



**UFOP**  
Universidade Federal  
de Ouro Preto

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO**  
**Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto**  
**Departamento de Engenharia de Minas**  
**Campus Morro do Cruzeiro**  
**Ouro Preto - Minas Gerais - Brasil**

---



**ESTUDO DE IMPLANTAÇÃO DO MINERADOR DE SUPERFÍCIE VERMEER**  
**TL 1255 NA MINA DE BAUXITA DE JURUTI / PA**

Autor: **FELIPE DAMASCENO DIAS**

Orientador: **Prof. Dr. ADILSON CURI**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte integrante dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Minas.

Área de concentração:

**Lavra de minas**

**Ouro Preto / MG**

**08 de Maio de 2017**

D541e      Dias, Felipe Damasceno.  
Estudo de implantação do minerador de superfície Vermeer TL1255 na Mina de Bauxita de Juruti / PA [manuscrito] / Felipe Damasceno Dias. - 2017.

58f.: il.: color; grafs; tabs; mapas.

Orientador: Prof. Dr. Adilson Curi.

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

1. Minas e mineração - Equipamentos e acessórios. 2. Lavra a céu aberto. I. Curi, Adilson. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 622.015



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 05 dias do mês de maio de 2017, às 14:00 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 **Felipe Damasceno Dias**, intitulado: “**ESTUDO DA IMPLANTAÇÃO DO MINERADOR DE SUPERFÍCIE VERMERR TL1255 NA MINA DE BAIXITA DE JURUTI - PA**”, sendo a comissão avaliadora formada por **Prof. Dr. Adilson Curi** (orientador), **Prof. Dr. Hernani Mota de Lima** e **Prof. Dr. José Margarida da Silva**.

Após arguição sobre o trabalho, a comissão avaliadora deliberou por unanimidade pela ~~Aprovação~~..... do candidato, com a nota 8,5 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 pela discente.

Ouro Preto, 05 de maio de 2017.

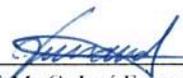
  
Prof. Dr. Adilson Curi

Presidente da Comissão Avaliadora e Professor Orientador

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

  
Prof. Dr. José Margarida da Silva  
Membro da Comissão Avaliadora

  
Felipe Damasceno Dias

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

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer à Deus e à minha família. Aos meus pais, pela sua dedicação e apoio incondicional para que eu pudesse obter uma formação de qualidade. Aos meus irmão pelo companheirismo e hombridade.

À Roberta pelo carinho, cumplicidade, atenção e companheirismo durante essa trajetória.

Aos amigos de Belo Horizonte por todos os momentos e pela torcida para que eu chegasse aonde estou hoje.

Aos professores Adilson, José Margarida e Hernani pelo incentivo, orientação e confiança em mim depositados. Obrigado por todo conhecimento compartilhado que tanto contribuiu para o meu crescimento profissional durante todos esses anos.

À Escola de Minas, DEMIN, CNPq e University of New South Wales pelo ensino de qualidade e oportunidades proporcionadas.

Aos amigos da ALCOA e Juruti, pela experiência e ensinamentos durante o estágio. Em especial, Rhaymá, Gabriel, Henrique e Antônio.

À cidade de Ouro Preto por proporcionar os melhores momentos vividos até aqui. Em especial, aos amigos Davi, Luiz Otávio, João, Raphael, Gustavo S., Arthur, Igor, Gustavo H., Eloi, Fernanda, Marina, Mariana e Tatiana. E aos meus grandes irmãos Yuri e Heitor.

Finalmente à gloriosa República Antares, ex-alunos e moradores. A família que aqui construí. Muito obrigado pelos anos inesquecíveis.

## RESUMO

A incorporação da tecnologia nos processos minerais se tornou essencial e através dela as mineradoras são capazes de atingir metas e resultados cada vez mais desafiadores. A busca por sistemas que apresentem um caráter inovador e que priorizam sistemas automatizados, contínuos, limpos e econômicos são tendências que acompanham o mercado da mineração, e os Mineradores de Superfície se destacam no segmento ao apresentarem melhorias relacionadas a essas vertentes. Neste projeto é estudada a implementação de mineradores de superfície nos cenários que envolvem a lavra de minas a céu aberto, em particular no consagrado e tradicional Método de Lavra em tiras (*Strip Mining*). As grandes restrições ambientais obrigam as grandes empresas a pensar em alternativas mais sustentáveis e dentre elas estão os promissores Mineradores de Superfície. Este trabalho visa caracterizar as vantagens e benefícios que os mineradores de superfície podem trazer para uma mineração, assim como avaliar o seu desempenho e eficácia na lavra de uma mina de bauxita no Oeste do Pará, Brasil.

**Palavras-chave:** Tecnologia, Mineradores de Superfície, Melhorias, Lavra a céu aberto, Desempenho

## **ABSTRACT**

The incorporation of technology into mineral processes has become essential and through it mining companies are able to achieve challenging goals and results. The search for systems that present innovation and prioritize automated, continuous, clean and economical systems are trends that follow the mining market. Surface Miners stand out in the segment by presenting improvements related to these aspects. In this project it is studied the implementation of Surface Miners into the scenarios that the mining of open pit mines involve, particularly into the well-established and traditional Strip Mining Method. Environmental constraints force mining companies to think about sustainable alternatives and among them are the promising Surface Miners. This work aims to characterize the advantages and benefits that surface miners can bring to a mining operation. Furthermore, it aims to evaluate their performance and effectiveness inside a bauxite mine in the West of Pará, Brazil.

**Keywords:** Technology, Surface Miners, Improvement, Open Cast Mining, Performance

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>13</b>
2.1 OBJETIVOS GERAIS.....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>14</b>
3.1 CONTEXTO E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA .....	14
3.2 OPERACIONALIDADE DE UM MINERADOR DE SUPERFÍCIE.....	16
3.2.1 OPERAÇÃO E APLICABILIDADE.....	16
3.2.2 TAMBOR DE CORTE E MODO DE CARREGAMENTO .....	18
3.3 EFEITOS DO DESMONTE DE ROCHAS COM UTILIZAÇÃO DE EXPLOSIVOS.....	21
3.3.1 PROPAGAÇÃO DE VIBRAÇÕES ATRAVÉS DO SOLO.....	23
3.3.2 PROJEÇÃO DE FRAGMENTOS DE ROCHA ( <i>FLY ROCK</i> ) .....	25
3.3.3 GERAÇÃO DE PRESSÃO ACÚSTICA E POEIRA .....	26
3.4 CONDIÇÕES E FATORES RELEVANTES NA UTILIZAÇÃO DE UM MINERADOR DE SUPERFÍCIE.....	28
<b>4. METOLOGIA.....</b>	<b>30</b>
<b>5. ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>32</b>
5.1 A UNIDADE JURUTI .....	32
5.2 GEOLOGIA LOCAL .....	33
5.3 MONITORAMENTO DA OPERAÇÃO - MINERADOR DE SUPERFÍCIE .....	35

<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>39</b>
6.1 AVALIAÇÃO DAS PREMISSAS E RESULTADOS DO TESTE .....	39
6.1.1 PRODUTIVIDADE .....	39
6.1.2 DISPONIBILIDADE FÍSICA (DF) .....	41
6.1.3 UTILIZAÇÃO (UT) .....	42
6.1.4 CONSUMO DE DIESEL .....	43
6.1.5 HORAS CONSUMIDAS NO TESTE .....	45
6.2 DESAFIOS ENCONTRADOS DURANTE O TESTE .....	46
6.2.1 RESERVA DISPONÍVEL .....	46
6.2.2 GRANULOMETRIA DO PRODUTO .....	47
6.2.3 DEPENDÊNCIA DO SOFTWARE BUSINESS CENTER .....	48
6.2.4 MOBILIDADE .....	49
6.3 TESTES REALIZADOS PARA MITIGAR A VARIABILIDADE GRANULOMÉTRICA.....	50
6.3.1 VARIAÇÕES DE VELOCIDADE DE CORTE .....	50
6.3.2 REMOÇÃO DA CAMADA SUPERIOR DE MATERIAL DESMONTADO .....	52
6.4 OPORTUNIDADES E ALTERNATIVAS .....	54
6.4.1 EQUIPAMENTO AUXILIAR DE CLASSIFICAÇÃO .....	54
6.4.2 INSTALAÇÃO DE BITS ADICIONAIS NO TAMBOR .....	54
6.4.3 UTILIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO NO DESMONTE DA LATERITA .....	55
<b>7. CONCLUSÕES</b> .....	<b>56</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>57</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Aplicações diversas dos mineradores de superfície.....	16
Figura 3.2 – Performance de corte do Wirtgen 4200 SM de acordo com o índice UCS.....	17
Figura 3.3 – Operação de corte e carregamento .....	19
Figura 3.4 – Wirtgen 4200 SM em operação .....	19
Figura 3.5 – Operação de corte do minerador de superfície Vermeer TL1255.....	21
Figura 3.6 – Modificação do estado natural de tensões e redistribuição no maciço.....	22
Figura 3.7 – Estágios sucessivos da propagação do stress em um maciço rochoso gerado por uma carga explosiva.....	24
Figura 3.8 – Ilustração do efeito <i>Fly Rock</i> com causa baseada na utilização de uma distância inadequada entre o furo carregado e a face livre.....	26
Figura 5.1 – Localização geográfica do município de Juruti - PA.....	32
Figura 5.2 – Vista aérea da Mina de bauxita de Juruti .....	32
Figura 5.3 – Perfil litológico da Mina de bauxita de Juruti.....	34
Figura 5.4 – Sistema de escarificação tridente dos tratores de esteira .....	36
Figura 5.5 – Minerador de superfície Vermeer TL1255 em operação na Mina de bauxita de Juruti .....	37
Figura 6.1 – Superfície irregular e imperfeita do primeiro corte impactando diretamente na produtividade do equipamento .....	40
Figura 6.2 – Gráfico Produtividade vs Mês de teste .....	40
Figura 6.3 – Gráfico Disponibilidade Física vs Mês de teste.....	41

Figura 6.4 – Gráfico Utilização vs Mês de teste.....	43
Figura 6.5 – Gráfico Consumo específico de diesel (L/h) vs Camada de corte .....	44
Figura 6.6 – Gráfico Consumo específico de diesel (L/h) vs Mês de teste .....	44
Figura 6.7 – Ocorrência de blocos fora da especificação granulométrica.....	48
Figura 6.8 – Software Business Center com dados topográficos importados .....	49
Figura 6.9 – Teste de variação de profundidade e velocidade de avanço em uma tira .....	51
Figura 6.10 – Curva granulométrica referente ao material amostrado .....	52
Figura 6.11 – Teste realizado removendo-se a camada superior.....	52
Figura 6.12 – Análise por faixa granulométrica do material amostrado .....	53
Figura 6.13 – Caçamba britadora .....	54
Figura 6.14 – Grelha vibratória .....	54

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Comparação dos vários tipos de mineradores de superfície.....	15
Tabela 3.2 - Níveis de pressão acústica e suas consequências .....	27
Tabela 3.3 - Parâmetros que influenciam a eficiência de corte de um minerador de superfície .....	29
Tabela 6.1 - Consumo de horas ao final do teste.....	45
Tabela 6.2 - Percentual em massa e material fragmentado por faixa granulométrica.....	51
Tabela 6.3 - Percentual em massa e material fragmentado por faixa granulométrica.....	53

## **LISTA DE SIGLAS**

UCS - Uniaxial Compressive Strenght

DMS - Daily Management System

ROM - Run of Mine

DF - Disponibilidade Física

UT - Utilização

## 1. INTRODUÇÃO

A mineração pode ser caracterizada como uma atividade extrativista em constante desenvolvimento. A necessidade de maximização de lucro, redução do custo operacional e a busca por um melhor rendimento mineiro, obriga que as empresas estejam sempre à procura de novas alternativas para o cumprimento dos resultados e metas propostas. Portanto, a incorporação da tecnologia na mineração se tornou essencial para que seja possível suprir a necessidade da redução de custos e alcançar altos índices de produtividade.

A lavra a céu aberto caracteriza-se como uma das opções clássicas da extração mineral. As dificuldades inerentes da própria atividade, em conjunto com as rigorosas restrições ambientais, impulsionam o desenvolvimento de novas técnicas e metodologias, principalmente na lavra de minas a céu aberto.

A sustentabilidade e a segurança das operações são questões pertinentes e algumas vezes entram em conflito com a atividade mineradora. Através da tecnologia somos capazes de aumentar a eficiência das operações e ainda minimizar os impactos ambientais provenientes da mineração. Tecnologias que apresentam um caráter inovador e que priorizam sistemas automatizados, contínuos, limpos e econômicos são consideradas entrantes no mercado da mineração e nos levam a refletir sobre os tradicionais e já consagrados métodos de lavra (CURI e FILHO, 2015).

Os mineradores de superfície apresentam-se como promissoras especializações dos tradicionais métodos de lavra e são exemplos de uma tecnologia desenvolvida para suprir as necessidades do mundo atual da mineração. Apresentando sistemas automatizados e menos agressivos ao meio ambiente, os mineradores de superfície demonstram a sua aplicabilidade nas minas a céu aberto, especialmente em depósitos que são lavrados através do tradicional método de lavra em tiras (*Strip Mining*).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVOS GERAIS**

Avaliar a utilização e o comportamento de Mineradores de Superfície como principais meios de fragmentação de rochas sem a utilização de explosivos em lavras a céu aberto.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar a operacionalidade de um minerador de superfície;
- Detalhar as vantagens e ganhos de um desmonte de rochas sem a utilização de cargas explosivas;
- Avaliar a viabilidade da utilização de um minerador de superfície na lavra de bauxita.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Contexto e Inovação Tecnológica**

Os mineradores de superfície configuram-se como equipamentos que apresentam tecnologias inovadoras e não convencionais no âmbito da mineração. Atualmente, já estão presentes em diversas operações pelo mundo e o continente asiático concentra a maior parte deles (CURI e FILHO, 2015). A principal característica dos mineradores de superfície está em sua capacidade de concentrar três operações unitárias (lavra, fragmentação e carregamento) em apenas uma única etapa. Vale ressaltar, que esse tipo de equipamento foi especialmente desenvolvido para trabalhar em áreas extensas e largas, onde a perda de tempo com manobras é minimizada, promovendo assim o seu regime de operação contínuo.

De acordo com Curi e Filho (2015), a mineração necessita acompanhar o avanço tecnológico, em razão de ser uma atividade que carrega dificuldades inerentes à natureza do próprio negócio, tais como rigorosas restrições ambientais, aumento das distâncias de transporte de minério e estéril, maior dificuldade de acessos, lavra de minérios mais pobres e aumento da relação estéril/minério. Os desafios da mineração impactam diretamente nas operações de perfuração, desmonte, carregamento, transporte de materiais e, conseqüentemente, em seus respectivos custos operacionais. Portanto, em busca de uma maior competitividade de mercado e sustentabilidade do negócio, a indústria mineral vem fomentando desde seu início o desenvolvimento de melhorias e novas tecnologias em todos os processos que envolvem a mineração, com destaque, na lavra de mina a céu aberto.

Os mineradores de superfície vem mostrando força no cenário nacional e internacional, principalmente ao confrontar o tradicional Método de Lavra em Tiras (Strip Mining). Este método é amplamente utilizado na lavra de depósitos bandados e não muito profundos, como por exemplo o carvão mineral e a bauxita. Equipamentos com caráter inovador, os quais incorporam novas tecnologias e promovem sistemas contínuos, automatizados, econômicos e ambientalmente responsáveis são entrantes que impulsionam questionamentos aos tradicionais e já consolidados métodos de lavra. Exemplificando essa entrante de equipamentos inovadores e com sistemas operacionais automatizados, os mineradores de

superfície se mostram como promissoras especializações aos tradicionais sistemas de lavra (CURI e FILHO, 2015).

A ideia de desenvolver um equipamento capaz de cominuir materiais rochosos a uma granulometria extremamente reduzida surgiu em meados de 1970 tendo como idealizadora do projeto a empresa alemã Wirtgen Group, líder tecnológica em máquina móveis para produção de asfalto, reabilitação e construção de estradas. A empresa alemã decidiu aplicar seus conhecimentos práticos da indústria de asfalto na mineração, visando por início a sua aplicação na trituração de rochas como o carvão mineral e o calcário (WIRTGEN, 2017). A inovação apresentada pelo minerador de superfície ganhou mercado e novos modelos passaram a ser desenvolvidos para aplicação em diferentes tipos de depósitos minerais, inclusive de rochas mais brandas. A partir do ano 2000 modelos mais versáteis e com maiores capacidades de produção foram lançados, o que resultou na consolidação da empresa no cenário da mineração.

A empresa norte-americana Vermeer seguiu os passos da concorrente alemã e desenvolveu o seu próprio minerador de superfície, com suas devidas diferenças de tecnologia e filosofias de aplicação. De acordo com Filho (2015), é importante ressaltar que atualmente existem outros fabricantes de equipamentos deste segmento, porém juntos, o grupo alemão Wirtgen e o grupo Vermeer dominam cerca de 80% do mercado mundial de mineradores de superfície. Portanto, no presente trabalho o foco foi direcionado a estas duas dominantes do mercado dos mineradores de superfície. A Tabela 3.1 apresenta os diversos tipos de mineradores de superfície existentes no mercado e ilustra algumas diferenças operacionais existentes entre cada um deles.

Tabela 3.1 - Comparação dos vários tipos de mineradores de superfície

Parâmetros	Tipos de Minerador de Superfície		
	Tambor Central	Tambor Dianteiro	Caçamba Trituradora
Largura do Tambor (mm)	0-4200	0-5250	0-7100
Profundidade de Corte (mm)	0-800	0-800	0-800
Produtividade (t/h)	100-3000	100-4000	100-5000
Peso Operacional (t)	40-190	40-190	200-540
Potência do Motor (Kw)	450-1200	450-1200	450-1500
Fabricantes	Wirtgen, Bitelli, L & T, Huron	Vermeer, esmec, Voest Alpine	Krupp, Fodertechnik, Enova, Akraf

Fonte: Adaptado de GHOSH (2010).

De acordo com Curi e Filho (2015), cerca de quinhentas unidades encontram-se em operação quando as duas líderes de venda de mercado Wirtgen e Vermeer são consideradas. O seu campo de atuação é atualmente vasto, portanto são utilizados em diversos tipos de rocha e sistemas de lavra. A Figura 3.1 ilustra a versatilidade de operações nas quais os mineradores de superfície atuam ao redor do mundo.

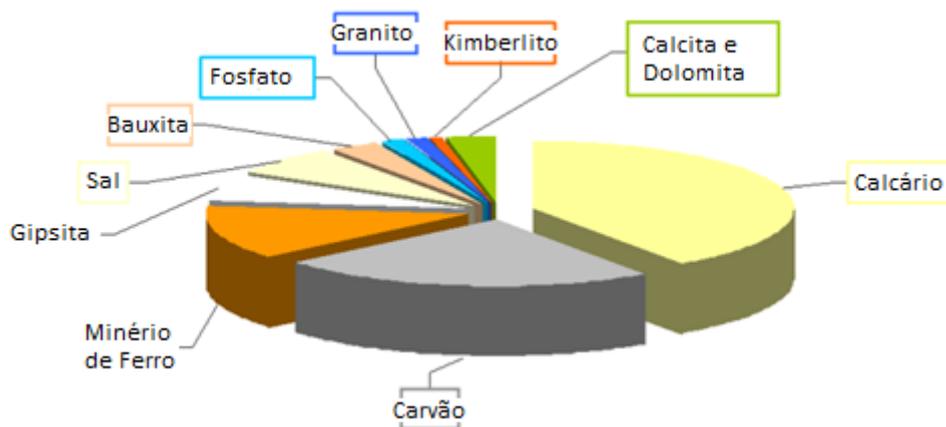


Figura 3.1 Aplicações diversas no uso dos Mineradores de Superfície (adaptado de Curi, 2015)

## 3.2. Operacionalidade de um Minerador de Superfície

### 3.2.1 Operação e aplicabilidade

Os mineradores de superfície são equipamentos capazes de concentrar três operações unitárias em apenas um processo. Foram projetados para atuar no maciço rochoso com um grande poder de corte e cominuir o material para posteriormente realizar-se o carregamento dos caminhões através de uma correia transportadora do próprio equipamento, ou em outros casos, para que a etapa de carregamento seja realizada com o auxílio de outros equipamentos. Os mineradores de superfície estão presentes principalmente nas minas a céu aberto, porém a sua aplicabilidade se expande para alguns tipos de obras civis, como por exemplo nivelamentos para construção de estradas e ferrovias, construções de canais, recuperação de vias, cortes precisos de valas e aterros (WIRTGEN, 2016).

Mineradores de superfície são capazes de extrair de forma seletiva vários tipos de minerais. Possuem uma aplicabilidade melhor e mais efetiva em depósitos bandados ou sub-horizontais,

já que a sua forma de extração do minério é feita em camadas subjacentes. Minerais como calcário, bauxita, fosfato e quimberlito são exemplos da atualmente vasta aplicação desse equipamento que pode ser utilizado em jazidas que apresentem uma alta resistência ou em minerais friáveis.

De acordo com o grupo Wirtgen (2015), os mineradores de superfície apresentam alta produtividade, eficiência e grande flexibilidade para adaptação às mais diversas condições que uma mina a céu aberto possa revelar. Em uma única operação e com apenas um operador, o equipamento é capaz de triturar minerais com uma produtividade de até 3.000 ton/h.

A Figura 3.2 ilustra a performance apresentada por dois modelos diferentes da fabricante alemã Wirtgen. O modelo fabricado para atender a demanda de rochas brandas e friáveis é capaz de trabalhar com minerais que apresentem um índice de compressão uniaxial (UCS) de até 50 MPa atingindo uma profundidade de corte de até 830 mm com seu tambor. Já o modelo projetado para atender a demanda de rochas mais resistentes trabalha de forma eficaz em minerais que apresentem um índice UCS de até 80 MPa, porém a sua penetração no maciço fica restrita até a profundidade de 650 mm (Wirtgen, 2015).

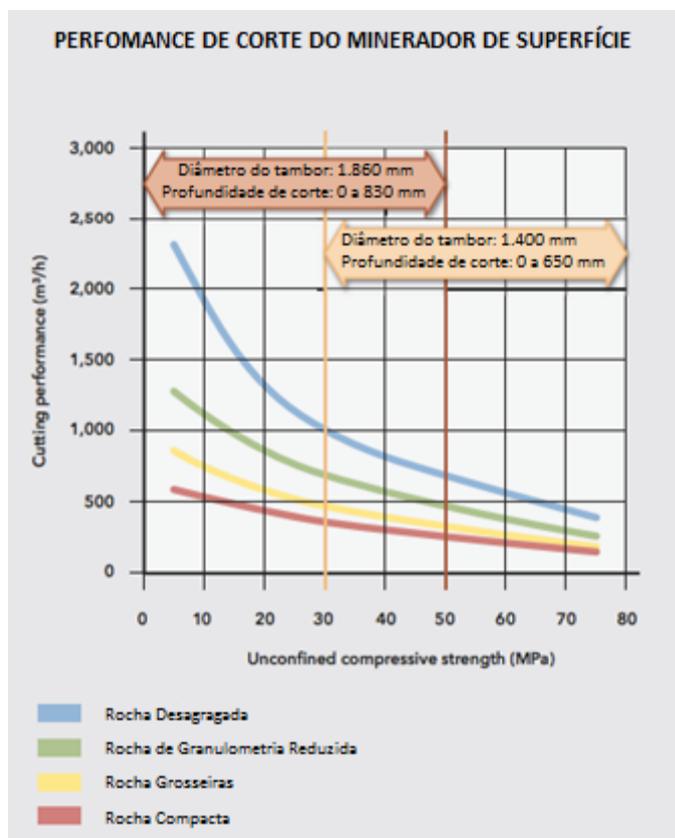


Figura 3.2 - Performance de corte do Wirtgen 4200 SM de acordo com o índice UCS (Wirtgen 4200 SM Brochure, 2016)

### **3.2.2. Tambor de corte e modo de carregamento**

Os mineradores de superfície são capazes de penetrar e triturar a rocha devido ao fato de possuírem um tambor de corte de alta potência no qual bits com materiais de revestimento são instalados para exercer o poder de penetração. O tambor trabalha na rocha com o sistema "Top Down Cutting", no qual os bits penetram na rocha em um sentido de cima para baixo com um ângulo que aumenta a eficiência da operação de corte, minimiza as vibrações do solo e reduz o consumo de combustível (WIRTGEN, 2015). As fabricantes Wirtgen e Vermeer dominam o mercado e apresentam algumas singularidades, inclusive modo no qual a posição do tambor é disposto no equipamento e como o material triturado é transferido para os caminhões para que o transporte seja realizado.

#### **➤ Tambor de corte posicionado no centro e carregamento direto**

O minerador de superfície fabricado pelo grupo alemão Wirtgen apresenta seu tambor de corte localizado no centro, na porção inferior do equipamento. O próprio peso do equipamento aumenta a pressão do tambor sobre o maciço e auxilia os bits no processo da fragmentação da rocha (CURI e FILHO, 2015). O tambor desenhado para aplicações em rochas mais brandas apresenta um diâmetro e um espaçamento maior que permite um aumento da taxa de transferência de materiais pelo componente. Em contrapartida, o tambor desenhado para rochas resistentes apresenta um diâmetro menor, mas também é capaz de proporcionar altos índices de produtividade.

A otimização do sistema de carregamento é outro diferencial do minerador de superfície produzido pelo grupo Wirtgen. O equipamento possui um sistema de carregamento através de uma correia transportadora compacta que apresenta grande flexibilidade. O braço da correia é capaz de girar em um ângulo de 180° além de poder se ajustar no sentido vertical. A velocidade da correia transportadora também é ajustável de modo a atender as necessidades de uma operação contínua (WIRTGEN, 2017).

O equipamento fabricado pelo grupo Wirtgen apresenta vantagens baseadas na eliminação da necessidade de perfuração e desmonte de rochas por explosivo, sistema de britagem primária e equipamentos para realização do carregamento do material fragmentado. A correia

transportadora realiza o carregamento direto e essa configuração promove um ganho financeiro, uma vez que não é necessário o investimento em equipamentos auxiliares de carregamento como pás carregadeiras, escavadeiras e tratores de esteira para empurrar o material que ficaria disposto no solo. O carregamento direto também apresenta um ganho na segurança de operação de lavra pelo motivo de eliminar a interface entre equipamentos de corte e equipamentos de carregamento atuando na mesma área. De acordo com Curi e Filho (2015), é importante ressaltar que deve haver uma sincronia de operação entre o minerador de superfície e os caminhões a serem carregados para que não ocorram perdas de produtividade e de performance dos equipamentos no processo em questão.

A Figura 3.3 e a Figura 3.4 ilustram a operação de um minerador de superfície Wirtgen com o tambor de corte localizado no centro e com a realização do carregamento direto via correia transportadora do próprio equipamento.



Figura 3.3 Operação de corte e carregamento.

Fonte: Wirtgen, 2015.(A)



Figura 3.4 Wirtgen 4200 SM em operação.

Fonte: Wirtgen, 2017 (B)

➤ **Tambor de corte posicionado na traseira e carregamento via equipamento auxiliar**

O minerador de superfície da norte-americana Vermeer possui o seu tambor de corte localizado na traseira. A disposição e o movimento de giro do tambor favorecem o deslocamento do equipamento, como a Figura 3.5 ilustra. O minerador de superfície Vermeer apresenta um tambor de 3,7 m de largura e possui capacidade de cortar até 800 mm de

profundidade em uma única passada. Assim como o tambor dos modelos da Wirtgen, utiliza o sistema "Top Down Cutting" o qual possibilita um maior poder de penetração dos bits no maciço rochoso. O revestimento dos bits propicia uma proteção a qual tem como resultado um menor desgaste dos mesmos. É importante ressaltar que o desgaste dos bits tem uma relação direta com a resistência do minério. Quanto maior a resistência do minério ao corte, maior será o desgaste dos bits. Os bits foram desenhados e implementados de uma maneira que a sua troca seja realizada de forma rápida e eficiente (VERMEER, 2014).

Diferentemente do minerador de superfície fabricado pelo grupo Wirtgen, o equipamento da Vermeer não apresenta um sistema de carregamento direto. O material fragmentado pelo tambor fica disposto no solo para ser posteriormente carregado por outro equipamento auxiliar. De acordo com estudos e testes realizados em campo, foi comprovado que o equipamento ideal a se utilizar para realizar o carregamento é a pá carregadeira, visto que sua produtividade é maior quando comparada a uma escavadeira hidráulica. Além de ser capaz de proporcionar produtividades mais altas, a pá carregadeira apresenta uma maior mobilidade, flexibilidade e um menor consumo de combustível (Grupo Vermeer Brasil, 2015). Portanto, o minerador de superfície Vermeer apresenta a vantagem de eliminação da necessidade de perfuração, desmonte de rochas com explosivos e de um sistema de britagem primária. A falta de um sistema de carregamento direto tem como consequência a necessidade de investimentos em equipamentos auxiliares para a realização dessa operação. No entanto, a ausência desse sistema de carregamento possibilita que o minerador de superfície atinja maiores índices de produtividade e uma flexibilidade operacional maior quando comparado ao equipamento fabricado pelo grupo Wirtgen (FILHO, 2015).

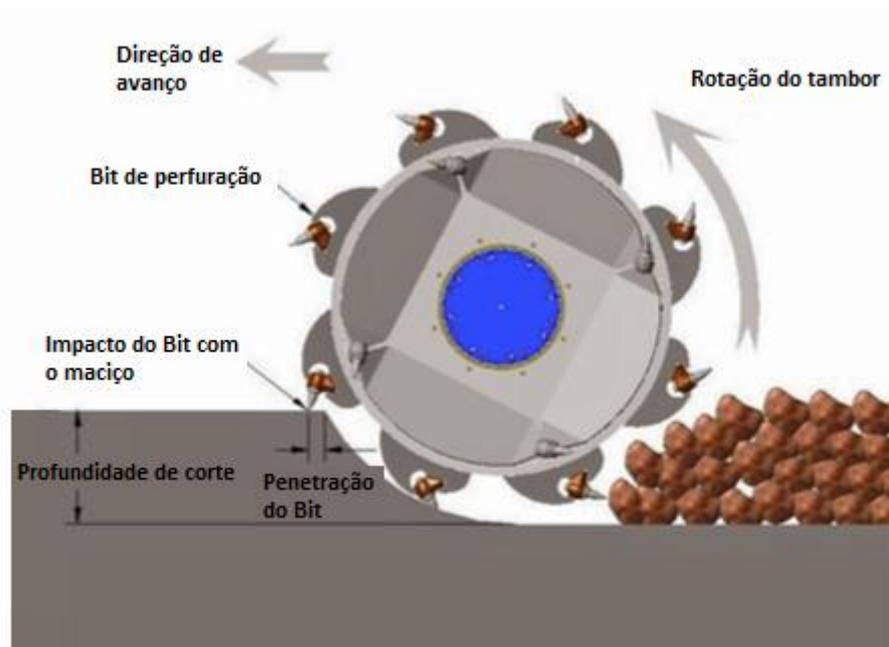


Figura 3.5 Operação de corte do Minerador de Superfície Vermeer TL1255 (Vermeer, 2014)

### 3.3. Efeitos do desmorte de rochas com utilização de explosivos

O desmorte de rochas é considerado como a técnica mais aceita e praticada quando deseja-se gerar uma fragmentação em um maciço rochoso. De acordo com Dinis da Gama (1998), o desmorte pode ser definido como o conjunto de processos para se fragmentar um determinado volume de rocha e pode ser classificado em três categorias: desmorte com explosivo, desmorte mecânico e desmorte hidráulico. Devido as crescentes exigências ambientais e legislações cada vez mais rigorosas, o desmorte com utilização de explosivos se tornou uma operação que demanda extrema atenção. De acordo com Navarro Torres e Bernardo (2004), durante muitos anos o desmorte de rochas foi baseado em ensaios empíricos e muitas vezes na prática e experiência do próprio operador. Atualmente, existe a necessidade da aplicação de métodos e procedimentos científicos baseados em conceitos da Mecânica de Rochas para que seja realizado um desmorte com a maior precisão possível, controlando-se assim todos os impactos provenientes da fragmentação de um maciço rochoso via explosivos.

A mecânica das rochas pode ser definida como a ciência que estuda os diversos comportamentos e propriedades geomecânicas que um maciço rochoso pode assumir quando é submetido a um campo de forças (BRADY; BROWN, 2004).

Existem diversas maneiras através das quais pode-se induzir um estresse mecânico em uma rocha. As escavações subterrâneas exemplificam uma alteração da condição natural da rocha (in situ) e portanto, a rocha apresentará uma resposta a tal esforço aplicado sobre ela (FLORIANO, 2014). A Figura 3.6 ilustra uma perturbação do estado de tensão natural no interior de um maciço rochoso, ocasionando a redistribuição de tensões no maciço circunvizinho. Estas são as chamadas tensões induzidas.

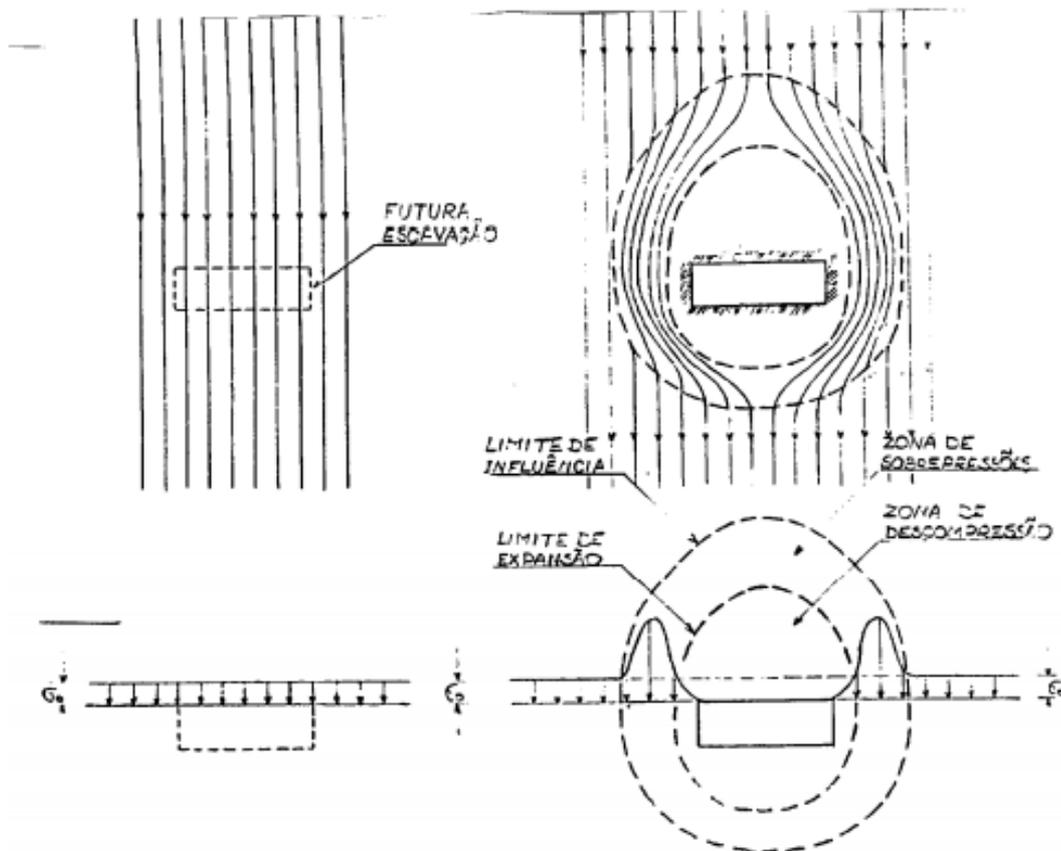


Figura 3.6 Modificação do estado natural de tensões e redistribuição no maciço  
(Silva, 2010)

Diferentemente de uma estrutura composta por materiais artificiais, o maciço rochoso apresenta uma resistência intrínseca e independente da aplicação de forças internas. A estabilidade de uma rocha pode ser afetada por diversos fatores e deve-se levar em conta a resistência aplicada e também as características de expansão da rocha no sentido dos vazios não apenas no momento da ação da carga, mas também nas inúmeras deformações que o maciço pode apresentar ao longo do tempo (SILVA, 2010).

De acordo com Silva (2010), maciços rochosos comportam-se como descontínuos e a tendência de um deslocamento de partículas no interior desse maciço está relacionada às solicitações de forças externas. A grandeza dessa tensão dependerá também do plano ao qual esta será aplicada. É importante ressaltar que cada formação geológica apresenta um comportamento específico e único quando submetida a esforços externos.

Segundo Canedo (2013), o crescimento de centros urbanos e a proximidade dos mesmos das áreas de lavra é outro fator que incentiva um maior controle dos efeitos gerados pela fragmentação das rochas com a utilização de explosivos. De acordo com Torres e Bernardo (2004), a grande quantidade de energia liberada em um desmonte se propaga através de vibrações e interage com maciços rochosos e estruturas adjacentes, podendo ocasionar rupturas ou trincas capazes de abalar a estabilidade do sólido em questão. A energia proveniente da detonação também interage com o ar atmosférico e se propaga através dele criando o que chamamos de *airblast*. A poluição sonora (emissão de ruídos), visual (geração de poeira) e a projeção de fragmentos de rocha (*fly rock*) também constituem-se como variáveis a serem controladas durante um desmonte, além do fenômeno da sobrecavação que ocorre quando não há um monitoramento adequado e uma extrema quantidade de energia é dissipada para o maciço no momento da detonação (DHEKNE, 2015). Os impactos ambientais gerados pela detonação desafiam a segurança das pessoas e do ambiente circundante ao local em que o desmonte de rochas ocorre.

### **3.3.1 Propagação de vibrações através do solo**

De acordo com Dhekne (2015), a reação química que ocorre no momento da detonação converte a energia química em energias de impacto e gasosas, porém é comprovado que apenas aproximadamente 20% da energia gerada é efetivamente absorvida pela rocha. O restante da energia é dissipada e transmitida ao maciço causando os diversos efeitos secundários de uma detonação, entre elas a vibração. De acordo com Canedo (2013), a atenuação das estruturas pela propagação das ondas dependes de dois fatores: tipo de litologia e tipo de estruturas pelas quais irão percorrer. O monitoramento realizado por sismógrafos auxilia no estudo das consequências aplicáveis às estruturas vizinhas da detonação.

A Figura 3.7 demonstra os estágios sucessivos que compõem o desmonte de rochas com o carregamento dos furos com carga explosiva. A tensão proporcionado pela detonação impulsiona o surgimento de trincas, rachaduras e um aumento do raio de furação após a detonação, através da propagação das ondas de choque e gases no interior do maciço.

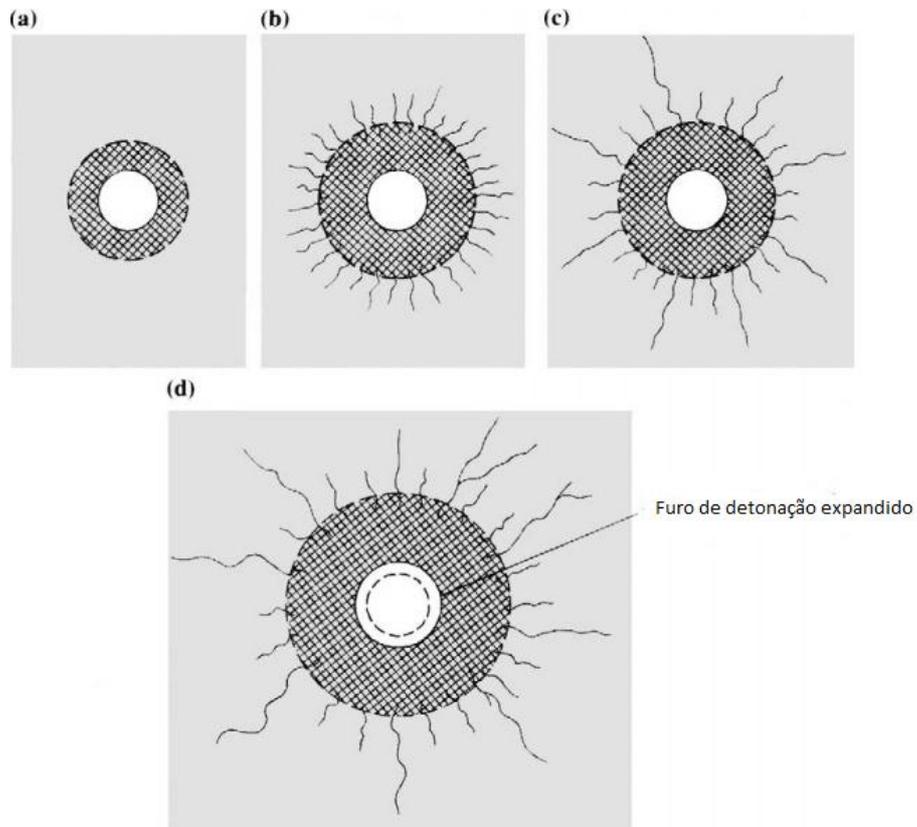


Figura 3.7 Estágios sucessivos da propagação do stress em um maciço rochoso gerado por uma carga explosiva (adaptado de Brady e Brown, 2004)

A vibração gerada pela detonação é capaz de abalar a estabilidade de uma estrutura física. As intensas ondas que viajam através do maciço podem gerar impactos significativos já que se propagam em três direções: longitudinal, transversal e vertical (DHEKNE, 2015). Portanto, novas técnicas e metodologias são constantemente estudadas com o objetivo de mitigar os efeitos das vibrações geradas pela detonação, já que é impossível anular completamente a propagação das ondas através do maciço rochoso.

A evolução de softwares que simulam detonações, otimizações da malha de fogo, estudos de novas cargas explosivas, modernas opções de monitoramento e a utilização de retardos

otimizando um *delay* ótimo de detonação são exemplos de tentativas para reduzir-se os efeitos gerados pelo desmonte de rochas. Logo, a introdução dos mineradores de superfície no mercado representa mais uma alternativa com que as empresas passam a contar, sendo que são capazes de eliminar a necessidade de perfuração e desmonte de rochas com utilização de cargas explosivas.

### 3.3.2. Projeção de fragmentos de rocha (*Fly Rock*)

A exploração de jazidas utilizando métodos de lavra a céu aberto domina as operações de extração mineral ao redor do mundo. Esse tipo de lavra requer uma grande atenção já que é capaz de gerar efeitos significativos em todo ambiente ao seu redor. De acordo com Rehak et. al. (2001), a projeção de fragmentos de rocha e a falha de isolamento do perímetro no momento da detonação dominam os acidentes relacionados ao desmonte de rochas, principalmente nas minas a céu aberto.

Os fragmentos de rocha podem ser projetados em direções não desejadas na detonação. De acordo com Arunachalam (2017), as causas desse evento se devem principalmente a três grandes grupos:

- Causas geológicas: falhas, descontinuidades, fraturas;
- Carregamento e iniciação inadequados: carga excessiva, comprimento e raio de furação inapropriados, erro de retardos, utilização de explosivos inadequados, presença de lama ou água na base dos furos;
- Condições impróprias de detonação: plano de fogo não efetivo, desvios de perfuração, espaçamento e afastamento inadequados entre furos, entre outros;
- Falha humana: falta de experiência dos operadores envolvidos.

A Figura 3.8 ilustra o efeito de *fly rock* devido, nesse caso, a uma distância inadequada entre o furo carregado e a face livre.

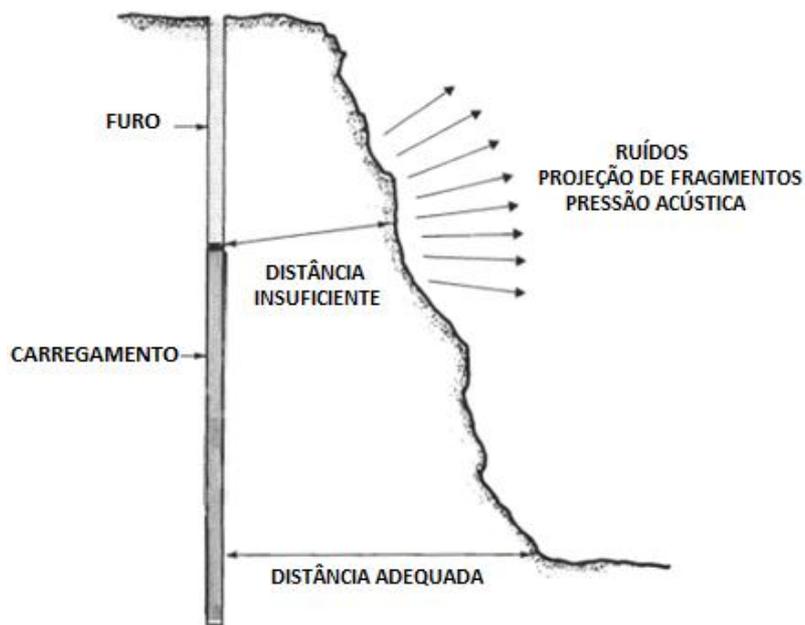


Figura 3.8 Ilustração do efeito "Fly rock" com causa baseada na utilização de uma distância inadequada entre o furo carregado e a face livre (Bhandari, 1997)

Através de um estudo para determinação de plano de fogo ideal para a operação e com um monitoramento adequado durante a perfuração, carregamento e detonação, é possível controlar e prever as projeções de fragmentos de rocha, enquadrando assim esse evento nas operações de uma forma mais segura (ARUNACHALAM, 2017).

A operação do desmonte de rochas é considerada perigosa devido não somente ao fato de estar em contato direto com cargas explosivas de extremo poder destrutivo, mas também pelas adversidades que um monitoramento inadequado pode gerar, entre elas, a projeção de fragmentos. Entretanto, os mineradores de superfície apresentam a capacidade de desmontar e fragmentar o material de forma eficiente, proporcionando uma granulometria reduzida de forma segura sem a necessidade de utilização de cargas explosivas.

### 3.3.3. Geração de pressão acústica e poeira

As perturbações geradas pelas detonações não se limitam apenas a vibrações e projeção de fragmentos de rochas. Pressão acústica além dos limites permitidos é comum em minerações a céu aberto e tem como causa principal o desmonte de rochas com utilização de explosivos.

De acordo com Dhekne (2015), a pressão acústica gerada através da detonação é um impulso que viaja através da atmosfera. Ao ouvido humano são perceptíveis sons de magnitude acima de 20 Hz e muitas das vibrações recorrentes do desmonte das rochas estão abaixo desse limite, porém são capazes de causar o abalo de estruturas e incômodo às pessoas que circundam as áreas da detonação. Normalmente, a pressão acústica é medida em decibéis (dB) mas também pode ser mensurada em pascais (Pa).

De acordo com Bernardo (2004), a pressão acústica gerada por uma detonação assume valores em média de 90 a 130 dB. Vários são os fatores que podem influenciar em uma variação da pressão acústica como: geologia local, tipo de carga explosiva, desvios de perfuração, excesso de carga, componentes de ativação inadequados para a operação, erros de cálculo dos elementos retardantes, entre outros. A Tabela 3.2 ilustra diferentes níveis de pressão acústica e as suas possíveis consequências em locais próximos à região onde ocorre a detonação.

Tabela 3.2 Níveis de pressão acústica e suas consequências

<b>Nível de pressão acústica (dB)</b>	<b>Consequência</b>
Inferior a 134	Não há
151	Ocasional dano de uma janela
171	Quebra de janela
180	Possível dano estrutural

Fonte: adaptado de Kuzu, *et al.* 2009

Cada nação possui o direito de regulamentar e estabelecer limites de segurança para a pressão acústica e para a velocidade de vibração de estruturas. De acordo com a norma ABNT, o Brasil estabeleceu um valor máximo de 134 dB para a pressão acústica e o mesmo é medido além da área de operações mineiras.

A geração de poeira ao se fragmentar uma rocha configura-se como mais um efeito do desmonte com utilização de explosivos que pode impactar comunidades e centros urbanos ao redor de uma mina a céu aberto. As partículas são geradas quando a detonação gera um distúrbio no solo que provoca a dispersão das mesmas no ar atmosférico. Apenas 5 % da poeira gerada em minas a céu aberto é considerada prejudicial ao ser humano (NSW AUSTRALIA HEALTH DEPARTMENT, 2013). Porém, o levantamento de poeira prejudica a visibilidade no ambiente de trabalho de uma mineração, impactando assim a segurança das

operações, os custos destinados à infraestrutura de vias e acessos e também a produtividade global do empreendimento.

Dhekne (2015) cita várias maneiras de monitoramento e controle da emissão de poeira. Os monitoramentos envolvem estudos de parâmetros e condições ideais antes de se iniciar o fogo. São diversas as variáveis que devem ser avaliadas, como por exemplo: espaçamento e afastamento entre furos, direção da iniciação, ângulo do furo, quantidade e tipo de explosivo. Além disso, as emissões de gases e poeira são controladas pela combinação de um planejamento de mina o qual deve sempre minimizar as áreas afetadas pelo desmonte e promover uma recuperação contínua das áreas degradadas.

O mercado da mineração está constantemente inovando, testando e implementando novas tecnologias com o objetivo de reduzir os efeitos da detonação, como a pressão acústica e geração de poeira. Os mineradores de superfície ganham destaque nesse segmento ao serem projetados justamente para reduzir ou até mesmo eliminar a necessidade de um desmonte de rochas com utilização de cargas explosivas.

#### **3.4. Condições e fatores relevantes na utilização de um Minerador de Superfície**

De acordo com Curi e Filho (2015), é importante ressaltar que para atingir resultados satisfatórios e altos índices de produtividade ao se utilizar mineradores de superfície, é preciso analisar e respeitar certos parâmetros que influenciam, diretamente ou indiretamente, a eficiência do equipamento na operação de corte. Estes parâmetros estão listados na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 : Parâmetros que influenciam a eficiência de corte de um Minerador de Superfície

Aplicações	Configurações Operacionais	Características do maciço
<p>Modo operacional, disposição do material fragmentado (carregamento direto, disposição em leiras, carregamento via equipamento auxiliar), dimensões da área operacional, condições específicas (granulometria e produção desejadas, tipo de material), habilidade do operador.</p>	<p>Ângulo de inclinação, ângulo de ataque, ângulo de afastamento, ângulo de furação, disposição, composição e número de bits, largura do tambor, potência do motor, entre outros.</p>	<p>Densidade, resistência uniaxial á compressão (UCS), índice de carga pontual, índice de dureza, módulo de Young, energia de fratura, abrasividade, viscosidade volumétrica, entre outros.</p>

Fonte: Adaptado de DEY e GHOSE (2008)

#### 4. METODOLOGIA

Dispondo de um extenso banco de dados da Mina de Juruti/PA foi traçado um plano de operações para o Minerador de Superfície Vermeer. O banco de dados disponibilizado pela ALCOA Mining permitiu que a eficiência do equipamento fosse analisada através de relatórios de produção, ao longo de cinco meses. Os relatórios tiveram como objetivo comparar os resultados obtidos através do Minerador de Superfície com o método tradicional de lavra da bauxita no Brasil, a escarificação utilizando tratores de esteira.

Um planejamento de curto e médio prazo foi desenhado para o período de teste do equipamento na Mina de Juruti. Através dele foi possível acompanhar o que foi ou não realizado, e no caso do não cumprimento do plano, quais foram os fatores que influenciaram nesse desvio.

O trabalho proposto foi dividido nas seguintes etapas:

- Estudo do funcionamento, operacionalidade e aplicações de um minerador de superfície;
- Reconhecimento dos maciços rochosos e operações de lavra de bauxita, calcário e iodo utilizando mineradores de superfície Vermeer;
- Elaboração de planos de lavra alocando o Minerador de Superfície Vermeer em frentes de lavra de bauxita nas quais apresentaria melhores rendimentos;
- Elaboração e realização de planos de amostragens para fins de análise física (granulometria) e análise química (teor);
- Elaboração de relatórios semanais e mensais para análise de dados de produção e principais destaques/ocorrências no período analisado;
- Realização de um estudo de comparação entre a lavra de bauxita utilizando o Minerador de Superfície Vermeer vs Método convencional de lavra de bauxita utilizando tratores de esteira para desmontar mecanicamente o minério (escarificação);
- Realização de um estudo de comparação dos métodos e equipamentos a serem utilizados para a etapa de carregamento dos caminhões (pá carregadeira ou escavadeira hidráulica);

- Coleta de dados em campo para analisar a eficiência da operação de um Minerador de Superfície na lavra de bauxita:
  1. Massa de minério produzida;
  2. Horas efetivas;
  3. Horas improdutivas;
  4. Horas em manutenção (preventivas e corretivas)
  5. Consumo de diesel (unitário e específico);
  6. Ciclos de carregamento;
  7. Cálculo da Disponibilidade Física (DF) do equipamento;
  8. Cálculo da Utilização (UT) do equipamento;
  9. Cálculo de produtividade (t/h);
- Elaboração do relatório de inspeção e produção do equipamento ao atingir 250, 500 e 750 horas de operação;
- Elaboração do relatório final analisando e relatando todos os resultados, positivos e negativos, da utilização do equipamento na lavra de bauxita na Mina de Juruti / PA.

## 5. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso do presente trabalho teve como local a Mina de Bauxita de Juruti, pertencente ao grupo norte-americano ALCOA Mining. A empresa Vermeer Brasil foi contratada para disponibilizar seus serviços durante um teste de cinco meses no fornecimento via aluguel do Minerador de Superfície Vermeer TL1255 CD.

### 5.1 A Unidade Juruti

A Mina de Bauxita de Juruti está localizada no município de Juruti no Oeste do Estado do Pará e conta com uma reserva de cerca de 750 milhões de metros cúbicos de bauxita. Distante de aproximadamente 850 km da capital Belém, Juruti concentra um dos maiores depósitos de bauxita de alta qualidade do mundo (FGV, 2010). A ALCOA iniciou suas operações no ano de 2009 com uma capacidade produtiva de 2,6 milhões de toneladas métricas, porém atualmente a Mina de Juruti opera com uma capacidade de 6,5 milhões de toneladas métricas por ano. As Figuras 5.1 e 5.2 ilustram a localização da Mina de Bauxita de Juruti.



Figura 5.1. Localização geográfica do Município de Juruti - PA (ALCOA, 2004).



Figura 5.2. Vista aérea da Mina de Bauxita de Juruti (ALCOA, 2004).

O empreendimento abrange diversas áreas e no geral é composto pelo seguinte sistema: Mina - Planta de Beneficiamento - Ferrovia (escoamento da produção) - Porto. O método de lavra utilizado é o Método de Lavra em Tiras (Strip Mining), caracterizado pela recuperação da área já lavrada concomitantemente com a extração do minério. A lavra em tiras progride por meio de uma série de cortes paralelos horizontais, cujo comprimento médio das tiras é de 200 metros e a largura varia entre 25 e 30 metros. É um método amplamente utilizado na lavra de bauxita, carvão mineral e outros depósitos sedimentares e argilosos que apresentam um mergulho quase vertical e próximo à superfície (SOUZA, 2013).

## **5.2 Geologia Local**

A reserva de bauxita da Mina de Juruti encontra-se na chamada Bacia Sedimentar Amazônica. Esta região está localizada na planície fluvial do Rio Amazonas e é caracterizada pela presença de platôs de 100 a 180 metros de altitude, cujos topos apresentam a formação da Bauxita Laterítica (ALCOA, 2009).

Os depósitos de bauxita do Oeste do Pará foram formados através de processos de intemperização de rochas sedimentares clásticas em condições climáticas tropicais úmidas. Estes depósitos são caracterizados por apresentar grandes variabilidades laterais de teores de Al, Fe e Si e apresentam uma espessura média de 8 a 10 metros. O depósito de Juruti apresenta geralmente um topo aplainado com encostas abruptas, o que influencia na presença de horizontes de bauxita bem definidos e contínuos no perfil geológico do local (ALCOA, 2009).

O perfil litológico da região da Mina de Juruti está representado na Figura 5.3 e pode ser descrito, do topo para a base, da seguinte maneira (adaptado de ALCOA, 2009);

- Solo Orgânico: camada com espessura média de 0,3 metro formada por matéria orgânica em decomposição;
- Argila: camada composta por argila amarelada com espessura bastante variável - 1 a 12 metros;

- Bauxita Nodular: camada composta por nódulos de gibbsita de tamanhos variados em uma matriz caulínica. Apresenta uma espessura média de 3 metros;
- Laterita Ferruginosa: camada resistente caracterizada pela presença de altas concentrações de  $Fe_2O_3$ . Representa a camada de transição entre o que é considerado minério e estéril, e sua espessura pode variar de poucos centímetros até 2,5 metros;
- Bauxita Maciça: camada formada essencialmente por hematita, gibbsita e caulinita. Apresenta altas concentrações de alumina e sua espessura pode variar de poucos centímetros a 6 metros.
- Argila Variegada: camada composta por argila caulínica e gibbsita o que caracteriza a predominação de uma cor avermelhada nessa camada, com a presença de pontos esbranquiçados.

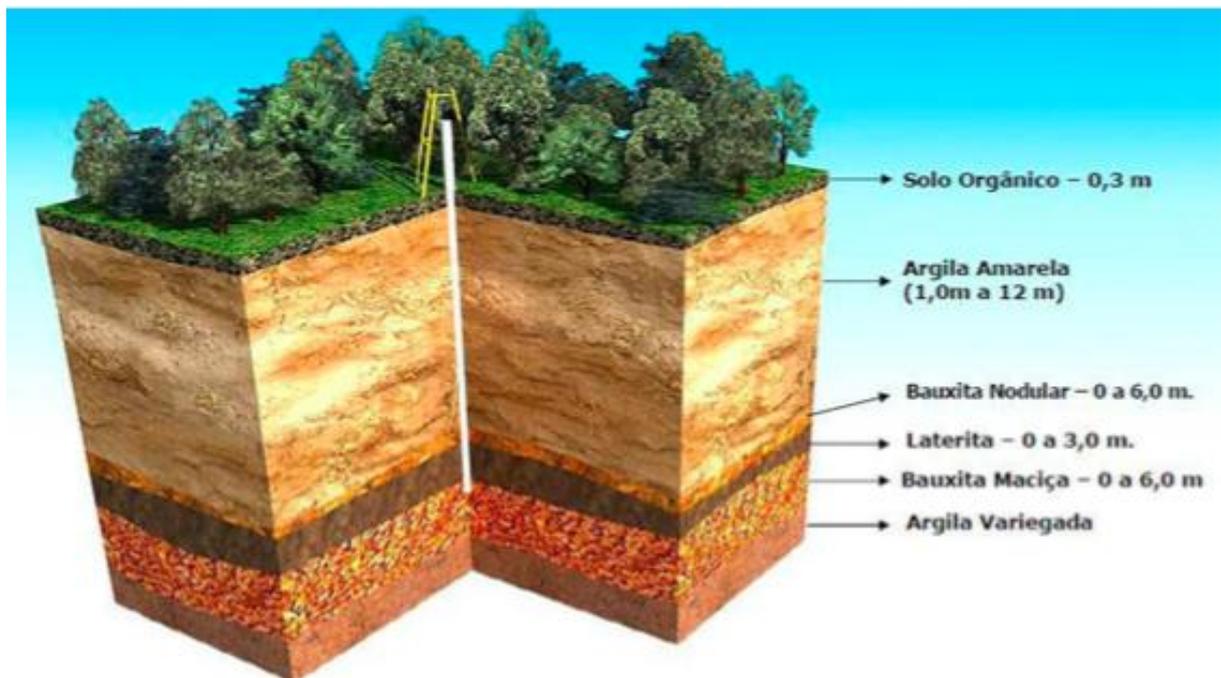


Figura 5.3 Perfil Litológico da Mina de Bauxita de Juruti (ALCOA, 2009)

### 5.3 Monitoramento da operação - Minerador de Superfície

O acompanhamento da operação do Minerador de Superfície Vermeer TL1255 foi realizado durante cinco meses com o objetivo de se avaliar todos os parâmetros do equipamento relacionados à produção do minério da bauxita. Para avaliar o desempenho do minerador de superfície, o equipamento foi monitorado diariamente em campo e alocado em diversas frentes de lavra, cada uma com sua especificidade, visando simular as mais diversas condições que o equipamento poderia encontrar caso a sua compra fosse efetuada pela ALCOA.

Todos os dados coletados em campo foram devidamente compilados desde o primeiro dia de operação para análise dos resultados e confecção da curva de produção do equipamento. A empresa ALCOA utiliza o sistema DMS (*Daily Management System*) para acompanhamento de todo o seu processo produtivo. O DMS é um sistema que proporciona a habilidade necessária para gerenciar processos, departamentos, funções e dados de produção. Uma vez que estes processos são definidos, controlados e implantados obtêm-se um monitoramento efetivo de toda a cadeia produtiva.

Os seguintes parâmetros foram considerados essenciais para o monitoramento da operação durante todo o teste:

1. Produtividade (t/h);
2. Aderência ao plano;
3. Horas trabalhadas efetivas;
4. Horas improdutivas;
5. Horas em manutenção;
6. Disponibilidade Física (DF);
7. Utilização (UT);
8. Consumo de diesel (específico e unitário);
9. Consumo de horímetro do equipamento;
10. Granulometria do produto;
11. Profundidade de corte.

O principal objetivo do teste do minerador de superfície na Mina de Bauxita de Juruti foi comparar todos os resultados obtidos através do minerador de superfície com o tradicional método de lavra de bauxita com a utilização de tratores de esteira para realizar o desmonte mecânico do material, a escarificação.

Como a bauxita é um mineral friável e pouco resistente, na maioria dos casos não se faz o uso de explosivos para realizar o desmonte do maciço. Pelo ponto de vista ambiental, esta é uma grande vantagem das lavras de bauxita em território brasileiro. Após a remoção do solo orgânico ("top soil") inicia-se a etapa do decapeamento, onde a camada espessa de argila é empurrada para a cava anteriormente lavrada com o auxílio de tratores de esteira Caterpillar D11 que são capazes de empurrar um grande volume de material. Quando a camada de argila ultrapassa 12 metros de altura, escavadeiras hidráulicas são utilizadas para realizar o rebaixamento até a cota dos 12 metros, visto que a produtividade dos tratores de esteira sofre um decaimento ao trabalhar em bancadas altas de argila (ALCOA, 2009).

A camada de laterita é exposta após o decapeamento da argila e é removida através da escarificação, assim como a bauxita maciça que é desmontada após a laterita ferruginosa. Os tratores de esteira são dotados de *rippers* na traseira que penetram no maciço rochoso e em conjunto com o deslocamento do equipamento, exercem uma força no maciço que promove a fragmentação. A Figura 5.4 ilustra o sistema de escarificação dos tratores de esteira Caterpillar.

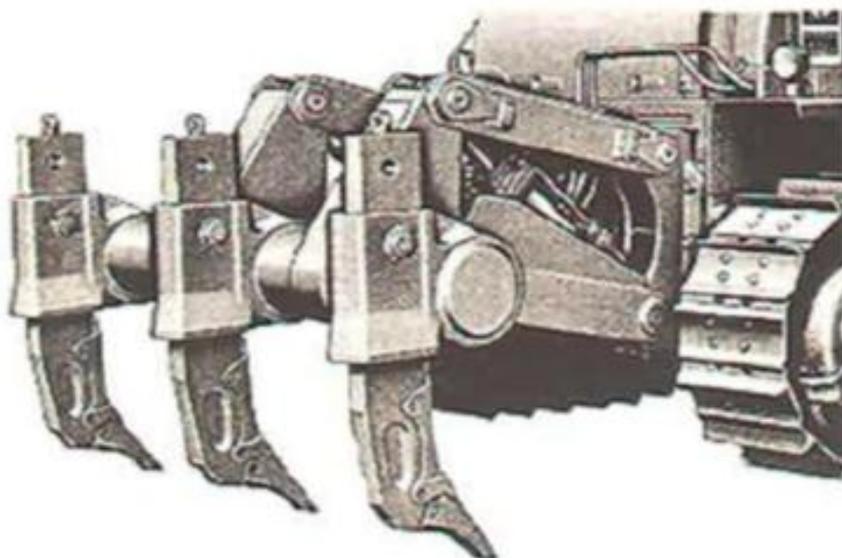


Figura 5.4. Sistema de escarificação tridente dos tratores de esteira (CATERPILLAR, 2000)

O método tradicional faz o uso de escavadeiras hidráulicas para realizar o carregamento do material desmontado. O método de lavra utilizando o minerador de superfície pode utilizar a escavadeira hidráulica para a etapa de carregamento, porém a utilização de uma pá carregadeira é mais recomendada visto que ela proporciona uma maior produtividade para o sistema como um todo. Para realizar o transporte da bauxita até a central de britagem, a Mina de Juruti utiliza os caminhões rodoviários Mercedes Actros 8x4. Pelo ritmo de produção adotado e pela distância entre o ponto de carregamento e descarregamento, não se faz necessário o uso de caminhões fora de estrada.



Figura 5.5. Minerador de Superfície Vermeer TL1255 em operação na Mina de bauxita de Juruti (ALCOA, 2017)

No estudo de implantação do minerador de superfície Vermeer na Mina de Juruti, o principal objetivo do teste era a possibilidade de eliminar o envio do ROM (*Run of Mine*) para o britador primário e secundário. A expectativa principal em torno do teste seria uma fragmentação diferenciada da bauxita na frente de lavra suficiente o bastante para que o material gerado pelo minerador de superfície atendesse à granulometria do produto final da Mina de Juruti, ou seja 100% do material abaixo de 6". O envio direto desse material para a pilha de produto proporcionaria uma redução no custo final do produto, já que não passaria pela central de britagem e eliminaria o custo de uma retomada do produto disposto na pilha pulmão para a moega no pátio de britagem. Abaixo estão listadas as expectativas e premissas que foram adotadas no teste do equipamento em conjunto com a empresa Vermeer:

- Produtividade: 696 t/h;
- DF: 90%;
- UT: 80%;
- Consumo específico de diesel: 94 l/h;
- Top Size: 100 % < 6";
- Maior controle nas camadas de transição entre a laterita ferruginosa e a bauxita maciça

Além disso, através da possibilidade de *by-pass* do britador primário e secundário, todo o volume de material que passaria pelo sistema de britagem ficaria disponível para processar materiais provenientes das outras frentes de minério que continuariam utilizando o sistema convencional de desmonte mecânico. Ou seja, haveria um aumento da capacidade de produção de bauxita proporcionando um grande aumento da receita anual da empresa.

## **6. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **6.1 Avaliação das premissas e resultados do teste**

#### **6.1.1. Produtividade**

A produtividade do equipamento foi um fator de extrema importância durante todo o teste e a sua grande variabilidade gerou certas incertezas em vários momentos. Pelo fato da bauxita apresentar características de heterogeneidade elevadas, o equipamento sofreu com essa variabilidade geológica. Essa situação impactou diretamente a produtividade do equipamento que passou a apresentar bons resultados em determinadas frentes de lavra, porém em outras o seu desempenho era muito inferior à média estipulada de 696 t/h.

Esperava-se que os resultados de produtividade fossem bem acima do valor estipulado, visto que foi considerado um valor relativamente conservador. Os representantes da Vermeer Brasil afirmaram ter obtido valores de produtividade extremamente altos o que elevou a expectativa no equipamento.

De acordo com os dados da ALCOA, os tratores de esteira Caterpillar D11 apresentam uma produtividade média de 1.192 t/h no trabalho de escarificação para o desmonte do maciço rochoso na Mina de Juruti. Ao final do teste, o minerador de superfície Vermeer TL1255 CD apresentou uma produtividade global de 683 t/h, valor um pouco abaixo da média estabelecida nas premissas anteriores ao início do teste.

Nas frentes de lavra onde a bauxita maciça apresentava uma resistência elevada, ocasionada principalmente pelo alto teor de ferro, o minerador de superfície proporcionou resultados insatisfatórios. Como o equipamento trabalha com um sistema de fragmentação por camadas, o primeiro corte, também chamado de corte de nivelamento, sempre apresentou valores pouco convincentes. O motivo da baixa produtividade no corte de nivelamento é explicado pelo fato da primeira camada de bauxita ser caracterizada pela transição entre a laterita ferruginosa e a bauxita maciça, apresentando assim uma dureza elevada pela alta concentração de Fe. Além disso, a remoção da camada de laterita é realizada através dos *rippers* dos tratores de esteira,

deixando pra trás um solo pouco nivelado e com muitas imperfeições, condições dadas como inadequadas para a operação de um minerador de superfície.



Figura 6.1. Superfície irregular e imperfeita do primeiro corte impactando diretamente a produtividade do equipamento (ALCOA, 2016)

A Figura 6.2 ilustra graficamente as produtividades médias obtidas em cada mês do teste evidenciando a sua variabilidade em função, principalmente, da área onde o equipamento foi alocado.

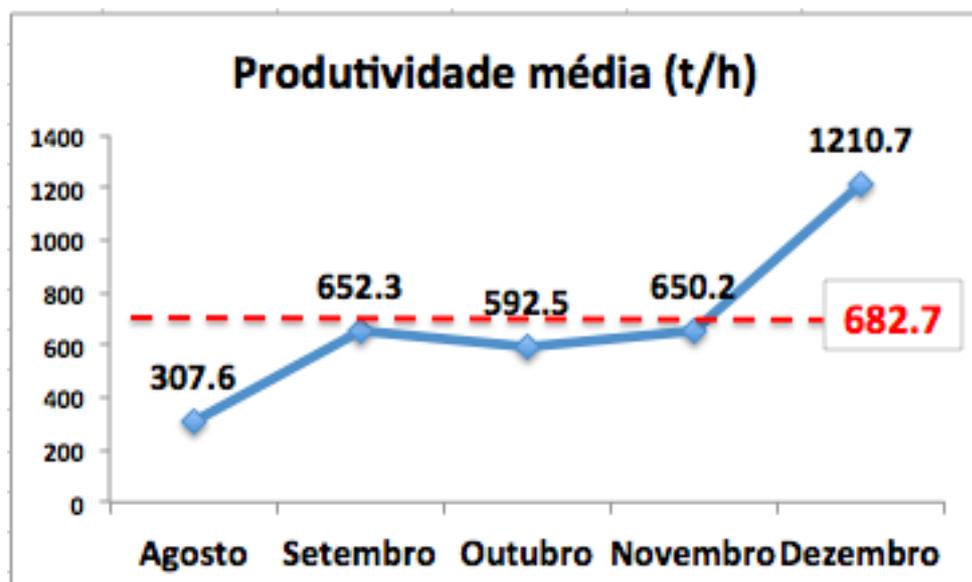


Figura 6.2 Gráfico Produtividade vs Mês de teste

### 6.1.2 Disponibilidade Física (DF)

A disponibilidade física do Minerador de Superfície Vermeer TL1255 CD obteve um resultado global de 89%. Valor próximo e satisfatório aos 90% estabelecidos como expectativa inicial. O alto índice de DF foi estabelecido e atingido também pelo fato do equipamento ter sido mobilizado na Mina de Juruti com apenas 500 horas de operação.

No geral, o equipamento respondeu satisfatoriamente em relação à manutenção. Houve poucas ocorrências e defeitos que tiraram o minerador de superfície de operação. As falhas foram relativamente pequenas, porém o fato da empresa ser nova no ramo da mineração e não possuir outras máquinas em operação no Brasil, dificultou a chegada de peças de reposição em Juruti já que tiveram que ser importadas da fábrica Vermeer localizada no estado de Iowa, nos Estados Unidos.

Os principais eventos que impactaram a DF do equipamento foram:

1. Manutenção Preventiva de 250 horas (Outubro/16);
2. Rompimento da mangueira de óleo hidráulico (Novembro/16);
3. Manutenção Preventiva de 500 horas de operação (Dezembro/16);
4. Mangueira hidráulica voltou a se romper (Dezembro/16).

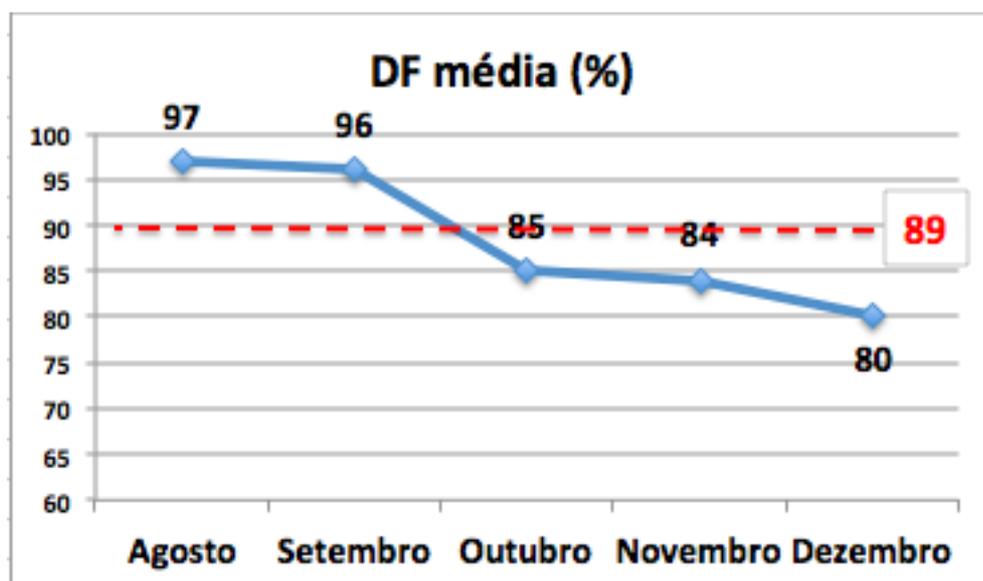


Figura 6.3 Gráfico Disponibilidade Física (DF) vs Mês de Operação

### 6.1.3 Utilização (UT)

A Utilização (UT) foi o parâmetro no qual encontramos maiores dificuldades na obtenção de bons índices. A utilização do minerador de superfície ficou muito abaixo do valor estipulado. A utilização global do Minerador de Superfície Vermeer TL1255 CD na Mina de Juruti foi 38%. O resultado da utilização ficou muito abaixo dos 80% previstos e gerou várias consequências negativas que perpetuaram durante todo o teste.

As principais causas do baixo índice de UT do minerador de superfície Vermeer na Mina de Juruti estão descritas abaixo:

1. Falta de área disponível para trabalho e execução dos testes;
2. Falta de planejamento da equipe do Planejamento de Mina e Operação de Mina;
3. Falta de flexibilidade operacional por parte do corpo técnico da Vermeer.

Durante o período do teste, ao todo o equipamento ficou parado por falta de frente para trabalho durante 286 horas. Vale ressaltar que durante essas horas o equipamento apresentava totais condições de operação e, considerando a sua média de produtividade, esse total de horas paradas representa uma perda de produção de 195.338 toneladas de minério.

As frotas de equipamentos da ALCOA e das contratadas, não foram capazes de decapear áreas e liberar frentes de lavra para a operação do minerador de superfície, sem comprometer o plano de lavra mensal. Para atender à demanda de liberação de área do minerador de superfície, a liberação de área para a operação do método tradicional de escarificação com tratores de esteira era afetada. Como existe um plano de lavra mensal a se cumprir e o minerador de superfície era um teste, na maioria das vezes o teste foi deixado para segundo plano, gerando assim um grande impacto negativo na utilização do equipamento.

A equipe do planejamento e operação de mina poderiam ter planejado melhor a operação e estudado todos os cenários possíveis antes da contratação dos serviços da Vermeer Brasil. A Figura 6.4 apresenta os índices médios mensais de utilização, ilustrando a crítica situação na qual o maior valor alcançado ocorreu no mês de Agosto, no qual se atingiu 56% de UT.

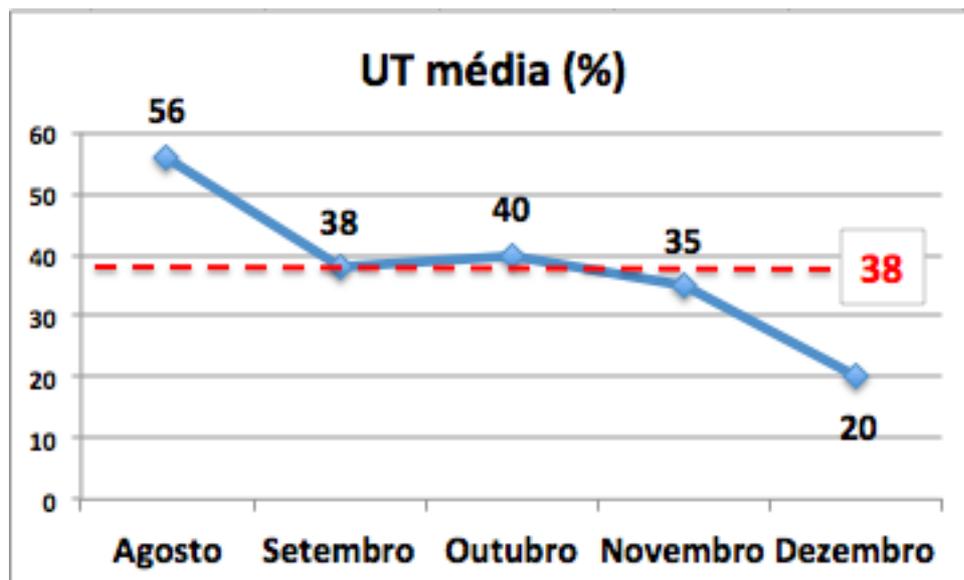


Figura 6.4. Gráfico Utilização (UT) vs Mês de Teste

#### 6.1.4 Consumo de Diesel

O consumo de combustível do Minerador de Superfície Vermeer TL1255 CD foi um ponto observado desde o início das operações e os resultados tiveram um destaque positivo. Ao passo que os tratores de esteira Caterpillar D11 CD apresentam uma média de consumo específico de diesel de 132 l/h na Mina de Juruti, o minerador de superfície Vermeer superou as expectativas apresentando um consumo inferior aos 94 l/h propostos. Na operação de escarificação, a qual apresenta o maior consumo de combustível, a média global do minerador de superfície ficou em 80 l/h de óleo diesel.

Como a operação na Mina de Bauxita de Juruti se dá em um regime contínuo de 24 horas, a economia com combustível representa uma grande vantagem quando se analisa o custo geral de operação. Além do custo, a queima de menos óleo diesel reduz o impacto ambiental gerado pela emissão dos gases gerados na combustão.

Foi notado em campo que o consumo de combustível varia de acordo com a camada de corte do minerador de superfície. A Figura 6.5 ilustra esse consumo seccionado por camada de corte e evidencia que no corte de nivelamento o equipamento consome uma maior quantidade de combustível. Já na última camada de corte, pelo fato de estar mais nivelada e apresentar

uma resistência menor ao corte, devido ao contato com a argila variegada, foi notada a melhor relação entre consumo de combustível e horas trabalhadas.

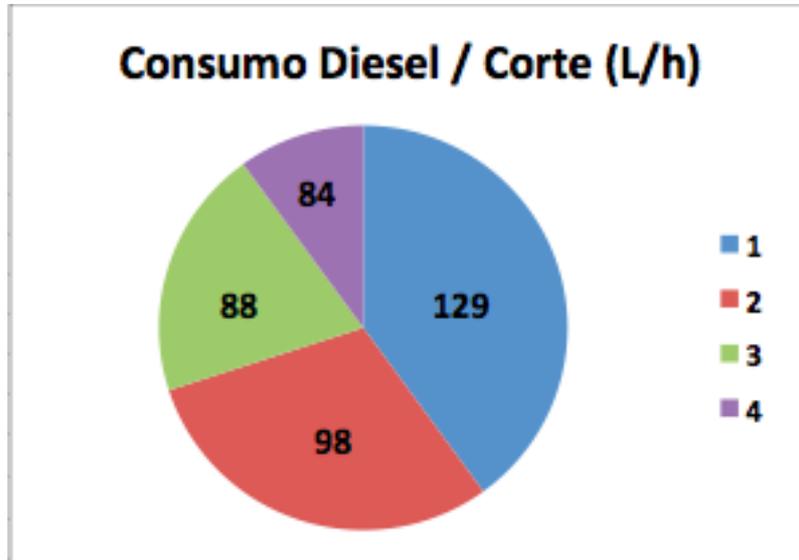


Figura 6.5. Gráfico do Consumo específico de Diesel (l/h) vs Camada de Corte

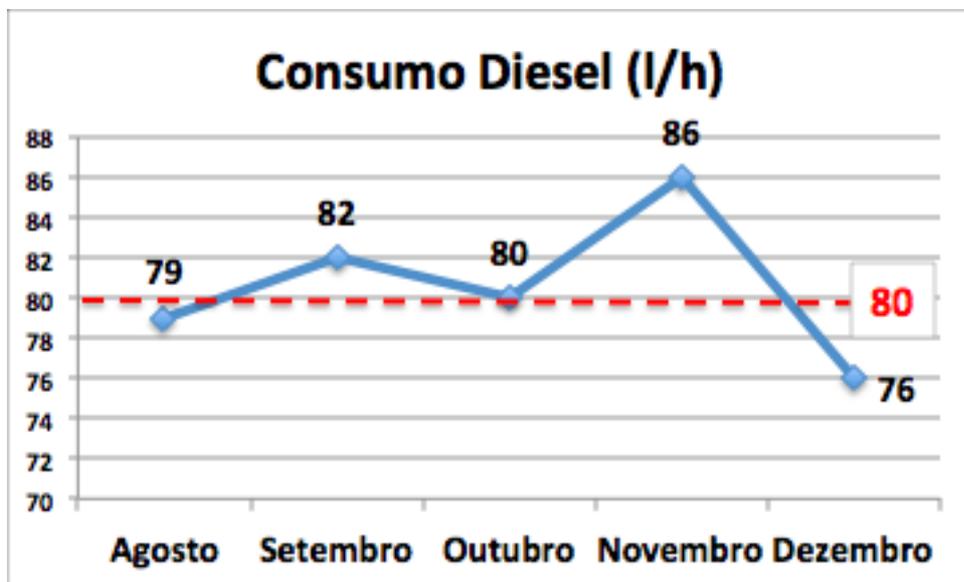


Figura 6.6 Gráfico do Consumo específico de Diesel (l/h) vs Mês de Teste

### 6.1.5 Horas consumidas no teste do Minerador de Superfície

Ao final do teste era esperado que as 1000 horas de operação fossem atingidas para analisar e detalhar todos os cenários. Porém, a Utilização impactou no consumo de horas de teste e a Tabela 6.1 ilustra os resultados ao final dos 5 meses de operação. As horas trabalhadas representam o tempo em que o equipamento estava em operação de corte somadas ao tempo gasto em manobras. As horas improdutivas representam as paradas do equipamento como: paradas para refeições, abastecimento, deslocamento entre frentes, necessidades pessoais, perdas de tempo em início e fim de turno, entre outras perdas operacionais. As horas em manutenção representam as paradas do equipamento por algum defeito ou manutenção, seja ela de caráter preventivo ou corretivo, e momentos de inspeção do equipamento. E finalmente, as horas paradas por falta de frente representam todos os momentos em que o minerador de superfície apresentava totais condições de trabalho, porém não existia área para a sua atuação.

Tabela 6.1 Consumo de horas ao final do teste

<b>Descrição</b>	<b>Horas (Hs)</b>	<b>%</b>
Horas Trabalhadas	297	32,5
Horas Improdutivas	180	19,7
Horas em Manutenção	152	16,6
Falta de Frente para Trabalho	286	31,2
Total	915	100

Fonte: ALCOA, 2016.

## 6.2 Desafios encontrados durante o Teste do Minerador de Superfície

### 6.2.1 Reserva disponível

Como abordado no item dos resultados da Utilização do equipamento (Seção 6.1.3) a colocação do equipamento em operação foi um dos principais desafios que encontramos desde o início, na mobilização do equipamento, até o último dia de teste. A frota de equipamentos da ALCOA em conjunto com os equipamentos das contratadas, não foi capaz de cumprir o plano de lavra e ainda abrir frentes de trabalho onde o Minerador de Superfície pudesse trabalhar. Para atender a demanda do teste, alguma área de escarificação dos tratores de esteira deixaria de ser preparada.

A principal causa desse evento é a operação com baixa reserva exposta para lavra. Atualmente, a Mina de Juruti opera com uma reserva exposta de apenas 1,8 dias. Isso significa que a produção está constantemente ameaçada por qualquer imprevisto ou evento que venha a surgir em qualquer setor da cadeia de produção da bauxita, seja ela da área de lavra, beneficiamento, manutenção, carregamento ferroviário ou embarque.

Esse consumo da reserva exposta ocorreu durante o ano de 2014 quando o planejamento anual se iniciou com uma dada produção, porém ao longo do ano surgiram mais clientes para a compra de bauxita e a ALCOA Juruti resolveu expandir a produção. O planejamento de lavra inicial mantinha a operacionalidade de lavra com uma reserva exposta de 10 dias, porém com a nova meta de produção, o ritmo de lavra ultrapassou o ritmo no qual as áreas eram previamente preparadas e decapeadas. Ao final do ano de 2014, a Mina de Juruti contava com uma reserva exposta de aproximadamente 2 dias e como o ritmo de produção continuou elevado, desde então não foi possível devolver à lavra os dias consumidos para que a operação progrida com mais tranquilidade (ALCOA, 2016).

A motivo de comparação, a *benchmarking* da ALCOA, Mineração Rio do Norte (MRN), possui uma reserva exposta de aproximadamente 21 dias, o que proporciona um melhor andamento das operações e um menor impacto de qualquer imprevisto na aderência ao plano de lavra (adaptado de ALCOA, 2016).

Portanto, a baixa reserva exposta comprometeu muito o andamento e sequenciamento das operações utilizando o Minerador de Superfície Vermeer. Como existe um plano de lavra mensal e anual a serem cumpridos e o minerador de superfície foi contratado para fazer um teste, na maioria das vezes a operação com a tradicional escarificação utilizando tratores de esteira foi priorizada, deixando como consequência um equipamento com totais condições de trabalho sem operar.

### **6.2.2 Granulometria do produto**

A granulometria do produto após a fragmentação do maciço rochoso pelo Minerador de Superfície Vermeer foi outro desafio que acompanhou o teste desde o início. O projeto original previa o envio do material desmontado na frente de lavra diretamente para o pátio de embarque para ser estocado nas pilhas de produto final. Para obter sucesso nessa operação, seria necessário que 100% do material estivesse abaixo da granulometria de 6 polegadas, devido ao fato que essa é uma especificação do cliente e fragmentos de bauxita acima desse valor causam o entupimento das grelhas por quais a produção escoava para os navios cargueiros.

O Minerador de Superfície TL1255 foi capaz de gerar material com a granulometria abaixo das 6 polegadas especificadas. Porém, a dificuldade foi encontrar uma homogeneidade de granulometria do material. A cada corte aproximadamente 90% de toda bauxita fragmentada ficou abaixo de 6 polegadas. Entretanto, os 10% do material que não atendiam a especificação apresentaram uma granulometria de até 14 polegadas. Estes blocos maiores ficavam dispostos e misturados no interior da camada do material desmontado, o que impossibilitava o envio de todo o lote para a pilha de produto.

Como a pá carregadeira e a escavadeira hidráulica não são capazes de realizar uma seleção 100% eficaz do material desmontado, toda a produção proveniente do minerador de superfície continuou tendo que ser enviada para a central de britagem.

A Figura 6.7 ilustra a ocorrência de blocos fora da especificação granulométrica de seis polegadas.



Figura 6.7. Ocorrência de blocos fora da especificação granulométrica (ALCOA, 2016)

### **6.2.3 Dependência do Software Business Center**

O Minerador de Superfície Vermeer TL1255 opera de maneira automatizada em um sistema no qual o operador pouco interfere na eficiência de corte do equipamento. O sistema de operação do minerador de superfície Vermeer trabalha com o Software Business Center, o qual importa todos os dados topográficos da frente de lavra em que será realizada a fragmentação e automaticamente ajusta seus parâmetros para deixar a área nivelada.

O equipamento também pode operar no modo manual no qual o operador deve controlar todos os parâmetros do corte a ser realizado, como consequência a produtividade e a eficiência do minerador de superfície se tornam inferiores quando comparadas ao modo automatizado. Portanto, o equipamento depende do Software Business Center para entregar a sua máxima produtividade.

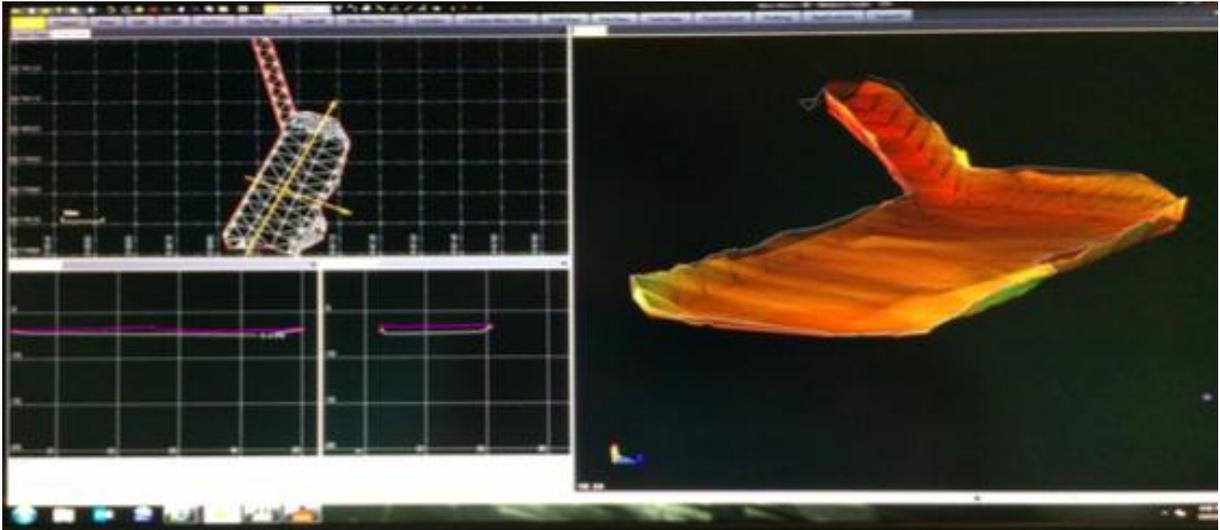


Figura 6.8 Software Business Center com dados topográficos importados (Vermeer, 2016)

A dependência do software para a entrega da máxima eficiência de operação causou algumas perdas de produção nos momentos em que aguardávamos a equipe de topografia enviar os dados para a equipe Vermeer. O processo de confecção do plano de corte não é simples e os dados eram enviados para a sede Vermeer nos Estados Unidos. Após a conclusão do plano de corte, os dados eram reenviados via email para a ALCOA e então colocados em um *pendrive* para que o operador pudesse importá-los no equipamento em campo. Durante todo esse processo da confecção do plano de corte, a área já estava liberada para início da fragmentação do maciço. Portanto, se a equipe desejasse atingir o desempenho máximo do equipamento a espera se fazia necessária e como tinha duração média de 2 dias impactava diretamente na produção.

#### 6.2.4 Mobilidade

As jazidas de bauxita no Brasil são caracterizadas por serem depósitos extensos, de grande variabilidade geológica e com mergulhos horizontais muitas vezes paralelos à superfície. Por esse fato, uma mina de bauxita é geralmente extensa. A Mina de Juruti não é diferente e possui várias frentes de lavra as quais se distanciam umas das outras em até 15 quilômetros.

O Minerador de Superfície TL1255 é um equipamento de 110 toneladas e que possui uma velocidade de deslocamento máxima de 2,5 km/h. O equipamento foi desenhado para se

locomover apenas nas frentes de trabalho e, na necessidade de mudança para outras áreas, o ideal é transportá-lo com a utilização de pranchas.

A ALCOA Juruti não possui pranchas adequadas e grandes o bastante para realizar transporte de equipamento de acima de 80 toneladas. Os tratores de esteira Caterpillar D11 CD pesam aproximadamente 105 toneladas, portanto toda a sua locomoção na mina é realizada pelas próprias esteiras. Apesar de não ser o ideal, os tratores de esteira não perdem muito tempo para se deslocarem de um local para o outro.

O minerador de superfície apresentou uma restrição muito grande quanto a sua mobilidade uma vez que é muito lento e pouco móvel. Em uma mina de bauxita a qual apresenta uma grande dinamicidade de frentes de lavra, esse foi um ponto em que o minerador de superfície apresentou limitação visto que a ALCOA não possui prancha adequada para o seu transporte.

### **6.3 Testes realizados para mitigar a variabilidade granulométrica**

Ao tentar reduzir a ocorrência de blocos acima da granulometria de 6 polegadas alguns testes foram realizados em campo. Amostragens foram realizadas e enviadas para o laboratório para fins de análise da granulometria para futura elaboração da curva granulométrica do produto.

#### **6.3.1 Variações de velocidade e profundidade de corte**

##### **➤ O Teste**

Teste realizado em Setembro no qual a profundidade de corte e a velocidade de avanço do trator foram variadas. Foi realizada uma amostragem em cada parâmetro variado. As profundidades de corte testadas foram: 45 cm, 50 cm, 55 cm e 60 cm. A velocidade é controlada em função da velocidade máxima de avanço do trator e elas são dadas em porcentagem. As velocidades testadas foram: 30 %, 40 % e 50 %.



Figura 6.9 Teste de variação de profundidade e velocidade de avanço em uma tira (ALCOA, 2016)

### ➤ Resultados

O melhor resultado foi obtido utilizando a profundidade de corte em 45 centímetros e velocidade de avanço em 30 %, equivalente a 5,4 metros por minuto.

Na amostragem realizada, 100% do material coletado estava abaixo de 6 polegadas. A Tabela 6.3 e Figura 6.10 apresentam os resultados em massa e porcentagem por faixas granulométricas e a curva granulométrica gerada a partir dos dados obtidos. Vale ressaltar que o material coletado para amostragem não apresentou blocos acima da granulometria especificada, porém a ocorrência pontual de alguns deles continuou a ser notada ao longo da tira.

<b>Gráfico %</b>	<b>7"</b>	<b>6"</b>	<b>5"</b>	<b>4"</b>	<b>3"</b>	<b>&lt; 3"</b>
<b>Somatório</b>	0	0,0	1,9	7,7	19,5	70,9
<b>Acumulado</b>	0	0,0	1,9	9,6	29,1	100,0

Tabela 6.2. Percentual em massa de material fragmentado por faixa granulométrica

Fonte: ALCOA, 2016

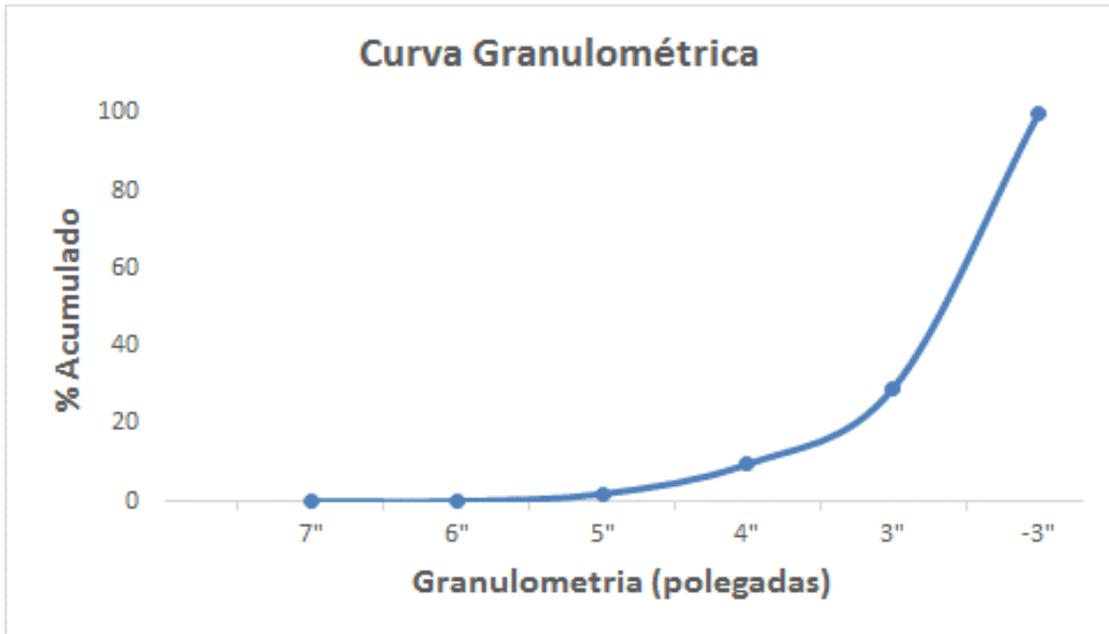


Figura 6.10. Curva granulométrica referente ao material amostrado

### 6.3.2 Remoção da camada superior de material desmontado

➤ O Teste

Teste realizado em Outubro no qual realizou-se a remoção da camada superior do material desmontado com o auxílio de um trator de esteira Caterpillar D6 e a camada inferior adjacente foi enviada diretamente para a pilha de produto. Foi observado em campo que a presença de blocos e material grosseiro era mais evidente na superfície do corte, portanto o trator segregou a camada superior para ser enviada à central de britagem e a camada inferior amostrada e enviada para a pilha de produto final.



Figura 6.11. Teste realizado removendo-se a camada superior de material desmontado (ALCOA, 2016)

➤ Resultados

Uma amostragem foi realizada e novamente não houve material retido acima de 6 polegadas. Porém, a ocorrência pontual de blocos fora da especificação continuou a ser notada inviabilizando a operação em teste. A Tabela 6.4 e Figura 6.12 ilustram os resultados obtidos.

Tabela 6.3. Percentual em massa de material fragmentado por faixa granulométrica

Gráfico %	5"	4"	3"	< 3"
Somatório	1,93	5,5	9,2	83,33
Acumulado	1,93	7,5	16,7	100,0

Fonte: ALCOA, 2016.

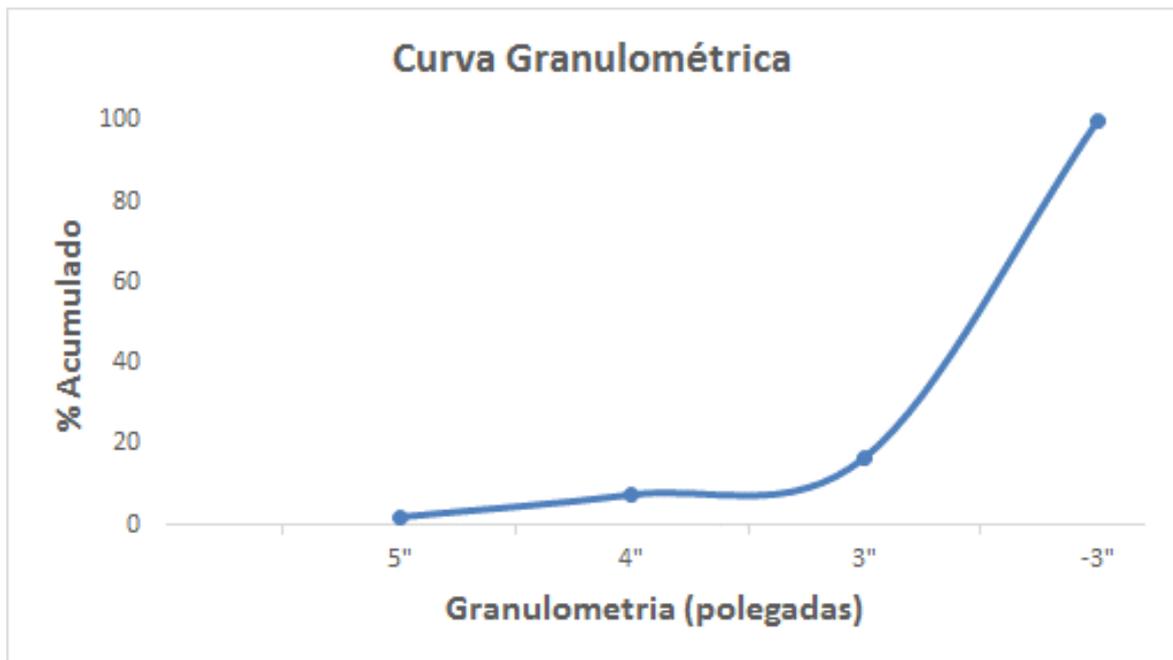


Figura 6.12. Análise por faixa granulométrica do material amostrado

## 6.4 Oportunidades e Alternativas

Após as tentativas, sem sucesso, da eliminação total da ocorrência de blocos acima da granulometria de seis polegadas novas alternativas passaram a ser estudadas.

### 6.4.1 Equipamento auxiliar de classificação

Concluiu-se então que utilizando apenas o Minerador de Superfície Vermeer TL1255 não seria possível alcançar a meta de 100% do material abaixo de seis polegadas. Portanto, foram levantadas ideias de equipamentos que poderiam auxiliar no cumprimento da granulometria proposta. Britador móvel, grelha vibratória e a caçambas britadoras adaptadas nas carregadeiras foram algumas das ideias, porém nenhuma delas foi levada adiante pela equipe da ALCOA Juruti. A Figura 6.13 e a Figura 6.14 ilustram a caçamba britadora e a grelha vibratória.



Figura 6.13. Caçamba Britadora (Máquina Solo, 2016)



Figura 6.14 Grelha Vibratória (Metso, 2013)

### 6.4.2 Instalação de Bits adicionais no tambor

A instalação de bits adicionais no tambor do equipamento foi outra ideia que surgiu durante os testes. O objetivo seria reduzir o espaçamento entre os bits do tambor. Porém, a iniciativa não foi aplicada visto que a fábrica Vermeer do Estados Unidos teria que desenvolver estudos e fabricar um novo tambor para depois enviá-lo para a Mina de Juruti. Pelo fato de ser um equipamento *standard*, o grupo Vermeer não permitiu que a instalação de bits fosse realizada pela equipe ALCOA na localidade da mina. A falta de flexibilidade da Vermeer, em conjunto

com o tempo e custo que demandaria tal iniciativa, derrubaram a ideia da instalação de bits adicionais no tambor.

#### **6.4.3 Utilização do equipamento no desmonte da Laterita**

A falta de frentes de minério para o equipamento, em conjunto com a impossibilidade de envio do material fragmentado direto para produto, levou a Operação de Mina utilizar horas do teste para liberação da camada de laterita para expor minério. Inicialmente, o equipamento ficaria alocado apenas no desmonte mecânico do minério, porém as circunstâncias levaram a ideia da utilização do equipamento na laterita. Os resultados não foram muito consistentes uma vez que a mangueira hidráulica se rompeu duas vezes enquanto o minerador de superfície realizava a fragmentação da laterita. A irregularidade, heterogeneidade e a dureza do maciço foram pontos observados que dificultaram a operação do equipamento para essa atividade.

## 7. CONCLUSÕES

A partir dos processos implantados e testes realizados, é possível ter uma visão geral do comportamento do Minerador de Superfície Vermeer TL1255 CD na lavra de bauxita, quando o método de lavra a ser utilizado é o método em tiras (Strip Mining).

Pelo andamento das operações e resultados obtidos, observou-se que algumas premissas estipuladas para o teste não foram atendidas, porém o caráter inovador e automatizado de um minerador de superfície foi comprovado em campo. A não utilização de cargas explosivas para fragmentar um maciço é de extrema importância e traz inúmeras vantagens para uma lavra de mina a céu aberto, visto que as restrições ambientais estão cada vez mais rigorosas e o impacto da mineração ao meio ambiente deve ser minimizado. Além do fato de que existem diversos centros urbanos localizados aos arredores de áreas mineradoras que podem ser comprometidos pelos efeitos de uma detonação.

A metodologia do trabalho se mostrou consistente, uma vez que foram realizados diversos trabalhos em campo para avaliar o desempenho do equipamento em sua tarefa de fragmentar maciços. Pôde-se concluir que através do Minerador de Superfície Vermeer, é possível cominuir o maciço rochoso a uma granulometria bem reduzida, porém não é possível obter uma homogeneidade na granulometria do produto final.

O baixo rendimento do equipamento pode ser explicado pela falta das condições necessárias para que a operação pudesse prosseguir de modo contínuo. Foram impostas muitas dificuldades no teste pela própria Alcoa e pelas contratadas envolvidas no teste. O minerador necessita de áreas extensas para que a perda de tempo com manobras seja minimizada e conseqüentemente, apresente uma maior produtividade. Porém, a Alcoa não disponibilizou tiras extensas o bastante para que durante os 5 meses de teste pudéssemos avaliar o equipamento nas suas condições ideais.

A utilização de sistemas limpos, contínuos e seguros trazem inúmeros benefícios às operações e os mineradores de superfície se mostram capazes de proporcionar melhorias nos parâmetros em questão. Portanto, são equipamentos que ganham destaque ao apresentar inovações vistas como essenciais ao mercado atual da mineração.

## **7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALCOA WORLD ALUMINA. **Plano Integrado de Aproveitamento Econômico (PAE)**. 2009.

ARUNACHALAM, I. B. **Fly Rock Hazards in Blasting & Control Measures**. p. 1-3. 2017.

BERNARDO, P. A. M. (2004). “**Impactos Ambientais do Uso de Explosivos na Escavação de Rochas, com Ênfase nas Vibrações**”. Dissertação para obtenção do grau de Doutor em Engenharia de Minas. I. S. T. – U. T. L. Lisboa.

BHANDARI, S. **Engineering Rock Blasting Operations**. p. 315-318. 1997.

BRADY, B. H. G; BROWN, E. T. **Rock Mechanics for underground mining**. Londres Springer Science + Business Media, Inc – USA. 2004, 645p.

CANEDO, G, R. **Mapa de iso-velocidades: uma ferramenta para controle das vibrações nas pedreiras**. São Paulo, 2013. 164p.

CATERPILLAR. **Manual de Produção Caterpillar**. 31a ed. Peoria. 2000.

CURI, A; FILHO, J. D. **Mineração a Céu Aberto com uso de Mineradores Contínuos de Superfície**. 2015.

DHEKNE, P. Y. **Environmental Impacts of Rock Blasting and Their Mitigation**. 2015. p. 46-50.

DINIS DA GAMA, C. “**Ruídos e Vibrações Ligados à Utilização dos Explosivos e Equipamentos**”. Comunicações do 1º Seminário de Auditorias Ambientais Internas. Divisão de Minas e Pedreiras do Instituto Geológico e Mineiro de Portugal. 1998.

FLORIANO, C.F. **Noções de Mecânica das Rochas**. 2014.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS - FGV. **Indicadores de Juruti: Para onde caminha o desenvolvimento do município. Juruti**. 2009.145p.

NAVARRO TORRES, V.F.; BERNARDO, P. *El “Blastware III” e “Mlinreg.bas” como herramientas para la prevención y control ambiental de vibraciones en voladuras. V Symposium Internacional de Tecnología de la Información Aplicada a la Minería* 14 – 17 de setembro, Lima-Perú. 2004. 20p.

NSW MINING (2013). **Noise and Blasting**. Disponível em:  
<<http://www.nswmining.com.au/environment/noise-blasting>>. Acesso em: 12 fev. 2017

NSW MINING (2013). **Air Quality and Dust**. Disponível em:  
<<http://www.nswmining.com.au/environment/air-quality>>. Acesso em: 12 fev. 2017.

REHAK, T. R.; BAJPAYEE, T. S.; MOWREY, G. L.; INGRAM, D. K. (2004). **Flyrock Issues in Blasting**. 2004. p. 5-7

SAMPAIO, G. L. **A Dinâmica das Rochas e a Propagação de Vibrações**. Ouro Preto. 2015.

SILVA, J. M. **Estabilidade de Escavações Subterrâneas**. 2010. 20p

VERMEER. **Rock Excavation Technology**. 2014. p. 4-6.

VERMEER GROUP. **Mineração de Superfície - Escavação Especializada**. 2010 .

WIRTGEN GMBH. **Cutting, crushing and loading rock in a single operation**. 2017. (A)  
Disponível em:  
<[http://www.wirtgen.de/en/technologies/surface-mining/surface\\_mining.php](http://www.wirtgen.de/en/technologies/surface-mining/surface_mining.php)>. Acesso em: 22 fev. 2017.

WIRTGEN GMBH. **From future vision to recognized technology**. 2017 (B). Disponível em: <<http://www.wirtgen.de/en/technologies/surface-mining/history/>>. Acesso em: 15 fev. 2017.

WIRTGEN GMBH. **Successful Wirtgen Surface Mining Around the World: Efficient Mine Operations Plus Professional Service**. 2015.