UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS

RODRIGO DE OLIVEIRA SEVERINO

DIMENSIONAMENTO DA PRODUTIVIDADE DE TRATORES D375A - 6 E D61EX – 23MO – ESTUDO DE CASO: COMPLEXO MARIANA, VALE S.A.

OURO PRETO - MG
2018

RODRIGO DE OLIVEIRA SEVERINO

DIMENSIONAMENTO DA PRODUTIVIDADE DE TRATORES D375A - 6 e D61EX – 23MO – ESTUDO DE CASO: COMPLEXO MARIANA, VALE S.A.

Monografia submetida à apreciação da banca examinadora de graduação em Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte dos requisitos necessários para a obtenção de grau de bacharel em Engenharia de Minas.

Orientadora: Profª. Flávia Gomes Pinto

Co-orientadora: Luana Lessa Pacheco

OURO PRETO - MG

2018

S498d Severino, Rodrigo de Oliveira.
Dimensionamento da produtividade de tratores D375A - 6 e D61EX - 23MO [manuscrito]: Estudo de caso - Complexo Mariana, Vale S.A. / Rodrigo de Oliveira Severino. - 2018.

56f.: il.: color; grafs; tabs.

Orientador: Profa. MSc. Flávia Gomes Pinto.
Coorientador: Eng. Minas Luana Lessa Pacheco.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Minas.

1. Minas e mineração. 2. Operação de mina. 3. Tratores. I. Pinto, Flávia Gomes. II. Pacheco, Luana Lessa. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Titulo.

CDU: 622.6

Catalogação: ficha@sisbin.ufop.br

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas - Departamento de Engenharia de Minas

ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA DE FINAL DE CURSO

Aos nove dias do mês de fevereiro de 2018, às 13:00 horas, no auditório do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas - DEMIN/EM, foi realizada a defesa da monografia de final de curso de Engenharia de Minas requisito da disciplina MIN-491 – Trabalho de Conclusão de Curso II, pelo aluno **Rodrigo de Oliveira Severino**, intitulado: "***DIMENSIONAMENTO DA PRODUTIVIDADE DE TRATORES D375A-6 E D61EX-23MO – ESTUDO DE CASO: COMPLEXO MARIANA, VALE S.A.***", sendo a comissão avaliadora formada por **Profª. M. Sc. Flávia Gomes Pinto** (orientadora)**, Engª de Minas Luana Lessa Pacheco (co-orientadora) e Prof. Dr. Hernani Mota de Lima.**

Após arguição sobre o trabalho, a comissão avaliadora deliberou por unanimidade pela aprovação do candidato, com a nota 10 concedendo-lhe o prazo de 15 dias para incorporar no texto final da monografia as alterações determinadas/sugeridas pela banca.

O aluno fará jus aos créditos e conceito de aprovação na disciplina MIN-491 – Trabalho de Conclusão de Curso II após a entrega dos exemplares definitivos (Cd e cópia impressa) da versão final da monografia defendida, conforme modelo do CEMIN-2009, no Colegiado do Curso de Engenharia de Minas – CEMIN.

Para fins de registro, foi lavrada a presente ata que, depois de lida e aprovada é assinada pelos membros da comissão avaliadora e pelo discente.

Ouro Preto, 09 de fevereiro de 2018.

Profª. M.Sc. Flávia Gomes Pinto
Presidente da Comissão Avaliadora e Professora Orientadora

Engª de Minas Luana Lessa Pacheco
Co-Orientadora e Membro da Comissão Avaliadora

Prof. Dr. Hernani Mota de Lima
Membro da Comissão Avaliadora

Rodrigo de Oliveira Severino
Rodrigo de Oliveira Severino

Prof. M.S.C. José Fernando Miranda
Professor responsável pela Disciplina Min 491 – Trabalho de Conclusão de Curso

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado a chance de chegar até aqui, por ter me dado a força necessária para lutar por meus objetivos e por me fazer forte em todos os momentos.

Aos meus pais Aparecida e Antônio, por serem parte essencial de tudo isso, por me incentivarem a buscar sempre o melhor em minha vida, por acreditarem que eu chegaria aqui e por serem minha base em todos os momentos. Minha eterna gratidão a vocês, pois sem vocês eu não seria nada.

A minha irmã Vanessa, por sempre acreditar em mim e sempre me impulsionar. Por todo o amadurecimento conjunto e por me mostrar o quão grande pode ser o amor entre irmãos. Ao meu irmão Robson que sempre olhou por mim e sempre me acompanhou em todos os meus passos ao lado de Deus.

Aos meus amigos de Manhuaçu por todo o aprendizado adquirido durante todo o tempo em que estivemos juntos e por me mostrarem que mesmo longe, o sentimento consegue se manter, e quando juntos, é como se o tempo longe não existisse.

Aos amigos de Ouro Preto por me proporcionarem momentos únicos e que jamais serão esquecidos.

Aos professores, em especial aos queridos Xana, Erica, Otávia e José Aurélio, por todo conhecimento transmitido a mim e por toda amizade e carinho.

Às minhas orientadoras e amigas Flávia e Luana, por me mostrarem que eu conseguiria e por serem tão solicitas e dedicadas a mim.

A empresa SAMA pela oportunidade e por se mostrarem tão disponíveis em ensinar. A todos os amigos adquiridos durante esse tempo em Minaçu, em especial ao Lucas Borges de Faria, Engenheiro de Minas pela UFG, por toda amizade, companheirismo e conhecimentos passados a mim, e por estar sempre por perto, mesmo estando longe.

A empresa VALE pela oportunidade e por todo conhecimento adquirido. Aos amigos conquistados, em especial a todos do planejamento de mina de curto prazo. Por todas a risadas e por toda dedicação a mim.

A UFOP, a Fundação Gorceix e a gloriosa Escola de Minas, por proporcionarem a realização desse sonho maravilhoso.

Por fim, agradeço infinitamente a República Sem Norte, lugar esse, que posso dizer fielmente que fui mais feliz durante todo o tempo que estive em Ouro Preto. Lugar esse, que além de amigos, pude fazer irmãos para toda vida. Lugar que a alegria é constante e que não existe tempo ruim. Lugar que me completou e que tenho certeza que fará parte de mim para sempre. Eu sou Sem Norte meu amigo eu sou Sem Norte... e sempre serei.

“Tente uma, duas, três vezes e se possível tente a quarta, a quinta e quantas vezes for necessário. Só não desista nas primeiras tentativas, a persistência é amiga da conquista. Se você quer chegar aonde a maioria não chega, faça o que a maioria não faz. ”

Bill Gates

RESUMO

O método de lavra a céu aberto mais utilizado nas minas de minério de ferro é o de lavra por bancadas. O minério de ferro é o minério que apresenta maior produção mundial, sendo que somente a empresa VALE produziu no ano de 2017 aproximadamente 390 milhões de toneladas. O cálculo da produtividade de equipamentos auxiliares é de grande importância, tendo em vista que os mesmos podem impactar na produção se mal dimensionados. Neste sentido, desenvolveu-se no presente trabalho um estudo referente à produtividade dos tratores de esteira do tipo D375A – 6 e D61EX – 23MO durante a realização de vários tipos de serviços nas minas de minério de ferro do Complexo Mariana da empresa VALE. O estudo buscou analisar a possibilidade de se calcular a produtividade dos equipamentos por meio da massa movimentada e das horas efetivas de trabalho, fornecendo assim o valor da produtividade e a quantidade de equipamentos necessários para cada tipo de serviço. A metodologia contou com simulações realizadas no *software* OZM da Komatsu, medições realizadas em campo com o auxílio da equipe de topografia e comparação dos valores com ábacos de produtividade. De posse desses dados, concluiu-se que a produtividade dos equipamentos pode ser calculada utilizando as variáveis propostas, notou-se também que à medida que a DMT de trabalho aumenta, os valores de produtividade dos equipamentos diminuem e ao comparar-se valores obtidos, notou-se que os valores de produtividade obtidos nas medições em campo são menores que os obtidos através dos ábacos e das simulações em *software*, isso pelo fato de o *software* e o ábaco fornecerem os valores em cenários perfeitos, não considerando valores de intrínsecos como operador, visualização, etc..

Palavras-chave: trator de esteira, produtividade de tratores de esteira, operação de mina.

ABSTRACT

The most widely used opencast method in the iron ore mines is the mining of benches. Iron ore is the ore with the largest world production, with only VALE producing in the year 2017 approximately 390 million tons. The calculation of the productivity of ancillary equipment is of great importance, considering that they can impact on the production if badly sized. In this sense, a study was carried out on the productivity of the D375A-6 and D61EX-23MO type track tractors during the realization of several types of services in the iron ore mines of the VALE Mariana Complex. The study sought to analyze the possibility of calculating the productivity of the equipment by means of mass and working hours, thus providing the value of productivity and the amount of equipment needed for each type of service. The methodology included simulations performed in Komatsu's OZM software, field measurements with the aid of the topography team and comparison of values with productivity abacuses. It was concluded that the productivity of the equipment can be calculated using the proposed variables, it was also noticed that as the working DMT increases, the productivity values of the equipment decrease and when the obtained values are compared, it was noticed that the productivity values obtained in the field measurements are smaller than those obtained through the abacuses and the software simulations, due to the fact that the software and the abacus provide the values in perfect scenarios, not considering intrinsic values as operator , visualization, etc..

Key words: bulldozer, bulldozer productivity, mine operation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Minas do Complexo Mariana. 16
Figura 3.2 - Fluxograma de produção do Complexo Mariana..... 18
Figura 3.3 - Vista da Mina de Alegria do Complexo Mariana..... 19
Figura 3.4 - Vista da mina de Fábrica Nova do Complexo Mariana..... 20
Figura 3.5 - Vista da mina de São Luís do Complexo Mariana..... 21
Figure 3.6 - Tratores de esteira de pequeno porte 23
Figure 3.7 - Tratores de esteira de pequeno porte 23
Figure 3.8 - Tratores de esteira de médio porte 24
Figure 3.9 - Tratores de esteira de médio porte 24
Figure 3.10 - Tratores de esteira de grande porte..... 25
Figura 3.11 - Dimensões do trator de esteira D61EX - 23MO 26
Figura 3.12 - Especificações do motor do trator de esteira D61EX - 23MO 26
Figura 3.13 - Especificações da lâmina do trator de esteira D61EX - 23MO 27
Figura 3.14 - Dimensões do trator de esteira D375A – 6 27
Figura 3.15 - Especificações do motor do trator de esteira D375A – 6..... 28
Figura 3.16 - Especificações das lâminas do trator de esteira D375A – 6..... 28
Figura 3.17 - Estimativa da capacidade da lâmina..... 32
Figura 3.18 - Interface da planilha baseada no *software* para cálculo de produtividade de tratores de esteira 37
Figura 3.19 - Fatores de correção para o cálculo de produtividade de tratores de esteira..... 38
Figura 3.20 - Gráficos de produtividade estimada para tratores de esteira 38
Figura 3.21 - Fatores de correção do grade para cálculo de produtividade de tratores de esteira 39
Figura 4.1 - Localizações das áreas de medição 43
Figura 4.2 - Trator de esteira D375A - 6 operando em corte de acesso..... 43
Figura 4.3 - Trator de esteira D61EX - 23MO operando em corte de acesso..... 44
Figura 4.4 - Interface do software com dados imputados..... 45
Figura 5.1 - Sólido gerado a partir das medições em campo para corte realizado pelo trator de esteira D375A – 6..... 46
Figura 5.2 - Perfis gerados a partir das medições em campo para o corte realizado pelo trator D375A – 6 47
Figura 5.3 - Sólido gerado a partir das medições em campo para o corte realizado pelo trator de esteira D61EX - 23MO 48
Figura 5.4 - Sólido gerado a partir das medições em campo para o corte realizado pelo trator de esteira D61EX - 23MO 48
Figura 5.5 - Perfil de corte gerado a partir das medições em campo para o corte realizado pelo trator de esteira D61EX - 23MO..... 49

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Comparação de tratores de esteira e pneus 22
Tabela 4.1 - Ábaco de produtividade estimada para tratores de esteira em m³..... 40
Tabela 4.2 - Fatores de correção das condições de trabalho utilizados para tratores de esteira e pneus..... 41
Tabela 4.3 - Dimensionamento de tratores de esteira - base de cálculo 42
Tabela 5.1 - Valores de produtividade dos equipamentos obtidos através de medições em campo 50
Tabela 5.2 - Índices de controle de tratores de esteira Dimensionado x Realizado..... 53

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13

2 OBJETIVOS 15

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 16

3.1 O COMPLEXO MARIANA 16

3.1.1 Mina de Alegria 18

3.1.2 Mina de Fábrica Nova 19

3.1.3 Mina de São Luís 20

3.2 TRATORES DE ESTEIRA 21

3.2.1 Tratores de esteira disponíveis no mercado brasileiro 22

3.2.2 Trator de esteira D61EX – 23MO 25

3.2.3 Trator de esteira D375A – 6 27

3.3 PRODUTIVIDADE DE EQUIPAMENTOS 28

3.4 PRODUTIVIDADE DE TRATORES DE ESTEIRA 31

3.5 TRATORES DE ESTEIRA NA OPERAÇÃO DE MINA 36

3.6 *SOFTWARE* OZM 37

4 DESENVOLVIMENTO 40

4.1 CRIAÇÃO DA PLANILHA BASE 40

4.2 LEVANTAMENTO EM CAMPO 42

4.3 *SOFTWARE* OZM 44

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS 46

5.1 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES NO OZM 46

5.2 RESULTADOS DO LEVANTAMENTO EM CAMPO 46

5.3 COMPARATIVO DOS VALORES OBTIDOS 49

5.4 POSSÍVEL PROBLEMÁTICA 52

6 CONCLUSÃO 54

REFERÊNCIAS 55

1 INTRODUÇÃO

Quando se deu início a utilização de equipamentos de tração, os mesmos eram tracionados por animais. Com a necessidade de se aumentar o tamanho dos implementos, os produtores eram obrigados a colocar mais animais para realizar o trabalho. Isso aumentava a dificuldade de realização do trabalho, pois em alguns casos, necessitava-se de mais de 60 animais para o trabalho (SOTREQ, 2012).

Os primeiros equipamentos, vieram para substituir a força animal e vencer grandes obstáculos. Com o passar dos anos, elevou-se demanda de trabalho, e o avanço na tecnologia proporcionou o aumento e a robustez dos equipamentos, fazendo com que eles conseguissem atender os serviços (SOTREQ, 2012).

De acordo com Ricardo e Catalani (2007), a unidade de tração é a máquina básica de terraplanagem, pois todos os equipamentos à nossa disposição, para executá-la, são tratores devidamente modificados ou adaptados a realizar as operações básicas de terraplanagem.

Ao comparar-se tratores de esteira e tratores de pneus, pode ser observado que uma vantagem dos tratores de esteira em relação aos tratores de pneus é o seu poder de corte, e isso ocorre pelo fato de os mesmos serem tracionados por esteira, o que proporciona maior força ao equipamento, porém, uma desvantagem é sua baixa velocidade, atingindo no máximo 10 Km/h, fazendo com que eles não se desloquem por grandes distâncias por motivos econômicos (RICARDO e CATALANI, 2007).

A utilização dos tratores de esteira na mineração se dá pelo fato de que o equipamento realiza serviços que outros equipamentos não conseguiriam realizar ou realizariam com uma menor eficiência.

Escarificação, corte, retaludamento, acerto de praça, drenagem, entre outras, são atividades realizadas por tratores de esteira na mineração, podendo o equipamento variar o porte, o tamanho da lâmina e até mesmo as atividades que pode realizar.

A produtividade dos equipamentos auxiliares como os tratores de esteira por exemplo, não é um resultado de fácil obtenção, tendo em vista que seu cálculo necessita de parâmetros de difícil determinação e de fatores aleatórios que estão diretamente ligados ao desempenho das máquinas (RICARDO e CATALANI, 2007).

A Vale é uma grande empresa produtora de vários tipos de minérios, com um maior foco na produção de minério de ferro. Tendo em vista o crescimento populacional e a maior demanda por vários tipos de minérios, a produção da empresa tem aumentado cada vez mais, com destaque para o ano de 2017, que com o início da operação do projeto S11D, teve uma produção de aproximadamente 390 milhões de toneladas de minério de ferro (VALE, 2017).

Assim, a necessidade de se calcular índices de controle como a produtividade dos equipamentos utilizados é de grande importância, pois a falta dos valores ou até mesmo valores errados podem impactar diretamente na produção, acarretando em ganhos ou perdas de lucros.

Este trabalho teve como objetivo calcular a produtividade dos tratores de esteira das minas do Complexo Mariana da empresa VALE, tendo em vista que a produtividade dos equipamentos não era calculada, assim, não era possível obter parâmetros de controle. Com isso, o número de equipamentos necessários para a realização dos trabalhos não era fornecido no dimensionamento de frota.

2 OBJETIVOS

O objetivo desse estudo foi determinar a produtividade dos tratores de esteira (modelos D375A - 6 e D61EX – 23MO) trabalhando em várias funções, como drenagem, ajuste de pilha de minério, ajuste de pilha de estéril e ajuste de acessos, através de medições em campo com o auxílio de medições topográficas, simulações no *software* de cálculo de produtividade utilizado pela empresa Komatsu com base nos dados obtidos nas medições em campo e comparativos com ábacos de produtividade fornecido pela empresa fabricante, fornecendo assim o valor da produtividade e o número de equipamentos necessários para realização dos trabalhos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O COMPLEXO MARIANA

O quadrilátero ferrífero que pertence ao Grupo Itabira é composto por formações ferríferas que contém itabiritos, dolomitos ferruginosos e filitos hematíticos, fazendo com que ele se torne uma das principais regiões produtoras de minério de ferro no mundo. Várias características primárias dos sedimentos originais foram modificadas por meio de metamorfismo e deformações, assim, as rochas que compõem o quadrilátero ferrífero apresentam um aspecto único ao se comparar com as de outras regiões com formações ferríferas (ROSIÈRE e CHEMALE JR., 2000).

A Vale atua em diversos ramos da mineração, sendo que, o mais expressivo é relacionado ao minério de ferro. A subdivisão se dá pelo sistema norte, sistema sul e sistema sudeste, (BARBOSA, 2010). O trabalho em questão foi realizado no sistema sul que é composto pelos complexos mineradores Itabira, Mariana e Minas centrais (Figura 3.1), com foco no Complexo Mariana, em específico, as minas de Alegria, Fábrica Nova e São Luís.

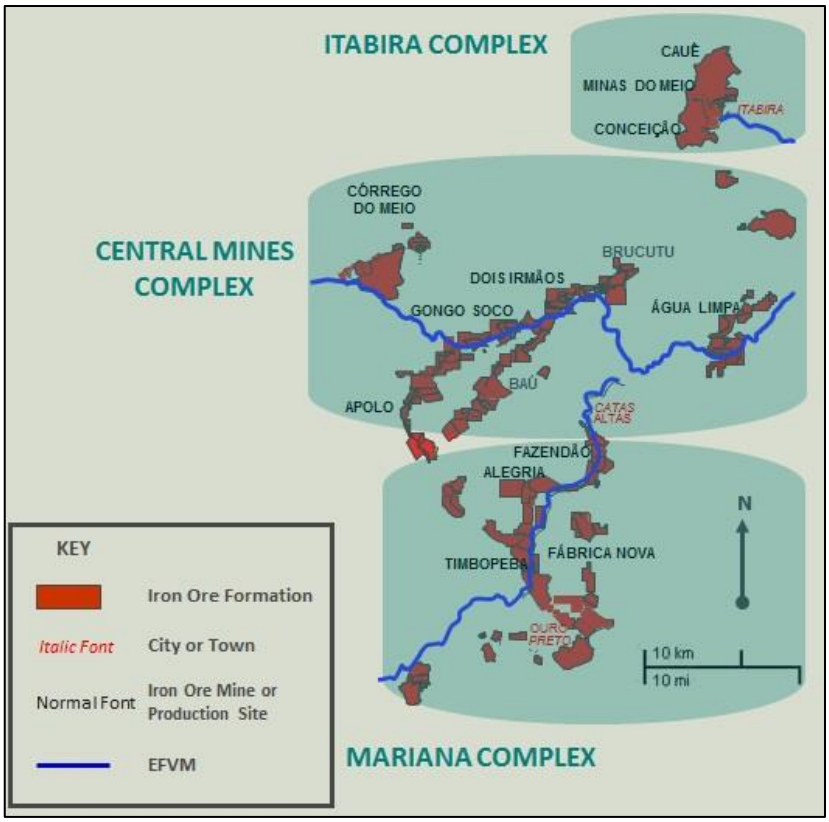


Figura 3.1 - Minas do Complexo Mariana (BARBOSA, 2010).

As minas do Complexo Mariana contêm diferentes tipos de rochas metamórficas ricas em ferro e seus produtos de intemperismo. Os tipos de formação ferrífera modelados e estimados são listados abaixo (BARBOSA, 2010):

Hematita;

Hematita Goethítica;

Itabirito Friável Rico;

Itabirito Friável;

Itabirito Compacto;

Itabirito Goethítico;

Itabirito Argiloso Rico;

Itabirito Argiloso;

Itabirito Manganesífero e Canga.

A reserva das minas é da ordem de 1 bilhão de toneladas de minérios de ferro, sendo aproximadamente 24 % de hematita e 76 % de itabirito. O sistema produtivo se dá na mina de Timbopeba e na mina de Alegria, sendo que em Timbopeba se trata o minério proveniente da mina de Fábrica Nova e nas três usinas da mina de Alegria os minérios de Fábrica Nova, São Luís e Alegria são tratados, (BARBOSA, 2010).

Após o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão em 2015, a correia transportadora responsável pelo transporte do minério da mina de Fábrica Nova para a usina de Timbopeba foi danificada, impedindo assim que o minério fosse levado até o destino de tratamento. Com isso, e associado ao acidente, se fez necessário uma adaptação na forma de se tratar o minério no Complexo Mariana. As usinas da mina de Alegria passaram a ser operadas a seco, tendo apenas o processo de britagem, enquanto a usina da mina de Timbopeba, continuou operando a úmido, sem a contribuição da produção da mina de Fábrica Nova. O minério retirado da mina de Fábrica Nova passou a ser enviado para as usinas da mina de Alegria, assim como parte do minério retirado da mina de São Luís. A produção da mina de

Timbopeba ficou a cargo somente da massa retirada na própria mina. O fluxograma de produção do ano de 2017 pode ser visto na Figura 3.2.

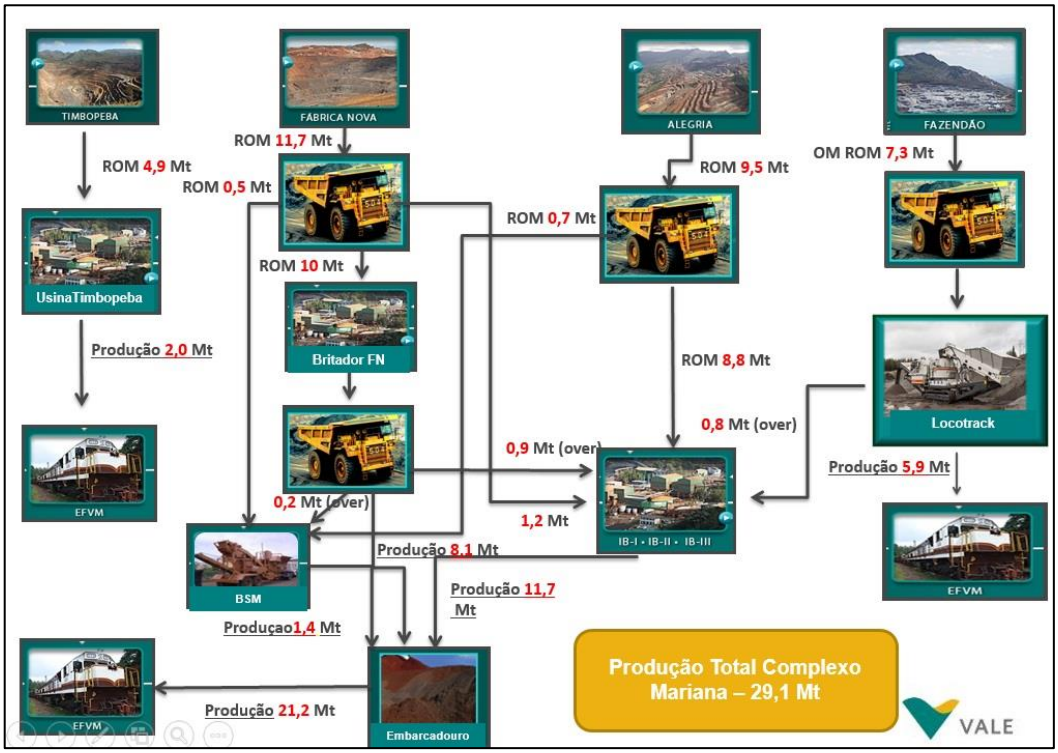


Figura 3.2 - Fluxograma de produção do Complexo Mariana (VALE, 2017)

3.1.1 Mina de Alegria

A mina de Alegria (Figura 3.3) teve seu início em 1969 pela antiga empresa SAMITRI Mineração Trindade S.A, com lavra de hematitas e itabiritos a céu aberto. Entre 1980 e 1990 foram feitos grandes investimentos, dentre esses, destaca-se a implantação do circuito IB3 que foi projetada para processar 6,8 milhões de itabiritos por ano. Em 2000 ocorreu a compra da Samitri pela Vale (VALE, 2013).

Os principais minérios da Mina de Alegria são representados por itabiritos silicosos e goethíticos. Ocorrem também formação ferrífera e corpos menores de hematitas. O método de lavra utilizado na mina é o método de lavra por bancadas a céu aberto.

Figura 3.3 - Vista da Mina de Alegria do Complexo Mariana (VALE, 2013)

3.1.2 Mina de Fábrica Nova

A mina de Fábrica Nova (Figura 3.4) está em processo de lavra desde 1998 e seu ROM era processado apenas nas usinas da Mina de Alegria. A partir de 2005 deu-se início também ao processamento do ROM na usina da Mina de Timbopeba, sendo que o minério era transportado em sua totalidade por correia transportadora. A mina apresenta minérios de ferro de caráter tectônico e supergênico, com itabiritos e corpos de hematita de variadas dimensões e geometrias. Apresenta uma complexa estruturação geológica em função da superposição de vários eventos tectônicos. Como efeito destas alterações, existe a multiplicidade de complicadores estruturais que influenciam o processo da mineralização ferrífera e pode impor restrições para lavra. A partir de 2015, o ROM da mina passou a ser transportado em parte para a usina da mina de Alegria e a outra passou a ser tratada na própria usina da mina de Fábrica Nova, (VALE, 2017).

Figura 3.4 - Vista da mina de Fábrica Nova do Complexo Mariana (VALE, 2017)

3.1.3 Mina de São Luís

A lavra na Mina de São Luís (Figura 3.5), teve início em 1963 pela empresa Caraça Ferro e Aço Ltda. A partir de 1976 a Vale assumiu com operação terceirizada até o ano 2006 e a partir de 2007 com própria frota, assim a movimentação do ROM aumentou para cerca de 10 Mt/ano que passou a ser destinado à duas instalações diferentes, sendo uma a Samarco Mineração e outra na Mina de Alegria (SOUSA, 2011).

A produção em 2015 foi de 12,66 Mt, sendo que o recurso medido em outubro de 2015 era de 1064,8 Mt com uma média de teor de ferro de 42 %, e sua reserva provada e provável estimada era de 592,8 Mt com a média de ferro de 43 % (SOUSA, 2011).

Figura 3.5 - Vista da mina de São Luís do Complexo Mariana (SOUSA, 2011)

3.2 TRATORES DE ESTEIRA

Denomina-se trator toda unidade autônoma que executa a tração ou empurra outras máquinas, podendo receber diversos implementos destinados a diferentes tarefas, (RICARDO e CATALANI, 2007).

Segundo Ricardo e Catalani (2007), essa unidade básica pode ser montada sobre esteiras e pneumáticos recebendo assim, as denominações, trator de esteira e trator de rodas ou pneus.

Ainda segundo Ricardo e Catalani (2007), essas máquinas possuem características comuns que podem ser definidas por:

Esforço trator: forca que o equipamento apresenta na barra de tração ou nas rodas motrizes para executar suas tarefas;

Velocidade: é a velocidade de deslocamento da máquina que depende, sobretudo, do dispositivo de montagem, sobre esteiras ou rodas;

Aderência: capacidade do equipamento de se locomover sobre diferentes superfícies sem que ocorra derrapagem.

Flutuação: característica do equipamento de se locomover em terrenos de baixa competência sem que ocorra o afundamento da esteira ou dos pneus.

Balanceamento: está diretamente ligado ao balanço de massas e ao centro de gravidade do equipamento, fazendo com que o mesmo tenha um bom equilíbrio em várias condições de trabalho.

A Tabela 3.1 apresenta uma comparação entre os tratores de esteira e os tratores de pneus avaliando sua variabilidade de acordo com variáveis apresentadas acima (RICARDO e CATALANI, 2007):

Tabela 3.1 - Comparação de tratores de esteira e pneus (RICARDO & CATALANI, 2007)

Característica	Trator de esteira	Trator de rodas
Esforço do trator	Elevado	Elevado limitado pela aderência
Aderência	Boa	Sofrível
Flutuação	Boa	Regular a má
Balanceamento	Bom	Bom
Velocidade	Baixa: máx. 10 km/h	Alta: máx. 60 a 70 km/h

Com diferentes características dos tratores devido sua parte rodante, tem-se diferentes campos de aplicação, com isso, a escolha do equipamento dependerá de fatores como a topografia local, a qualidade do solo, distância de deslocamento, etc. (RICARDO e CATALANI, 2007).

O campo de aplicação ideal para os tratores de esteira são os que contém rampas de grande declividade devido a topografia acidentada ou que o solo é pouco competente, não dando assim o suporte necessário ao equipamento (VIEIRA, 2013).

3.2.1 Tratores de esteira disponíveis no mercado brasileiro

De acordo com o tipo de serviço a ser executado, existem no mercado brasileiro vários tipos de tratores de esteira com vários tamanhos e com várias capacidades. Podemos ver

esses modelos nas Figure 3.6Figure 3.7,Figure 3.8, Figure 3.9Figure 3.10, variando entre modelos de pequeno, médio e grande porte.

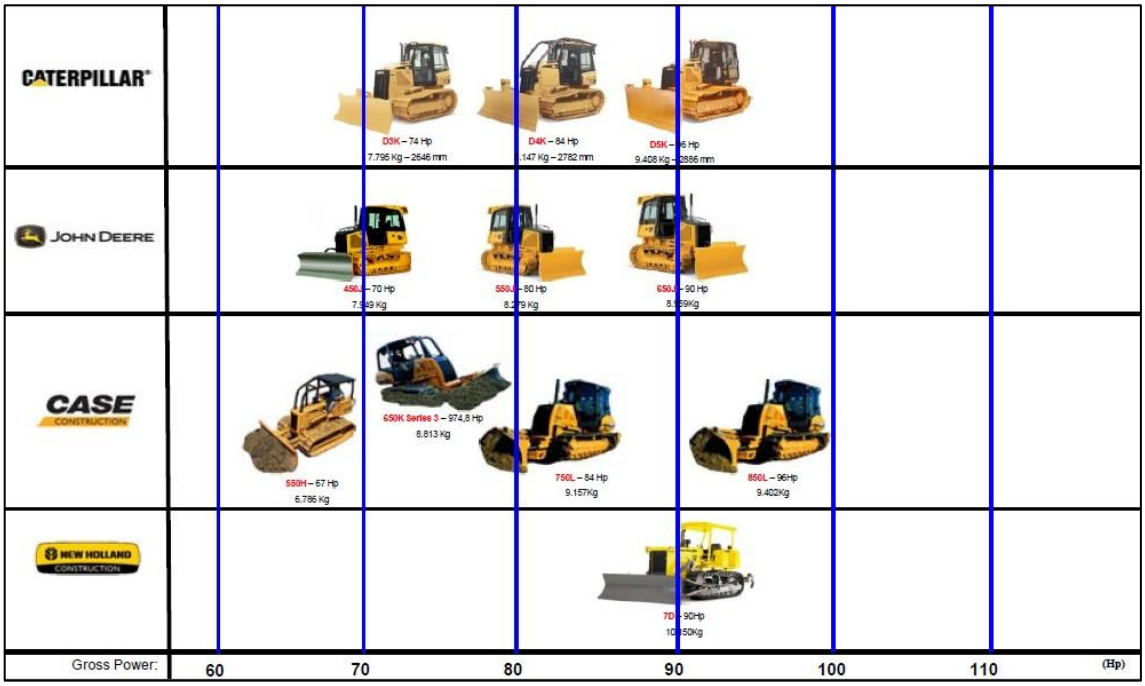


Figure 3.6 - Tratores de esteira de pequeno porte (SOTREQ, 2008)

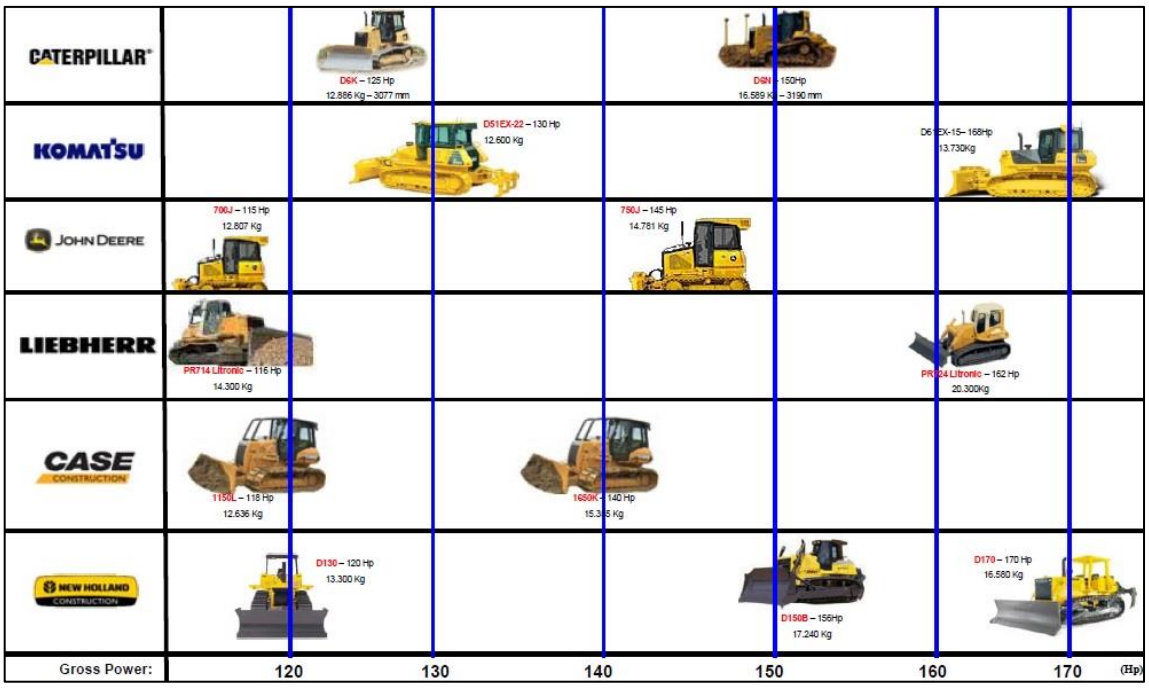


Figure 3.7 - Tratores de esteira de pequeno porte (SOTREQ, 2008)

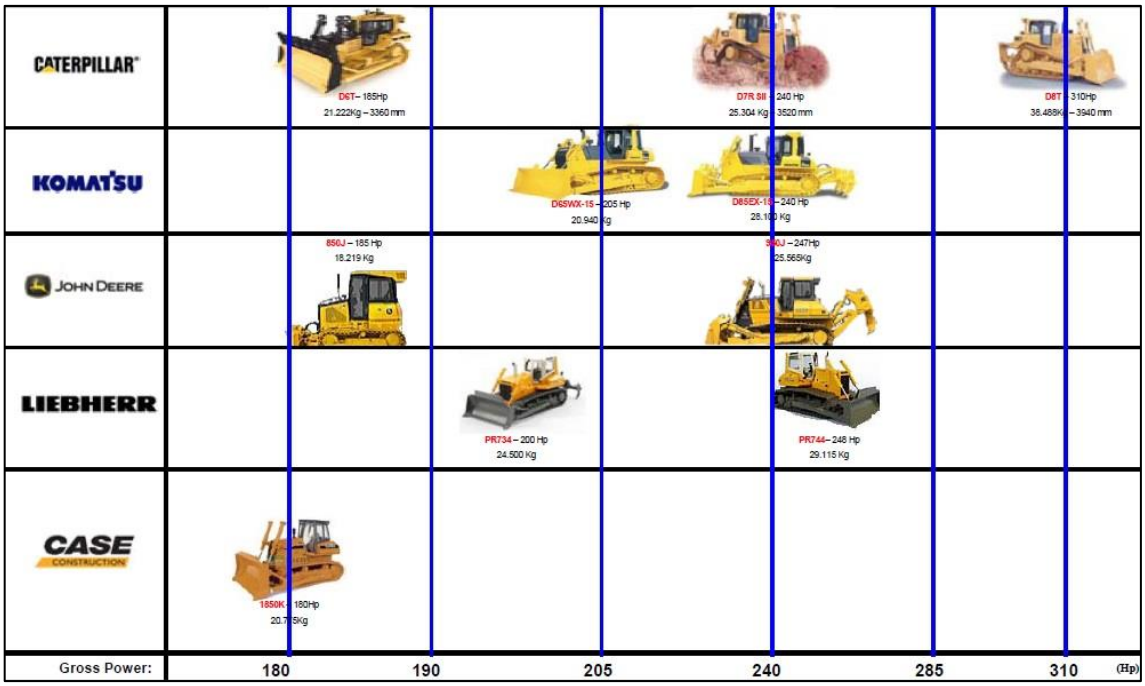


Figure 3.8 - Tratores de esteira de médio porte (SOTREQ, 2008)

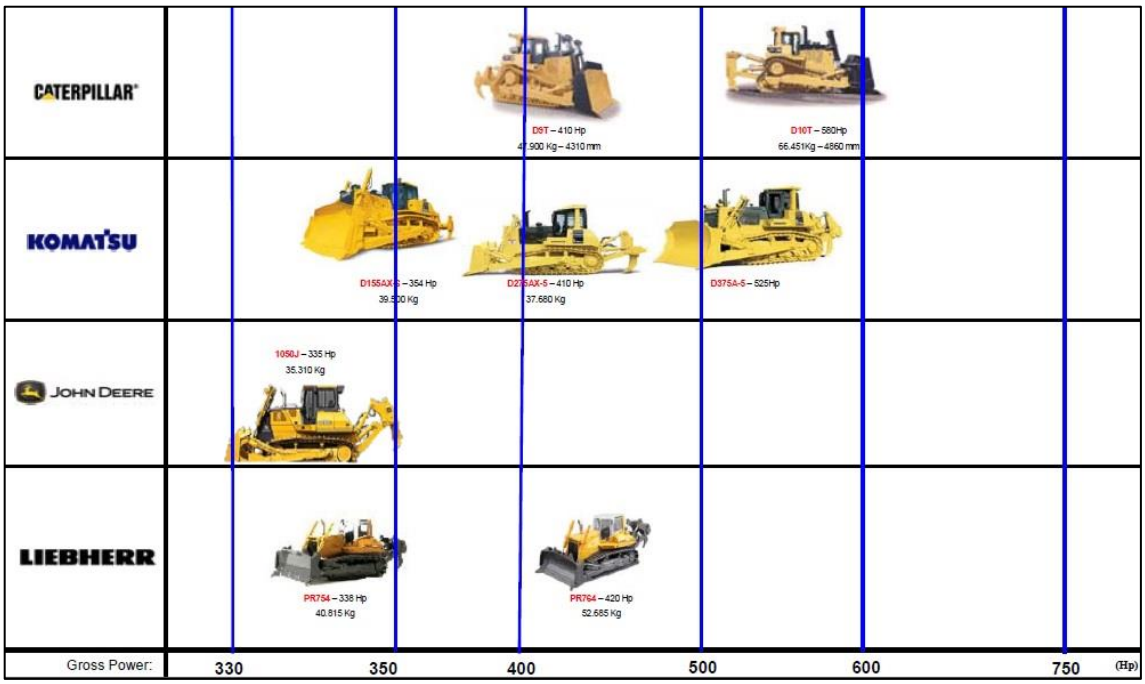


Figure 3.9 - Tratores de esteira de médio porte (SOTREQ, 2008)

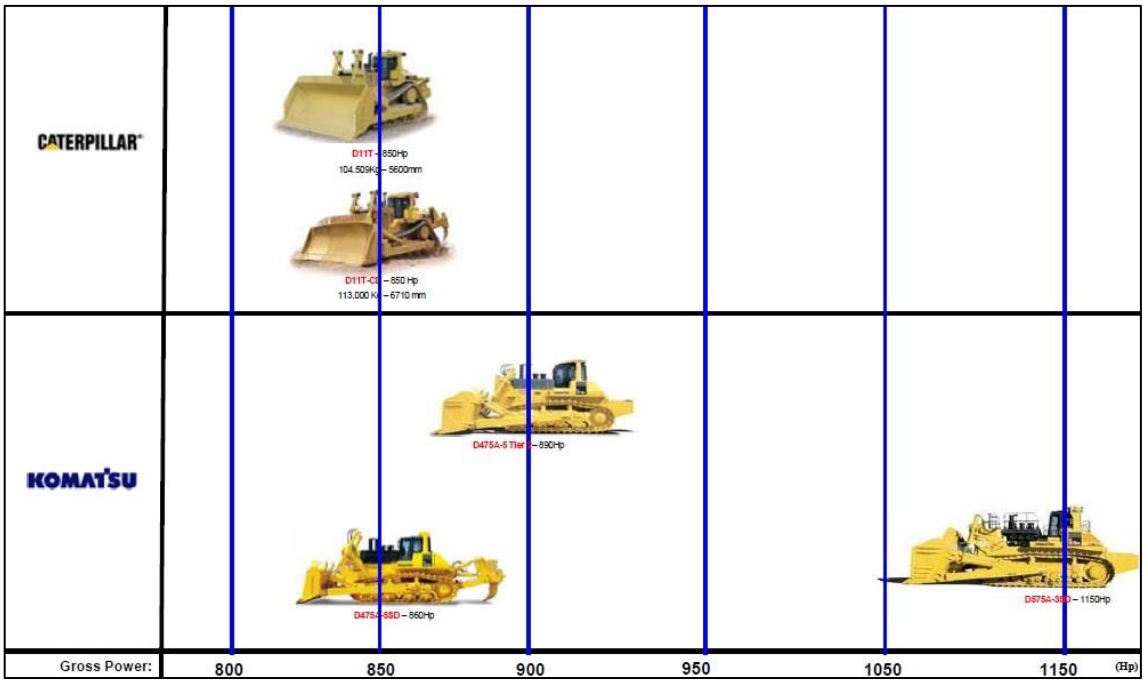


Figure 3.10 - Tratores de esteira de grande porte (SOTREQ, 2008)

3.2.2 Trator de esteira D61EX – 23MO

Um dos modelos de trator utilizados nas minas do Complexo Mariana são os D61EX – 23MO. Esse modelo é mais utilizado na conformação de bermas, devido a opção de inclinação de sua lâmina. Suas dimensões são apresentadas na Figura 3.11.

De acordo com o manual do equipamento fornecido pela empresa Komatsu, o motor atinge 168 HP (125 KW) a 2200 rpm de potência, o que torna o consumo de combustível altamente eficiente. Algumas especificações do motor podem ser vistas na Figura 3.12. Sua lâmina tem capacidade de corte de 3,8 m³ e suas especificações são apresentadas na Figura 3.13 (KOMATSU, 2013).

DIMENSÕES

	D61EX-23M0
A	3860 mm
B	535 mm
C	1155 mm
D	1025 mm
E	580 mm
F	3165 mm
G	5480 mm
H	3180 mm
I	57.5 mm
J	1900 mm
K	600 mm
L	2500 mm
M	3530 mm
N	6220 mm

Altura livre em relação ao solo.....390 mm

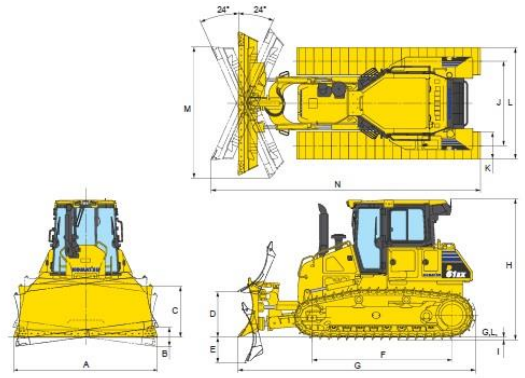


Figura 3.11 - Dimensões do trator de esteira D61EX - 23MO (KOMATSU, 2013)

MOTOR

Modelo..... Komatsu SAA6D107E-1
Tipo.....4 tempos, arrefecido à água, injeção direta
Número de cilindros.....6
Aspiração.....Turboalimentado, pós-arrefecido ar-ar
Diâmetro x curso ..... 107 mm x 124 mm
Cilindrada .....6,69 ℓ
Governador.....eletrônico, para todas as velocidades
Potência
SAE J1995 .....Bruta: 127 kW (170 HP)
(ISO 14396..... 126 kW (169 HP))
ISO 9249 / SAE J1349.....Líquida 125 kW (168 HP)
Rotação nominal.....2200 rpm
Acionamento do ventilador .....hidráulico
Sistema de lubrificação
Método .....Forçada, por bomba de engrenagens
Filtro .....de fluxo total
Atende aos padrões de controle de níveis de emissão de poluentes definidos pela norma Tier 3.

Figura 3.12 - Especificações do motor do trator de esteira D61EX - 23MO (KOMATSU, 2013)

LÂMINA

As capacidades da lâmina são determinadas com base na prática recomendada SAE J1265.
Uso de aço de alta resistência nas lâminas para proporcionar maior robustez aos equipamentos de construção.

D61EX-23M0	Comprimento total com lâmina (mm)	Capacidade da lâmina (m^3)	Largura x altura da lâmina (mm)	Elevação máxima acima do solo (mm)	Penetração máxima no solo (mm)	Ajuste máximo de inclinação (mm)
Lâmina	5480	3,8	3860 x 1155	1025	580	515

Figura 3.13 - Especificações da lâmina do trator de esteira D61EX - 23MO (KOMATSU, 2013)

3.2.3 Trator de esteira D375A – 6

O modelo D375A – 6 da Komatsu oferece uma potência de motor de 636 Hp (474 KW) a 1800 rpm. De acordo com o fabricante, o trator em questão alinha um menor consumo de combustível com uma maior capacidade de corte da lâmina (KOMATSU, 2013).

O modelo pode ser usado com dois tipos de lâminas, sendo elas a semi universal com capacidade de corte de 18,5 m³ e a universal com capacidade de corte de 22,0 m³. Além disso, a durabilidade da lâmina é aumentada graças ao seu aço de alta resistência a tração (KOMATSU, 2013).

As dimensões, especificações do motor e das lâminas desse modelo de trator podem ser vistas nas Figuras 3.14, 3.15 e 3.16 respectivamente.

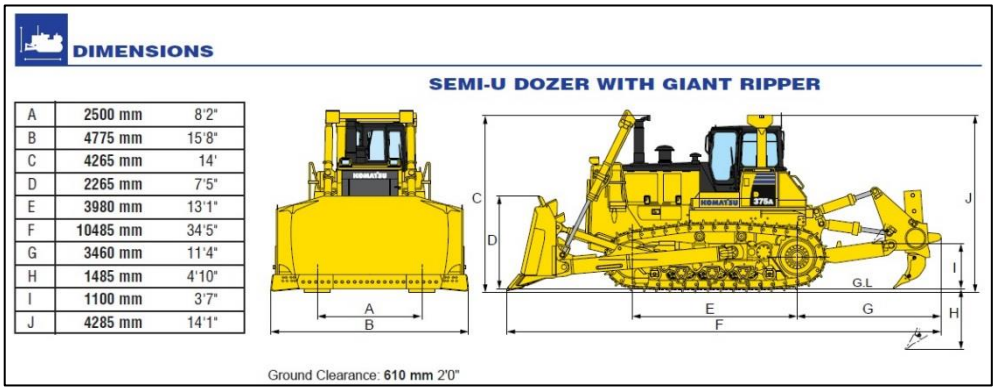
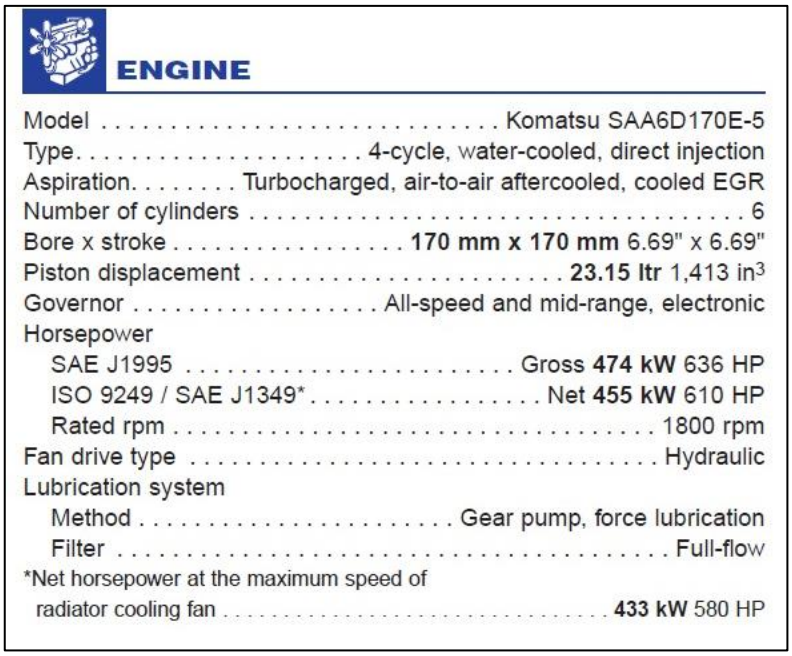


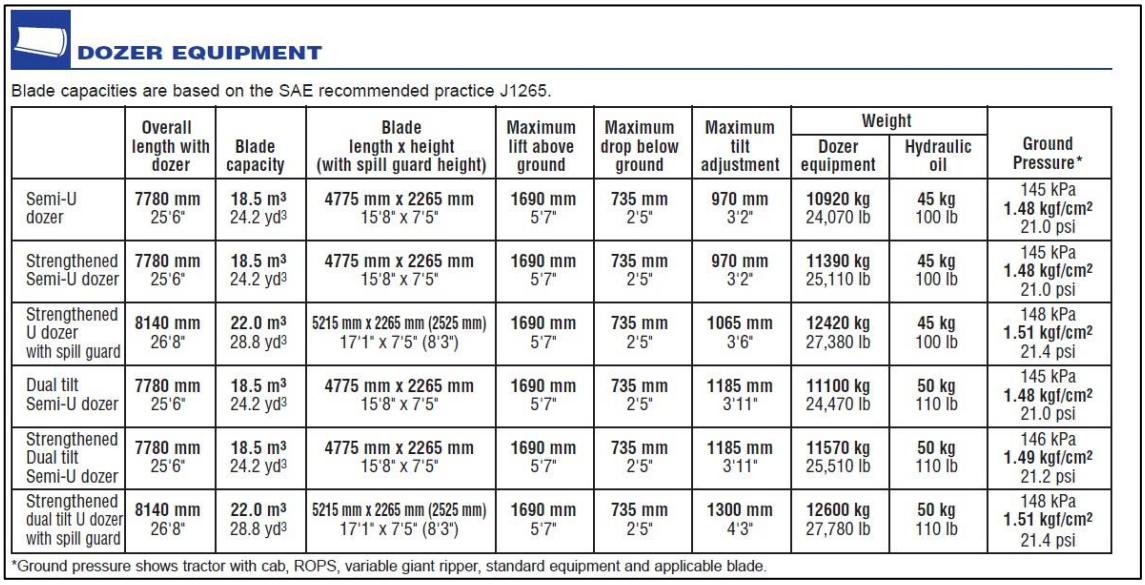
Figura 3.14 - Dimensões do trator de esteira D375A – 6 (KOMATSU, 2013)



ENGINE

Model . . . . . Komatsu SAA6D170E-5
Type. . . . . 4-cycle, water-cooled, direct injection
Aspiration. . . . . Turbocharged, air-to-air aftercooled, cooled EGR
Number of cylinders 6
Bore x stroke . . . . . **170 mm x 170 mm** 6.69" x 6.69"
Piston displacement . . . . . **23.15 ltr** 1,413 in^3
Governor . . . . . All-speed and mid-range, electronic
Horsepower
SAE J1995 . . . . . Gross **474 kW** 636 HP
ISO 9249 / SAE J1349* . . . . . Net **455 kW** 610 HP
Rated rpm . . . . . 1800 rpm
Fan drive type . . . . . Hydraulic
Lubrication system
Method . . . . . Gear pump, force lubrication
Filter . . . . . Full-flow
*Net horsepower at the maximum speed of
radiator cooling fan . . . . . **433 kW** 580 HP

Figura 3.15 - Especificações do motor do trator de esteira D375A – 6 (KOMATSU, 2013)



DOZER EQUIPMENT

Blade capacities are based on the SAE recommended practice J1265.

	Overall length with dozer	Blade capacity	Blade length x height (with spill guard height)	Maximum lift above ground	Maximum drop below ground	Maximum tilt adjustment	Weight		Ground Pressure*
							Dozer equipment	Hydraulic oil	
Semi-U dozer	**7780 mm** 25'6"	**18.5 m^3** 24.2 yd^3	**4775 mm x 2265 mm** 15'8" x 7'5"	**1690 mm** 5'7"	**735 mm** 2'5"	**970 mm** 3'2"	**10920 kg** 24,070 lb	**45 kg** 100 lb	145 kPa **1.48 kgf/cm^2** 21.0 psi
Strengthened Semi-U dozer	**7780 mm** 25'6"	**18.5 m^3** 24.2 yd^3	**4775 mm x 2265 mm** 15'8" x 7'5"	**1690 mm** 5'7"	**735 mm** 2'5"	**970 mm** 3'2"	**11390 kg** 25,110 lb	**45 kg** 100 lb	145 kPa **1.48 kgf/cm^2** 21.0 psi
Strengthened U dozer with spill guard	**8140 mm** 26'8"	**22.0 m^3** 28.8 yd^3	**5215 mm x 2265 mm (2525 mm)** 17'1" x 7'5" (8'3")	**1690 mm** 5'7"	**735 mm** 2'5"	**1065 mm** 3'6"	**12420 kg** 27,380 lb	**45 kg** 100 lb	148 kPa **1.51 kgf/cm^2** 21.4 psi
Dual tilt Semi-U dozer	**7780 mm** 25'6"	**18.5 m^3** 24.2 yd^3	**4775 mm x 2265 mm** 15'8" x 7'5"	**1690 mm** 5'7"	**735 mm** 2'5"	**1185 mm** 3'11"	**11100 kg** 24,470 lb	**50 kg** 110 lb	145 kPa **1.48 kgf/cm^2** 21.0 psi
Strengthened Dual tilt Semi-U dozer	**7780 mm** 25'6"	**18.5 m^3** 24.2 yd^3	**4775 mm x 2265 mm** 15'8" x 7'5"	**1690 mm** 5'7"	**735 mm** 2'5"	**1185 mm** 3'11"	**11570 kg** 25,510 lb	**50 kg** 110 lb	146 kPa **1.49 kgf/cm^2** 21.2 psi
Strengthened dual tilt U dozer with spill guard	**8140 mm** 26'8"	**22.0 m^3** 28.8 yd^3	**5215 mm x 2265 mm (2525 mm)** 17'1" x 7'5" (8'3")	**1690 mm** 5'7"	**735 mm** 2'5"	**1300 mm** 4'3"	**12600 kg** 27,780 lb	**50 kg** 110 lb	148 kPa **1.51 kgf/cm^2** 21.4 psi

*Ground pressure shows tractor with cab, ROPS, variable giant ripper, standard equipment and applicable blade.

Figura 3.16 - Especificações das lâminas do trator de esteira D375A – 6 (KOMATSU, 2013)

3.3 PRODUTIVIDADE DE EQUIPAMENTOS

Segundo Ricardo E Catalani (2007), para se calcular a produção de qualquer equipamento, é de extrema importância se determinar o tempo de ciclo, sendo que o mesmo

depende das velocidades desenvolvidas nos trechos do trajeto. O ciclo de produção é composto pelas etapas de carregamento e transporte, tendo início com a chegada do caminhão a frente de lavra, fila para carregamento, manobra, carregamento, trajeto com carga, chegada ao local de basculamento e viagem do caminhão vazio.

Essa é uma análise importante na determinação das ações que trazem melhores resultados a um menor custo, sendo fundamental para a maximização da eficiência do sistema produtivo, que se dá a partir da eliminação das perdas do processo, (SILVA, 2014).

No geral, a produção de um equipamento pode ser definida pela Equação 1:

$$Q_{ef} = C + \varphi_1 + \frac{1}{t_{c\,min}} + E \qquad (1)$$

Onde:

Q_{ef} = produção efetiva

C = capacidade de caçamba

φ_1 = fator de empolamento

$T_{c\,min}$ = tempo mínimo de ciclo

E = coeficiente de rendimento da operação

Para tratores de esteira por exemplo, esse cálculo não é aplicável. Nesse caso, realiza-se medições topográficas e as relaciona com o tempo trabalhado. Porém os tempos de ciclo de cada processo e equipamento devem ser analisados, (SILVA, 2014).

Segundo Hartman e Mutmansky (2002), antes de se analisar a produtividade de um sistema, se faz necessário definir alguns termos fundamentais que são utilizados quando se trata de produtividade de equipamentos de mineração.

Os termos são os seguintes (HARTMAN e MUTMANSKY, 2002):

1 – Produção: Volume de material movimentado, podendo ser minério ou estéril

2 – Taxa de produção: Volume que um equipamento é capaz de produzir em determinado tempo.

3 – Produtividade: Produção real por unidade de tempo considerando-se fatores de eficiência e gerenciamento.

4 – Eficiência: Porcentagem da taxa de produção estimada que seja realmente produzida por um equipamento. Existem fatores de correção devido à própria máquina, destreza do operador, ou as condições do trabalho.

5 – Disponibilidade física: Tempo que o equipamento estará disponível para operação. Esse fator varia de acordo com a idade da máquina, condições de trabalho e eficiência da manutenção preventiva.

6 – Capacidade: Volume de material que um equipamento pode movimentar em qualquer momento no tempo.

7 – Capacidade nominal: Carga que um equipamento pode carregar em termos de peso. Equipamentos são projetados para carregar determinado peso, não levando em consideração a densidade do material.

8 – Fator de empolamento: Aumento no volume do material quando o mesmo é fragmentado e removido de sua condição natural.

9 – Fator de enchimento da caçamba: Um ajuste a capacidade a caçamba de uma unidade de carregamento. É expresso geralmente como um valor decimal e corrige a capacidade da caçamba para o volume real de material que é movimentado, levando em consideração as características da pilha, o ângulo de repouso e a habilidade do operador em encher a caçamba.

10 – Tempo de ciclo: Tempo gasto por determinado equipamento para realizar uma operação completa que consiste em carregamento, transporte, básculo e retorno).

a – Tempo fixo: Tempo gasto em carregamento e descarga, incluído qualquer manobra que seja necessária – Tempo constante. Independente da distância de transporte e retorno.

b – Tempo variável: É o tempo de percurso, ou tempo nas fases de transporte e retorno do ciclo. Este tempo varia com a distância e as condições da estrada de transporte.

3.4 PRODUTIVIDADE DE TRATORES DE ESTEIRA

Para estimativa de produção de um trator provido de lâmina, usamos a Equação 2.

$$Q = C \frac{1}{t_{c\,min}} x\, E \qquad (2)$$

Há a necessidade de cálculo da capacidade da lâmina, ou seja, o volume de material solto que se acumula na sua frente após o corte. Estima-se também o tempo de ciclo mínimo gasto pelo trator para realizar a escavação, transportar e descarregar o material, e esse tempo de ciclo pode ser calculado pela Equação 3.

$$C = 0{,}6 + H^2 + L \qquad (3)$$

Outro processo bastante prático e de resultados acurados, consiste em escavar uma carga completa da lâmina, levando-a a uma área plana. Em seguida, levanta-se a lâmina empurrando o material. A figura 3.17 ilustra o processo.

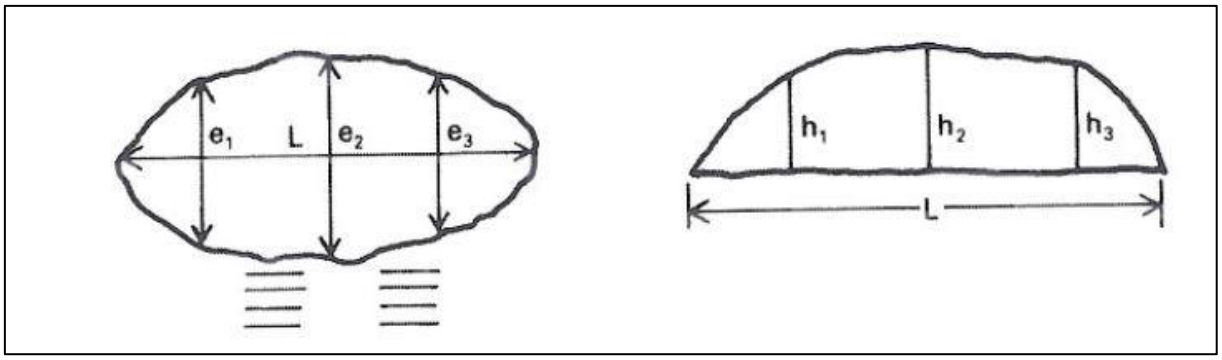


Figura 3.17 - Estimativa da capacidade da lâmina (RICARDO e CATALANI, 2007)

Após as medições topográficas dos volumes removidos, determina-se a capacidade da lâmina pela Equação 4.

$$C = \frac{3}{8} . e . h . L \text{ (solto)} \qquad (4)$$

Para o cálculo do tempo de ciclo admite-se uma distância média de percurso, representada pela distância entre o centro de massa do corte e o do aterro com a rampa média. Os tempos de variáveis de ida e volta serão calculados levando em consideração a distância média D. Sabe-se, porém que os esforções empregados durante o ciclo de tratores de esteira são desiguais, com isso, o ciclo pode ser dividido em três partes, sendo elas (RICARDO e CATALANI, 2007):

i – Escavação ou corte

As resistências oferecidas são provenientes do corte da terra pela lamina do equipamento e do atrito entre máquina e solo. Com isso, de acordo com a Equação 5, é possível obter o esforço máximo que pode ser aplicado a esteira.

$$Emáx \leq f . Pm \qquad (5)$$

Onde:

f = coeficiente de aderência entre os sapatos da esteira e o solo

Pm = peso aderente = Pt = peso total da máquina

Emáx = esforço máximo aplicado

O valor do f pode ser variado de acordo com o material, como por exemplo, para solo solto f admite um valor de 0,60, para solo natural, o valor de f adotado é de 0,90. Assim, uma média usualmente adotada é de f = 0,70.

ii – Transporte ou empurramento do material

Já concluída a escavação, o material fica solto e a lamina rasante em relação ao solo, com isso, a resistência reduz significativamente, reduzindo o atrito de escorregamento da massa bem como o atrito interno da massa em movimento. Esse valor é calculado de acordo com a equação 6:

$$\mu = \frac{P_t \text{ x } F}{C \cdot \gamma_s} \qquad (6)$$

Onde:

C = capacidade da lâmina

γ_s = massa específica do solo solto

μ = coeficiente de atrtito de carga

Pt = peso total da máquina

F = coeficiente de aderência

iii – Retorno da máquina sem carga

As resistências opostas ao movimento na volta do trator são expressas pela Equação 7.

$$\sum \quad R = P_t\,(K + 10i) = \; E_r \qquad (7)$$

Onde:

K = coeficiente de rolamento do trator

Pt = peso total do trator

i = rampa (aclive)

Segundo Silva (2014) esse modelo é utilizado para o cálculo de produtividade de tratores para empresas que não possuem equipamentos sofisticados. Já para minas de grande porte que contam com equipamentos modernos, a produtividade é calculada levando em consideração o volume movimentado e as horas de trabalho efetivas do equipamento, como é observado na Equação 8.

$$P = \frac{V\,(m^3)}{h} \qquad (8)$$

Onde:

P = produtividade

V = volume em m³

h = horas trabalhadas

Para a análise da produtividade se faz necessário levantamentos topográficos durante o trabalho, sendo levantados dados antes do trabalho e depois do trabalho, fechando assim a movimentação durante certo tempo de trabalho.

Há, porém, outras formas de se calcular a produtividade dos tratores de esteira. O cálculo pode ser dividido em três segmentos, sendo eles, por meio do volume da carga da lâmina, pelo tempo de ciclo e determinando a produtividade com aplicação de fatores de correção para devidas condições de trabalho (KLANFAR, KUJUNDžIć e VRKLJAN, 2014).

Para o cálculo utilizando o volume da lamina, leva-se em consideração as dimensões da mesma, como altura, largura e ângulo de repouso. De acordo com Slunjski (2012, *apud* KLANFAR, KUJUNDžIć e VRKLJAN, 2014), o volume aproximado pode ser determinado de acordo com a Equação 9, levando em consideração o lado (l) e a altura (h) da lâmina.

$$V = \frac{l \times h^2}{2} \qquad (9)$$

Uma equação (10) semelhante pode ser levada em consideração, porém há o acréscimo de um coeficiente Kp de correção que leva em consideração as propriedades do material. Para solo coeso Kp = 0,7 e para solo sem coesão, Kp adora o valor de 0,8.

$$V = \frac{l \times h^2}{2} \times Kp \qquad (10)$$

Já para o cálculo utilizando o ciclo do equipamento leva em consideração as fases e suas durações como escavação, transporte, disposição e retorno o que corresponde ao ciclo total do equipamento.

Quando o equipamento empurra material descendente, a fase de disposição é omitida, pois considera-se que o material se acerta por gravidade. A velocidade do movimento durante o enchimento e transporte de material não se mostra muito variante. Portanto, o ciclo do trator é determinado pela velocidade do movimento de avanço (Vt) e do movimento de retorno (Vo) considerando o mesmo comprimento (Lc). O parâmetro Tm representa o tempo de mudança de velocidade, sendo considerado um valor de ¾ como média.

A equação 11 representa o cálculo.

$$Tc = lc \text{ x } \left(\frac{1}{Vt} + \frac{1}{Vo}\right) + 2tm \qquad (11)$$

3.5 TRATORES DE ESTEIRA NA OPERAÇÃO DE MINA

Na operação de mina, um dos equipamentos mais utilizados para serviços de infraestrutura de mina são os tratores, em sua grande parte, tratores de esteira, pois os mesmos oferecem a possibilidade de realização de corte. A flexibilidade do equipamento pode ser notada quando se observa os diversos serviços que podem ser executados pelo mesmo, trabalhando em cortes, escarificação e acerto de estoques de minério e estéril. Assim, os tratores de esteira se tornam um elemento indispensável para a operação de mina.

Como o equipamento é muito solicitado para diversos serviços, necessita-se que a disponibilidade física do equipamento seja alta, tendo em vista que sua utilização também será alta, porém, nem sempre isso se aplica, pois em muitos casos, os equipamentos utilizados já estão com uma vida útil reduzida, assim, necessita-se de maiores manutenções com maior frequência, reduzindo assim o tempo de disponibilidade do equipamento. Isso, por muitas vezes, acaba atrasando serviços necessários para a manutenção das minas, dificultando muitas vezes

o andamento das operações. Logo, nota-se a importância dos equipamentos operando em bom estado de conservação.

3.6 *SOFTWARE* OZM

O *software* OZM da Komatsu tem a função de estimar a produtividade de tratores de esteira em diversos cenários. É um programa de fácil manuseio operação como pode ser observado na Figura 3.18.

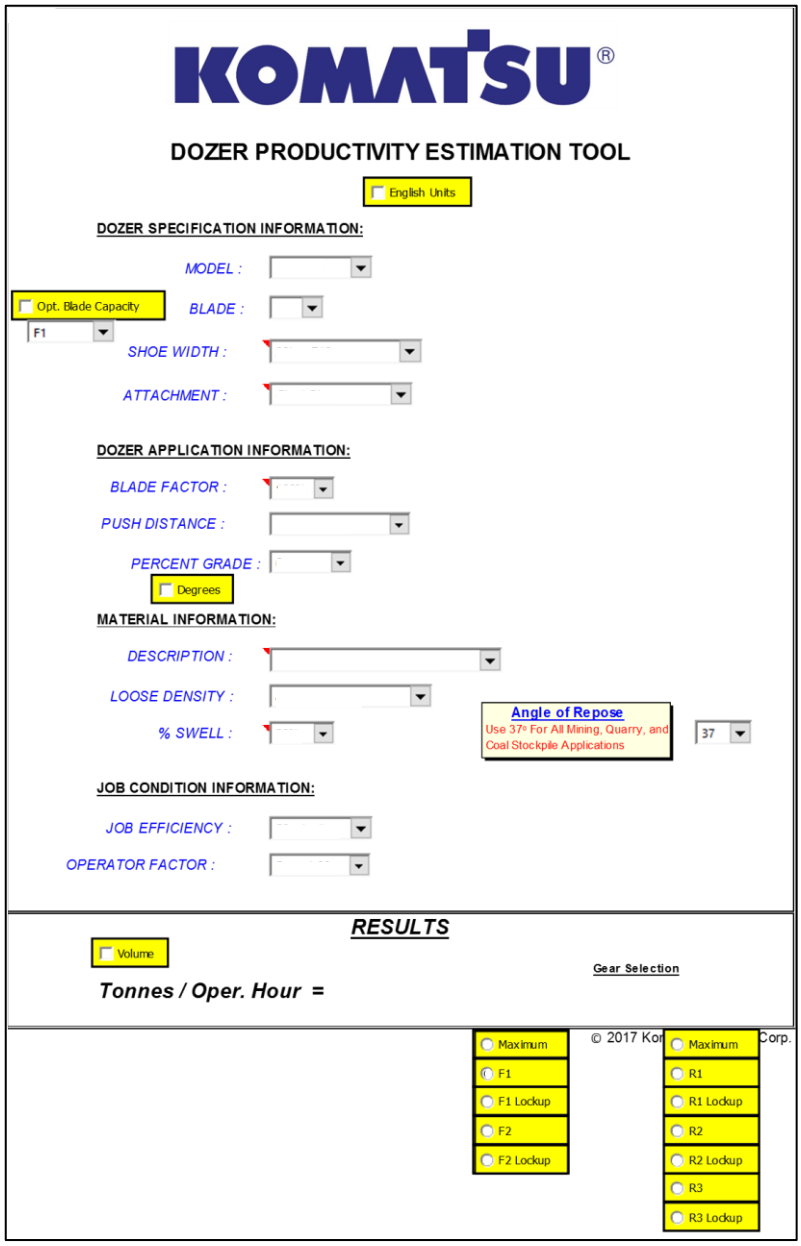


Figura 3.18 - Interface da planilha baseada no *software* para cálculo de produtividade de tratores de esteira

O *software* é baseado em dados que se encontram no handbook da empresa, como por exemplo os fatores de correção, o gráfico de produtividade estimada e o fator de correção do grade. Esses dados podem ser observados nas Figuras 3.19, 3.20 e 3.21 respectivamente.

Correction Factor

BLADE FACTOR	
• Easy	1.1~0.9
• Average	0.9~0.7
• Rather difficult	0.7~0.6
• Difficult	0.6~0.4
JOB EFFICIENCY	
• Good	0.83 (50 min out of an hour machine use)
• Average	0.75 (45 min out of an hour machine use)
• Rather poor	0.67 (40 min out of an hour machine use)
• Poor	0.58 (35 min out of an hour machine use)
GRADE FACTOR	See right table

Figura 3.19 - Fatores de correção para o cálculo de produtividade de tratores de esteira (KOMATSU, 2013)

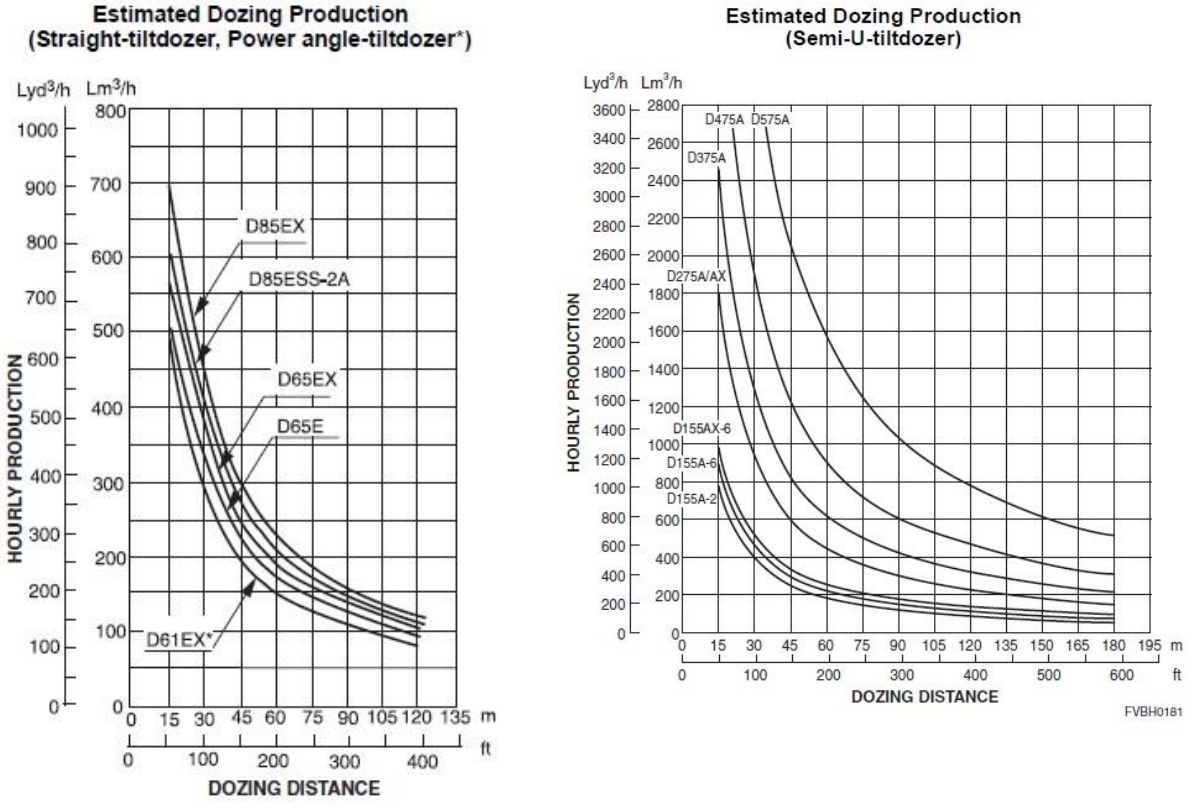


Figura 3.20 - Gráficos de produtividade estimada para tratores de esteira (KOMATSU, 2013)

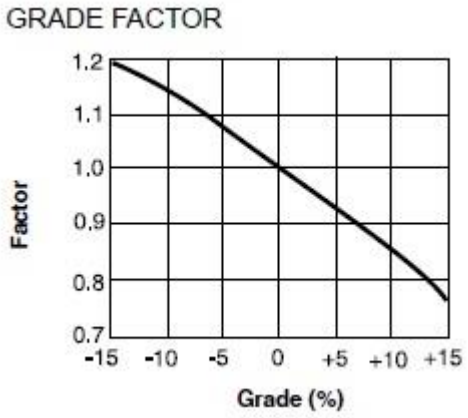


Figura 3.21 - Fatores de correção do grade para cálculo de produtividade de tratores de esteira (KOMATSU, 2013)

Para dar início a simulação, deve-se imputar os seguintes dados:

Modelo;

Tipo de lâmina;

Fator de enchimento da lâmina;

DMT;

Densidade

% de empolamento;

Tempo de eficiência do trabalho;

Fator de correção do operador;

Outro dado que pode ser alterado é a marcha que o equipamento utiliza quando trabalhando empurrando o material e quando trabalhando de ré.

Por fim, com os valores imputados, o valor da produtividade é fornecido em toneladas por tempo de trabalho.

4 DESENVOLVIMENTO

O trabalho foi realizado em quatro fases, sendo a primeira fase a criação de uma planilha de cálculos tendo como princípio o ábaco de produtividade de tratores fornecido pela empresa Komatsu que leva em consideração a DMT do trabalho. Em um segundo momento, foram realizadas medições em campo a fim de comparar os valores obtidos com os valores gerados na planilha inicial. Com os dados obtidos em campo, realizou-se simulações no *software* OZM juntamente com um funcionário da empresa Komatsu na terceira fase, e por fim, realizou-se a análise dos dados obtidos a partir dos diferentes levantamentos e comparou-se para propor a produtividade dos equipamentos.

4.1 CRIAÇÃO DA PLANILHA BASE

Para a criação da base de cálculo, levou-se em consideração os tipos de serviços que podem ser realizados pelos equipamentos, as dimensões do trabalho e seus respectivos ângulos de drenagem, calculando-se assim a movimentação. Os valores de produtividade máxima foram obtidos através do ábaco de produtividade ofertado pela fornecedora dos equipamentos (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 - Ábaco de produtividade estimada para tratores de esteira em m³ (KOMATSU, 2013)

PRODUÇÃO ESTIMADA DE TRATORES DE ESTEIRA EM METROS CÚBICOS - KOMATSU

PRODUÇÃO ESTIMADA DE TRATORES DE ESTEIRA ESCAVAÇÃO (m³/h) Lâmina Semi-Universal							
HP	354	354	354	410	525	899	1150
DTM (m)	D155A2	D155A5	D155AX5	D275A/AX	D375A	D475A	D575A
15	765	840	990	1.575	2.400	2.996	-
30	395	490	560	918	1.280	1.890	-
45	240	300	340	600	810	1.215	2.050
60	170	220	260	450	615	900	1.580
75	130	185	200	375	500	720	1.250
90	115	160	180	306	420	600	1.020
105	95	135	160	260	375	520	890
120	80	110	135	220	320	459	790
135	64	90	115	200	280	410	700
150	50	70	95	185	235	365	610
165	40	50	75	170	220	314	550
180	30	30	60	153	210	290	510

PRODUÇÃO ESTIMADA DE TRATORES DE ESTEIRA ESCAVAÇÃO (m³/h) Lâmina Universal							
HP	354	354	354	410	525	899	1150
DTM (m)	D155A5	D155AX5	D155A2A	D275A/AX	D375A	D475A	D575A
15	900	990	1.071	1.900	2.325	2.996	-
30	495	590	590	1.000	1.270	2.250	-
45	310	370	390	660	835	1.490	1.960
60	230	265	300	520	650	1.175	1.480
75	190	210	225	410	525	920	1.175
90	150	185	200	325	435	770	980
105	130	150	175	285	380	630	820
120	110	120	150	250	330	550	730
135	100	110	130	225	300	480	660
150	90	100	115	205	270	430	590
165	80	90	100	190	235	405	535
180	65	80	90	180	215	390	500

PRODUÇÃO ESTIMADA DE TRATORES DE ESTEIRA ESCAVAÇÃO (m³/h) Super Dozer						
HP	899	1150	200	200	190	180
DTM (m)	D475A	D575A	D85EX	D85ESS-2A	D65EX	D65E
15	-	-	700	610	565	510
30	3.200	-	450	415	375	335
45	2.300	2.600	300	275	245	225
60	1.560	1.950	230	210	180	175
75	1.270	1.575	175	170	155	140
90	1.030	1.305	155	145	140	125
105	900	1.100	135	130	125	90
120	780	975	120	115	110	80
135	685	860	-	-	-	-
150	605	770	-	-	-	-
165	550	700	-	-	-	-
180	520	650	-	-	-	-

PRODUÇÃO ESTIMADA DE TRATORES DE ESTEIRA ESCAVAÇÃO (m³/h) Straight-tiltdozer - Power Angle-tiltdozer						
HP	155	100	200	190	155	100
DTM (m)	D61EX	D41E	D85PX	D65PX D65P	D61PX	D41P
15	480	320	810	580	525	380
30	290	190	510	360	310	220
45	195	125	375	250	225	165
60	150	105	280	205	160	120
75	125	85	235	180	140	100
90	110	70	200	160	120	90
105	95	60	170	140	105	80
120	85	55	150	115	90	75
135	-	-	135	105	80	72
150	-	-	130	100	70	68
165	-	-	-	95	60	65
180	-	-	-	-	-	-

Levou-se em consideração fatores de correção (Tabela 4.2) de acordo com as atividades realizadas, sendo que os mesmos foram aplicados somente em situações as quais os equipamentos foram expostos durante o trabalho.

Tabela 4.2 - Fatores de correção das condições de trabalho utilizados para tratores de esteira e pneus (KOMATSU, 2013)

FATORES DE CORREÇÃO DAS CONDIÇÕES DE TRABALHO UTILIZADOS PARA TRATORES DE ESTEIRA E PNEUS			
FATOR DE CORREÇÃO DO OPERADOR - qualidade de trabalho do operador		**ESTEIRA**	**PNEU**
Excelente		1	1
Regular		0,75	0,6
Fraco		0,6	0,5
FATOR DE CORREÇÃO DO MATERIAL			
1	Solto	1,2	1,2
2	De penetração difícil		
	> Lâmina inclinável com cilindro hidráulico	0,60 - 0,80	0,75
	> Lâmina inclinável sem cilindro hidráulico	0,60 - 0,70	-
3	de movimentação difícil, material "morto", solto ou muito pegajoso	0,8	0,8
4	rocha, material escarificado ou fragmentado	0,60 a 0,80	-
FATOR DE CORREÇÃO DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS			
Corte em caixão/trincheira		1,1 - 1,2	1,20
Operação lado a lado - (quando não houver = 1,00)		1,15 a 1,25	1,15 a 1,25
Visibilidade		0,80	0,70
Trasmissão direta		0,80	0,80
Lâmina angulável		0,50 - 0,75	-
Lâmina amortecedora		0,50 - 0,76	-
Lâmina reta (S)		1,00	-
Lâmina (U)		1,20	-
EFICIÊNCIA DO TRABALHO			
50 min/hr		0,83	0,83
40 min/hr		0,67	0,67
RAMPAS		**Fator**	**%**
negativo = > declive		1,6	-30
		1,4	-20
		1,2	-10
nivelado		1	0
positivo => aclive		0,8	10
		0,6	20
		0,3	30

A disponibilidade física e a utilização física são imputadas de acordo com os valores fornecidos pela equipe de manutenção e pela equipe de infraestrutura de mina, respectivamente. Com isso, calcula-se o rendimento no trabalho para o equipamento.

A produtividade corrigida é então calculada levando-se em consideração a produtividade máxima obtida através do ábaco de produtividade estimada fornecido pela Komatsu e os fatores de correção. Com esse valor, calcula-se a produção estimada do equipamento, que leva em consideração a produtividade corrigida o rendimento e as horas calendário. Assim, o número de equipamentos pode ser estimado dividindo a movimentação programada pela produção estimada.

Logo, a planilha de base de cálculo (Tabela 4.3) fornece tanto a produtividade do equipamento quanto o número de equipamentos necessário para realizar determinado tipo de serviço, levando em consideração a massa movimentada por horas trabalhadas.

Tabela 4.3 - Dimensionamento de tratores de esteira - base de cálculo

Dimensionamento de Tratores de Esteira - Complexo Mariana

Dias/Mês	30
Horas/Dia	24
Hcalendário	**720**

Dados	**TIPO DE SERVIÇO**		
	Espalhamento	**Drenagem**	**Desenvolvimento**
Largura (m)	-	30	30
Altura (m)	-	0,3	0,3
Drenagem transversal (%)	-	1%	1%
Drenagem longitudinal (%)	-	-	-
Área (m²)	-	4,5	4,5
Densidade	2,5	2,5	2,5
Extensão do trabalho	15.000m	15.000m	15.000m
Massa a ser movimentada (ton)	**530.606**	**168.750**	**168.750**
Frota	**D375**	**D375**	**D375**
Produtividade máxima não corrigida (m³/h)	2.325	2.325	2.325
Condições do material - (Vide fatores)*	**1,4,5 e 7**	**1 e 7**	**1,2,4 e 7**
OPERADOR	0,75	0,75	0,75
ESCARIFICAÇAO	1	1	0,75
ACERTO DE PRAÇA	1	1	1
FATOR DE CORREÇÃO DO MATERIAL	1,1	1	0,8
CORTE EM TRINCHEIRA	0,8	1	1
OPERAÇÃO LADO A LADO	1	1	1
VISIBILIDADE	0,8	0,8	0,8
Nº de Equipamentos	**1,10**	**0,75**	**1,24**
Disponibilidade Física (%)	0,73	0,65	0,65
Utilização Física (%)	0,75	0,73	0,73
Rendimento no Trabalho (%)	**0,55**	**0,47**	**0,47**
Produtividade corrigida (m³/h)	1.228	662	397
Produção estimada (m³)	483.920	226.141	135.685
Movimentação programada (m³)	530.606	168.750	168.750
Nº de tratores requeridos por atividade	**2,00**	**1,00**	**2,00**

4.2 LEVANTAMENTO EM CAMPO

As medições em campo se deram com o auxílio da equipe de topografia. Inicialmente determinou-se a área de medição a partir do trabalho que estava sendo realizado

pelo equipamento. A área de trabalho foi levantada pela equipe de topografia e quando o equipamento entrava em operação, eram medidos tempo de ciclo, tempo total de trabalho e DMT realizada, levando em considerações as paradas dos equipamentos, fazendo com que somente o tempo de trabalho efetivo fosse considerado nos cálculos da produtividade.

As localizações das áreas de medição podem ser vistas na Figura 4.1, assim como algumas das operações podem ser observadas nas Figuras 4.2 e 4.3.

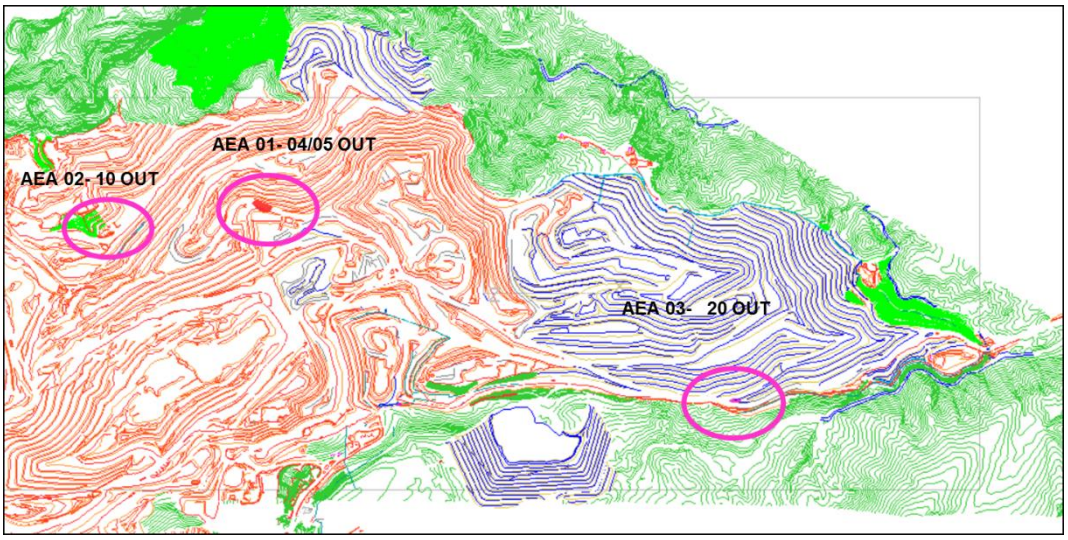


Figura 4.1 - Localizações das áreas de medição

Figura 4.2 - Trator de esteira D375A - 6 operando em corte de acesso

Figura 4.3 - Trator de esteira D61EX - 23MO operando em corte de acesso

A primeira medição realizada foi com o trator de esteira D375A – 6 operando em corte de rampa. O tempo de medição foi de 01 hora e 09 minutos. O tempo de ciclo médio foi de 01 minuto e 45 segundos. A segunda medição se deu pelo mesmo equipamento trabalhando nas mesmas condições e no mesmo local, tendo um tempo total de trabalho efetivo de 01 hora e 24 segundos e tempo de ciclo médio de 02 minutos e 12 segundos. A terceira medição foi avaliando o trator de esteira D61EX – 23MO trabalhando em acerto de drenagem de berma, tendo um total de 01 hora e 23 minutos de trabalho efetivo com um tempo de ciclo médio de 01 minuto e 13 segundos. Por fim, na quarta medição, ainda com o trator D61EX –23MO, acertando drenagem de acesso, o tempo total de trabalho efetivo foi de 41 minutos e 12 segundos, tendo um tempo de ciclo médio de 48 segundos.

4.3 *SOFTWARE* OZM

Para a simulação utilizando o *software*, utilizou-se os dados obtidos nas medições realizadas em campo, fazendo assim, um comparativo entre o dado fornecido pela simulação e o dado obtido em campo.

Informou-se o modelo do equipamento em questão, o tipo de lâmina, a distância do trabalho, a densidade do material cortado, a porcentagem de empolamento do material. Considerou-se a eficiência do trabalho como 84%, ou seja, 50 minutos de trabalho efetivo por hora e o fator de correção do operador como 100%. Esses dados podem ser observados na Figura 4.4.

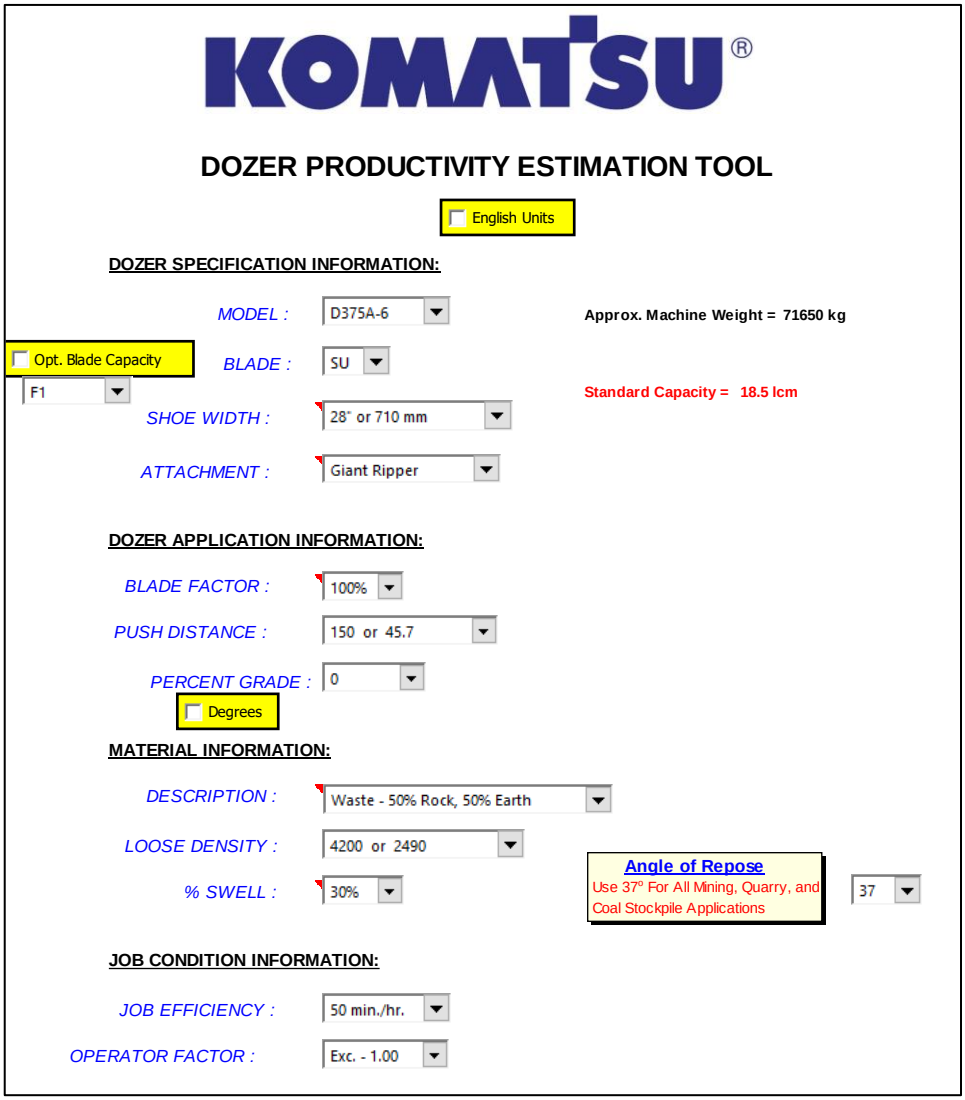


Figura 4.4 - Interface do software com dados imputados

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES NO OZM

Um problema encontrado durante a realização das simulações, foi a falta da base de dados para a realização da simulação da produtividade dos tratores de esteira D61EX – 23MO. Assim, para conferência com os dados medidos em campo, utilizou-se o gráfico de produtividade (Figura 3.20) para gerar o valor.

Os valores encontrados durante as simulações foram os seguintes:

Para o equipamento D375A – 6, em uma hora, trabalhando com uma DMT de 45 metros, o valor encontrado foi de 1.259,00 T/h.

Para o equipamento D61EX – 23MO, em uma hora, trabalhando com uma DMT média de 70 metros, o valor de produtividade encontrado foi de 83 T/h.

5.2 RESULTADOS DO LEVANTAMENTO EM CAMPO

Para a primeira medição com o trator de esteira D375A – 6, obteve-se uma movimentação de 1081,0 m³. Levando em consideração uma densidade de 2,60, a massa total movimentada foi de 2811,0 toneladas. Já a segunda medição apresentou volume de 475,0 m³ e massa total cortada de 1235,0 toneladas. O sólido gerado e os perfis do corte podem ser observados nas Figuras 5.1 e 5.2 respectivamente

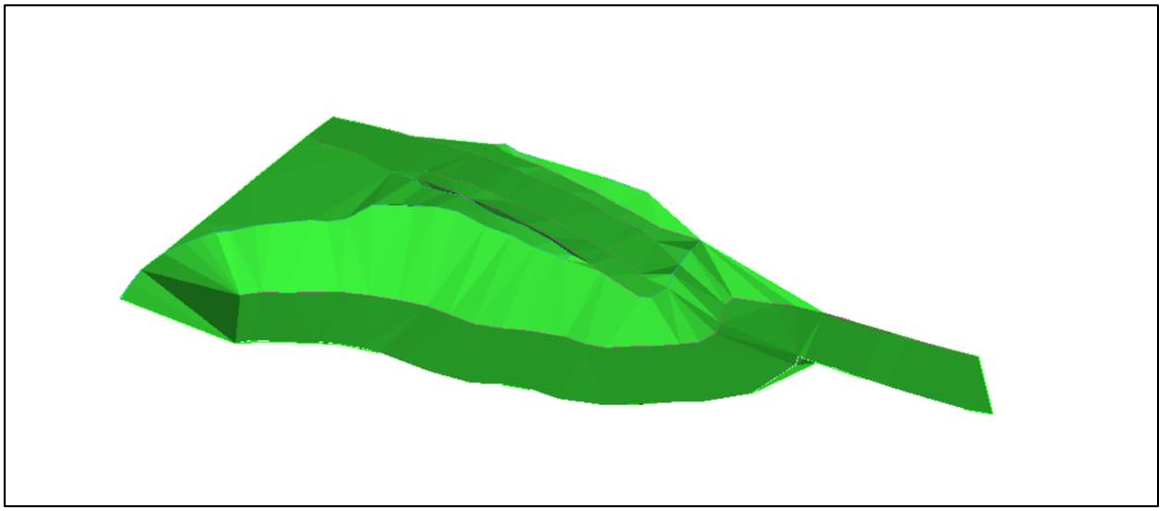


Figura 5.1 - Sólido gerado a partir das medições em campo para corte realizado pelo trator de esteira D375A – 6

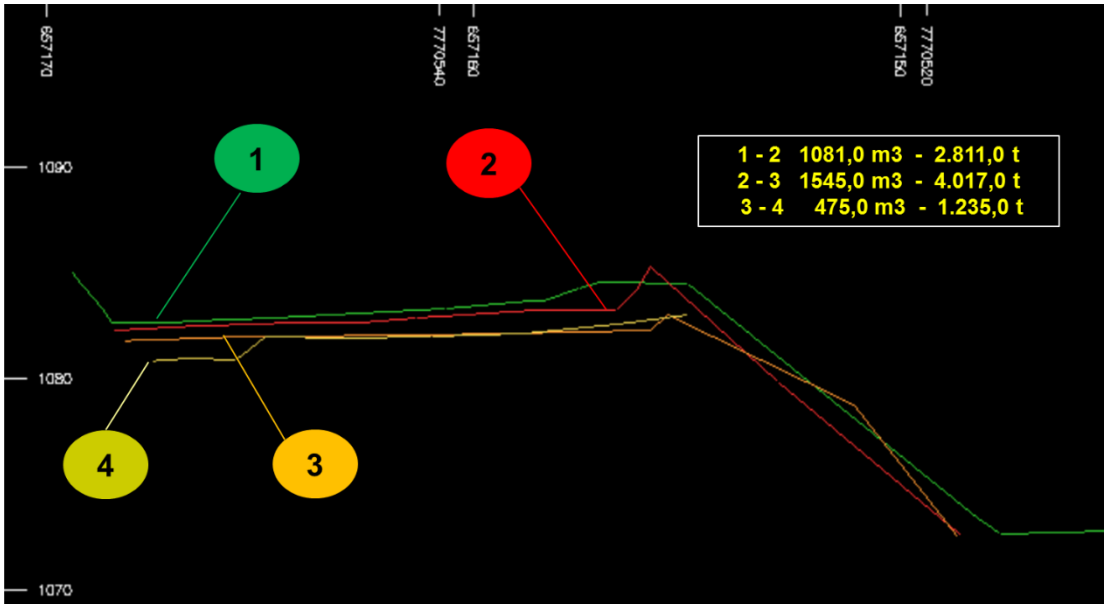


Figura 5.2 - Perfis gerados a partir das medições em campo para o corte realizado pelo trator D375A – 6

Observou-se que na primeira medição que a massa movimentada foi de 2811,0 toneladas durante um tempo de 01 hora e 09 minutos. Com isso, a produtividade obtida foi de 940 m³/h ou 2444,3 T/h, com uma DMT de 45 metros.

Na segunda medição, a massa movimentada foi de 1235,0 toneladas durante um tempo de 01 hora e 24 segundos. Assim, a produtividade obtida foi de 339,3 m³/h ou 882,1 T/h, sendo o serviço executado com uma DMT de 75 metros.

Na terceira medição com o trator D61Ex – 23MO operando em acerto de drenagem de berma, obteve-se um volume de movimentação de 79 m³. Levando em consideração a densidade do material de 2,60, a massa total cortada foi de 206 toneladas com uma DMT média de 100 metros. Assim, a produtividade obtida foi de 57,3 m³/h. O sólido gerado a partir dessa medição pode ser observado na Figura 5.3.

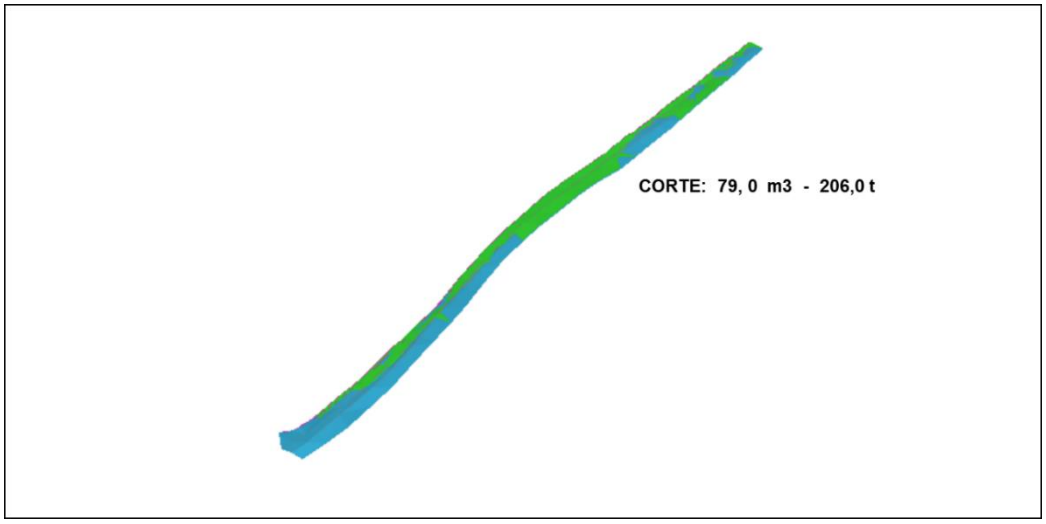


Figura 5.3 - Sólido gerado a partir das medições em campo para o corte realizado pelo trator de esteira D61EX - 23MO

Na medição com o trator D61Ex – 23MO operando em acerto de drenagem de acesso, obteve-se um volume de movimentação de 145 m³. Levando em consideração a densidade do material de 2,60, a massa total cortada foi de 377,0 toneladas com uma DMT de 30 metros, assim, o valor de produtividade obtido foi de 211m³/h. O sólido e o perfil gerados a partir da medição em campo podem ser observados nas Figura 5.4 e 5.5 respectivamente.

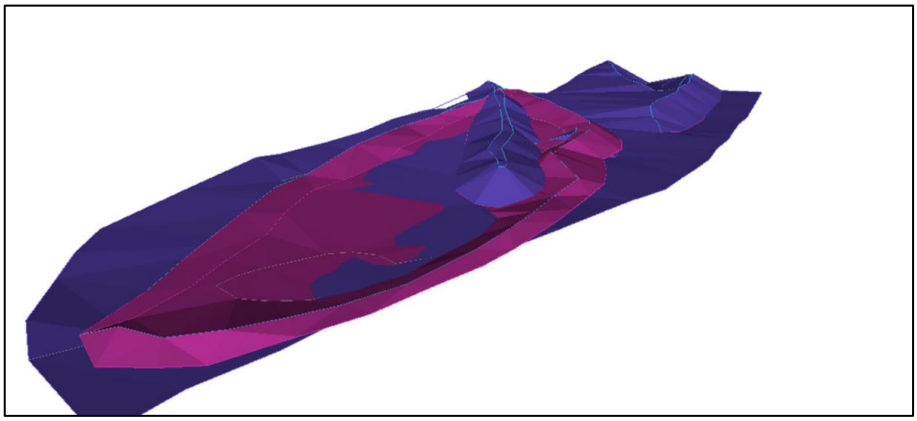


Figura 5.4 - Sólido gerado a partir das medições em campo para o corte realizado pelo trator de esteira D61EX - 23MO

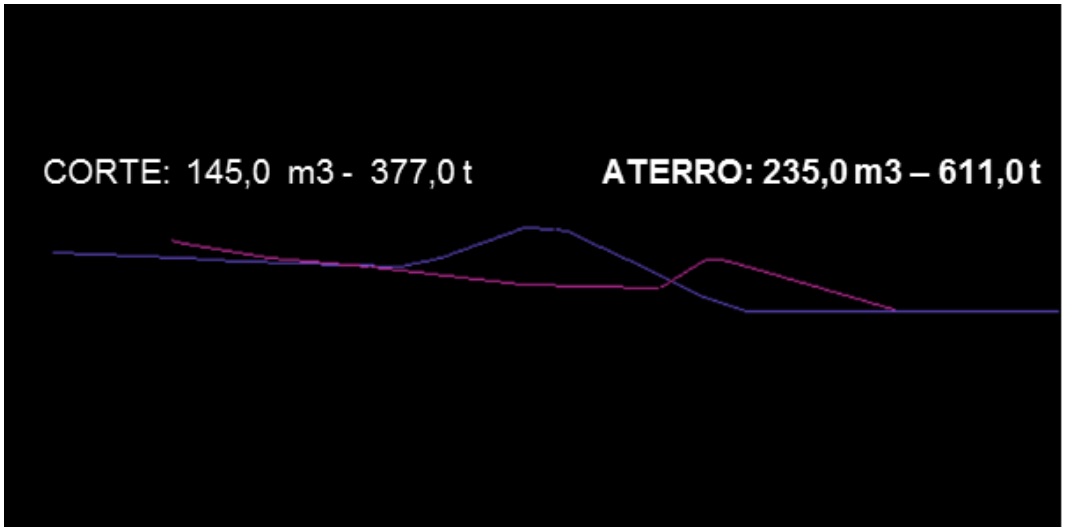


Figura 5.5 - Perfil de corte gerado a partir das medições em campo para o corte realizado pelo trator de esteira D61EX - 23MO

5.3 COMPARATIVO DOS VALORES OBTIDOS

Para o primeiro trabalho realizado pelo trator de esteira D375A – 6, o valor de produtividade obtido nas medições em campo foi de 940,0 m³/h, já o valor obtido na simulação do software foi de 1259,0 m³/h e o ábaco fornece um valor de produtividade de 1270,0 m³/h para a DMT realizada pelo equipamento.

Para a segunda medição, ainda com o mesmo equipamento, nas mesmas condições de trabalho da primeira medição, porém com uma DMT de 75 metros, o valor de produtividade obtido em campo foi de 339,3 m³/h, o valor obtido na simulação no software foi de aproximadamente 500,0 m³/h e o ábaco fornece um valor de 525,0 m³/h.

Na terceira medição, feita com o trator de esteira D61EX – 23MO, com uma DMT média de 100 metros, o valor de produtividade encontrado nas medições em campo foi de 57,3 m³/h enquanto o valor obtido na simulação no software foi de 83,0 m³/h. Já o ábaco de produtividade oferece um valor de aproximadamente 90,0 m³/h.

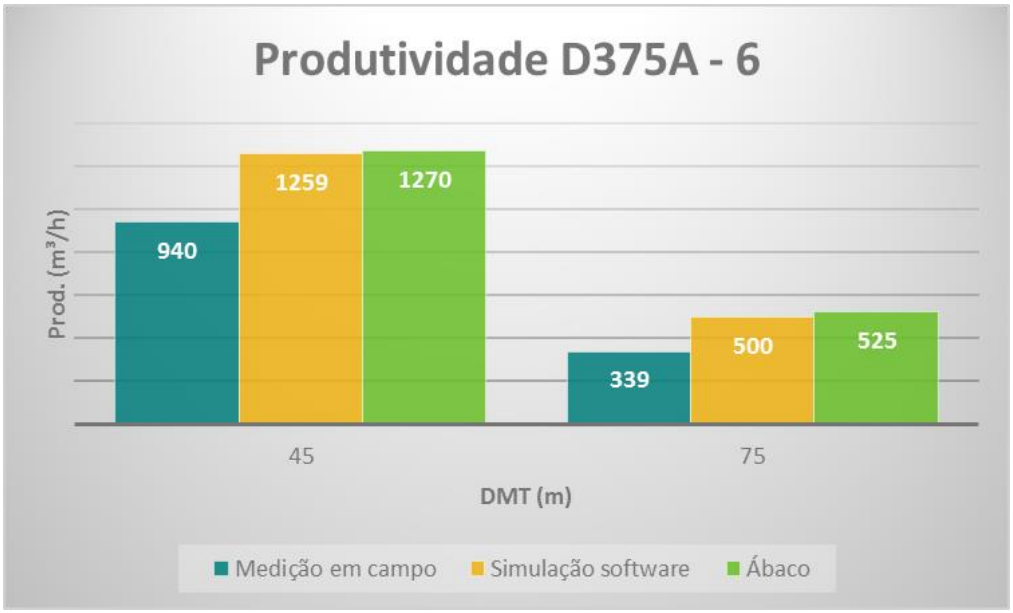
Para a quarta medição, ainda com o equipamento D61EX – 23MO, trabalhando em uma DMT média de 30 metros, a produtividade obtida em campo foi de 212,0 m³/h, no software o valor obtido foi de aproximadamente 290,0 m³/h e o ábaco fornece um valor de 290,0 m³/h para a produtividade do equipamento.

Os valores podem ser observados resumidamente na Tabela 5.1 e pelos Gráficos 5.1 e 5.2:

Tabela 5.1 - Valores de produtividade dos equipamentos obtidos através de medições em campo

Valores de produtividade de trataores de esteira em m³/h				
Equipamento	**DMT (m)**	**Medição em campo**	**Simulação software**	**Ábaco**
D375A - 6	45	940	1259	1270
	75	339	500	525
D61EX - 23MO	100	57	83	90
	30	212	290	290

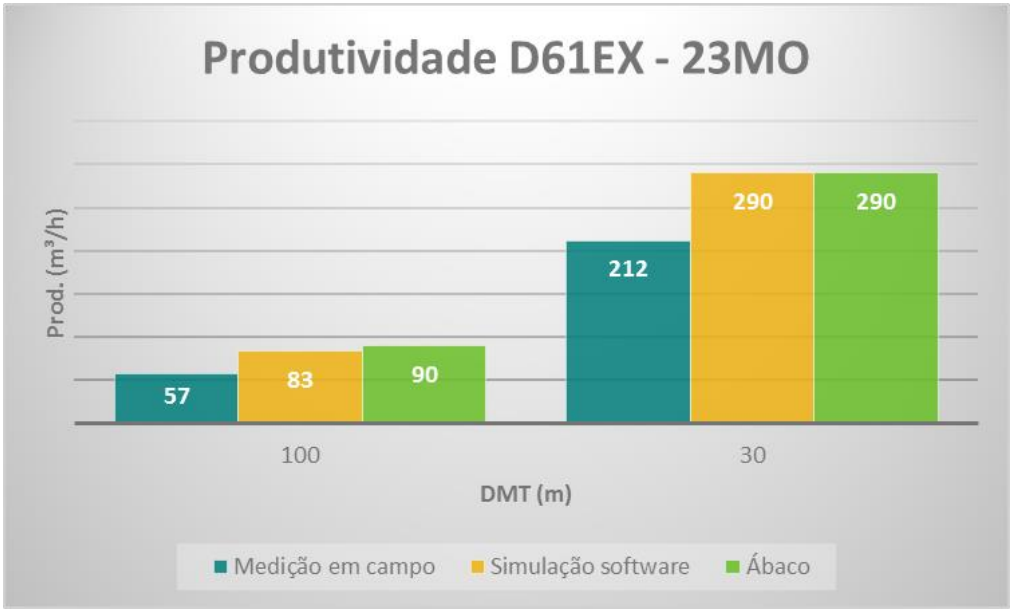
Gráfico 5.1 – Produtividade do trator de esteira D375A - 6



Para o primeiro trabalho realizado com o trator de esteira D375A – 6 em uma DMT de 45 metros, tomando como base o valor de produtividade através do ábaco, nota-se que o valor oferecido pela simulação em software equivale a 99,13% do valor do ábaco enquanto a medição em campo equivale a 74,01% do valor de base. Já para a segunda medição, também realizada com o trator de esteira D375A – 6 a uma DMT de 75 metros, e tomando como base o valor da produtividade pelo ábaco, o valor fornecido pela simulação em software equivale a

95,3% do valor do ábaco e o valor obtido através da medição em campo equivale a 65% do valor do ábaco.

Gráfico 5.2 – Produtividade do trator de esteira D61EX – 23MO



Avaliando-se o trator de esteira D61EX – 23MO trabalhando a uma DMT de 100 metros e tomando-se como base o valor de produtividade encontrado pelo ábaco, nota-se que o valor de produtividade obtido através da simulação do software equivale a 92,3 % do valor do ábaco e o valor obtido através da medição em campo equivale a 63,3 % do valor do ábaco. Para o segundo serviço realizado a uma DMT de 30 metros e ainda considerando o valor do ábaco como valor base, o valor encontrado pela simulação em software equivale a 100 % do valor do ábaco e o valor encontrado na medição em campo equivale a 73,1 % do valor do ábaco.

Observa-se que os valores obtidos em campo são menores ao comparar-se com os valores obtidos nas simulações no software e nos valores obtidos através do ábaco, isso se deve ao fato de os valores obtidos pelo software e pelo ábaco não levarem com consideração os fatores de correção, ou seja, eles consideram o cenário perfeito, o que não acontece em campo.

Além disso, pode-se observar que conforme se aumenta a DMT do trabalho, o valor da produtividade dos equipamentos diminui, e isso se dá pelo fato de a velocidade alcançada

pelos equipamentos não serem altas e que, quanto maior a DMT, maior será a carga que a lâmina deverá cortar e transportar.

5.4 POSSÍVEL PROBLEMÁTICA

Um possível problema encontrado durante o processo, foi a possibilidade de erro ao se calcular a produtividade dos equipamentos quando se utiliza os valores de DF e UF.

Para o cálculo da produtividade dos equipamentos a partir da planilha base, necessita-se de valores de DF e UF fornecidos pelas equipes de manutenção e infraestrutura de mina respectivamente, para assim calcular-se o rendimento dimensionado. Com isso, calcula-se valores de produtividade levando em consideração outros fatores já citados.

O problema se dá quando os valores são subdimensionados ou superdimensionados, pois se assim são, o cálculo de números de equipamentos fornecerá valores não reais, assim, durante o desenvolvimento do trabalho, faltarão ou sobrarão equipamentos, fazendo com que o dimensionamento inicial perca seu valor. Quando não se fornece valores para algum dos dois índices, o cálculo também se torna impossível.

A partir de um levantamento feito para dois equipamentos, sendo um o trator de esteira D375A – 6 e o outro um D61EX – 23MO, durante o ano de 2017 para valores de DF e UF tanto dimensionados quanto realizados (Tabela 5.2), nota-se que, para alguns meses, não houve valores dimensionados para DF e UF dos equipamentos, assim, não seria possível calcular o rendimento, impedindo que a produtividade dos equipamentos e o número de equipamentos fossem calculados.

Outra observação que pode ser feita a partir do levantamento é o fato de que em todos os meses os valores de DF e UF realizados são maiores que os valores dimensionados, podendo assim, concluir que houve um subdimensionamento da frota. Com isso, o dimensionamento inicial demandaria mais equipamentos, porém, na prática, o número de equipamentos utilizados seria menor que o dimensionado, pois os mesmos apresentam rendimento maior que o dimensionado.

Uma possível solução para o problema seria a realização de controles mais rigorosos em relação aos índices de controle dos equipamentos, para assim se montar um banco

de dados e realizar comparativos mensais dos valores realizados. Com isso e com o consenso das equipes de manutenção, infraestrutura de mina e planejamento de mina, os valores dimensionados poderiam se aproximar mais dos valores reais, fazendo com que não ocorra o subdimensionamento e nem o superdimensionamento.

Tabela 5.2 - Índices de controle de tratores de esteira Dimensionado x Realizado

DF e UF - D375 e D61											
Mina	Frota	TAG	Mês	DF		UF		Rendimento		HT	
				Programa	Real	Programa	Real	Programa	Real	Programa	Real
AL	Kom D375	TE4564	5	-	88	-	72	-	64	-	100
			6	69,4	83	75	85	52,05	70	189	503
			7	69,4	94	75	86	52,05	80	388	506
			8	72,2	86	75	87	54,15	75	403	558
			9	-	94	-	85	-	80	-	538
			10	72	86	75	81	54	70	402	519
			11	72	78	75	82	54	64	390	387
			12	69	81	75	85	52	69	384	512
			TOTAL		**86**		**84**		**72**		**3623**
	Komatsu D61EX	TE2205	8	-	100	-	37	-	37	-	9
			10	-	98	-	36	-	35	-	136
			TOTAL	**-**	**98**	**-**	**36**	**-**	**35**	**-**	**145**
FN	Kom D375	TE4564	5	-	71	-	81	-	57	-	82
			TOTAL	**-**	**71**	**-**	**81**	**-**	**57**	**-**	**82**
	Komatsu D61EX	TE2205	8	-	89	-	38	-	34	-	44
			9	-	100	-	41	-	40	-	291
			10	-	100	-	41	-	40	-	87
			11	80	99	38	39	30	39	218	281
			12	80	97	38	39	30	38	225	282
			TOTAL		**98**		**40**		**39**		**986**
SL	Kom D375	TE4564	9	-	98	-	84	-	82	-	39
			TOTAL	**-**	**98**	**-**	**84**	**-**	**82**	**-**	**39**
	Komatsu D61EX	TE2205	10	-	100	-	39	-	39	-	56
			TOTAL	**-**	**100**	**-**	**39**	**-**	**39**	**-**	**56**

6 CONCLUSÃO

Conclui-se então que quanto maior a DMT de trabalho, menor será a produtividade do equipamento, devido a velocidade máxima alcançada e pelo fator de carga da lâmina. Isso pôde ser comprovado através do ábaco de produtividade ofertado pela empresa e pelos ensaios realizados em campo.

Outra conclusão que se obteve foi que a metodologia de cálculo da produtividade de tratores de esteira utilizando a massa movimentada e as horas de trabalho efetivas é eficiente, podendo assim ser usada para futuros cálculos.

Comprovando a metodologia associada a valores levantados em campo, conclui-se que a planilha de cálculo base pode ser utilizada para realização do dimensionamento de tratores de esteira, tendo em vista que a mesma leva em consideração a massa movimentada e as horas trabalhadas, além de levar em consideração fatores de correção, penalizando assim os valores tanto de produtividade do equipamento quanto o valor de equipamentos necessários para a realização dos serviços necessários.

Salienta-se que os cálculos podem ser invalidados se os valores de DF e UF não forem dimensionados de forma correta, podendo assim, fazer com que ocorra ou o subdimensionamento ou o superdimensionamento tanto da produtividade dos equipamentos quanto para o número de equipamentos.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, J. J. **Avaliação do processo de amostragem do ROM da mina de Fábrica Nova**. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, p. 33. 2010.

HARTMAN, H. L.; MUTMANSKY, J. M. **Introductory Mining Engineering**. 2ª. ed. New Jersey: Jonh Wilwy & Sons Inc., 2002.

KLANFAR, M.; KUJUNDžlć, T.; VRKLJAN, D. Calculation analysis of bulldozer's productivity in gravitational transport on open pits. **Technical Gazette**, v. 21, p. 517-523, 2014.

KOMATSU. **Specifications & application handbook**. 31ª. ed. Tókio: [s.n.], 2013.

RICARDO, H. D. S.; CATALANI, G. **Manual Prático de Escavação**. 3ª. ed. Sáo Paulo: Pini Ltda, 2007.

ROSIÈRE, C. A.; CHEMALE JR., F. Itabiritos e minérios de ferro de alto teor do quadrilátero ferrífero - uma visão geral e discussão. **Geonomos**, Belo Horizonte, n. 8ª , p. 27-43, 2000.

SILVA, É. L. **Análise da produtividade do trator de esteira D11 em função do ângulo de corte com software DOZSIM durante o decapeamento da camada de estéril da mina de bauxita da Mineração Paragominas S. A.** Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará. Marabá, p. 67. 2014.

SOTREQ. **Track type tractores**. Belo Horizonte. 2008.

SOTREQ. **Tratores de esteira D11/R - Apostila de técnicas de operação**. Belo Horizonte, p. 71. 2012.

SOUSA, M. L. D. **Relatório de atividades em substituição ao estágio curricular**. Faculdade de Tecnologia e ciências de Conselheiro Lafaiete. Conselheiro Lafaiete, p. 31. 2011.

VALE. **Revisão dos recursos da mina de Alegria - Relatório final**. VALE. Mariana, p. 144. 2013.

VALE. **Avaliação de recursos de minério de ferro - Mina de fábrica Nova**. VALE. Mariana, p. 120. 2017.

VALE. vale.com, 2017. Disponivel em: <http://www.vale.com/PT/investors/information-market/quarterly-results/ResultadosTrimestrais/PREPORT2T17_p.pdf>. Acesso em: 06 dez. 2017.

VIEIRA, C. **Determinação e quantificação de elementos de relevância em infraestrutura de mina**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Paraupebas, p. 2013. 2013.