporte às atividades primárias na busca pela satisfação e manutenção dos clientes, além de maximizar a riqueza dos proprietários, integrando assim, a logística interna da organização (ZAGO & BIANCHI, 2005).

Figura 2: Atividades primárias e de apoio



Fonte: Ballou (2007)

Para Ballou (2006) o transporte e a manutenção dos estoques são as atividades logísticas primárias na absorção dos custos. Sendo que cada um deles representará entre metade e dois terços dos custos logísticos totais. O transporte agrega valor de lugar aos produtos e serviços, enquanto a manutenção de estoques agrega-lhes valor de tempo.

O transporte é essencial pelo fato de não haver empresa moderna capaz de operar sem adotar as providências necessárias para a movimentação de suas matérias-primas ou produtos acabados (BALLOU, 2006).

2.1.1 Transportes

O transporte normalmente representa o elemento mais importante em termos de custos logísticos para inúmeras empresas. A movimentação de cargas absorve de um a dois terços dos custos logísticos totais (BALLOU, 2006). Desta maneira, um bom planejamento para o transporte de cargas, é de grande importância para o desempenho do sistema logístico (BARTH & MICHEL, 2012).

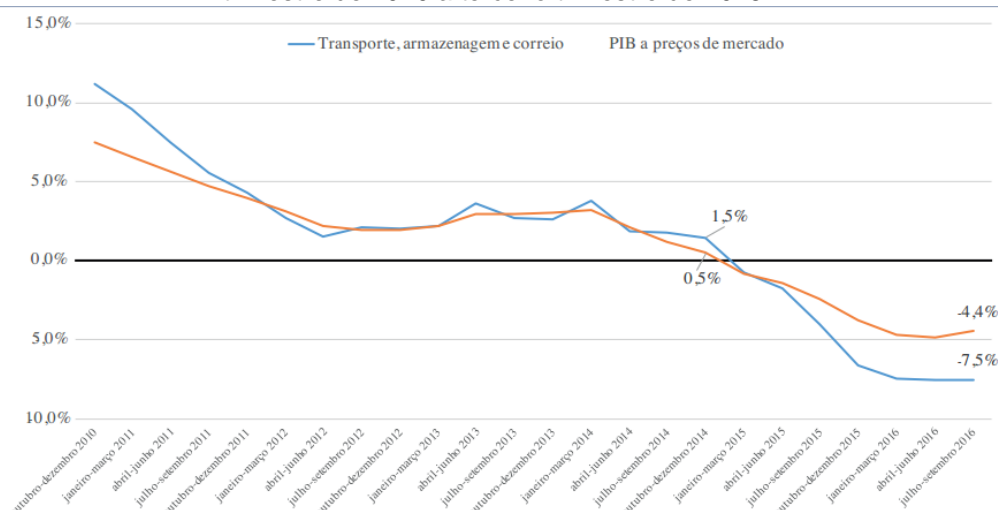
Muitas indústrias de diversos ramos veem no setor de transportes uma estratégia para se diferenciar dos concorrentes, seja com a utilização de uma frota própria ou terceirizando a atividade. Quando o serviço for realizado de maneira eficiente e com qualidade, atendendo os prazos de entrega, as indústrias tem uma imagem qualificada em relação a seus clientes finais (BARTH & MICHEL, 2012).

Por outro lado, o sistema de transporte rodoviário brasileiro, tendo em vista a movimentação de cargas, tem uma estrutura respeitável sendo responsável pelo escoamento, que vai desde safras inteiras da agricultura até simples encomendas. Estrutura essa considerada maior que a da maioria dos outros países, representando 7,5% do nosso produto interno bruto (PIB), ou seja, 30 bilhões de dólares por ano (VALENTE et. al., 2014).

A CNT (Confederação Nacional do Transporte) ressalta que o resultado do PIB brasileiro é importante para os transportadores, porque o setor atua em todas as fases de produção de bens e serviços, seja no deslocamento de cargas ou na movimentação de pessoas. A economia brasileira vem se retraindo desde o início de 2015 até o fim de 2016 sem alguma reação contrária, tendo uma expectativa de retomada de crescimento somente a partir de 2018 (de acordo com a Sondagem Expectativas do Transporte 2016). (CNT, 2016).

O transporte e a logística possuem uma trajetória de variação muito similar à do PIB nacional com característica de extrapolar sua variação em extremos. Podemos observar essa variação nos últimos anos exposta no gráfico da Figura 3 (CNT, 2016).

Figura 3: Variação (%) do volume trimestral do PIB do Brasil – Acumulado em 12 meses - Quarto trimestre de 2010 a terceiro trimestre de 2016



Fonte: CNT (2016) com dados do IBGE

Ainda conforme a CNT em 2015 o setor de transporte de cargas por rodovias caiu 4,6%, enquanto o PIB teve uma retração de 3,1%. Essa discrepância entre o modal e o PIB nacional, quer dizer que, se o PIB cresce, o transporte rodoviário aumenta mais e quando a economia decresce, os números no setor caem mais. O que justifica esse comportamento são as deficiências na infraestrutura rodoviária. Quando a economia vinha crescendo, o ferroviário e o aquaviário operavam no limite da capacidade, direcionando a carga remanescente para os caminhões, o que potencializou os resultados no segmento. Porém, quando a atividade econômica ficou negativa, o transporte por rodovias ficou em déficit em relação aos outros modais (CNT, 2016).

O transporte rodoviário de cargas no Brasil é o principal meio e desempenha um papel vital para a economia e o bem-estar da nação. Sabe-se que por essa importância há uma busca constante de eficiência e de melhoria no nível dos serviços oferecidos, o que implica na absorção de novas tecnologias e novos procedimentos. Portanto destaca-se a importância de um bom planejamento e uma boa gestão da frota, iniciando pelo bom dimensionamento juntamente com a correta estimativa para renovação da mesma (VALENTE et. al., 2014).

2.1.1.1 Dimensionamento de Frota

Conforme Valente et. al. (2014) a operação de frotas está diretamente ligada ao planejamento de tráfego das empresas, que na atualidade vem sendo, cada vez mais contemplada com a profissionalização das atividades. Nesse setor são

tomadas decisões de como os equipamentos irão operar e como os operadores vão trabalhar. Além dos aspectos referentes ao planejamento e à programação dos serviços, outra tarefa importante atribuída a esse setor é o controle dessa operação.

Os problemas a serem solucionados no planejamento e programação da operação são considerados de grande complexidade e envolvem questões relacionadas, por exemplo, a roteirização, dimensionamento de frota e programação dos operadores dos equipamentos. Tudo correspondendo à racionalização, economia e segurança, prazos de entrega, legislação trabalhista, tabela de horários, frota disponível, entre outros (VALENTE et. al., 2014).

Ainda conforme Valente et. al. (2014) quando se quer solucionar esses problemas, muitos procedimentos e técnicas já se encontram presentes na literatura e muitos já são utilizados no cotidiano. Recentemente, têm surgido também diversos equipamentos, programas e algoritmos computacionais capazes de auxiliar na busca de melhores soluções para a operação de frotas. Esses recursos contribuem para encontrar alternativas mais econômicas, de modo a preservar a saúde e a competitividade das empresas.

Em uma forma geral, para o dimensionamento de frotas, podemos citar alguns desses trabalhos presentes na literatura:

- Stringher (2004) desenvolveu um modelo de dimensionamento de frota com base no tempo de ciclo do veículo, visando à minimização dos custos de transporte numa rede de distribuição formada por fábricas, centros de distribuição e clientes. Com a utilização de uma frota homogênea dedicada. O trabalho foi realizado como um estudo de caso que para a obtenção do dimensionamento de frota foram consideradas três bases de cálculo: Do tempo de ciclo, da produtividade de cada rota e da quantidade de veículos necessários.

Tempo de ciclo - Tempo que se contempla a realização de cada rota (ida e volta):

$$T_{Ciclo} = T_{Carregamento_ida} + T_{Viagem_ida} + T_{Descarga_ida} + T_{Carregamento_volta} + T_{Viagem_volta} + T_{Descarga_volta} + T_{Esperas} \quad \text{Eq. (1)}$$

Produtividade de cada rota – Dada pela divisão do tempo disponível pelo tempo de ciclo:

$$P_{Rota} = T_{Disponível} \div T_{Ciclo} \quad \text{Eq. (2)}$$

Calculo da quantidade de veículos – É a razão do número de viagens a serem realizadas por mês pela produtividade em cada rota:

$$N_{Veiculos} = N_{Viagens} \div P_{Rota} \quad \text{Eq. (3)}$$

Para a conclusão do dimensionamento foram analisadas as rotas financeiramente mais viáveis, através da modelagem de um custeador de caminhos.

- Seixas e Widmer (1993) desenvolveram um método que auxiliasse na racionalização da escolha de uma frota de veículos rodoviários para o transporte principal de madeira utilizando programação linear não inteira. Neste caso a situação envolve uma situação de diversas origens e um só destino, onde se analisam diversas opções de veículos, desempenhos, tempos terminais de carga e descarga, comprimento de vias, entre outros. Desta forma se tem como função objetivo (F.O.), procurando determinar um ótimo em termos da localização da frota de veículos, que permita a realização do transporte principal de madeira ao menor custo possível.

$$F.O. = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^o C_{IJK} \times X_{IJK} \quad \text{Eq. (4)}$$

Onde,

m = Nós do tipo F (fonte produtora) + Nós do tipo B (pátio intermediário)

n = Nós do tipo B (pátio intermediário) + Nós do tipo D (destino)

o = Tipo de veículo

C_{IJK} = Custo de toda a madeira transportada na rota $i - j$ por meio do veículo do tipo k , no período de tempo T

X_{IJK} = Número de veículos do tipo k , alocados para transporte de madeira na rota $i - j$.

A função objetivo está sujeita às restrições:

1. Condição de incompatibilidade do veículo k com uma rota $i - j$:

$$X_{IJK} = X_{IJK} \times V_{IJK} \quad \text{Eq.(5)}$$

Onde $V_{ijk} = \{0,1\}$

$\forall i-j$

2. Condição de transportar toda a madeira de cada fazenda (F) no período considerado:

$$\sum_{k=1}^0 TT_{IJK} \times X_{IJK} \geq Q^F \quad \text{Eq.(6)}$$

total de madeira a ser transportada no período a partir da fonte F.

$\forall_i = F$; e $\forall_j = D$ ou B e

TT_{IJK} = Total de madeira (t) transportada de i para j, por um veículo do tipo k no período de tempo T.

$$TT_{IJK} = CC_K \times NV_{IJK} \quad \text{Eq.(7)}$$

CC_K = Capacidade de carga do veículo k

NV_{IJK} = Número de viagens de 1 veículo k no período T, na rota i-j.

3. Condição de garantir continuidade no transporte no caso da ocorrência de baldeio:

$$\sum_{K=1}^0 T T_{IJK} \times X_{IJK} - \sum_{K=1}^0 T T_{IJK} \times X_{IJK} = 0 \quad \text{Eq.(8)}$$

$\forall i = F$

$\forall i = B$

e

e

$\forall j = B$

$\forall j = D$

4. Condição de existirem veículos do tipo k suficientes:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{IJK} < N_K \quad \text{Eq.(9)}$$

Total de veículos do tipo k disponíveis para o transporte de madeira no período.

$\forall K$

Existe uma grande variedade de modelos de dimensionamento de frotas para várias situações. Porém, de uma forma geral, a maioria dos estudos tem objetivos em comum, como afirma Rocha (2001), que o planejamento da frota é um processo de gerenciamento complexo que visa o ajuste do dimensionamento de uma frota que seja adequada ao atendimento a uma determinada demanda a um custo efetivo, e

muitas vezes envolvem decisões sobre conflitos de interesse (trade-offs) de curto e longo prazo, devendo estar, portanto, alinhado à política e estratégia estabelecida pela empresa.

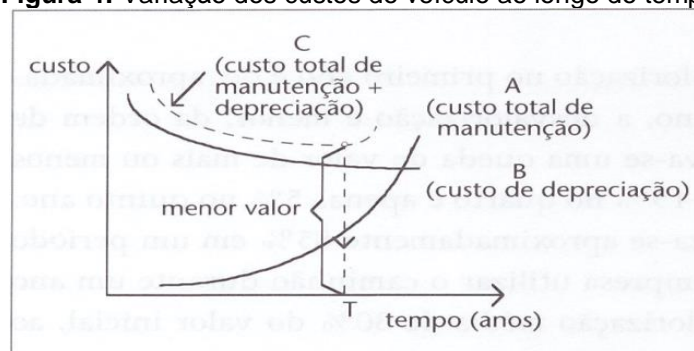
Quando o assunto é a indústria mineira um método largamente utilizado para o dimensionamento de frotas é a estimativa da capacidade de produção através dos indicadores de produção específicos de um determinado processo e/ou operação, para o cumprimento de um determinado volume de produção. Através destes indicadores pode-se estimar e comparar diferentes cenários, com diferentes composições de produção e custos, selecionando aquela que maximize os resultados da empresa. Desta forma tem-se que o principal trade-off está na busca pela melhor relação custo produção (BORGES, 2013).

2.1.1.2 Renovação de Frota

Conforme Valente et. al. (2014) veículos e equipamentos (mais especificamente caminhões) desgastam-se com o uso exigindo a substituição após certo tempo em operação. A renovação desses bens se dá em função do uso e do desgaste mecânico, tendo como fator principal as considerações econômicas relacionadas ao desgaste natural e ao uso intensivo do bem.

Durante o início da vida útil de um equipamento os custos de manutenção são relativamente baixos, cobrindo basicamente as revisões rotineiras e a substituição de componentes como pneus, lonas de freio entre outros. A partir de certa idade, esses custos vão aumentando com o passar do tempo, de forma crescente, devido a desgastes mecânicos, falhas elétricas, defeitos na estrutura do chassi e báscula, entre outros. Como se pode notar a curva “A” do comportamento desses custos com o passar dos anos, na Figura 4 (VALENTE et. al., 2014).

Figura 4: Variação dos custos do veículo ao longo do tempo



Fonte: Valente (2014)

A curva “B” representa o custo de depreciação, que em suma está relacionado ao preço inicial do veículo novo, ou seja, quanto maior for o valor do bem maior será o valor da depreciação. A variação desse custo está diretamente ligada ao tempo de uso do equipamento, isto é, quanto maior for o tempo o valor do veículo se diluirá ainda mais. Desta forma, o valor mensal da depreciação tende a cair com a idade do veículo (VALENTE et. al., 2014).

A soma das curvas “A” e “B” resulta na curva “C”, que através dela existe um ponto economicamente ótimo em determinado período de tempo “T”, onde o custo será o mínimo. Então se considera o tempo “T” como a melhor época para a substituição do bem. A partir desse ponto a curva dos custos tende a aumentar e a produtividade do veículo tende a cair, logo o mesmo terá mais paradas para manutenção (VALENTE et. al., 2014).

2.2 Mineração

A mineração é o processo de extração de minerais ou compostos minerais para usufruo da humanidade. Em sentido global o setor se caracteriza por indústria primária sendo que os bens são extraídos da crosta terrestre como matéria-prima para as indústrias secundárias. Com o crescimento da população concomitante com a urbanização os produtos desse setor vêm sendo cada vez mais demandados. Como podemos destacar países emergentes como os BRICs (Brasil, Rússia, Índia e China), que os tornam grandes impulsionadores da mineração mundial (FERREIRA, 2013).

Conforme o IBRAM (Instituto Brasileiro de Mineração) os empreendimentos mineiros respondem por boa parte do crescimento do PIB de um país, possibilitando investimentos em infraestrutura, em desenvolvimento de tecnologia e no aprimoramento da qualificação profissional (IBRAM, 2012). O Brasil, por sua vez, conquistou posição de destaque no cenário global, tanto em reservas como em produção mineral, no ano de 2014 atingiu US\$ 40 bilhões, o que representou cerca de 5% do PIB industrial do país (IBRAM, 2015).

Por outro lado no ano de 2015 o Brasil enfrentou muitas adversidades resultantes da crise econômica e política que o país vem sofrendo, gerando um

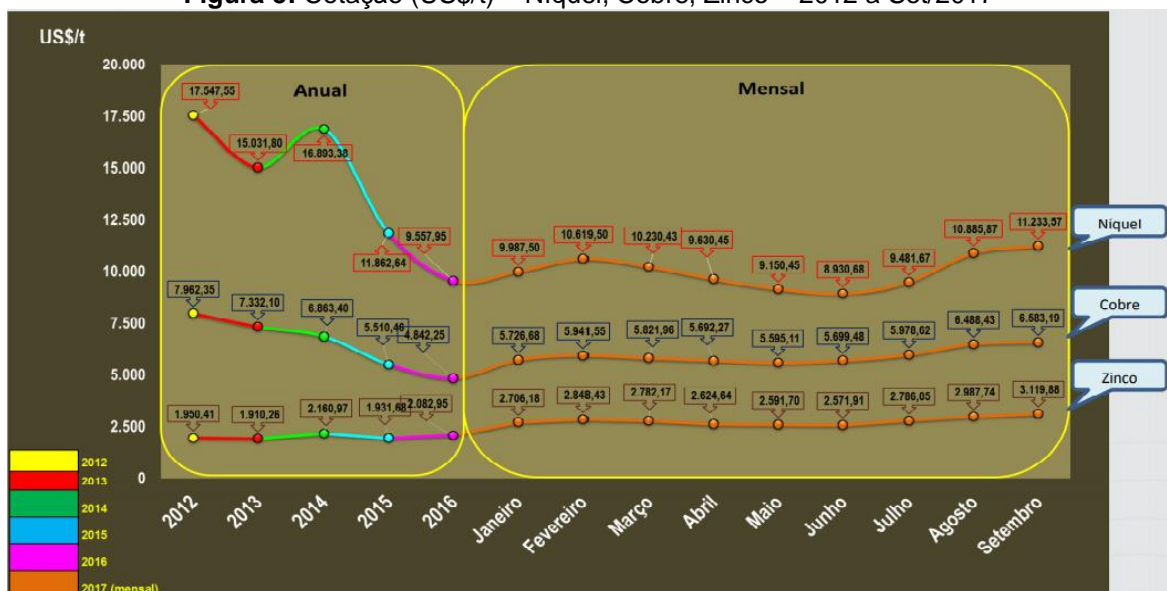
cenário de grandes incertezas. Segundo a companhia baiana de pesquisa mineral, CBPM (2015) através de dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), a estimativa do PIB brasileiro foi revisada de -2,7% para -3,6%, com a indústria retrocedendo 6,2%. A indústria extrativa os resultados foram de -1,6%.

O recuo da indústria mineira teve como principais fatores o desastre ambiental em Mariana – MG, a greve dos petroleiros e a queda nos preços das commodities, que impactaram diretamente no enfraquecimento das taxas de câmbio do país. O ultimo fator supracitado é consequência do arrefecimento da economia mundial, pondo destaque na China como maior consumidor de cobre do mundo (45% da demanda global) (CBPM, 2015).

Durante o ano de 2015 o preço das commodities minerais sofreu uma desvalorização significativa se comparado a 2014. Conforme a LME (London Metal Exchange) essa queda nos preços foi na base de 32,14% em relação ao ano anterior. A queda nos preços do níquel e cobre produziram resultados negativos na exploração desses bens minerais, afetando significativamente as finanças das mineradoras que exploram esses bens no estado da Bahia (CBPM, 2015).

A CBPM (2017) esboça o histórico das cotações de algumas das principais commodities minerais (em dólares por tonelada) extraídas no Brasil de 2012 a 2016 com valores anuais e o ano de 2017 esboçado mensalmente. como: Níquel, cobre e zinco. Como ilustra a Figura 5.

Figura 5: Cotação (US\$/t) – Níquel, Cobre, Zinco – 2012 a Set/2017



Fonte: CBPM (2017) com dados do LME

Como se pode analisar, os últimos índices para esses minerais são de recuperação e retomada de crescimento. A partir de janeiro de 2017 até setembro do mesmo ano, houve o crescimento de valores na base de 15,29% (Zinco), 14,95% (Cobre) e 12,47% (Níquel).

A CBPM (2017) através do Banco Mundial, ainda demonstra algumas perspectivas de preços de mercado para alguns bens minerais até o ano de 2030. A Figura 6 demonstra as estimativas para rocha fosfática, cobre, minério de ferro, níquel, zinco, ouro, prata e platina. Entre eles se destacam com potencial positivo a rocha fosfática, platina, níquel, minério de ferro e cobre, sendo os três últimos minerais citados considerados como alguns dos principais bens produzidos no estado da Bahia.

Figura 6: Estimativas de mercado Banco Mundial

Ano	Media 2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030
Rocha Fosfática (USD/t)	85,00	100,00	102,00	103,00	105,00	107,00	109,00	111,00	113,00	115,00	125,00
Cobre (USD/t)	4.863,23	5.750,00	5.838,00	5.927,00	6.017,00	6.109,00	6.202,00	6.296,00	6.392,00	6.490,00	7.000,00
Minério de Ferro (USD/t)	57,69	65,00	55,00	50,00	50,80	51,70	52,50	53,40	54,30	55,20	60,00
Níquel (USD/t)	9.597,56	10.500,00	11.034,00	11.594,00	12.183,00	12.802,00	13.453,00	14.137,00	14.855,00	15.610,00	20.000,00
Zinco (USD/t)	2.090,71	2.750,00	2.600,00	2.583,00	2.586,00	2.548,00	2.532,00	2.515,00	2.498,00	2.481,00	2.400,00
Ouro (USD/ozt)	1.264,58	1.225,00	1.206,00	1.187,00	1.169,00	1.151,00	1.133,00	1.115,00	1.098,00	1.091,00	1.000,00
Prata (USD/ozt)	17,02	17,30	17,20	17,10	17,00	16,90	16,80	16,70	16,60	16,50	16,00
Platina (USD/ozt)	986,99	1.000,00	1.032,00	1.064,00	1.098,00	1.133,00	1.169,00	1.206,00	1.244,00	1.283,00	1.500,00

Fonte: CBPM (2017) com dados de World Bank/2017 – Commodity Markets Outlook

O IBRAM (2011) afirma que a Bahia é um dos lugares mais procurados do Brasil por grandes mineradoras, contendo em seu subsolo minério de ferro, níquel, ouro, bauxita, cobre e cerca de mais 39 minerais. Entre esses se destaca na produção de urânio, cromo, sal-gema, Magnesita, talco, barita, cobre, grafita, prata, ouro, rochas ornamentais e gás natural.

A exploração dos recursos minerais deve ser regulamentada, pois conforme o artigo 176 da constituição da república federativa do Brasil, são considerados bens de propriedade da união. Assim o exercício e condições da garimpagem, a exploração e o aproveitamento das jazidas, em lavra ou não, e dos potenciais hidráulicos, ainda que dentro de terreno de propriedade particular, dependem de

concessão pelo órgão competente, sendo que ao cessionário é garantida a propriedade do produto de lavra (STF, 2017).

Em uma visão macro da indústria de bens mineiras, o setor compreende as etapas de pesquisa, mineração e transformação mineral. Pesquisa mineral é a fase que busca descobrir e estudar em detalhes as jazidas que apresentam viabilidade técnica, econômica e ambiental para posterior desenvolvimento da mina. A mineração é a etapa onde ocorre a exploração² do material da mina (minério/estéril). O elo de transformação da cadeia mineral utiliza o minério, com teor economicamente viável, como matéria-prima, que através de seu beneficiamento faz interface com o setor secundário da economia (metalurgia e não metálicos) (IBRAM, 2012).

Quando se trata da fase de mineração Ferreira (2013) afirma que a seleção do método de lavra é um dos principais elementos a serem analisados em um projeto mineiro. Neste caso existem essencialmente dois possíveis métodos de lavra (a céu aberto e/ou subterrânea), sendo a definição entre os métodos baseada em critério econômico. Koppe (2007) explana que a introdução de novas tecnologias tem ocasionado uma transição entre os métodos manuais, semimecanizados e mecanizados de lavra.

2.2.1 Lavra em minas a céu aberto

As mais recentes tecnologias dominam os equipamentos e as operações que integram as principais atividades de lavra, incluindo as operações de perfuração, desmonte, carregamento e transporte de minério/estéril. Também chamadas de atividades unitárias (KOPPE, 2007).

Bernardi (2015) descreve os meios de execução de cada atividade unitária:

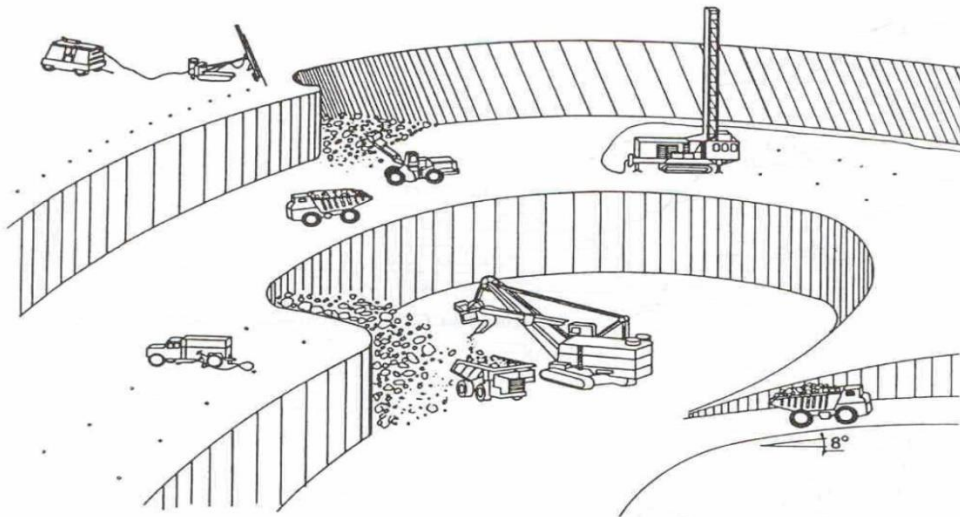
- **Perfuração:** Uma perfuratriz acionada por um compressor de ar comprimido executa vários furos na rocha, onde serão preenchidos com o material explosivo na fase subsequente.

² Entende-se por exploração o ato de retirada do minério com teor econômico viável e exploração as fases de pesquisa da jazida (SOUSA JR., 2012).

- Desmonte: O maciço rochoso (material “in situ”) é detonado, com a finalidade de fragmentar o material para que possa ser carregado e transportado até o britador primário da planta de beneficiamento.
- Carregamento: Pode ser realizado por diversos equipamentos, entre eles carregadeira, retroescavadeira e escavadeira hidráulica.
- Transporte: O transporte pode ser realizado por correias transportadoras, caminhões rodoviários e caminhões fora de estrada. O material a ser transportado pode ser tanto minério quando o estéril, tendo eles destinos diferentes, implicando no dimensionamento dos caminhões tendo que aumentar a frota ou a capacidade para atender a demanda da mina.

A Figura 7 ilustra os equipamentos utilizados nessas atividades.

Figura 7: Operações unitárias



Fonte: Sousa Jr. (2012)

Segundo Lopes (2010) essas quatro atividades antecedem a chegada do minério na usina de beneficiamento e é conhecida como operações mineiras de “run of mine”³ (ROM), onde o método de transporte predominante é por caminhões.

Mais especificamente Sousa Jr. (2012) descreve o ciclo de operações para uma mina a céu aberto genérica conforme o Quadro 1:

Quadro 1: Ciclo de operações de uma mina a céu aberto genérica

PASSOS DAS UNIDADES DE OPERAÇÃO:

1. Instalar controle de erosão e de sedimentos:

³ “Run of mine”: É o minério produzido nas frentes de lavra e transportado para o britador primário ou pilha intermediária (SOUSA JR., 2012).

<p>(Os passos 1 e 2 são realizados apenas quando mineradas novas áreas. Proceder para o passo 3 se entrando em região já explorada)</p> <p>a. Valas, desvios, terraços e canais.</p> <p>b. Lagoas.</p>
<p>2. Decapeamento do estéril</p> <p>a. Depositar em pilhas temporárias para futura recuperação de área.</p> <p>b. Depositar diretamente para recuperação de área.</p>
<p>3. Preparação da bancada para perfuração:</p> <p>(Se o material for suficientemente friável a ponto de não necessitar de desmonte por detonação, então passar para o passo 6)</p> <p>a. Acertar a bancada com escavadeira.</p> <p>b. Inspeccionar as cristas das bancadas para verificar a existência de grandes blocos de rochas que possam se desprender.</p> <p>c. Levantamento e marcação dos furos.</p>
<p>4. Perfuração dos furos de detonação.</p>
<p>5. Detonação:</p> <p>a. Carregamento dos explosivos nos furos de detonação.</p> <p>b. Conectar os furos de detonação com cordel detonante ou outros detonadores de forma a gerar a sequência de explosão desejada.</p> <p>c. Detonar no momento mais seguro para fazê-lo.</p>
<p>6. Carregamento do material fragmentado: O material fragmentado será carregado através do equipamento de carregamento.</p> <p>a. Em pedreiras ou em minas a céu aberto, o carregamento será realizado diretamente no equipamento de transporte.</p>
<p>7. Transporte de material:</p> <p>a. Minério, carvão ou outro material de valor é transportado até o processo subsequente.</p> <p>b. O estéril é transportado para local de armazenamento definitivo.</p> <p>c. O transporte pode ser contínuo ou cíclico.</p> <p>i. Contínuo com o uso de transportadores de correias</p> <p>ii. Cíclico com o uso de equipamento de carregamento e transporte em pequena distância.</p>
<p>8. Depósito de estéril e de rejeito:</p>

<ul style="list-style-type: none"> a. Armazenamento do decapeamento e de outros materiais estéreis <ul style="list-style-type: none"> i. Pilhas de estéril. ii. Recomposição de áreas degradadas. b. Preparação do rejeito da usina <ul style="list-style-type: none"> i. Armazenagem em barragens de contenção de rejeitos. ii. Integração com o armazenamento do decapeamento.
<p>9. Recuperação de áreas:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Em cavas finais. b. Em pilhas de rejeito ao final da vida útil da mina.
<p>10. Descomissionamento: não é realizado no final de todo ciclo. Pode começar a ser realizado em época favorável, após uma determinada área aproximar-se do término de sua vida útil.</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Revegetação: <ul style="list-style-type: none"> i. Com cobertura proveniente de vegetação temporária. ii. Com cobertura proveniente de vegetação permanente. b. Manutenção até que o tempo necessário por lei seja atingido. c. Remoção do sistema de drenagem.
<p>11. Retornar ao passo 1.</p>

Fonte: Hartman (1992) apud Sousa Jr. (2012).

As atividades unitárias do ROM que envolvem esse ciclo de operações descrito são realizadas de forma contínua ou cíclica, sendo conduzidas pelo setor de planejamento de lavra da mina.

2.2.2 Planejamento de lavra

De acordo com Pantuza Jr (2011), através de um planejamento estratégico de produção estruturado e eficiente as empresas conseguem permanecer competitivas no mercado, com a melhoria contínua de seus processos produtivos e a diminuição de seus impactos sobre o meio ambiente.

Quando se trata de empreendimentos mineiros, principalmente os de médio e grande porte, surgem necessidades de se ter um planejamento estratégico de retirada de minério para atenderem as demandas de mercado, tarefa essa conhecida como planejamento de lavra (COELHO et al. 2016). Esse planejamento leva em consideração três horizontes distintos: Longo, médio e curto prazo.

Independente do horizonte de planejamento, em minas a céu aberto, a decisão central está voltada à alocação de máquinas e caminhões no ambiente de lavra, de tal forma que as metas de produção sejam atendidas com o menor quantitativo de recursos utilizado (ARAUJO, 2008 apud COELHO et al., 2016).

Dentro do planejamento de lavra se encontram decisões importantes relacionadas ao posicionamento dos equipamentos de carregamento (escavadeiras/carregadeiras) nas frentes de lavra, podendo variar a quantidade de acordo com o plano de desenvolvimento da mina. Outro ponto importante está associado ao dimensionamento da frota de equipamentos de transporte. As atividades de carregamento e transporte são complexas e envolvem elevados investimentos, logo, a definição da melhor forma de utilizar os recursos disponíveis deve ser tomada com base em critérios científicos bem definidos (ALEXANDRE, 2010).

2.2.3 Custos Operacionais

Em uma mineradora o setor responsável pela operação da mina possui custo operacional muito elevado com impacto maior direcionado ao transporte do material que está localizado em uma frente de lavra até o seu destino, normalmente um britador ou pilhas de estoque (ALEXANDRE, 2010).

Os custos operacionais, conforme D'Arrigo (2012), são as despesas normalmente ligadas ao funcionamento da exploração, podendo ser divididos em diretos, indiretos e gerais.

2.2.3.1 Custos Diretos ou Variáveis

Os custos diretos com relação ao produto ou variáveis com relação ao volume são considerados como os custos primários de uma operação ou realização de trabalho e, basicamente, podemos dividi-los em duas categorias (Borges, 2013):

- Mão-de-obra: De operação, supervisão da operação, manutenção, supervisão da manutenção, outros encargos salariais;
- Materiais: Insumos como óleo diesel, energia elétrica, água, lubrificantes, materiais de reposição e materiais de reparação entre outros.

Segundo o DNPM (2010) apud Sousa Jr (2012) os principais impostos vigentes no Brasil que são aplicados em empreendimentos de mineração, salvo suas devidas proporções de acordo com a unidade federativa em que ela se encontra, em suma são:

- Encargos trabalhistas – INSS, FGTS, entre outros;
- Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais – CFEM;
- Imposto de Renda de Pessoa Jurídica – IRPJ;
- Contribuição Social Sobre Lucro Líquido – CSLL;
- Programa de Integração Social – PIS;
- Contribuição para Financiamento da Seguridade Social – COFINS;
- Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviço – ICMS.

Sousa Jr (2012) afirma que entre os custos diretos ainda estão os relacionados à preparação e desenvolvimento da área de produção, como decapeamento do estéril, construção de facilidades, estradas de acesso, entre outros.

2.2.3.2 Custos Indiretos ou Fixos

Conforme Revuelta e Jimeno (1997) os custos indiretos com relação ao produto ou fixos com relação ao volume são independentes da produção. Podendo variar com o nível de produção projetado, porém não é uma relação direta ou inversa com a produção obtida. Seus componentes principais são:

A. Pessoal:

- Administrativo;
- Segurança;
- Técnicos;
- Serviços terceirizados;
- Armazéns e oficinas;
- Outros encargos salariais.

B. Seguros:

- Da propriedade e de responsabilidade.

C. Amortização.

D. Juros.

- E. Impostos.
- F. Recuperação de áreas degradadas.
- G. Viagens, reuniões, congressos e doações.
- H. Gastos de oficinas e serviços.
- I. Relações públicas e publicidade.

2.2.3.3 Custos Gerais

Em geral essa natureza de custos não é considerada como gastos de uma operação, mas sim um determinado processo ou operação a nível corporativo de um ciclo completo de produção. Dentre esses custos estão (REVUELTA e JIMENO, 1997):

A. Comercialização:

- Vendedores;
- Estudos de mercado;
- Supervisão;
- Viagens e gastos de representação;
- Outros encargos salariais.

B. Administrativos:

- Gerência e direção geral;
- Contabilidade;
- Departamento central de planejamento e geologia;
- Departamento jurídico, financeiro, entre outros.

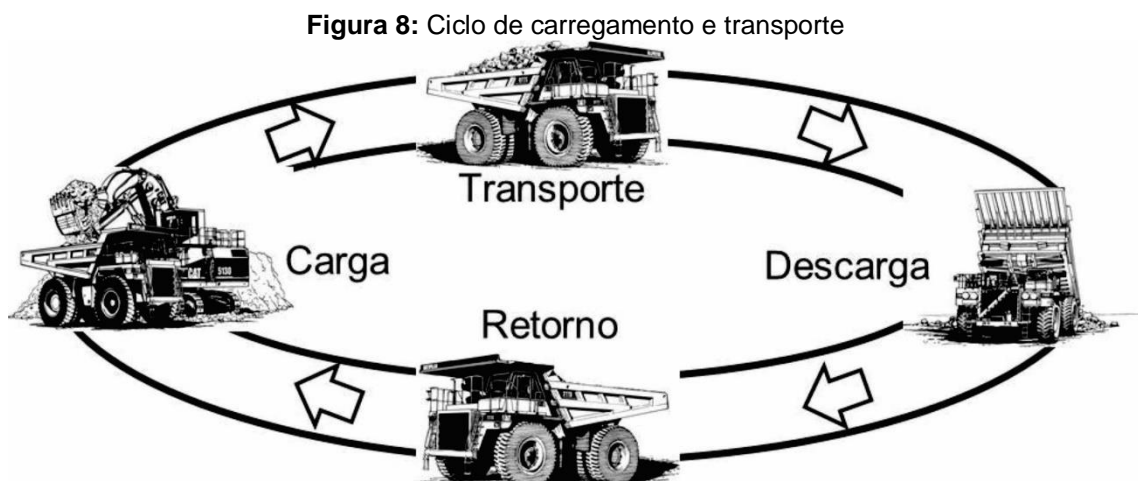
O Mesmo autor afirma ainda que nem todos os itens de custos supracitados (em uma visão geral) serão associados aos empreendimentos mineiros, pois devido a grande variedade de componentes e as particularidades dos custos de cada empreendimento os estimadores devem estar relacionados às respectivas demandas de cada um. Ressalta ainda que quanto maior o nível de detalhamento menor será o erro associado aos dados contidos em um projeto mineiro.

Borges (2013) põe em destaque que uma das etapas de maior peso na composição dos custos operacionais está relacionada ao carregamento e transporte, onde deve ser analisada criteriosamente. Uma correta seleção e dimensionamento dos equipamentos terá impacto significativo no custo total das operações.

2.2.4 Operações de Carregamento e Transporte em Lavra a Céu Aberto

As operações de carregamento e transporte em uma mina a céu aberto são realizadas após as atividades de perfuração e desmonte da área a ser lavrada (dependendo da natureza do material o desmonte pode ser mecânico). Assim que o desmonte é realizado as atividades de escavação e carregamento são feitas por equipamentos de carga (pás carregadeiras ou escavadeiras) posicionados nas frentes de lavra. O carregamento é feito nos equipamentos de transporte, que podem ser caminhões, correias transportadoras, vagões, entre outros. O transporte do material retirado da mina (minério/estéril) é direcionado aos devidos destinos de descarga, podendo ser o britador primário da usina de beneficiamento, pilha de estéril ou pilha pulmão. Todo o ciclo da operação recomeça de forma contínua (QUEVEDO, 2009 apud BORGES, 2013).

A Figura 8 descreve o ciclo de carregamento e transporte realizado em minas a céu aberto.



Fonte: Richards e West (2003) apud Souza Jr. (2012)

2.2.4.1 Carregamento

Para Ricardo e Catalani (2007) o processo de carregamento é iniciado através da atividade de desmonte e consiste na escavação para posterior enchimento da caçamba com material o material empolado, esse processo de carregamento deve ser efetuado pela lateral ou traseira do equipamento de transporte, sendo carregado um equipamento por vez para posterior transporte aos destinos definitivos.

Segundo Borges (2013), para as operações de escavação e carregamento os equipamentos geralmente mais utilizados são escavadeiras a cabo, escavadeiras hidráulicas, carregadeiras sobre pneus ou esteira, motoscrapers, dragas e monitores hidráulicos.

Ainda segundo o mesmo autor, em empreendimentos mineiros de outros países são mais comuns equipamentos de maior porte, como escavadeiras a cabo de grande porte presentes em grande número. Já nas empresas de mineração do Brasil é mais frequente escavadeiras tipo “shovel” (Figura 9 e Figura 10), ou caçamba frontal, nas operações de escavação direta na frente de lavra, e concomitante carregamento da unidade de transporte, para corpos friáveis.

Figura 9: Escavadeira hidráulica Shovel 6090



Fonte: Caterpillar (2017)

Figura 10: Escavadeira Hidráulica caterpillar 6015B



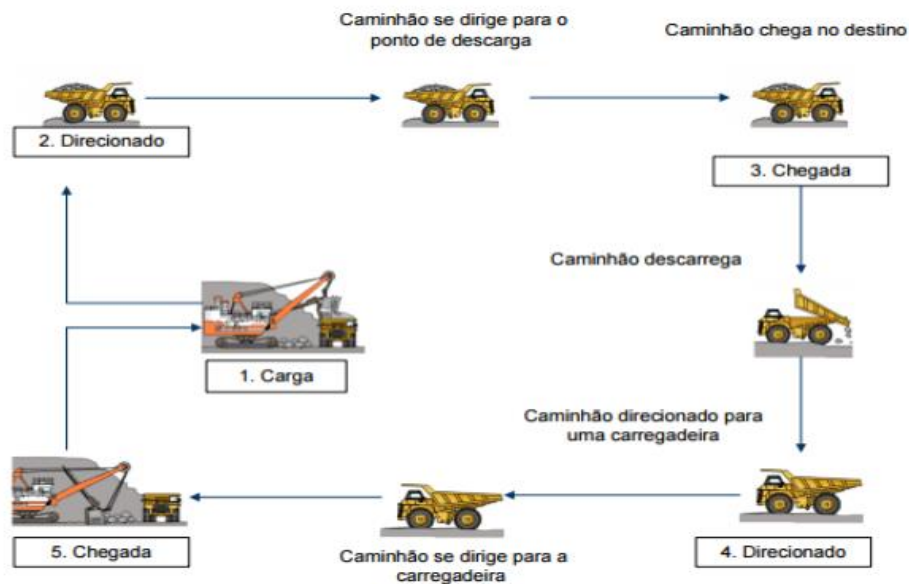
Fonte: Caterpillar (2017)

2.2.4.2 Transporte

Existem vários métodos e sistemas de transporte de material na mineração, entretanto os mais conhecidos são o transporte por correias e transporte por caminhões (BORGES, 2013). Lopes (2010) afirma que o método de transporte mais utilizado em todo o mundo é por caminhões.

As atividades unitárias da lavra convencional consistem a princípio no desmonte do material “in situ” (Material na sua forma natural) que normalmente é executado por meio de perfuração e desmonte por explosivo ou mecanicamente por tratores. Outra possibilidade, dependendo da geologia do minério lavrado é o próprio equipamento de carga (escavadeira ou carregadeira) escavar e carregar o equipamento de transporte (caminhões). O transporte do material por caminhões até a estação de britagem, descarga na pilha pulmão e retorno até a frente de lavra (Figura 11), finaliza o ciclo do método (LOPES, 2010).

Figura 11: Carregamento e transporte por caminhões



Fonte: Quevedo (2009) apud Bernardi (2015)

Ainda segundo Lopes (2010) a variedade de caminhões referente à capacidade de carga ofertados no mercado estão entre 10 e 400 toneladas (Figura 12, Figura 13 e Figura 14) e escavadeiras compatíveis para o carregamento eficiente dos mesmos. Nas atividades conjugadas a aplicação e o porte do conjunto de carga e transporte estão diretamente ligados à escala de produção, geometrias da cava e geologia da jazida.

Figura 12: Caminhão basculante comum com capacidade de carga de 35 toneladas



Fonte: Scania (2017)

Figura 13: Caminhão articulado com capacidade de carga de 43 toneladas



Fonte: Caterpillar (2013) apud Ferreira (2013)

Figura 14: Caminhão “off-road” com capacidade de carga de 363 toneladas



Fonte: Caterpillar (2017)

Nas minas a céu aberto do Brasil em relação ao exterior, a introdução de equipamentos modernos com maior produtividade e menor custo operacional vem acontecendo de forma lenta. Essa limitação está a princípio, relacionada aos elevados investimentos necessários para se adquirir equipamentos mais adequados e a pouca capacidade de se levantar os empréstimos externos a juros mais baixos. É especificamente notado o crescimento dos caminhões mais rapidamente do que as escavadeiras em termos de capacidade, essa combinação inadequada aumenta o ciclo de carregamento (mais passes por carga). Como também a atividade de transporte interno concentra o maior custo operacional das minas nacionais (GERMANI, 2002).

Há a preferência por equipamentos mais simples devido a pouca qualificação profissional interna do país para com esses equipamentos, como também é notável que as fábricas desses equipamentos de última geração são mais comuns em outros países.

2.2.5 Seleção de Equipamentos

Na atividade de carregamento os requisitos para a seleção são realizados basicamente levando em consideração às condições de minas em termos de capacidade necessária, às condições climáticas, exigências de mobilidade e número de frentes de lavra, ao mesmo tempo (BORGES, 2013).

A seleção dos equipamentos de transporte, mais especificamente transporte por caminhões, alguns empreendimentos mineiros realizam com o auxílio do fabricante do equipamento onde será apresentada uma proposta que se ajuste aos requisitos de produção determinados. Em seguida os empreendimentos selecionam o tipo e a capacidade do caminhão a partir das diferentes propostas com base em alguns critérios (BORGES, 2013):

- Compatibilidade com equipamento de carga existente;
- Capacidade de atender as projeções de produção;
- Experiência anterior com o equipamento;
- Requisitos de serviço e manutenção;

- Custo de aquisição e custo operacional;
- Utilização e disponibilidade estimadas.

Conforme os requisitos supracitados, conclui-se que para uma escolha mais acurada dos equipamentos de carregamento e transporte, a seleção deve ser realizada de forma integrada, buscando aumentar a compatibilidade entre eles, otimizando a produtividade e principalmente minimizando os custos operacionais (BORGES, 2013).

2.3 Manutenção de Equipamentos

A manutenção de equipamentos consiste em procurar manter a frota em boas em boas condições de uso, dentro dos limites econômicos, de forma que a disponibilidade dos mesmos seja maximizada. Ela é uma medida importante para aumentar a produtividade e reduzir custos para a empresa. Além de reparar os equipamentos, a manutenção é responsável por evitar e prevenir novos consertos (VALENTE et al., 2014).

Em outras palavras tem como objetivo manter a frota em condições adequadas de uso, de modo a evitar problemas que resultem em reparos e no comprometimento técnico, econômico e de segurança dos equipamentos (VALENTE et al., 2014).

Os trabalhos de manutenção podem ser divididos em quatro tipos, são eles: manutenção de operação, manutenção preventiva, manutenção corretiva e manutenção preditiva (VALENTE et al., 2014).

2.3.1 Manutenção de Operação

É a manutenção primária, onde o principal responsável é o operador do equipamento. A correta operação dará ao equipamento boas condições de conservação, com menor desgaste das peças e por consequência prolongando a vida útil da frota. Para que isso ocorra, é preciso treinar o operador, a fim de que seu trabalho seja também voltado para a manutenção (VALENTE et al., 2014).

2.3.2 Manutenção Preventiva

Esse tipo de manutenção tem como objetivo principal não apenas a melhor conservação do equipamento, mas também evitar o seu retorno à oficina por quebras e outros problemas que exigem correções.

A periodicidade dessa manutenção será estabelecida em função da quilometragem percorrida ou do número de horas de uso de cada equipamento da frota (VALENTE et al., 2014).

Esse tipo de manutenção deve atender a serviços como:

- Revisão da parte mecânica (substituição de peças ou conjuntos, regulagens etc.);
- Revisão da parte elétrica (verificação dos cabos, contatos, instrumentos de medição, sistemas de iluminação, bateria, dínamo e motor de arranque);
- Inspeção de funilaria, pintura e chassi;
- Revisão dos equipamentos adicionais do equipamento. Nesse caso, a programação da manutenção deverá basear-se na hora trabalhada.

Ricardo e Catalani (2007) afirma que a manutenção preventiva é a melhor maneira de preservar os mecanismos das máquinas para aumentar a sua vida útil.

2.3.3 Manutenção Corretiva

Esse tipo de manutenção é habitualmente conhecida como aquela que se espera o momento no qual a máquina ou equipamento apresente defeitos, ocasionando sua parada para reparos. Neste tipo de procedimento, é inevitável a perda de tempo ocasionada pela parada do equipamento, uma vez que apenas a partir de tal sinistro são executados os procedimentos para posta em operação dos ativos danificados (SABINO et al., 2008).

Em um ciclo produtivo quando ocorre a quebra de uma máquina básica, a não substituição da mesma pode interromper todo o ciclo, deixando vários outros equipamentos ociosos, aumentando assim o prejuízo. Como no caso das operações de carregamento e transporte, temos como exemplo, a paralisação de uma de uma

escavadeira/carregadeira que trabalha com as unidades de transporte (RICARDO e CATALANI, 2007).

2.3.4 Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva é conhecida como uma evolução dos métodos de gestão de manutenção, que permite que seja realizado o acompanhamento do desempenho das máquinas através de seu monitoramento contínuo. Através deste método se consegue detectar falhas com antecedência evitando em grande número as paradas não programadas por quebras ou falha (para manutenção corretiva), evitando assim o agravamento dos problemas. (SABINO et al., 2008).

Para Lima e Salles (2006) esta modalidade adiciona uma valiosa colaboração que é de suma importância em qualquer programa de gestão de manutenção, sabendo que a essência da manutenção preditiva é monitorar regularmente as condições mecânicas, eletroeletrônicas, eletropneumáticas, eletrohidráulicas e elétricas dos equipamentos e instalações e, ainda, monitorar o rendimento operacional de equipamentos e instalações quanto a seus processos. Como resultado desse monitoramento, tem-se a maximização dos intervalos entre reparos por quebras (manutenção corretiva) e reparos programados (manutenção preventiva), bem como a maximização de rendimento no processo produtivo, visto aumentará a disponibilidade dos equipamentos e instalações para a operação.

Encerrando o capítulo, a Sotreq (2017) explana em uma de suas matérias, a importância do bom planejamento e controle de manutenção. Destaca, de uma forma geral, que as paradas não programadas (por defeitos) nos equipamentos dentro de um ciclo produtivo atrapalham o desempenho de qualquer companhia, fazem perder tempo e dispendiam custos elevados.

2.4 Métodos de Custeio

O custeio representa um elemento essencial das atividades de contabilidade gerencial de uma empresa. O custo trata de estabelecer as despesas usadas por um produto/serviço, um grupo de produtos/serviços, uma atividade específica ou um conjunto de atividades da empresa (CREPALDI, 2004).

São vários os métodos de custeio, porém em suma os mais utilizados são: Por absorção, variável e o método baseado em atividades (ABC).

2.4.1 Custeio por Absorção

Segundo Crepaldi (2004) o custeio por absorção consiste na alocação dos custos diretos e indiretos aos produtos/serviços. Os primeiros por apropriação direta e os indiretos por meio de critérios de rateio.

- Vantagens – Atende aos princípios fundamentais da contabilidade e não considera as despesas integrantes dos estoques dos bens e dos serviços, mas todos os custos aplicados em sua obtenção, possibilitando assim, a apuração dos resultados, cálculos dos impostos e dividendos a distribuir, uma vez que todos os custos de produção (variáveis, fixos, diretos e indiretos) agregam o custo dos produtos para fins de valorização dos estoques.
- Desvantagens – Este método apresenta poucas informações para fins gerenciais, servindo basicamente para a valorização dos estoques, existindo a necessidade de rateio dos custos indiretos, visto que considera a alocação de todos os custos aos bens, o que torna as informações de custos deficientes nas análises para a tomada de decisão. Essas limitações prejudicam a formação do preço de venda e estudos comparativos de compras versus produção (CARARETO et al., 2006).

2.4.2 Custeio Variável

Segundo Borna (2010, p.35), no custeio variável, ou direto, apenas os custos variáveis são relacionados aos produtos, sendo os custos fixos considerados como custos do período. Desta forma os únicos custos relevantes são os variáveis, pois os custos fixos independem da produção.

O sistema de custeio direto fundamenta-se na separação dos gastos em gastos variáveis e gastos fixos, isto é, em gastos que oscilam proporcionalmente ao volume da produção/venda e gastos que se mantêm estáveis perante o volume de produção/venda oscilante dentro de certos limites (CREPALDI, 2004, p.117).

- Vantagens – Permite identificar os produtos mais rentáveis e, assim, dirigir os esforços de produção e de venda para a melhoria da rentabilidade; permite

avaliar os limites dentre os quais se podem definir políticas de preços e de descontos sem prejuízo da rentabilidade; e, permite ainda definir volumes mínimos de produção e de preços sem prejuízo para a empresa (análise Custo x Volume x Lucro – CVL).

- Desvantagens – Este sistema não atende aos princípios contábeis geralmente aceitos e não aceitos pelas autoridades fiscais, o que torna a sua utilização limitada nas decisões internas da empresa (CARARETO et al. 2006).

2.4.3 Custeio Baseado em Atividades (*Activity Based Costing – ABC*)

A metodologia ABC está ligada ao objetivo de melhoria dos processos e redução de desperdícios. A ideia básica é tomar os custos das várias atividades da empresa e entender seu comportamento, encontrando bases que representem as relações entre os produtos e essas atividades, pretendendo tornar o cálculo dos custos dos produtos/serviços mais acurado (BORNIA, 2010, p. 109-111).

É o método que mede o custo e o desempenho de processos e produtos. Mais especificamente, que:

- Atribui custos às atividades com base no consumo de recursos;
- Atribui custos a produtos ou serviços com base no consumo de atividades;
- Reconhece os fatores que determinam (explicam) os custos das atividades, e o consumo destas pelos produtos ou outras atividades (CREPALDI, 2004, p. 223).

Segundo Carareto et al. (2006) este é um método que se baseia na identificação, análise e controle dos custos envolvidos nos processos e atividades de uma empresa, sendo atribuído individualmente as parcelas de custos indiretos consumidas por cada produto. Esse método foi desenvolvido para facilitar a análise estratégica de custos relacionados com as atividades que mais impactam o consumo de recursos de uma empresa.

- Vantagens – Informações gerenciais mais fidedignas por meio da redução do rateio; atende aos princípios fundamentais de contabilidade (idêntico ao custeio por absorção); obriga a implantação de controles internos; proporciona melhor visualização dos fluxos dos processos; pode ser empregado em diversos tipos de empresas (indústrias, comerciais, de

serviços, com ou sem fins lucrativos); pode, ou não, ser um sistema paralelo ao sistema de contabilidade; pode fornecer subsídios para a gestão econômica, custo de oportunidade e custo de reposição; e ajuda na eliminação ou redução das atividades que não agregam valor ao produto.

- Desvantagens – Gastos elevados para a implantação; alto nível de controles internos a serem implantados e avaliados; necessidade de revisão constante; levam em consideração muitos dados; informações de difícil extração; dificuldade de envolvimento e comprometimento dos empregados da empresa; necessidade de reorganização da empresa antes de sua implantação; necessidade de formulação de procedimentos padrões.

2.5 Projeto de Frota para Mineração

Na elaboração de um projeto de lavra, faz-se necessário um estudo para o dimensionamento dos equipamentos e instalações que irão operar na mina, com base na produção determinada. Diferentes fatores como escala de produção, capacidade do grupo financeiro e características da mina são relevantes como pré-requisitos para a seleção do tipo e dimensionamento dos equipamentos da mina, testando-se as diversas alternativas disponíveis. Para o dimensionamento dos equipamentos devem também ser considerados os indicadores de desempenho dos mesmos, tais como índices de utilização, disponibilidade e rendimentos médios (QUEVEDO, 2009 apud FERREIRA, 2013).

2.5.1 Indicadores de Produtividade

Conforme Silva (2011) alguns indicadores devem ser levados em consideração para se estimar a capacidade de produção dos equipamentos e obter-se um correto dimensionamento de uma frota de carregamento e transporte:

- Volume da caçamba (V_c)

Deve representar a capacidade operacional, rasa ou coroadada conforme o caso, dos equipamentos de carregamento e transporte.

$$V_c = \frac{\text{(carga máxima admissível na caçamba)}}{\text{(peso específico do material solto)}} \quad \text{Eq. (10)}$$

- Fator de enchimento da caçamba (Fill Factor)

Fator aplicável sobre a capacidade operacional da caçamba e que, basicamente, será função das características do material, e ou das condições dos desmontes, da altura da bancada e da forma de penetração do equipamento.

- Empolamento (e)

É o aumento aparente de volume que a rocha apresenta depois de fragmentada, ou mais amplamente, é o aumento aparente de volume em relação a um estado anterior de maior compactação.

$$\lambda = \frac{\gamma_c}{\gamma_s} \quad \text{Eq. (11)}$$

onde:

λ = fator de empolamento;

γ_c = peso específico do material no corte;

γ_s = peso específico do material empolado ou solto.

$$e = (\lambda - 1) \times 100\% \quad \text{Eq. (12)}$$

onde:

e = empolamento.

$$V_s = V_c \times \frac{\gamma_c}{\lambda_s} = \lambda \times V_c \quad \text{Eq. (13)}$$

onde:

V_c = volume originalmente no “corte” ou volume “in situ”;

V_s = volume do material rochoso após a fragmentação.

- Fator de disponibilidade do equipamento

A palavra disponibilidade é extremamente flexível e a sua correta determinação é primordial para os cálculos de rendimento em longo prazo.

Fatores tais como má organização da mina, condições de trabalho adversas, operações em vários turnos e manutenção preventiva e corretiva inadequada poderão reduzir a disponibilidade do equipamento. A disponibilidade do equipamento se divide em: Disponibilidade mecânica e disponibilidade física.

➤ Disponibilidade Mecânica

$$DM = \frac{HT - (MP + MC + TP)}{HT} \times 100\% \quad \text{Eq. (14)}$$

Onde:

DM = Disponibilidade Mecânica;

HT = corresponde às horas teóricas possíveis no período, por exemplo, por ano;

MP = Manutenção Preventiva, compreendendo todo o serviço programado, conservação e inspeção dos equipamentos, executados com a finalidade de manter o equipamento em condições satisfatórias de operação;

MC = Manutenção Corretiva. Significa o serviço executado no equipamento com a finalidade de corrigir deficiências que possam acarretar a sua paralisação;

TP = Tempo Perdido correspondente à locomoção da máquina por motivos de desmonte de rocha ou outros intervalos do operador (almoço, café, troca de turno, entre outros).

➤ Disponibilidade Física

Corresponde à parcela das horas programadas em que o equipamento está apto para operar, isto é, não está à disposição da manutenção.

$$DF = \frac{HP - HM}{HP} \times 100\% \quad \text{Eq. (15)}$$

Onde:

DF = Disponibilidade Física que representa a percentagem do tempo que o equipamento fica à disposição do órgão operacional para a produção;

HP = corresponde às horas calculadas por ano, na base dos turnos previstos, já levando em conta a disponibilidade mecânica e/ou elétrica;

HM = corresponde às horas de reparos na oficina ou no campo, incluindo a falta de peças no estoque ou falta de equipamentos auxiliares.

- Fator de utilização do equipamento

Fator aplicável sobre as horas disponíveis do equipamento. Corresponde à parcela em que o equipamento estar em operação. Alguns dos fatores que influem na utilização de um equipamento são:

- ✓ Número de unidades ou porte compatível, maior ou menor que o requerido;
- ✓ Paralisação de outros equipamentos;
- ✓ Falta de operador;
- ✓ Deficiência do operador;
- ✓ Condições climáticas que impeçam a operação dos equipamentos;
- ✓ Tipo de desmonte de rocha na mina;
- ✓ Preparação das frentes de lavra.

$$U = \frac{HT}{HP-HM} \times 100\% \quad \text{Eq. (16)}$$

Onde:

HT = total de horas efetivamente trabalhadas;

HP = corresponde às horas calculadas por ano, na base dos turnos previstos, já levando em conta a disponibilidade mecânica e/ou elétrica;

HM = corresponde às horas de reparos na oficina ou no campo, incluindo a falta de peças no estoque ou falta de equipamentos auxiliares.

- Rendimento

É a relação entre as horas efetivamente trabalhadas e as horas programadas, ou seja, o rendimento é o produto da disponibilidade física pela utilização.

- Tempo de ciclo

É o tempo gasto pelo equipamento para executar um conjunto de determinadas operações como, por exemplo: manobra, carga, descarga, basculamento, deslocamento, etc. Para o equipamento de transporte o tempo de ciclo irá variar conforme a variação da DMT (Distância Média de Transporte) na mina.

O tempo de ciclo total de uma operação é o somatório de tempo de todas as atividades que compõem essa operação.

- Eficiência de operação (E)

É a máxima importância que a produção seja mantida em ritmo estável. É essa eficiência de trabalho que resulta em maior lucratividade.

Fatores devido às paradas, atrasos ou deficiências em relação ao máximo desempenho do equipamento devem-se, entre outros, aos seguintes motivos:

- ✓ Características do material;
- ✓ Supervisão no trabalho;
- ✓ Esperas no britador;
- ✓ Falta de caminhão;
- ✓ Maior ou menor habilidade do operador;
- ✓ Interrupções para limpeza da frente de lavra;
- ✓ Desmonte de rochas;
- ✓ Capacidade da caçamba;

- ✓ Pequenas interrupções devido aos defeitos mecânicos, não computados na manutenção.

$$E = \frac{tc_{min}}{tc_{ef}} = \frac{tc_{min}}{tc_{min} + \sum tp} = \frac{1}{1 + \frac{\sum tp}{tc_{min}}} \quad \text{Eq. (17)}$$

Se $\sum tp = 0 \rightarrow E = 1$ ou $E = 100\%$

Se $\sum tp \neq 0 \rightarrow E < 1$ ou $E < 100\%$

Onde:

tc_{min} = tempo de ciclo mínimo;

tc_{ef} = tempo de ciclo efetivo;

tp = tempo perdido.

- OEE – *Overall Equipment efficiency* – Eficiência Geral de Equipamento

É o indicador que expressa a eficiência geral do equipamento e é dado pelo produto do rendimento pela eficiência.

3 METODOLOGIA

Esse item tem como finalidade expor o procedimento metodológico que foi utilizado no trabalho de monografia, a fim de facilitar a compreensão do desdobramento da pesquisa. Será inicialmente apresentada a finalidade da pesquisa, seguida da tipologia, delineamento e por último serão expostas as variáveis analisadas do estudo.

3.1 Finalidade da pesquisa

A pesquisa se caracteriza como pura e aplicada. A busca por conhecimentos relacionados ao problema originário do trabalho de monografia a descreve como pura. Por outro lado à pesquisa de campo para posterior desenvolvimento e abordagem dos resultados, para a solução de um problema da realidade, caracterizará um estudo de caso propriamente dito, demonstrando a natureza pragmática de uma pesquisa aplicada.

A finalidade deste trabalho está embasada na aquisição de conhecimentos relacionados ao dimensionamento de frotas, observando informações operacionais, em operações de lavra em minas a céu aberto. Bem como tem finalidade prática na aplicação dos conhecimentos para um estudo de caso com a obtenção do dimensionamento de uma frota de carregamento e transporte em uma mina a céu aberto, no que corresponde às atividades do “run of mine” (ROM).

3.2 Tipologia da pesquisa

A presente pesquisa pode ser classificada como resumo de assunto, pois busca a aplicação dos métodos científicos utilizados em um trabalho científico original, como uma apostila de carregamento e transporte de rochas, desenvolvida por Silva (2011). Como de fato é característico da maioria dos trabalhos desenvolvidos em cursos de graduação.

A busca por referências teóricas publicadas no passado, com informações e conhecimentos prévios a cerca de um problema que foi estudado caracteriza este trabalho como bibliográfico. Por outro lado assume cunho experimental, com a interferência direta na realidade de uma empresa que presta serviços de carregamento e transporte na exploração mineral com a manipulação das informações operacionais, como também se caracteriza como estudo de caso.

3.3 Delineamento da pesquisa

1 - Este trabalho teve como início uma prévia revisão bibliográfica, do que engloba um dimensionamento de frota em uma mina a céu aberto, através de artigos, monografias, dissertações, livros, entre outros. Esta etapa é de grande importância, pois foi o pilar para o desenvolvimento do estudo de caso deste trabalho de monografia.

2 – Através do levantamento bibliográfico foram analisadas as metodologias existentes e selecionada uma preferida para a realidade da empresa que foi estudada.

3 – Conhecendo o estado da arte do assunto em questão se iniciou a etapa de pesquisa de campo com o levantamento das informações necessárias para a aplicação do método.

4 – Com todas as informações coletadas, foi feita a inserção dos dados em planilha eletrônica, desenvolvida com base na metodologia de Borges (2013) para o caso da empresa em estudo, obtendo a quantidade de equipamentos para a movimentação das massas planejadas.

5 – Após o dimensionamento foi realizada uma pesquisa no setor de manutenção da empresa contratante, que tem experiência e dados históricos com os mesmos equipamentos da companhia em estudo, com o intuito de detalhar os custos anuais de manutenção por equipamento. Devendo ressaltar que neste caso a empresa em estudo não tem as informações dos custos individuais para cada equipamento, tratando os custos de uma forma global.

Por outro lado também se aprimorou a metodologia de cálculo de Borges (2013) que considera a parcela dos custos de manutenção por ano em uma proporção uniforme para todos os equipamentos. Isso não ocorre devido ao fato de que cada equipamento está sujeito a naturezas de operação diferentes, portanto a parcela desses custos varia entre esses equipamentos.

6 – Com as informações dos custos por equipamento coletadas foi possível obter a idade adequada para renovação dos caminhões dimensionados anteriormente, que foi definida em três anos. Com a intenção de manter a frota pela

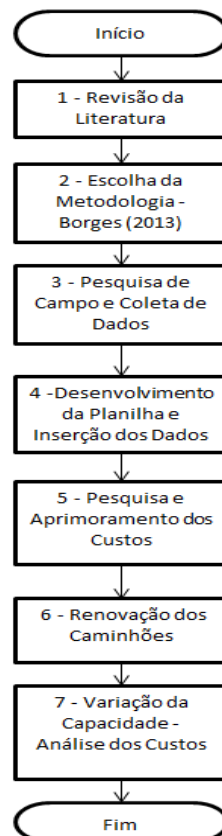
idade economicamente viável calculada, o dimensionamento dos equipamentos foi recalculado para os planos anuais de produção dos próximos anos, concluindo três anos de projeto. Após a aquisição de uma nova frota, os cálculos funcionarão da mesma forma, somente sendo necessário reinserir na planilha do dimensionamento, novos dados referentes à produtividade dos equipamentos e às massas planejadas para movimentação nos anos seguintes.

7 – Para a conclusão do dimensionamento foi feita a análise dos resultados e comportamento dos custos com a variação da capacidade produtiva (tamanho da frota). Esses custos (R\$/t) darão um norte para fins de valores de contrato caso a empresa contratante necessite variar a meta de movimentação de massas.

As informações principais para o desenvolvimento do dimensionamento foram tomadas junto ao setor de planejamento de lavra da empresa contratante dos serviços da empresa estudada, proporcionando a obtenção dos resultados e a melhor tomada de decisão.

O delineamento da pesquisa é representado no fluxograma da Figura 15:

Figura 15: Fluxograma do delineamento da pesquisa



Fonte: Próprio autor

3.4 Variáveis da pesquisa

As variáveis de entrada para o desenvolvimento do estudo de caso são: as massas a serem movimentadas conforme determina o planejamento de lavra da mina; as horas programadas para o funcionamento dos turnos de trabalho por dia (dois turnos de oito horas por dia) em cada ano (365 dias no ano); as distâncias médias de transporte das cavas até os destinos (pilha de estéril/britador da usina de beneficiamento); o fator de disponibilidade física e o fator de utilização dos equipamentos; a eficiência de produção e a eficiência global de equipamento (OEE - *Overall Equipment efficiency*).

4 DIMENSIONAMENTO DE FROTA: UM ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA MINERADORA

Este capítulo busca demonstrar um estudo de caso de uma mina de ouro de pequeno porte, focando nas operações unitárias de lavra do ROM, mais especificamente as atividades de carregamento e transporte da mina a céu aberto. Este estudo tem foco na obtenção do dimensionamento da frota que envolve essas operações de maneira a obter a relação ótima entre volume movimentado e custos.

4.1 A empresa

A empresa em estudo, que por motivo de confidencialidade será tratada como “Empresa A”, que presta serviços de terraplenagem, urbanização e mineração. Para esses tipos de serviços a companhia dispõe de vários tipos de equipamentos como motoniveladoras, pás-carregadeiras, tratores de esteira, escavadeiras hidráulicas, escavadeiras long reach, rolos compactores, caminhões pipa, caminhões basculante, rompedores hidráulicos e perfuratrizes.

No caso em questão a “Empresa A” atua no ramo mineral, prestando serviços de perfuração, desmonte, carregamento e transporte em lavra de mina a céu aberto para uma empresa contratante de seus serviços. Para realizar essas atividades são estipulados os valores através de contrato. Para a perfuração e desmonte se cobra um valor fixo de R\$/tonelada, já para a movimentação de material o valor de R\$/tonelada irá variar de acordo com a distância média de transporte (DMT).

4.2 A mina

A companhia contratante utiliza dois métodos de lavra distintos, subterrânea e a céu aberto. O estudo de caso tem como foco a avaliação na lavra a céu aberto, que por sua vez, ocorre por bancadas em cava, como temos na Figura 16 a foto de uma das cavas em fase inicial da mina em estudo. O material estéril que é retirado da cava é depositado em uma pilha que fica próxima à mina. Quando o material lavrado for minério de ouro, este será transportado diretamente para o britador primário da usina de beneficiamento, onde sua alimentação será demandada pelas metas de produção, desta forma deve haver um plano de sequenciamento de lavra para atender a essa demanda.

Figura 16: Mina a céu aberto

Fonte: autor desconhecido

4.3 Plano de Lavra

O setor de planejamento de lavra da mina a céu aberto trabalha com dois horizontes de tempo, de curto e longo prazo. O plano de curto prazo apresenta o detalhamento mensal das massas de estéril e minério a serem transportadas, bem como define o teor do minério contido em cada frente de lavra e define todas as ações a serem tomadas para o cumprimento das metas no período. O plano de longo prazo define as massas a serem movimentadas ao longo de um ano ou maior período de tempo (devido à vida útil da mina) em cada cava considerando seus respectivos teores.

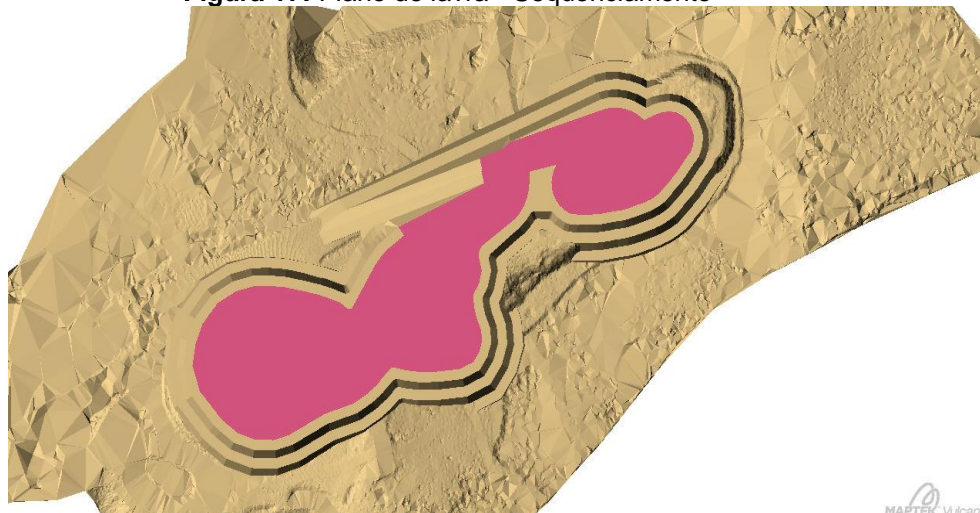
Em uma mineradora, uma das tarefas atribuídas ao planejamento estratégico consiste na elaboração de um planejamento de lavra que subdivide a mina em diversas regiões, chamadas de extensões ou avanços, que serão lavrados até exaurir todo o material da cava.

O material identificado como minério é submetido a processos logísticos e de beneficiamento buscando agregar valor de maneira que o produto final chegue ao cliente resultando em lucro. Quando o material for identificado como estéril este não possui valor econômico, devendo ser estocado em local adequado.

Conforme Costa (2005) o planejamento de lavra de curto prazo busca determinar o ritmo de extração (t/h) para cada frente de lavra capaz de atender a demanda do cliente, seja a usina de beneficiamento ou algum cliente externo. As produções do ROM, oriundas de diferentes frentes de lavra de minério, devem proporcionar a quantidade desejada, não ultrapassando a capacidade física do sistema e não impactando na redução da utilização de equipamentos e recursos, de forma a cumprir os compromissos da mineradora sem acarretar em multas contratuais.

A Figura 17 mostra uma ilustração extraída do software de sequenciamento de lavra de uma das cavas da mina em estudo, determinando a região a ser lavrada destacada em rosa.

Figura 17: Plano de lavra - Sequenciamento



Fonte: Software da mina

A mina em estudo tem um planejamento de movimentação anual de massas (minério e estéril) para os próximos três anos (2018, 2019 e 2020) na base de 2.450.194, 2.844.487 e 2.713.255 toneladas respectivamente, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1: Valores referentes ao material e sua movimentação

Plano de Lavra:				
Dados de Movimentação:	Unit	2018	2019	2020
Minério Total	t	186.267	176.089	179.122
Estéril Total	t	2.263.927	2.668.398	2.534.133
Movimentação Total	t	2.450.194	2.844.487	2.713.255
DMT Minério	Km	9,4	5,4	5,4
DMT Estéril	Km	1,8	1,3	1,1
Densidade média <i>in situ</i>	g/cm ³	2,7	2,7	2,7
REM	t/t	12	15	14
DMT Média	Km	2,4	1,6	1,3

Fonte: Próprio autor

Como se pode notar na Tabela 1, a distância média de transporte (DMT) no primeiro ano é maior que nos próximos, isso se deve ao fato de que esse estudo foi realizado na fase final de cavas de pequeno porte existentes, pela exaustão do minério economicamente viável. Desta forma se trata de cavas mais profundas com suas frentes de lavra mais distantes dos destinos (pilha de estéril e britador primário) quando comparado à cavas em fase inicial. As DMTs foram calculadas a partir do plano de sequenciamento de lavra da mina.

A densidade do material “*in situ*” (material em sua forma natural antes de sofrer o desmonte) é determinada através de testemunhos de rocha retirados pela sondagem.

A relação estéril/minério (REM) é um número obtido após o processo de sondagem para a determinação do corpo de minério presente na jazida, e após a realização do projeto de cava, antes mesmo de se iniciar a exploração. A REM é um número que expressa à relação entre massas ou entre volumes de minério e estéril presentes em uma jazida, ou seja, o número de unidades de estéril a remover para cada unidade de minério.

4.4 Operações de carregamento e transporte

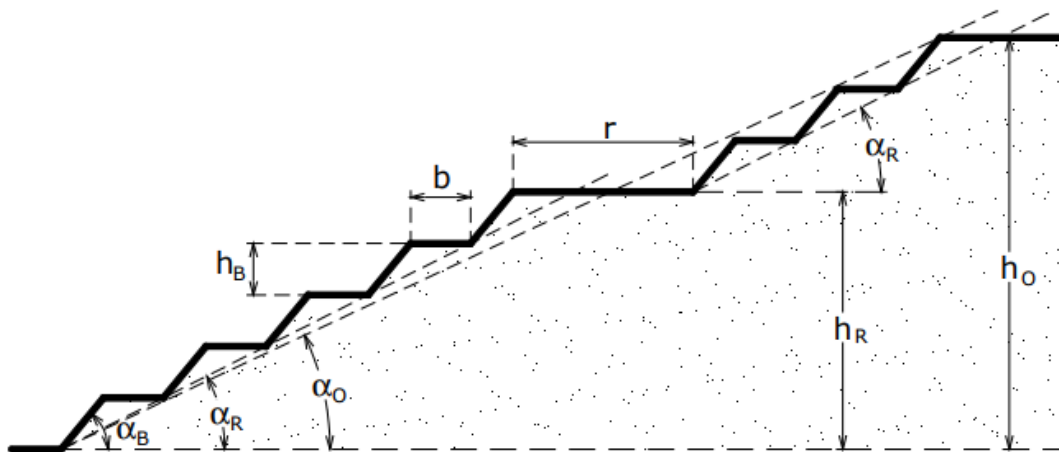
As atividades de carregamento e transporte são realizadas exclusivamente por escavadeiras hidráulicas e caminhões. Para a seleção desses equipamentos, antes de tudo, foram levados em consideração alguns parâmetros de projeto de cava para adequação do porte dos mesmos como demonstra a Tabela 2.

Tabela 2: Parâmetros do projeto de cava

Parâmetros de Projeto	Unit	Valor
Raio de curvatura da cava	m	12
Altura da Bancada	m	10
Largura das Bermas	m	5
Largura média das rampas	m	12
Inclinação da rampa	%	12

Fonte: Próprio autor

Conforme a Figura 18 ilustra o que são alguns elementos de uma cava, como berma e bancada para melhor entendimento.

Figura 18: Ilustração de parâmetros que definem uma cava

Fonte: Damasceno (2008)

Onde:

- h_B = Altura da bancada
- b = Largura da berma
- α_B = Inclinação da face da bancada
- α_R = Ângulo de inter-rampa
- h_R = Altura máxima de inter-rampa
- r = Largura da rampa
- h_O = Altura máxima global
- α_O = Ângulo global.

As dimensões desses parâmetros são definidas após a realização da sondagem para determinação do corpo do minério existente e posterior projeto de cava. As mesmas são elaboradas levando em consideração o conceito de cava ótima, que tem como objetivo o desenvolvimento de uma mina que possibilite a

exploração do minério, da forma mais econômica possível, com as dimensões que possibilitem minimizar ao máximo a REM para a lavra posterior.

Através das configurações de cava descritas na Tabela 2 bem como as quantidades de massas a movimentar e do tipo de material a ser lavrado, a empresa decidiu utilizar escavadeiras hidráulicas do tipo CAT 320 com capacidade de concha de 2,2 m³ para a operação de carregamento e caminhões Scania P420 com capacidade de transporte de 30 toneladas. Os mesmos são ilustrados como exemplo nas Figura 19 e Figura 20.

Figura 19: Escavadeira CAT 320D2 GC



Fonte: Caterpillar (2017)

Figura 20: Caminhão Scania P420



Fonte: Racem.ORG (2017)

Sabendo-se do tipo e porte dos equipamentos e massas de minério/estéril a transportar com suas referentes DMTs, o próximo passo é o levantamento das

informações operacionais para a estimativa da capacidade de produção ótima com a quantidade de equipamentos para a operação conjugada.

4.5 Informações operacionais

As principais informações operacionais para o dimensionamento de frotas dos equipamentos de carregamento e transporte da mina utilizados foram o fator de disponibilidade física, fator de utilização, rendimento, e a OEE (*Overall Equipment Efficiency* – Eficiência Global do Equipamento). Essas informações foram obtidas através de dados históricos fornecidos pelo software que realiza a gestão de frota da empresa, o Tecmine.

A eficiência de produção foi estimada em 90% para caminhões e escavadeiras devido a perdas quanto ao fato dos equipamentos operarem abaixo de sua capacidade máxima valores esses usuais na mina do estudo de caso.

Na Tabela 3 e Tabela 4 são detalhadas essas informações para os caminhões e escavadeiras.

Tabela 3: Informações para os caminhões

Indicadores dos caminhões	Unit	2018	2019	2020
Capacidade máxima	t	30	30	30
Disponibilidade	%	87,0	80,0	65,0
Utilização	%	75,0	75,0	75,0
Rendimento	%	65,3	60,0	48,8
Eficiência de Produção	%	90,0	90,0	90,0

Fonte: Próprio autor

Tabela 4: Informações para as escavadeiras

Indicadores das escavadeiras	Unit	2018	2019	2020
Capacidade da concha	m ³	2,2	2,2	2,2
Disponibilidade	%	89,0	86,0	83,0
Utilização	%	80,0	80,0	80,0
Rendimento	%	71,2	68,8	66,4
Eficiência de Produção	%	90,0	90,0	90,0

Fonte: Próprio autor

Para o cálculo da estimativa de produtividade dos equipamentos de carregamento e transporte em toneladas por hora, temos as seguintes características explicitadas na Tabela 5 e na Tabela 6.

Tabela 5: Informações sobre a produtividade dos equipamentos de carregamento

Características para Escavadeiras	Unit	Valor
Fator de enchimento		1,1
Volume da concha	m ³	2,2
Densidade média do minério/estéril	t/m ³	2,7
Fator de empolamento	%	60,0
Densidade empolada minério/estéril	t/m ³	1,6

Fonte: Próprio autor

Conforme Borges (2013) a capacidade da concha em toneladas é estimada através da seguinte equação.

$$C_e = FE \times V \times DE \quad \text{Eq.(18)}$$

Onde,

C_e =Capacidade da concha em toneladas (t)

FE =Fator de Enchimento

V =Volume de concha em (m³)

DE =Densidade Empolada do minério/estéril (t/m³)

Tabela 6: Informações sobre a produtividade dos equipamentos de transporte

Características para Caminhões	Unit	2018	2019	2020
Capacidade Nominal	t	30	30	30
Capacidade efetiva	t	27	27	27
DMT	Km	2,4	1,6	1,3
Velocidade carregado	Km/h	20	20	20
Velocidade de volta (vazio)	Km/h	25	25	25

Fonte: Próprio autor

As informações na Tabela 6 foram tomadas junto ao setor de planejamento de lavra da mina, que por sua vez tem de antemão os manuais dos equipamentos fornecidos pelos fabricantes.

A capacidade máxima de transporte dos caminhões é de 30 toneladas, logo na realidade das operações se considera que os caminhões na maioria das vezes não operam com toda a capacidade de carga da báscula (capacidade coroadada não é totalmente preenchida). Desta forma é considerada, através de médias de pesagem na balança da mina, uma capacidade efetiva de transporte de 27 toneladas que por sua vez será usada no cálculo da capacidade produtiva dos caminhões.

As informações relacionadas à velocidade, principalmente do caminhão carregado, são obtidas por média devida a algumas variações no trajeto como curvas e subida de rampas.

4.6 Estimativa do ciclo e produtividade dos equipamentos

A estimativa dos tempos que compõem o ciclo de carregamento e transporte é descrita na Tabela 7.

Tabela 7: Tempos de ciclo de carregamento e transporte

Componentes do ciclo	Unit	2018	2019	2020
Tempo médio de viagem	min	12,7	8,9	7,1
Tempo de ciclo carregamento	min	4,6	4,6	4,6
Número de passes (Carregamento)	unidade	7	7	7
Tempo de ciclo escavadeira	min	0,5	0,5	0,5
Tempo de carregamento	min	3,7	3,7	3,7
Tempo de manobra	min	0,9	0,9	0,9
Tempo de basculamento	min	0,91	0,91	0,91
Tempo total do ciclo	min	18	14	13

Fonte: Próprio autor

O tempo médio de viagem foi obtido conforme os valores de DMT e velocidade média operacional dos caminhões contidos na Tabela 6. Segundo Borges (2013) o tempo médio de viagem é dado pela equação (19) abaixo descrita.

$$T_{Viagem} = \frac{DMT}{V_{Carregado}} + \frac{DMT}{V_{Vazio}} \quad \text{Eq. (19)}$$

Os outros componentes do ciclo são detalhados logo em seguida:

- Tempo de ciclo de carregamento: É dado pelo tempo de carregamento mais o tempo de manobra na praça de carregamento;
- Número de passes: É a capacidade da báscula do caminhão dividida pela capacidade da concha da escavadeira (o número de vezes que a escavadeira descarrega o material escavado na báscula do caminhão);
- Tempo de ciclo da escavadeira: O tempo para se realizar um passe. Esse tempo é obtido por uma média de observações;
- Tempo de carregamento: É o número de passes vezes o tempo de ciclo da escavadeira;
- Tempo de manobra: Obtido por média de observações;
- Tempo de basculamento: Obtido por média de observações;

- Tempo total do ciclo: É o somatório do tempo médio de viagem mais o tempo de ciclo de carregamento mais o tempo de basculamento.

Com o valor do tempo total do ciclo é possível obter a quantidade de viagens por hora (dividindo 60 minutos pelo tempo total do ciclo) e através desse resultado multiplicado pela capacidade do caminhão em toneladas, obtém-se desta forma a produtividade dos caminhões em toneladas por hora.

As taxas horárias nominais dos caminhões e escavadeiras são detalhadas na Tabela 8.

Tabela 8: Taxa horária nominal dos equipamentos

Produtividade	Unit	2018	2019	2020
Capacidade de concha	t	3,9	3,9	3,9
Taxa horaria nominal das Escavadeiras	t/h	437,8	437,8	437,8
Viagens por hora	v/h	3,3	4,2	4,8
Taxa horária nominal Caminhões	t/h	89	113	129

Fonte: Próprio autor

Como se pode observar a taxa horária nominal das escavadeiras se mantém constante com o passar dos anos e a dos caminhões aumenta. Isso se deve a realidade do caso, como já foi anteriormente dito, a DMT no primeiro ano é maior por se tratar de várias cavas bastante aprofundadas em estado final (exaustão do minério economicamente viável), para o início do segundo e terceiro ano as DMTs estão relacionadas à cavas diferentes em estado inicial (menores distâncias de transporte), por esse motivo há um aumento da produtividade dos caminhões com o passar dos anos.

4.7 Dimensionamento dos equipamentos

O dimensionamento da frota dos equipamentos de carregamento e transporte foi realizado com o auxílio do software Microsoft Office Excel e foi desenvolvida baseada na metodologia de Borges (2013), que por sua vez utilizou a aplicação da taxa de utilização, disponibilidade física, produtividade efetiva da frota, eficiência de produção, número de equipamentos e horas programadas. O produto destes é igual à produção da frota num determinado período de tempo, como especifica a equação (20).

$$Produção = DF \times UT \times PR \times HT \times N_{Eq.} \quad \text{Eq.(20)}$$

Onde,

DF =Fator de Disponibilidade Física da frota;

UT =Fator de Utilização da frota;

PR =Produtividade efetiva da frota;

HT =Horas Totais programadas;

$N_{Eq.}$ =Número de Equipamentos na frota.

As horas totais programadas (HT), para o caso em estudo, foram determinadas a partir do princípio de que a mina a céu aberto trabalha em dois turnos de 8 horas cada por dia, por 365 dias no ano.

A partir da equação (20), com o interesse de alcançar o número ótimo de equipamentos na frota, temos a seguinte expressão (considerando a produção como a massa total a movimentar no período):

$$N_{Eq.} = \left(\frac{Massa\ total}{Horas\ trabalhadas} \right) \times \frac{1}{Produtividade} \quad Eq.(21)$$

Onde,

$$Horas\ trabalhadas = DF \times UT \times HT \quad Eq.(22)$$

Através do produto da disponibilidade física pela utilização se tem o rendimento, que multiplicado pelas horas totais programadas nos mostra as horas trabalhadas para o período, como define a equação (22) acima.

Tendo em vista estes conceitos, temos para o estudo de caso em questão a quantidade de equipamentos de carregamento e transporte calculados para a movimentação da massa anual demonstrada na Tabela 9.

Tabela 9: Dimensionamento de caminhões e escavadeiras

Dados de Movimentação:	Unit	2018	2019	2020
Minério Total	t	186.267	176.089	179.122
Estéril Total	t	2.263.927	2.668.398	2.534.133
Movimentação Total	t	2.450.194	2.844.487	2.713.255
Dimensionamento de Caminhões	Unit	2018	2019	2020
Horas Calendário(h)/ano	h	5.840	5.840	5.840
Disponibilidade	%	87	80	65
Utilização	%	75	75	75
Rendimento	%	65	60	49
Horas Disponíveis	h	5.081	4.672	3.796
Horas trabalhadas - Dois turnos de 8 horas	h	3.811	3.504	2.847
Taxa horária nominal	t/h	89	113	129
Eficiência de produção	%	90	90	90
Taxa horária efetiva	t/h	80	101	116
OEE	%	59	54	44
Quantidade de Equip. calculada	unidade	8,03	8,01	8,2
Quantidade de Equipamentos	unidade	9	9	9
Dimensionamento de Escavadeira	Unit	2018	2019	2020
Horas Calendário(h)/ano	h	5.840	5.840	5.840
Disponibilidade	%	89	86	83
Utilização	%	80	80	80
Rendimento	%	71	69	66
Horas Disponíveis	h	5.198	5.022	4.847
Horas trabalhadas - Dois turnos de 8 horas	h	4.158	4.018	3.878
Taxa horária nominal	t/h	438	438	438
Eficiência de produção	%	90	90	90
Taxa horária efetiva	t/h	394	394	394
OEE	%	64	62	60
Quantidade de Equip. calculada	unidade	1,5	1,8	1,8
Quantidade de Equipamentos	unidade	2	2	2

Fonte: Próprio autor

A taxa horária efetiva, ou a produtividade efetiva em toneladas por hora é obtida através do produto da taxa horária nominal (t/h) pela eficiência de produção (%).

Considerando todas as condições supracitadas se encontra a quantidade de equipamentos necessária para o carregamento e transporte do material a ser lavrado, partindo do princípio que determina a equação (21). Para os três anos foram calculados 9 caminhões e 2 escavadeiras para as operações conjugadas.

Apesar da diminuição das DMTs nos anos de 2019 e 2020, houve acréscimo das massas totais planejadas para os dois anos, comparados a 2018. Além do aumento das massas as disponibilidades físicas dos equipamentos nos próximos anos vão reduzindo devido a paradas mais frequentes para manutenção, isso justifica a quantidade de equipamentos de transporte não ter reduzido.

A capacidade e produtividade dos equipamentos de carregamento não são afetadas pela variação das distâncias de transporte, incidindo sobre esses índices a variação das massas planejadas e a variação das disponibilidades físicas (em menor grau que as DFs dos caminhões pela natureza das atividades) principalmente, resultando em 2 escavadeiras para cada ano.

Quando a quantidade de equipamentos calculada não representar um número discreto se utiliza “arredondar para cima” considerando o fato de que para equipamentos os números devem ser discretos e não contínuos.

Após essas estimativas para a quantidade de equipamentos necessária para cada período, se pôde analisar que houve uma capacidade de produção ociosa pelos arredondamentos no dimensionamento. Como mostra a Tabela 10 e a Tabela 11.

Tabela 10: Capacidade ociosa dos caminhões

Frota de transporte	Unit	2018	2019	2020
Produção - Frota de caminhões	t	2.747.709	3.197.260	2.971.233
Massa planejada por ano	t	2.450.194	2.844.487	2.713.255
Capacidade ociosa da frota	t	297.515	352.773	257.978

Fonte: Próprio autor

Tabela 11: Capacidade ociosa das escavadeiras

Frota de carregamento	Unit	2018	2019	2020
Produção - Frota de escavadeiras	t	3.277.017	3.166.555	3.056.094
Massa planejada por ano	t	2.450.194	2.844.487	2.713.255
Capacidade ociosa da frota	t	826.823	322.068	342.839

Fonte: Próprio autor

A capacidade de produção (t) dos equipamentos é encontrada pelo produto da quantidade de equipamentos dimensionada pela taxa horária efetiva (t/h) e pelas horas efetivamente trabalhadas no ano (considerando 2 turnos de 8 horas). O valor dessa multiplicação subtraído da massa planejada no período resulta na capacidade ociosa da frota dos equipamentos.

Desta forma a ociosidade da frota de equipamentos de carregamento e transporte pode servir como uma margem de segurança no atendimento das metas de produção caso haja alguma variação na disponibilidade física dos equipamentos, por exemplo, caso haja algum sinistro ou até mesmo falhas no planejamento e controle de manutenção.

4.8 Custos das Operações

Os insumos básicos que dão suporte às operações unitárias como material de perfuração, explosivos e combustível são fornecidos pela empresa contratante. Os custos envolvidos nas atividades da “Empresa A” são os de manutenção (peças de reposição e materiais para manutenção), mão de obra (de manutenção e operacional) e amortização dos equipamentos. A estimativa e separação desses custos foram embasadas no método de custeio baseado em atividades (*ABC – Activity Based Costing*), esse método retorna resultados mais consistentes alocando os custos a suas respectivas atividades.

A Tabela 12 detalha uma estimativa do quanto cada equipamento consome em peças de reposição e materiais para manutenção, para três anos desde a aquisição. Além dos custos referentes a cada ano por equipamento a tabela mostra o valor de aquisição de cada um e o quanto por cento (%) desse valor representam os custos de manutenção em cada ano. Esses são dados históricos coletados com a equipe de planejamento e controle de manutenção da empresa contratante.

A “Empresa A” não realiza o controle de seus custos por equipamento, desta forma foi feito um levantamento no setor de manutenção da empresa contratante, a qual já tem experiência com os mesmos equipamentos para a mesma natureza de atividades.

Tabela 12: Custos com materiais e peças de reposição por equipamento

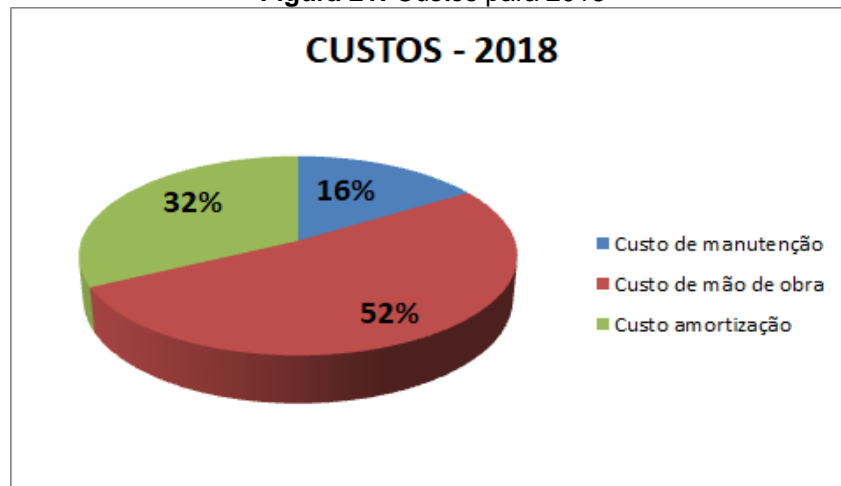
CUSTO COM MATERIAIS DE MANUTENÇÃO POR EQUIPAMENTO/ANO							
EQUIPAMENTO	CUSTOS/ANO/EQUIPAMENTO			Valor de Aquisição	CUSTOS % do Valor do equipamento		
	2018	2019	2020		2018	2019	2020
Caminhão Scania P420	R\$ 60.000,00	R\$ 81.000,00	R\$ 109.350,00	R\$ 500.000,00	12,0	16,2	21,9
Escavadeira CAT320	R\$ 84.000,00	R\$ 209.200,00	R\$ 141.960,00	R\$ 800.000,00	10,5	26,2	17,7
Caminhão Pipa	R\$ 18.000,00	R\$ 24.000,00	R\$ 36.000,00	R\$ 350.000,00	5,1	6,9	10,3
Motoniveladora	R\$ 24.000,00	R\$ 36.000,00	R\$ 48.000,00	R\$ 700.000,00	3,4	5,1	6,9
Trator de Esteira	R\$ 18.000,00	R\$ 104.000,00	R\$ 36.000,00	R\$ 600.000,00	3,0	17,3	6,0
Pá Carregadeira	R\$ 18.000,00	R\$ 24.000,00	R\$ 36.000,00	R\$ 500.000,00	3,6	4,8	7,2
Perfuratriz	R\$ 15.000,00	R\$ 22.500,00	R\$ 30.000,00	R\$ 150.000,00	10,0	15,0	20,0
TOTAL	R\$ 237.000,00	R\$ 500.700,00	R\$ 437.310,00				

Fonte: Próprio autor

Observando a Tabela 12, especificamente as linhas que correspondem aos custos de escavadeira e trator de esteira, no ano de 2019 esses equipamentos apresentam um aumento bastante significativo em relação a 2018, decrescendo em 2020. No segundo ano esse aumento é justificado pela necessidade de se realizar uma reforma no material rodante dos equipamentos (roda guia, roda motriz, roletes e esteiras) tendo um acréscimo de R\$ 100.000,00 para escavadeira e R\$ 80.000,00 para trator. As perfuratrizes também são equipamentos que se locomovem por esteiras, logo sua natureza de serviço não é tão severa quanto aos outros equipamentos.

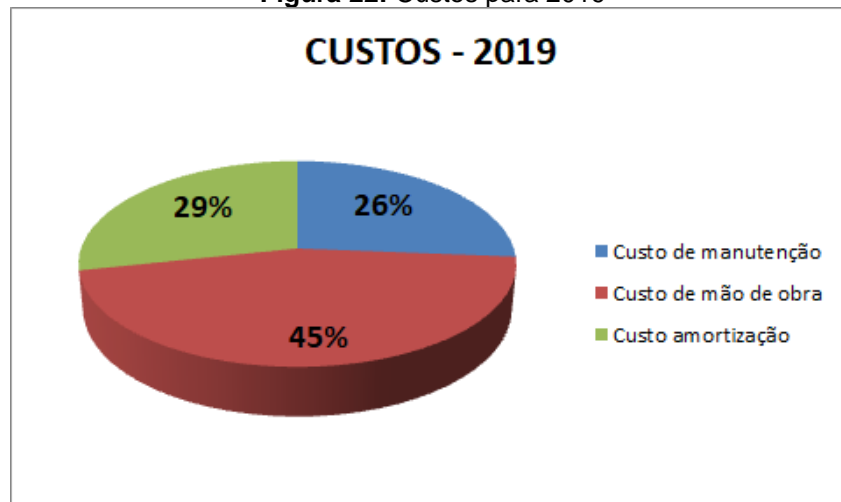
Os custos com mão de obra e a amortização dos equipamentos são detalhados nos ANEXOS deste trabalho de monografia, como também os custos de manutenção para a quantidade de equipamentos dimensionada. Os custos de mão de obra de um ano para o outro variaram considerando uma estimativa de 2% ao ano para o INPC (Índice Nacional de Preços ao Consumidor). A amortização dos equipamentos foi considerada de forma linear durante 6 anos da vida útil dos mesmos. Os gráficos contidos nas Figura 21, Figura 22 e Figura 23 esboçam a proporção desses custos para cada ano de operação.

Figura 21: Custos para 2018



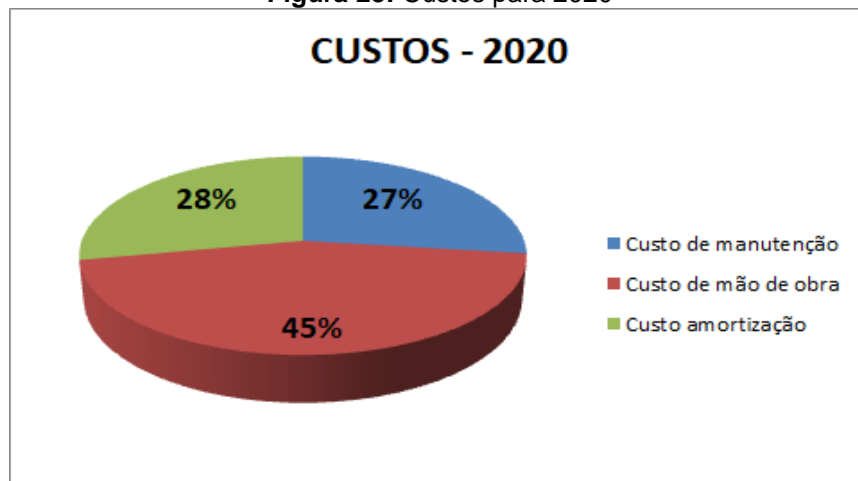
Fonte: Próprio autor

Figura 22: Custos para 2019



Fonte: Próprio autor

Figura 23: Custos para 2020



Fonte: Próprio autor

Analisando os gráficos, no ano de 2018 podemos observar que os custos com mão de obra representaram a maior parte dos custos totais no período, sendo uma distribuição de 52% mão de obra, 16% manutenção e 32% amortização de equipamentos.

Com o passar dos anos os custos com mão de obra crescem (devido a reajustes salariais) de forma lenta em relação aos custos de manutenção que crescem a valores mais significativos, a amortização de equipamentos permanece linear. O comportamento dos custos de manutenção tende a aumentar cada vez mais (observando que em 2019 houve uma contribuição significativa das escavadeiras e tratores) à medida que a frota vai ficando velha em uso, e nessa análise tendem a compor cada vez mais parcela significativa nos custos totais. Com esse ponto de vista se destaca a importância da renovação dos equipamentos na idade mais adequada economicamente.

4.9 Renovação de frota

Com foco no melhor nível de serviço prestado, garantia de produtividade e redução de custos operacionais este tema abordará um assunto bastante relevante na gestão de frotas, a substituição de equipamentos. Os conceitos deste tema já foram abordados anteriormente.

Conforme Valente et. al. (2014) a desvalorização de equipamentos é mais acelerada nos primeiros anos de uso diminuindo com o passar dos anos, ou seja, quanto maior for o tempo de uso do equipamento menor será a desvalorização média anual, desta forma pode parecer vantajoso para a empresa manter a frota em operação por longos períodos de tempo.

Por outro lado existem fatores relacionados à manutenção que divergem esse aspecto positivo, ou seja, com o passar do tempo os custos de manutenção vão aumentando significativamente e as paradas para reparos vão sendo cada vez mais severas e longas. Quando isso ocorre, o custo excessivo de manutenção pode superar, em muito, a economia de capital que poderia ter utilizando a frota por mais tempo. Além disso, as paradas prolongadas geram quedas na produtividade (t/h) e receitas (VALENTE et. al., 2014).

Além da desvalorização e custo de manutenção deve ser levado em consideração o custo financeiro ou juros. À medida que o veículo vai desvalorizando os juros sobre o valor empatado vão caindo.

Desta forma Valente et. al. (2014) apresenta três fatores a serem considerados no cálculo da renovação de frota: A desvalorização média anual, o custo financeiro médio anual e o custo de manutenção médio anual. Para o caso em questão foi considerado um horizonte de tempo de apenas sete anos para inserção de dados, devido à natureza severa das operações.

A desvalorização para os caminhões da “Empresa A” se comporta da seguinte forma: 39% no primeiro ano, 25% no segundo, 10% no terceiro, 10% no quarto 3% no quinto e 3% no sexto ano, restando 10% de valor residual do veículo.

Para o estudo de caso em questão, cada caminhão requer um investimento inicial de R\$ 500.000,00. Isso significa que ao final da vida útil o veículo terá um valor residual de R\$ 50.000,00. Ressaltando que todas as parcelas de custos (%) são relacionadas ao valor do veículo novo.

Tabela 13: Desvalorização média anual

Tempo de Uso (anos)	Desvalorização	Desvalorização Acumulada	Desvalorização Média Anual
1	39%	39%	39,00%
2	25%	64%	32,00%
3	10%	74%	24,67%
4	10%	84%	21,00%
5	3%	87%	17,40%
6	3%	90%	15,00%
7	0%	90%	12,86%

Fonte: Próprio autor

A Tabela 13 mostra os valores para a desvalorização anual, a acumulada e a média anual (a divisão do acumulado pelo ano correspondente).

O custo financeiro sobre o capital imobilizado, considerando uma taxa de juros de 12,68% anualmente (valor encontrado pela Equação 23 considerando uma taxa de juros de 1% ao mês), é representado na Tabela 14.

$$J_{a.a.} = (1 + j_{a.m.})^{12-1} \quad \text{Eq. (23)}$$

Onde,

$J_{a.a.}$ =Juros ao ano;

$j_{a.m.}$ =Juros ao mês.

Tabela 14: Custo financeiro médio anual

Tempo de Uso (anos)	Valor no Início do Período	Juros no Ano	Juros Acumulados	Custo Financeiro Médio Anual
1	100%	12,68%	12,6825%	12,6825%
2	61%	7,74%	20,4188%	10,2094%
3	36%	4,57%	24,9845%	8,3282%
4	26%	3,30%	28,2820%	7,0705%
5	16%	2,03%	30,3112%	6,0622%
6	13%	1,65%	31,9599%	5,3267%
7	10%	1,27%	33,2282%	4,7469%

Fonte: Próprio autor

Multiplicando a taxa de juros pelo valor no início do período, já descontado da desvalorização do equipamento, se tem os juros sobre o capital imobilizado do valor do equipamento no ano ou custo de oportunidade. De maneira análoga à tabela da desvalorização é encontrado o custo financeiro médio anual como também para o de manutenção que será apresentado a seguir.

Os custos de manutenção para o caso em estudo foram levantados junto ao setor de controle de manutenção da empresa estudada. Para os caminhões esses custos (em relação ao valor do veículo novo) se comportam da seguinte forma: 12% no primeiro ano, 16% no segundo, 21,9% no terceiro, 31,7%, 45%, 50% e 55% para os próximos anos respectivamente. Como mostra a Tabela 15.

Tabela 15: Custo anual médio de manutenção

Tempo de Uso (anos)	Custo Anual de Manutenção	Custo de Manutenção Acumulado	Custo Anual Médio
1	12,0%	12,0%	12,0%
2	16,0%	28,0%	14,0%
3	21,9%	49,9%	16,6%
4	31,7%	81,6%	20,4%
5	45,0%	126,6%	25,3%
6	50,0%	176,6%	29,4%
7	55,0%	231,6%	33,1%

Fonte: Próprio autor

A soma dos custos anuais médios supracitados (desvalorização, financeiro e de manutenção) é exposta na Tabela 16.

Tabela 16: Soma dos custos

Tempo de Uso (anos)	Desvalorização Anual Média	Custo Financeiro Anual	Custo de Manutenção Anual Médio	Soma Dos Custos
1	39,000%	12,683%	12,000%	63,683%
2	32,000%	10,209%	14,000%	56,209%
3	24,667%	8,328%	16,633%	49,628%
4	21,000%	7,070%	20,400%	48,470%
5	17,400%	6,062%	25,320%	48,782%
6	15,000%	5,327%	29,433%	49,760%
7	12,857%	4,747%	33,086%	50,690%

Fonte: Próprio autor

Através da soma de todos os custos é notável que a partir do quarto ano (ano que representa menor custo) esses índices começam a aumentar. Isso se deve ao fato dos custos de manutenção que com o passar dos anos se contrapõem com o custo de capital anual. Se somente esses fatores fossem levados em consideração o momento mais adequado para a renovação dos equipamentos seria no quarto ano.

Desta forma Valente et. al. (2014) ressalta existe uma análise utilizando matemática financeira que apresenta resultados mais consistentes. Neste caso serão utilizados o fator de recuperação de capital (FRC) e o fator do valor presente (FVP) incidindo sobre os custos já mencionados, como detalham as equações (24) e (25).

- Fator de Recuperação de Capital (FRC):

$$FRC = \frac{J_{a.a.} \times (1 + J_{a.a.})^n}{(1 + J_{a.a.})^{n-1}} \quad \text{Eq. (24)}$$

- Fator do Valor Presente (FVP):

$$FVP = \frac{1}{(1 + J_{a.a.})^n} \quad \text{Eq. (25)}$$

Onde,

$J_{a.a.}$ = Juros ao ano (mesmo valor encontrado na Equação 23);

n = Número do ano de uso correspondente.

Utilizando esses princípios financeiros temos a Tabela 17 (custo de capital) e a Tabela 18 (custo de manutenção).

Tabela 17: Custo de capital com correção monetária

Tempo de Uso (anos)	Desvalorização Anual	Desvalorização Acumulada	FRC (juros a.a.)	Desvalorização Acumulada Corrigida	Valor Residual R	R*j	Total
1	39%	39,00%	112,68%	43,95%	61,00%	7,74%	51,68%
2	25%	64,00%	59,70%	38,21%	36,00%	4,57%	42,77%
3	10%	74,00%	42,12%	31,17%	26,00%	3,30%	34,47%
4	10%	84,00%	33,40%	28,05%	16,00%	2,03%	30,08%
5	3%	87,00%	28,21%	24,54%	13,00%	1,65%	26,19%
6	3%	90,00%	24,79%	22,32%	10,00%	1,27%	23,58%
7	0%	90,00%	22,39%	20,15%	10,00%	1,27%	21,42%

Fonte: Próprio autor

Através da multiplicação da desvalorização acumulada pelo fator de recuperação de capital (FRC) é obtida a desvalorização acumulada corrigida.

O valor residual é a diferença da desvalorização acumulada em cada ano subtraída de 100% (valor do equipamento novo). Através da multiplicação do valor residual pela taxa de juros ao ano se encontra o custo de oportunidade sobre o capital empatado.

A soma da desvalorização acumulada corrigida mais o custo de oportunidade determina o custo total de capital referente a cada ano como mostra a Tabela 17.

A Tabela 18 a seguir expressa os custos de manutenção com correção monetária.

Tabela 18: Custo de manutenção com correção monetária

Tempo de Uso (anos)	Custo Anual Manutenção	FVP	Valor Presente	Valor Presente Acumulado	FRC (juros a.a.)	Custo Anual Manutenção
1	12,00%	0,8874	10,65%	10,65%	112,68%	12,00%
2	16,00%	0,7876	12,60%	23,25%	59,70%	13,88%
3	21,90%	0,6989	15,31%	38,56%	42,12%	16,24%
4	31,70%	0,6203	19,66%	58,22%	33,40%	19,44%
5	45,00%	0,5504	24,77%	82,99%	28,21%	23,41%
6	50,00%	0,4885	24,42%	107,41%	24,79%	26,63%
7	55,00%	0,4335	23,84%	131,26%	22,39%	29,39%

Fonte: Próprio autor

Os custos de manutenção referentes a cada ano multiplicados pelo fator de valor presente (FVP) retornam os valores de manutenção na data atual (valor

presente). Após essa operação é encontrado o valor presente acumulado que multiplicado pelo FRC se obtém o custo anual de manutenção na Tabela 18.

Finalmente com os valores anuais do custo de capital e de manutenção é possível determinar a idade mais adequada para a renovação dos caminhões da “Empresa A” que será abordado no próximo capítulo dos resultados.

5 RESULTADOS

O estudo de caso teve como objetivo principal o dimensionamento da frota de carregamento e transporte para a “Empresa A”. A quantidade mais adequada dos equipamentos dessas atividades para o atendimento da massa planejada em cada ano já foi estabelecida no capítulo anterior.

Este capítulo tem por objetivo expor as alternativas de capacidade de produção e seus referentes custos unitários (R\$/t) para futuras análises caso haja variações no volume de produção. Também mostra qual a melhor alternativa de renovação da frota de caminhões em relação ao tempo de uso dos equipamentos.

Na Tabela 19 temos um demonstrativo do comportamento dos custos com a variação da capacidade produtiva como exemplo para o ano de 2018.

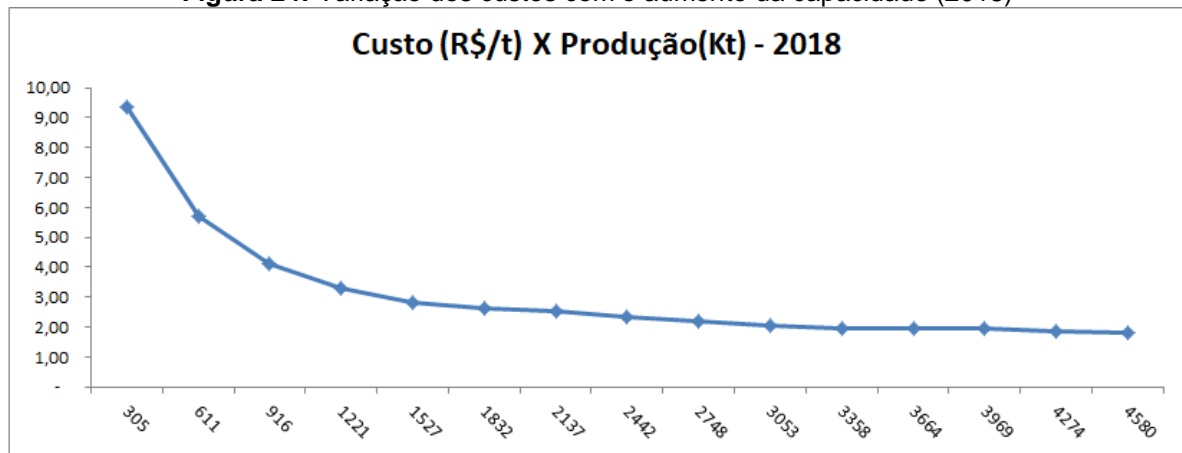
Tabela 19: Comportamento dos custos com a variação da capacidade (2018)

ANO 2018					
Nº de caminhões	Nº de escavadeiras	Produção(Kt)	Custo Total (KR\$)	Custo unitário (R\$/t)	
1	1	305	2.850	9,34	
2	1	611	3.472	5,69	
3	1	916	3.751	4,10	
4	1	1221	4.031	3,30	
5	1	1527	4.310	2,82	
6	1	1832	4.824	2,63	
7	2	2137	5.465	2,56	
8	2	2442	5.745	2,35	
9	2	2748	6.024	2,19	
10	2	3053	6.303	2,06	
11	2	3358	6.583	1,96	
12	3	3664	7.224	1,97	
13	3	3969	7.738	1,95	
14	3	4274	8.017	1,88	
15	3	4580	8.297	1,81	

Fonte: Próprio autor

Com a análise da Tabela 19 é esclarecido o custo por tonelada transportada que a “Empresa A” está sujeita a corresponder para a situação imposta pela empresa contratante para movimentação de massas.

Os valores da tabela dos custos (R\$/t) com a variação da capacidade de produção também são expressos graficamente na Figura 24.

Figura 24: Variação dos custos com o aumento da capacidade (2018)

Fonte: Próprio autor

É notável, que os custos apresentam um comportamento de forma decrescente com o aumento da capacidade, isso é justificado pela diluição dos custos fixos com o volume de produção. Os custos para os próximos anos se comportarão de forma semelhante, logo foi demonstrado para o primeiro ano como exemplo.

Por outro lado a análise destes resultados proporciona para a “Empresa A” visualizar o comportamento dos seus custos com a variação do volume de produção projetada, já que havendo alguma intenção de variação de produção esses números irão nortear na renegociação dos valores de contrato e maximização dos lucros. Como nesse caso a empresa contratante já tem em andamento pesquisas de sondagem para futuras explorações de jazidas.

Para a renovação de frota do presente estudo de caso foi tomado como foco os equipamentos de transporte, presentes em maior quantidade.

Em uma visão genérica o desempenho dos equipamentos com o passar do tempo é medido em quilômetros rodados. Para o caso de mineração é considerado pela capacidade de transporte que cada veículo tem com o passar dos anos, considerando as variações nas distâncias de transporte e a redução da disponibilidade física com o passar dos anos, como para a realidade da mina em estudo as capacidades (toneladas/ano) são demonstradas na Tabela 20.

Tabela 20: Estimativa da massa transportada por um caminhão com o passar dos anos

ANO	1	2	3	4	5	6	7
CAPACIDADE EFETIVA	27	27	27	27	27	27	27
DMT	2,4	1,6	1,3	1,7	2,1	1,5	2,3
VELOCIDADE CARREGADO	20	20	20	20	20	20	20
VELOCIDADE VAZIO (VOLTA)	25	25	25	25	25	25	25
TEMPO MÉDIO DE VIAGEM	12,7	8,9	7,1	9,2	11,3	8,1	12,4
OUTROS TEMPOS	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
TEMPO TOTAL DO CICLO	18,2	14,4	12,6	14,7	16,8	13,6	17,9
NÚMERO DE VIAGENS POR HORA	3,3	4,2	4,8	4,1	3,6	4,4	3,3
TAXA HORÁRIA NOMINAL (t/h)	89	112,6	128,8	110,4	96,2	119,1	90,4
HORAS CALENDÁRIO (h)	5840	5840	5840	5840	5840	5840	5840
DISPONIBILIDADE FÍSICA (%)	87	80	65	50	45	40	35
UTILIZAÇÃO (%)	75	75	75	75	75	75	75
RENDIMENTO (%)	65	60	49	38	34	30	26
HORAS DISPONÍVEIS (h)	5080,8	4672	3796	2920	2628	2336	2044
HORAS TRABALHADAS (h)	3810,6	3504	2847	2190	1971	1752	1533
EFICIÊNCIA DE PRODUÇÃO (%)	90	90	90	90	90	90	90
TAXA HORÁRIA EFETIVA (t/h)	80,1	101,4	116,0	99,3	86,6	107,2	81,4
CAPACIDADE DE TRANSPORTE/CAMINHÃO/ANO (t)	305300,97	355251,1	330137	217508,2	170648,3	187824,7	124727,3

Fonte: Próprio autor

Levando em consideração uma estimativa além dos três anos considerados desde o início do estudo de caso, os dados operacionais de lavra para distâncias médias de transporte e disponibilidades físicas são esses destacados na Tabela 20, cuja base de cálculo para o resultado final de capacidade de transporte expresso na tabela já foi mencionado anteriormente.

Os valores da capacidade de transporte acima não envolvem massas planejadas para transporte, são valores estimados levando em consideração a realidade da mina em questão como horas programadas, variação das distâncias e diminuição da disponibilidade que um caminhão tem conforme aumenta sua idade de uso, ou seja, a capacidade de produção de um caminhão em cada ano cuja base de cálculo já foi detalhada no capítulo anterior. Esses valores são levados em conta para se determinar o custo por tonelada transportada e a idade mais viável para a renovação dos caminhões, como detalha a Tabela 21.

Tabela 21: Idade para substituição da frota de transporte

Tempo de Uso (anos)	Custo Total de Cap. e man.	Valor Total Anual (R\$)	Salário Operador Anual	Custo Total Anual	Toneladas por Ano	Custo Médio Por ton.(R\$/t)
1	63,68%	R\$ 318.412,52	R\$ 24.000,00	R\$ 342.412,52	305300,97	1,12
2	56,66%	R\$ 283.275,22	R\$ 24.048,00	R\$ 307.323,22	355251,15	0,87
3	50,71%	R\$ 253.554,94	R\$ 24.096,10	R\$ 277.651,03	330137,03	0,84
4	49,53%	R\$ 247.637,03	R\$ 24.144,29	R\$ 271.781,32	217508,17	1,25
5	49,61%	R\$ 248.026,65	R\$ 24.192,58	R\$ 272.219,22	170648,34	1,60
6	50,22%	R\$ 251.080,94	R\$ 24.240,96	R\$ 275.321,90	187824,71	1,47
7	50,80%	R\$ 254.017,88	R\$ 24.289,44	R\$ 278.307,32	124727,34	2,23
Valor do veículo novo						R\$ 500.000,00

Fonte: Próprio autor

A Tabela 21 resgata o somatório do custo de capital com o custo de manutenção (segunda coluna) já calculado no capítulo anterior. Como esses custos são em porcentagem do valor veículo novo, a terceira coluna expõe esses valores em reais.

A quarta coluna inclui o salário do operador, que para este caso equivale a R\$ 2000,00 (R\$ 24000,00 em dose meses). Esse valor recebe uma correção de 2% a cada ano que passa como estimativa para o INPC. A quinta coluna expõe o somatório do valor total anual com o salário do operador que expressa então o custo total anual para um veículo em operação.

A divisão do custo total anual pela capacidade do caminhão no referente ano retorna o custo médio por tonelada transportada (R\$/t). Através da análise desses valores é possível concluir que a partir do terceiro ano o custo unitário tende a aumentar significativamente, sendo este o ano mais adequado para a renovação da frota de transporte da “Empresa A”.

6 CONCLUSÃO

O estudo de caso buscou adequar uma metodologia de dimensionamento de equipamentos ao caso de uma empresa terceirizada que atua nas atividades de perfuração, desmonte, carregamento e transporte em uma mina de ouro a céu aberto de pequeno porte, com o intuito de estabelecer a capacidade necessária para o atendimento do plano de produção estabelecido pelo setor de planejamento de lavra da empresa contratante.

O atendimento dos objetivos específicos foi alcançado com o levantamento das principais informações que envolvem a seleção e o dimensionamento de equipamentos de carregamento e transporte em uma mina a céu aberto. Através dessas informações se foi possível estimar a capacidade produtiva para as demandas de produção, como também estimar seus referidos custos operacionais. Demonstrando uma quantidade de duas escavadeiras e nove caminhões para o atendimento da demanda requerida pelo setor de planejamento de lavra da mina.

Entre os custos das operações podemos destacar os custos de manutenção, estes foram detalhados através de pesquisas mais aprofundadas sendo estabelecido o quanto cada tipo de equipamento representa na parcela total desses custos. Através dessa análise foi possível se obter resultados mais consistentes, tendo em vista o quanto os custos de manutenção podem afetar os custos totais da operação e a lucratividade da empresa com o passar dos anos de uso dos equipamentos.

Com a estimativa do custo por equipamentos foi possível também visualizar a parcela anual dos custos dos caminhões da mina, esses valores contribuíram na composição das planilhas para se determinar a idade mais adequada, em termos econômicos, para a renovação desses equipamentos. A conclusão referente à substituição da frota de caminhões foi de três anos de uso destes equipamentos, sendo a partir dessa idade mais vantajoso a renovação da frota, para este caso foi utilizada a metodologia através de conceitos de matemática financeira, pois retorna valores mais consistentes para a realidade das atividades.

A estimativa dos custos operacionais permitiu também que a companhia em estudo possa analisar o comportamento dos custos caso haja necessidade de

variação na meta de produção planejada pela empresa contratante. A cada faixa de produção a “Empresa A” consegue analisar seu custo por tonelada transportada, esses valores possibilitam de forma clara nortear os acordos de contrato para prestação de serviços.

Enquanto ao controle de custos da empresa estudada, fica claro que há uma necessidade de aprimorar o acompanhamento desses custos pela mesma, passando de uma análise global para um direcionamento detalhado do quanto cada equipamento está contribuindo para a composição dos custos de manutenção. Essa análise poderá contribuir para a visualização de anormalidades na frota e também para uma gestão de frotas mais acurada. Essa melhoria pode ser simplificada com a adequação de um sistema de informação ligado ao gerenciamento de frotas voltado para mineração.

Ainda referente à análise dos custos, outra forma mais detalhada, para os caminhões, seria o levantamento dos custos por tonelada por quilômetro rodado. Esses temas supracitados podem ser abordados como proposta para futuros trabalhos na área.

Finalmente se pode concluir que as atividades de carregamento e transporte por caminhões nas operações unitárias de minas a céu aberto demandam altos investimentos. Desta forma a gestão de frotas em operações mineiras é de extrema importância para o melhoramento contínuo de seus processos, com a busca incessante do melhor nível de serviço prestado ao cliente e maximização dos resultados das organizações.

REFERÊNCIAS

- ABEPRO. **Áreas e Sub-áreas da Engenharia de Produção**, 2008. Disponível em: <<http://www.abepro.org.br/interna.asp?p=399&m=424&ss=1&c=362>>. Acesso em: dezembro, 2016.
- ALEXANDRE, R. F. **Modelagem, Simulação de Operação e Otimização Multiobjetivo Aplicada ao Problema de Despacho de Veículos em Minas a Céu Aberto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Minas Gerais, p. 1, 2010.
- BALLOU, R. H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial**: trad. Raul Rubenich. 5. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- BALLOU, R. H. **Logística empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física**: trad. Hugo T. Y. Yoshizaki. São Paulo: Atlas, 2007.
- BARTH, M. B.; MICHEL, D. M. **Dimensionamento de uma Frota de Veículos com Foco na Redução de Custos: Estudo de Caso**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.
- BERNARDI, H. A. **Dimensionamento de equipamentos para as operações unitárias de lavra de mina a céu aberto**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Minas) – Centro Universitário Luterano de Palmas, p. 3, 2015.
- BORGES, T. C. **Análise dos custos operacionais de produção no dimensionamento de frotas de carregamento e transporte em mineração**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade Federal de Ouro Preto, p. 3, 2013.
- BORNIA, A. C. **Análise gerencial de custos: Aplicação em empresas modernas**. São Paulo: Atlas, 3ª edição, 2010.
- BRIO GOLD – **EMPRESA – SOBRE A BRIO GOLD**. Disponível em:<<http://www.briogoldinc.com>>. Acesso em 8 de novembro de 2017.
- CARARETO, E. S.; JAYME, G.; TAVARES, M. P. Z.; VALE, V. P. **Gestão estratégica de custos: Custos na tomada de decisão**. Revista de Economia da UEG, Anápolis (GO), v. 2, nº 2, 2006.
- CATERPILLAR – Catálogo: **ESCAVADEIRAS HIDRÁULICAS DE MINERAÇÃO** – FS 6090, Disponível em: <<http://www.cat.com/>>. Acesso em 13 de janeiro de 2017.
- CATERPILLAR – Catálogo: **ESCAVADEIRAS MÉDIAS** – 320 D2 GC Média, Disponível em: <http://www.cat.com/pt_BR>. Acesso em 7 de novembro de 2017.
- CATERPILLAR – Catálogo: **CAMINHÃO FORA DE ESTRADA** – 797F, Disponível em: <<http://www.cat.com/>>. Acesso em 15 de janeiro de 2017.
- CBPM (Companhia Brasileira de Pesquisa Mineral). **Indicadores Econômicos e Cotações de Commodities – Desempenho da Mineração Baiana em 2015**. Disponível em: <<http://www.cbpm.ba.gov.br>>. Acesso em: 10 de outubro de 2017.

CBPM (Companhia Baiana de Pesquisa Mineral). **Indicadores Econômicos e Cotação de commodities – Cotação de Commodities Minerais (boletim semanal)**. Disponível em: <<http://www.cbpm.ba.gov.br>>. Acesso em: 25 de outubro de 2017.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. **Metodologia Científica**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2002.

CNT (Confederação Nacional do Transporte). **Economia em Foco**. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/>>. Acesso em: 18 de outubro de 2017.

COELHO, G. F.; MONTEIRO, N. J.; MELO, A. C. S.; NUNES, D. R. L.; MARTINS, V. W. B. **Modelo de simulação da atividade de lavra em minas a céu aberto: Um estudo de caso em uma mineradora no estado do Pará**. InterSciencePlace – Revista Científica Internacional, v. 11, p. 124.

COSTA, F. P.; SOUZA, M. J. F. e PINTO, L. R. **Um modelo de programação matemática para alocação estática de caminhões visando ao atendimento de metas de produção e qualidade**. Revista da escola de minas. v. 58, p. 77-78, 2005.

CREPALDI, S. A. **Contabilidade gerencial: Teoria e prática**. São Paulo: Atlas, 3ª edição, p. 87-88, 2004.

DAMASCENO, C. S. R. **Modelagem geológica e geomecânica 3D e análises de estabilidade 2D dos taludes da mina de Morro da Mina, Conselheiro Lafaiete, MG, Brasil**. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2008.

D'ARRIGO, R. F. **Modelo de estimativa de custos operacionais e de capital em projetos de mineração em fase conceitual baseado no modelo de O'Hara**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 30, 2012.

DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral). **Código de Mineração – Capítulo III Da Lavra**. Disponível em: <http://www.dnpm-pe.gov.br/Legisla/cm_03.htm>. Acesso em 21 de setembro de 2017.

FERREIRA, L. A. **Escavação e Exploração de Minas a Céu Aberto**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Juiz de Fora, 2013.

GANGA, G. M. D. **Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) na engenharia de produção: um guia prático de conteúdo e forma**. São Paulo: Atlas, 2012.

GERMANI, D. J. **Relatório Final: A mineração no Brasil**. Ver 02. Rio de Janeiro, 2002.

IBRAM (Instituto Brasileiro de Mineração). **Bahia de Todos os Minérios (2011)**. Disponível em: <http://www.ibram.org.br/150/15001002.asp?ttCD_CHAVE=150346>. Acesso em: 25 de outubro de 2017.

IBRAM (Instituto Brasileiro de Mineração). **Mineração & Economia verde: Encontro da Indústria para a Sustentabilidade**. Brasília, 2012. 21p. Disponível em: <<http://www.portaldaminerao.com.br/wp-content/uploads/2017/06/00002708.pdf>>. Acesso em: 3 de junho de 2017.

IBRAM (Instituto Brasileiro de Mineração). **Informações Sobre a Economia Mineral 2015**. Brasília, 2015. 5p. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00005836.pdf>>. Acesso em: 3 de junho de 2017.

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.

LIMA, W. C.; SALLES, J. A. A. **Manutenção Preditiva: Caminho para a Excelência e Vantagem Competitiva**. 2006. Disponível em: <<http://www.unimep.br/phpg/mostracademica/anais/4mostra/pdfs/616.pdf>>. Acesso em: 29 de abril de 2017.

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. 1p.

MASSIERO, L. S. **Proposta de dimensionamento de frota para uma transportadora**. Monografia (Bacharel em Engenharia de Produção), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

NOVAES, A. G. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição: Estratégia, Operação e Avaliação**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

PANTUZA JÚNIOR, G. **Métodos de otimização multiobjetivo e de simulação aplicados ao problema de planejamento de lavra em minas a céu aberto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade Federal de Ouro Preto, p.1, 2011.

PANTUZA JÚNIOR, G.; SOUZA, M. J. F.; CABRAL, I. E. **Uma nova formulação de programação matemática para o problema de planejamento de lavra**. *GÉPROS: Gestão da Produção Operações e Sistemas*, v.4, n.4, p. 125-137, 2009. Disponível em: <<http://revista.feb.unesp.br/index/gepros/issue/view/46/showtoc>>. Acesso em: 01 de dezembro 2016.

RACEM.ORG – **CAMINHÃO BASCULANTE SCANIA MINERAÇÃO - P420**, Disponível em: <<http://www.racem.org/scania-p420.html>>. Acesso em 8 de novembro de 2017.

REVUELTA, M. B. JIMENO, C. L. **Manual de evaluación y diseño de explotaciones mineras**. Editora entorno gráfico. Mostoles, Madrid. 1997.

RICARDO, H. S.; CATALANI, G. **Manual Prático de Escavação: Terraplenagem e Escavação de Rocha**. 3 edição. São Paulo. Editora Pini, 2007.

ROCHA, P. P. F. **Modelo de dimensionamento de frota de helicópteros para um sistema de distribuição física de pessoas voltados às atividades offshore de exploração e produção de uma bacia petrolífera – Estudo de caso.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

RODOVALHO, E. da C. **Aplicação de ferramentas de simulação em operações mineiras para determinação de índices operacionais utilizados em planos de lavra adaptados ao estudo de caso da Mineração Casa de Pedra - CSN (Congonhas/MG).** 111f. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade Federal de Ouro Preto, 2013.

SABINO, R. O.; AGRA, R. V.; TOMI, G. de. **Desafios na gestão de ativos em projetos de mineração de pequeno porte: Exemplo prático.** 2008. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/rede-carvao/Sessões_A4_A5_A6/A6_ARTIGO_03.pdf>. Acesso em: 29 de maio de 2017.

SCANIA – **Caminhão Basculante Mineração – G440,** Disponível em: <<http://www.codema.com.br/>>. Acesso em 15 de janeiro de 2017.

SCHÄFER, F. **Desenvolvimento de uma sistemática de melhoria do desempenho econômico de indústrias extrativas – O caso de uma mineração a céu aberto.** Dissertação (Mestrado em engenharia de produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 11, 2012.

SILVA, V. C. **Carregamento e transporte de rochas.** Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 2011.

SOTREQ. **Contratos de Manutenção da Somov.** Disponível em: <<http://www.gruposotreq.com.br>>. Acesso em: 27 de outubro de 2017.

SOUSA JÚNIOR, W.T. **Seleção de caminhões rodoviários para mineração utilizando a metodologia de auxílio multicritério à decisão. Estudo de caso: Mineração de bauxita.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade Federal de Ouro Preto, p. 21-24, 2012.

SOUZA, A. A. P. de. **Guia para o dimensionamento de frotas de carregamento e transporte por caminhões em mineração a céu aberto.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Minas) – Centro Universitário Luterano de Palmas, p. 5, 2014.

STRINGHER, F. G. **Designação de Rotas para Frota Dedicada em uma Rede de Distribuição de Linha Branca.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

STF (Supremo Tribunal Federal). **A Constituição e o Supremo: CONSTITUIÇÃO DA REPUBLICA FEDERATIVA DO BRASIL. TÍTULO VII – Da Ordem Econômica e Financeira. CAPÍTULO I – Dos Princípios Gerais da Atividade Econômica.** Disponível em: <<http://www.stf.jus.br/PORTAL/CONSTITUICAO/artigoBd.asp?item=1699>>. Acesso em: 25 de outubro de 2017.

TERRAFACIL - **Home – Serviços**. Disponível em: <<http://www.terrafacilrs.com.br>>. Acesso em: 8 de novembro de 2017.

VALENTE, A. M.; NOVAES, A. G.; PASSAGLIA, E.; VIEIRA, H. **Gerenciamento de Transporte e Frotas**. 2. Ed. rev. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

ZAGO, C. A.; BIANCHI, R. C. **Estudo da logística interna como vantagem competitiva em empresas de máquinas agrícolas**. Disc. Scientia. Série: Ciências Sociais Aplicadas, Santa Maria, v.1, n.1, p. 63-79, 2005.

Anexo 1

Custos com mão de obra

Cargo	Salário base	Meses	Quantidade	Fator de custo MO	Custo - 2018	Custo - 2019	Custo - 2020
Manutenção							
Borracheiro	R\$ 1.500,00	12	2	1,8	R\$ 64.800,00	R\$ 64.929,60	R\$ 65.059,46
Eletricista I	R\$ 2.000,00	12	2	1,8	R\$ 86.400,00	R\$ 86.572,80	R\$ 86.745,95
Lubrificador	R\$ 1.500,00	12	2	1,8	R\$ 64.800,00	R\$ 64.929,60	R\$ 65.059,46
Técnico mecânico	R\$ 2.000,00	12	2	1,8	R\$ 86.400,00	R\$ 86.572,80	R\$ 86.745,95
Mecânico I	R\$ 2.000,00	12	2	1,8	R\$ 86.400,00	R\$ 86.572,80	R\$ 86.745,95
Soldador	R\$ 1.800,00	12	2	1,8	R\$ 77.760,00	R\$ 77.915,52	R\$ 78.071,35
Total					R\$ 466.560,00	R\$ 467.493,12	R\$ 468.428,11
Operador de equipamentos							
Operador de caminhão	R\$ 2.000,00	12	20	1,8	R\$ 864.000,00	R\$ 865.728,00	R\$ 867.459,46
Operador de escadeira	R\$ 2.000,00	12	5	1,8	R\$ 216.000,00	R\$ 216.432,00	R\$ 216.864,86
Operador de Pipa	R\$ 2.000,00	12	2	1,8	R\$ 86.400,00	R\$ 86.572,80	R\$ 86.745,95
Operador de Rock Drill	R\$ 2.000,00	12	9	1,8	R\$ 388.800,00	R\$ 389.577,60	R\$ 390.356,76
Operador de Carregadeira	R\$ 2.000,00	12	2	1,8	R\$ 86.400,00	R\$ 86.572,80	R\$ 86.745,95
Operador de Motoniveladora	R\$ 2.000,00	12	2	1,8	R\$ 86.400,00	R\$ 86.572,80	R\$ 86.745,95
Operador de trator	R\$ 2.000,00	12	4	1,8	R\$ 172.800,00	R\$ 173.145,60	R\$ 173.491,89
Total					R\$ 1.900.800,00	R\$ 1.904.601,60	R\$ 1.908.410,80
Mão de obra de apoio							
Auxiliar de Topografia	R\$ 1.500,00	12	1	1,8	R\$ 32.400,00	R\$ 32.464,80	R\$ 32.529,73
Blaster	R\$ 1.800,00	12	2	1,8	R\$ 77.760,00	R\$ 77.915,52	R\$ 78.071,35
Supervisor de operação	R\$ 4.000,00	12	2	1,8	R\$ 172.800,00	R\$ 173.145,60	R\$ 173.491,89
Topógrafo	R\$ 2.000,00	12	1	1,8	R\$ 43.200,00	R\$ 43.286,40	R\$ 43.372,97
Total					R\$ 326.160,00	R\$ 326.812,32	R\$ 327.465,94
Mão de obra Total					R\$ 2.693.520,00	R\$ 2.698.907,04	R\$ 2.704.304,85

Anexo 2

Custos de manutenção e amortização (% do valor do equipamento)

CUSTO DE AQUISIÇÃO				CUSTO DE MANUTENÇÃO			CUSTO DE AMORTIZAÇÃO		
Equipamentos	Valor do equip.	Quantidade	Custo total (Aquisição)	2018	2019	2020	2018	2019	2020
Caminhão	R\$ 500.000,00	9	R\$ 4.500.000,00	R\$ 540.000,00	R\$ 729.000,00	R\$ 984.150,00	R\$ 750.000,00	R\$ 750.000,00	R\$ 750.000,00
Escavadeira	R\$ 800.000,00	2	R\$ 1.600.000,00	R\$ 168.000,00	R\$ 418.400,00	R\$ 283.920,00	R\$ 266.666,67	R\$ 266.666,67	R\$ 266.666,67
Perfuratriz	R\$ 150.000,00	4	R\$ 600.000,00	R\$ 60.000,00	R\$ 90.000,00	R\$ 120.000,00	R\$ 100.000,00	R\$ 100.000,00	R\$ 100.000,00
Caminhão Pipa	R\$ 350.000,00	1	R\$ 350.000,00	R\$ 18.000,00	R\$ 24.000,00	R\$ 36.000,00	R\$ 58.333,33	R\$ 58.333,33	R\$ 58.333,33
Carregadeira	R\$ 500.000,00	1	R\$ 500.000,00	R\$ 18.000,00	R\$ 24.000,00	R\$ 36.000,00	R\$ 83.333,33	R\$ 83.333,33	R\$ 83.333,33
Trator de esteiras	R\$ 600.000,00	2	R\$ 1.200.000,00	R\$ 36.000,00	R\$ 208.000,00	R\$ 72.000,00	R\$ 200.000,00	R\$ 200.000,00	R\$ 200.000,00
Motoniveladora	R\$ 700.000,00	2	R\$ 1.400.000,00	R\$ 48.000,00	R\$ 72.000,00	R\$ 96.000,00	R\$ 233.333,33	R\$ 233.333,33	R\$ 233.333,33
TOTAL			R\$ 10.150.000,00	R\$ 840.000,00	R\$ 1.565.400,00	R\$ 1.628.070,00	R\$ 1.691.666,67	R\$ 1.691.666,67	R\$ 1.691.666,67