



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE MARABÁ  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE MINAS E MEIO AMBIENTE

ÉLYDA LIMA DA SILVA

**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.**

Marabá  
Julho/ 2014

ÉLYDA LIMA DA SILVA

**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.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia de Minas e Meio Ambiente da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Minas e Meio Ambiente.

Orientador: Prof.º Manoel Ferreira Nunes

Co-orientador: Eng.º de Minas Edil Neto Pimentel

Marabá

Julho/ 2014.

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**  
**Biblioteca II da UNIFESSPA. CAMAR, Marabá, PA**

---

Silva, Élyda Lima da

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. / Élyda Lima da Silva ; orientador, Manoel Ferreira Nunes. — 2014.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Campus Universitário de Marabá, Instituto de Geociências e Engenharias, Faculdade de Engenharia de Minas e Meio Ambiente, Curso de Engenharia de Minas e Meio Ambiente, Marabá, 2014.

1. Bauxita - Minas e mineração - Paragominas (PA). 2. Pesquisa operacional. 3. Tratores. 4. Produtividade. 5. Engenharia de minas - Programas de computador. I. Nunes, Manoel Ferreira, orient. II. Título.

CDD: 22. gd: 338.274926098115

---

ÉLYDA LIMA DA SILVA

**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.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia de Minas e Meio Ambiente da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Minas e Meio Ambiente.

Orientador: Prof.<sup>o</sup> Manoel Ferreira Nunes

Co-orientador: Eng.<sup>o</sup> de Minas Edil Neto Pimentel

Data de defesa: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Banca examinadora:

---

Prof. Bel. Manoel Ferreira Nunes  
Professor da Femma (Orientador)  
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

---

Eng.<sup>o</sup> de Minas Edil Pimentel  
Engenheiro de Minas (Co-orientador)  
Mineração Paragominas S.A.

---

Prof. Dr. Reginaldo Saboia de Paiva  
Professor da Femma (Avaliador)  
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

Aos meus pais, meu esposo e meus amigos  
que sempre estiveram ao meu lado me dando  
força e motivação para chegar até aqui.

## AGRADECIMENTOS

O meu primeiro agradecimento será a Deus, pois sem a presença dele na minha vida nada seria possível, ele se fez presente em todos os momentos e em todos os caminhos que percorri até o presente momento, me dando força, saúde, serenidade e sabedoria.

Aos meus pais, Vilmacy da Mata Lima e Redinaldo Rodrigues da Silva, a quem pertence o mérito desta conquista, pelo exemplo, educação, suporte, incentivo, amor, enfim, por serem em tudo fundamentais na minha vida.

Ao meu esposo, Samuel Almeida Sousa, por esta sempre ao meu lado nesses cinco anos, pelo cuidado, atenção, suporte, carinho, amor e principalmente confiança.

Aos meus irmãos, Elenilson Lima, Rivane Silva, Leidiane Silva, Fabiana Silva e Ryallen Silva por todo carinho, atenção, cuidado e preocupação.

As minhas Avós, Deuzuita e Marica por todas as orações, aos meus primos Allan e Tatiane, que sempre estão se esforçando para me ajudar nessa trajetória como estudante de Engenharia de Minas. Enfim, agradeço a toda a minha família, não sei o que seria da minha vida sem o incentivo e as orações de todos.

As minhas amigas Jéssica Pinto (Jéka), Vivianne Andrade (Vivi) e Ana Kárita (Karitinha) por terem feito desses 3 anos que moramos juntas, a minha vida alegre; A Suellen (Su), Priscila (Pri) e Michael; Os “primos” Daniel, Stallone, Clayver, Cunha, Gustavo e Rafael, realmente a nossa amizade sempre foi tão parceira que nos chamamos assim. De coração, agradeço a todos aqui mencionados pelo companheirismo, carinho, amizade, cuidado, atenção, ajuda, torcida e pela agradável companhia, saibam que vocês foram fundamentais nessa caminhada, eu amo muito a todos vocês, e mesmo que eu fale todas as palavras de agradecimentos, ainda assim não serão suficientes.

Agradeço aos meus amigos de infância, escola e conhecidos.

Aos professores que contribuíram com minha formação, repassando seus conhecimentos e compartilhando experiências. Em especial, Eliseu Melo, Karina Fischer, Reginaldo Sabóia, Edinaldo Teixeira e ao meu orientador Manoel Nunes.

A empresa NorkHydro e ao meu co-orientador Edil Pimentel, por aceitar desenvolver esse trabalho, pela oportunidade, dedicação, paciência e ensinamentos, sou muito grata por tudo o que fizeste.

A Universidade Federal do Pará, por toda estrutura física e corpo docente, essenciais à minha formação.

*Lembre da minha ordem: “Seja forte e corajoso! Não fique desanimado, nem tenha medo, porque eu, o Senhor, seu Deus, estarei com você em qualquer lugar para onde for!”*

*Josué 1:9*

## RESUMO

O minério em estudo é a bauxita. Esta é a principal rocha utilizada para a produção de alumínio. A sua lavra é realizada a céu aberto, conhecido como método de lavra em tiras, que é utilizado principalmente para mineração de camadas pouco profundas, sub horizontais e com grande extensão e volume. Na Mineração Paragominas S. A. da empresa NorskHydro, local onde esta sendo desenvolvido este trabalho, utiliza-se este método. Para esta mineradora, a utilização de equipamentos de esteira e de pneus, como tratores, escavadeiras, caminhões, motoniveladoras, pá carregadeiras, mineradores de superfície, entre outros, são de suma importância para o êxito do projeto. Dentre eles, elevada importância é dada aos tratores de esteira CAT D11, pois o mesmo além de ser uma unidade de tração básica das atividades de terraplenagem, também é responsável por cerca de 67% de toda movimentação de estéril da MPSA (Mineração Paragominas S.A.). Nestas máquinas, indicadores de desempenho como produtividade e utilização física, são ferramentas que permitem o melhor gerenciamento das frotas e obtenção de curvas de rendimento cada vez mais otimizadas. Entre esses indicadores, podemos destacar para uma análise a produtividade (relação entre volume de material movimentado e horas utilizadas na operação). Neste sentido, será realizado um estudo referente à produtividade dos tratores de esteiras na Mina de Bauxita em Paragominas (PA) durante a remoção da camada de estéril, analisando as variáveis envolvidas no processo e determinando, mais especificamente o aumento da variável geométrica ângulo de corte de 14°, 15°, 16° para 17° 18° e 19°. Sendo assim, nos resultados foi possível verificar que a produtividade aumentou em 6,71%, esse resultado foi obtido através de simulações com softwares específicos e testes práticos, as melhores metodologias operacionais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Bauxita, trator de esteira, ângulo de corte, decapeamento e produtividade.



## ABSTRACT

Bauxite is the ore in study. This is the main ore used for the aluminum production. Its mining is performed open pit, by the strip mining method, which is mostly applied to the mining of the shallow and sub horizontal layers with large extent and volume. In the Mineração Paragominas S.A. (MPSA), of Norsk Hydro Company, where this study has been developed, this method is utilized. To this mining company, the use of on tire or track equipments, such as tractors, excavators, trucks, motor graders, shovels, surface miners, etc. are of the utmost importance for the project success. Among them, high importance is given to the bulldozers CAT D11, since they are a basic tractor unit on the earthworks, being also responsible for about 67% of all movements of waste in MPSA. For these equipments, performance indices, such as productivity and physical use, are tools that allow a better management of the fleets and the achievement of increasingly optimized yield curves. Among these indices, we can contrast for an productivity analysis (ratio between volume of material moved and the spent operating hours). In this sense, it was performed a study related to the bulldozers productivity in the Paragominas bauxite mine (PA) during the overburden removal, analyzing the variables involved in the process and determining, more specifically the increase of the geometrical variable of cutting angle from 14°, 15° and 16° to 17°, 18° and 19°. The results were obtained via simulations in specific softwares and practical tests, which pointed the better operational methodologies. Thus, the results showed the productivity gain of 6,71% with the increase of the cutting angle.

**KEY-WORDS:** bauxite; bulldozer; cutting angle; overburden removal; productivity.

## LISTA DE ILUSTRAÇÃO

<b>FIGURA 1</b> Bauxita, alumina e alumínio.....	<b>16</b>
<b>FIGURA 2</b> Produção mundial de bauxita.....	<b>18</b>
<b>FIGURA 3</b> Localização das minas e refinarias no Brasil.....	<b>19</b>
<b>FIGURA 4</b> Pontos de localização da MPSA.....	<b>21</b>
<b>FIGURA 5</b> Platô Bauxítico típico da região de Paragominas.....	<b>23</b>
<b>FIGURA 6</b> Desenho esquemático do perfil litológico da área investigada dentro da mina com as espessuras estimadas das camadas.....	<b>24</b>
<b>FIGURA 7</b> Lavra em tiras na mina de Paragominas.....	<b>26</b>
<b>FIGURA 8</b> Geometria das faixas l.....	<b>29</b>
<b>FIGURA 9</b> Trator de esteira.....	<b>30</b>
<b>FIGURA 10</b> Lâmina U – Universal.....	<b>33</b>
<b>FIGURA 11</b> Lâmina SU – Semi-Universal.....	<b>34</b>
<b>FIGURA 12</b> Lâmina CD – CarryDoozer.....	<b>34</b>
<b>FIGURA 13</b> Ríperes ou Escarificadores.....	<b>35</b>
<b>FIGURA 14</b> Estimativa da capacidade da lâmina.....	<b>38</b>
<b>FIGURA 15</b> Perfil da lavra de bauxita em Paragominas, ilustrando variáveis geométricas.....	<b>40</b>
<b>FIGURA 16</b> Página inicial do software Dozsim.....	<b>41</b>
<b>FIGURA 17</b> Página inicial do Pit.....	<b>42</b>
<b>FIGURA 18</b> Tabela com os resultados da simulação.....	<b>42</b>
<b>FIGURA 19</b> Resumo das operações de lavra.....	<b>44</b>
<b>FIGURA 20</b> Supressão vegetal.....	<b>45</b>
<b>FIGURA 21</b> Movimentação de estéril em 2014	<b>46</b>
<b>FIGURA 22</b> Altura de estéril de até 8 metros.....	<b>46</b>
<b>FIGURA 23</b> Altura de estéril está entre 8 e 13 metros.....	<b>47</b>
<b>FIGURA 24</b> Altura de estéril está acima de 13 metros.....	<b>48</b>
<b>FIGURA 25</b> As três maneiras de efetuar a retirada da camada de estéril.....	<b>48</b>
<b>FIGURA 26</b> Método tradicional de carregamento de bauxita utilizando EH CAT 365CL	<b>50</b>
<b>FIGURA 27</b> Minerador de superfície fazendo o carregamento da bauxita.....	<b>51</b>
<b>FIGURA 28</b> Transporte do minério por caminhões rodoviários.....	<b>51</b>
<b>FIGURA 29</b> Preparando a área para recuperação.....	<b>52</b>

<b>FIGURA 30</b> Foto aérea com os plantios das mudas, em seguida, a área depois de recuperada.....	<b>53</b>
<b>FIGURA 31</b> Recorte da página inicial do software, com análise no ângulo de 13°.....	<b>54</b>
<b>FIGURA 32</b> Ilustração do ângulo de corte.....	<b>55</b>
<b>FIGURA 33</b> Primeiro corte no ângulo de 13°.....	<b>56</b>
<b>FIGURA 34</b> Segundo corte no ângulo de 13°.....	<b>55</b>
<b>FIGURA 35</b> Terceiro corte no ângulo de 13°.....	<b>57</b>
<b>FIGURA 36</b> Quarto corte no ângulo de 13°.....	<b>57</b>
<b>FIGURA 37</b> Resultados para corte no ângulo de 13°.....	<b>59</b>
<b>FIGURA 38</b> Ilustração para o ângulo de 13°.....	<b>60</b>
<b>FIGURA 39</b> Resultado da produtividade do D11 para cada ângulo simulado	<b>60</b>
<b>FIGURA 40</b> Ilustração para o ângulo de 17°.....	<b>61</b>
<b>FIGURA 41:</b> Ilustração da distância de recuo para todos os ângulos.....	<b>61</b>
<b>FIGURA 42:</b> Aumento da produtividade obtido pelo software Dozsim.....	<b>62</b>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>15</b>
2.1	OBJETIVO GERAL	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>16</b>
3.1	BAUXITA	16
3.2	MINERAÇÃO DE BAUXITA NO MUNDO	18
3.3	MINERAÇÃO DE BAUXITA NO BRASIL	18
3.4	LOCALIZAÇÃO DA MINA DE BAUXITA EM PARAGOMINAS	20
3.5	CARACTERÍSTICAS DA MINA	21
3.6	ASPECTOS GEOLÓGICOS DA MINA DE BAUXITA PARAGOMINAS	22
<b>3.6.1</b>	<b>Platô Miltônia 3 (m<sup>3</sup>)</b>	<b>23</b>
3.7	MÉTODO DE LAVRA	25
<b>3.7.1</b>	<b>Lavra em Tiras</b>	<b>26</b>
<b>3.7.2</b>	<b>Sistema de Lavra</b>	<b>27</b>
3.8	GENERALIDADES SOBRE TRATORES	29
3.9	TRATORES DE ESTEIRA	30
3.10	PRODUTIVIDADES DE EQUIPAMENTOS	35
3.11	PRODUTIVIDADE DO TRATOR DE ESTEIRA	37
3.12	SOFTWARE DOZSIM	40
3.13	OPERAÇÕES UNITÁRIAS EM PARAGOMINAS	43
<b>3.13.1</b>	<b>Supressão Vegetal</b>	<b>44</b>
<b>3.13.2</b>	<b>Decapeamento da Camada de Estéril</b>	<b>45</b>
<b>3.13.3</b>	<b>Raspagem, Carregamento e Transporte da Laterita</b>	<b>49</b>
<b>3.13.4</b>	<b>Escarificação, Escavação, Carregamento e Transporte de Bauxita</b>	<b>49</b>
3.13.4.1	Método Tradicional	49
3.13.4.2	Método com Minerador de Superfície	50
<b>3.13.5</b>	<b>Transporte do Minério</b>	<b>51</b>
<b>3.13.6</b>	<b>Preparo para Reabilitação</b>	<b>52</b>
<b>3.13.7</b>	<b>Etapas da Recuperação</b>	<b>52</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>54</b>

4.1	SIMULAÇÕES COM O SOFTWARE DOZSIM.....	54
4.2	DETERMINAÇÃO DA DISTÂNCIA MÉDIA DE RECUO.....	58
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>59</b>
5.1	DETERMINAÇÃO DA PRODUTIVIDADE EM FUNÇÃO DO ÂNGULO DE CORTE.....	59
5.2	DETERMINAÇÃO DA DISTÂNCIA DE RECUO.....	60
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>63</b>
<b>7</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b>	<b>64</b>
<b>8</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>65</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A rocha a ser minerada é a bauxita. Ela apresenta coloração avermelhada, rica em óxido de alumínio, encontrada próxima à superfície terrestre, o que a torna o minério mais utilizado na produção de alumínio (PIMENTEL, 2009).

De acordo com Pimentel (2009), com a crescente demanda mundial e regional pelo consumo de bens constituídos por alumínio, a Mina de Bauxita em Paragominas no Pará, localizada a 67 km da mesma, teve suas atividades de pesquisas geológicas iniciadas a partir do ano de 2002, com análise das áreas do Gurupi, Jiboia e Miltônia 3. Atualmente, as operações de mineração e processamento mineral estão concentrados no Platô Miltônia 3, com produção anual de 9,25 milhões de toneladas de concentrado de bauxita, transportado por mineroduto de 244 km de extensão até a Refinaria Hydro Alunorte, localizada na cidade de Barcarena.

O método de lavra é a sistematização e coordenação dos serviços de aproveitamento de uma jazida. Sendo assim, o método de lavra em tiras é o mais indicado para a extração de minério da jazida de Paragominas, a sua recuperação ambiental é feita ao mesmo tempo em que a extração de minério. Lavra-se a jazida em tiras sucessivas, sendo o estéril da tira subsequente imediatamente lançado na cava resultante da lavra anterior. As operações que integram o sistema de lavra da mina de Paragominas são descritos de forma sucinta, primeiro tem-se a supressão vegetal, decapeamento, método de lavra convencional e com minerador de superfície, preparo para reabilitação e área revegetada (PIMENTEL, 2009).

A jazida da Mineração Paragominas S.A. (MPSA) é diferenciada por ser composta de elevadas camadas de estéril variando de 8-19 metros de profundidade, tornando-se diferente principalmente quando comparada com outras minas do estado do Pará, fazendo-se necessária a criação de estratégia nas operações de decapeamento, utilizando escavadeiras hidráulicas de grande porte, caminhões fora de estrada e tratores de esteira CAT D11, (FERREIRA, 2012).

Os tratores de esteira CAT D11 possuem elevado custo operacional e um alto valor de aquisição. São os maiores e mais potentes tratores de esteira do fabricante. Como dito anteriormente, os mesmos são utilizados em todas as operações nos modelos de decapeamento. Qualquer falha operacional durante o processo, ou qualquer atraso pode causar perdas de produtividade nas etapas subsequentes, realizadas pelos outros equipamentos.

Como a utilização dos tratores de esteira D11 nas operações de decapeamento é de suma importância. É necessário saber como é dado o funcionamento da retirada dessa camada

de estéril. Logo, falar sobre esta fase da operação que integra o sistema de lavra na mina é imprescindível. Nesta fase, tem-se como objetivo do decapeamento expor a camada de minério (bauxita) para desmonte mecânico e posterior escavação e transporte para as instalações de beneficiamento do minério. Diante desse fator, são empregados três modelos de decapeamento: O primeiro é realizado somente com Trator de esteira CAT D11; Já o segundo é utilizado o trator de esteira para iniciar o pré corte, em seguida a escavadeira termina a retirada do material; No terceiro tipo de decapeamento, é feito primeiramente um rebaixo com escavadeira hidráulica de 18m<sup>3</sup>, juntamente com caminhões fora de estrada CAT 777 de 60m<sup>3</sup>, posteriormente o trator de esteira inicia o pré corte, em seguida a escavadeira retira os últimos 04 metros de estéril expondo assim a bauxita.

Esse trabalho apresenta uma grande importância, pois o êxito do aumento da produtividade do trator de esteira (responsável por 67% de toda movimentação de estéril), através de simulações aumentando o ângulo de corte, realizados no software DOZSIM, possibilitará em reduções em gastos, com o desgaste de equipamentos, combustível, entre outros.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral uma 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.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar uma análise da produtividade, através da verificação das variáveis que influenciam na mesma, como ângulo de corte, altura da camada de estéril, habilidade do operador, cava útil para deposição de material, presença de marcação topográfica, ângulo de depósito, largura da cava, entre outras, utilizando casos práticos já implantados na mina.
- Verificar o aumento da variável ângulo de corte e, conseqüentemente, a redução da distância de transporte.



### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste tópico será apresentado uma revisão bibliográfica sobre os assuntos relevantes para a um melhor entendimento do estudo realizado.

Primeiramente, será abordado um estudo sobre o minério em questão a bauxita. Em seguida, serão mostradas todas as informações de onde o trabalho foi desenvolvido, como a localização, características da mina, geologia entre outros. Posteriormente, deverá ser abordado como é realizado a técnica de extração do minério, bem como, o método utilizado é o sistema de lavra. Depois dar-se-á início às informações do equipamento (trator de esteira) em que está sendo avaliado o aumento da produtividade e o software que está sendo utilizado para verificar a mesma. Por fim, serão demonstrado as operações que integram o sistema de lavra da mina de Paragominas.

#### 3.1 BAUXITA

O alumínio, metal tão amplamente usado nos dias de hoje, devido às características como leveza, resistência, aparência, entre outras, tem como principal fonte a bauxita, mineral terroso e opaco (MOURA, 2008).

A bauxita é uma rocha avermelhada rica em óxido de alumínio, encontrada próxima à superfície terrestre, o que a torna o minério mais utilizado na produção de alumínio (matéria-prima para a fabricação de vários produtos usados em nosso dia a dia) (Figura 1). São necessárias cerca de cinco toneladas de bauxita para a produção de duas toneladas de alumina que, por sua vez, gera uma tonelada de alumínio (PIMENTEL, 2009).



**FIGURA 1:** Bauxita, alumina e alumínio.

Algumas bauxitas têm composição que se aproxima à da gibbsita, todavia em sua maioria formam uma mistura, contendo impurezas como: sílica, óxido de ferro, titânio e outros elementos. Como resultado, a bauxita não é considerada uma espécie mineral e, em uma classificação rígida, o nome bauxita deve ser usado em alusão à rocha (bauxito) (SAMPAIO e NEVES, 2002).

As bauxitas brasileiras são essencialmente gibbsíticas, sendo muito raras as ocorrências de bauxitas boehmíticas ou com diásporo (Tabela 1). A maioria das bauxitas economicamente aproveitáveis possui conteúdo de alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) entre 50 e 55% e o teor mínimo para que ela seja aproveitável é da ordem de 30%.

**TABELA 1:** Fórmulas químicas e características dos principais constituintes da rocha bauxita.

	<b>Gibbsita</b>	<b>Bohemita</b>	<b>Diásporo</b>
<b>Formula</b>	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	$\alpha \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	$\beta \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
<b>% <math>\text{Al}_2\text{O}_3</math></b>	65,4	85	85
<b>Dureza (Mohs)</b>	2,3 – 3,5	3,5 – 5,0	6,5 – 7,0
<b>Peso específico</b>	2,3 – 2,4	3,01 – 3,06	3,3 – 3,5
<b>Sistema cristalino</b>	Monoclinico	Ortorrômbico	Ortorrômbico

Fonte: Sampaio e Neves, 2002.

A condição essencial à formação da bauxita é a existência de um clima tropical (temperatura  $20^\circ\text{C}$ ) e um meio ambiente onde alterne as estações seca e úmida (SAMPAIO e NEVES, 2002).

Segundo Moura (2008), geograficamente, a maioria das jazidas do mundo está localizada em regiões tropicais e subtropicais em climas Mediterrâneo (33%), Tropical (57%) e Subtropical (10%).

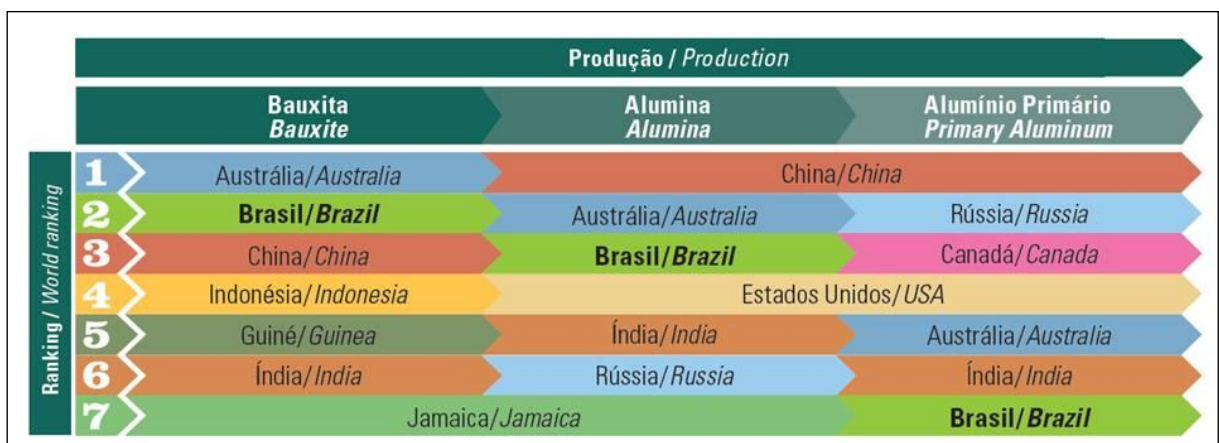
Os locais onde se obtém maior taxa de formação de bauxita são lugares onde ocorre uma elevada porosidade na rocha, quando se tem uma cobertura vegetal com adequada atividade bacteriológica ou topografia plana ou pelo menos pouco acidentada que permita o mínimo de erosão, ou então um longo período de estabilidade e intensa alteração das condições climáticas, principalmente as estações seca e úmida.

Mais de 90% do hidróxido de alumínio produzido no mundo é convertido em alumina, sendo que a maior parte (cerca de 90%) da alumina é usada para a preparação de alumínio metálico. Pode-se observar a alumina calcinada que é obtida através do

processamento da bauxita. Os outros 10% são aplicados em diversos setores da indústria para a fabricação de materiais refratários, abrasivos, velas de ignição, cerâmicas e outros. O hidróxido de alumínio também tem aplicação direta nas indústrias de papel, tintas, vidros, produtos farmacêuticos, cremes dentais (FERREIRA, 2012).

### 3.2 MINERAÇÃO DE BAUXITA NO MUNDO

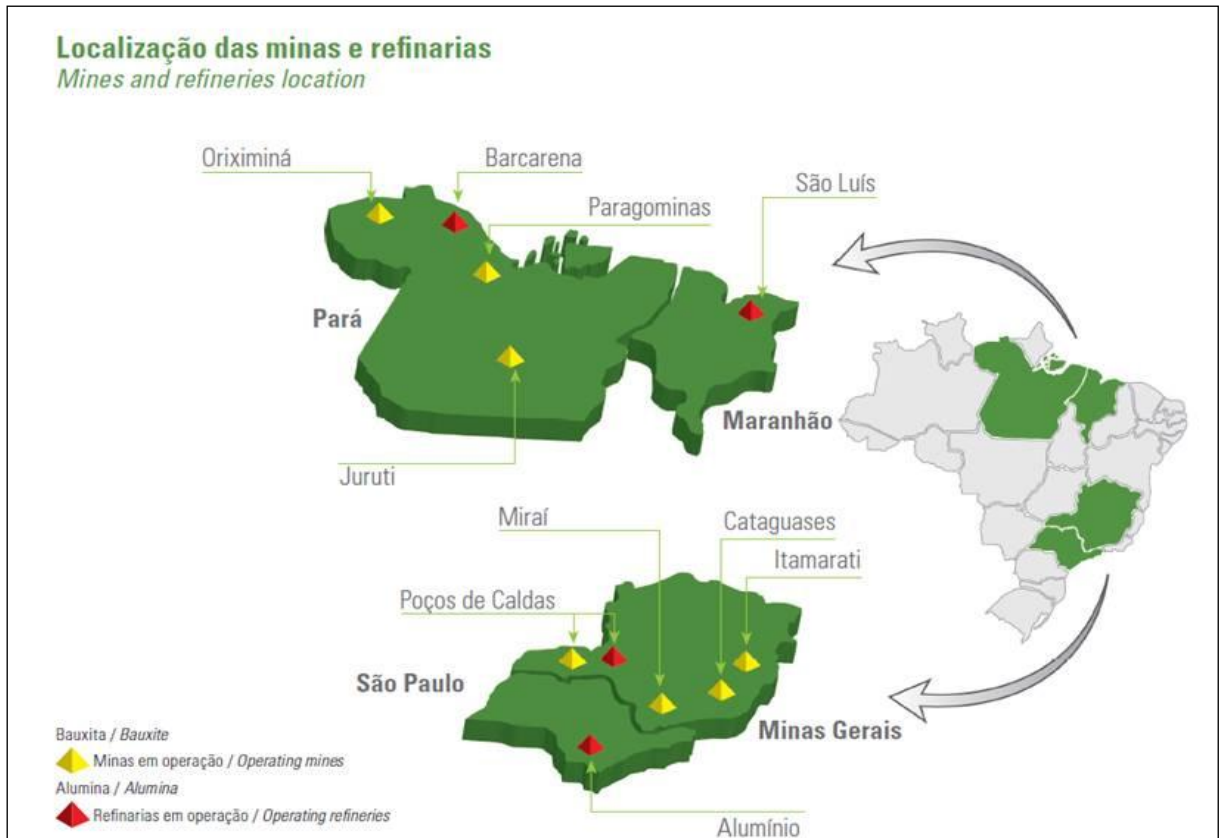
De acordo com a figura 2, o Brasil é o sétimo maior produtor de alumínio primário, precedido pela China, Rússia, Canadá, Estados Unidos, Austrália e Índia; segundo maior produtor de bauxita, atrás da Austrália; e terceiro produtor de alumina, atrás de China e Austrália.



**Figura 2:** Produção mundial de bauxita.  
Fonte: Anuário estatístico ABAL, 2011.

### 3.3 MINERAÇÃO DE BAUXITA NO BRASIL

O Brasil é um importante player da indústria do alumínio, pode-se verificar essa informação na figura 3.



**Figura 3:** Localização das minas e refinarias no Brasil.

Fonte: Anuário estatístico ABAL, 2011.

No comércio exterior, as exportações de alumínio e seus produtos, incluindo bauxita e alumina, representam em média 2,5% das vendas externas brasileiras.

Como um dos maiores produtores de bauxita e alumina, o país tem aumentado a venda para outros países desses insumos básicos do setor, enquanto observa a gradual redução das exportações de metal primário e produtos transformados, em razão da maior demanda interna pelo metal (Tabela 2).

**TABELA 2:** Balança Comercial Indústria do Alumínio

Ano 2012	Exportação	Importação	Saldo
Brasil	256.040	336.246	29.794
Indústria do Alumínio	4.488	1.666	2.822
Participação (%)	1,8	0,7	9,5

Fonte: Anuário estatístico ABAL, 2011.

Na tabela 3, pode-se verificar as principais empresas responsáveis pela mineração de bauxita no Brasil, suas respectivas produções e suas unidades de 1000 toneladas.

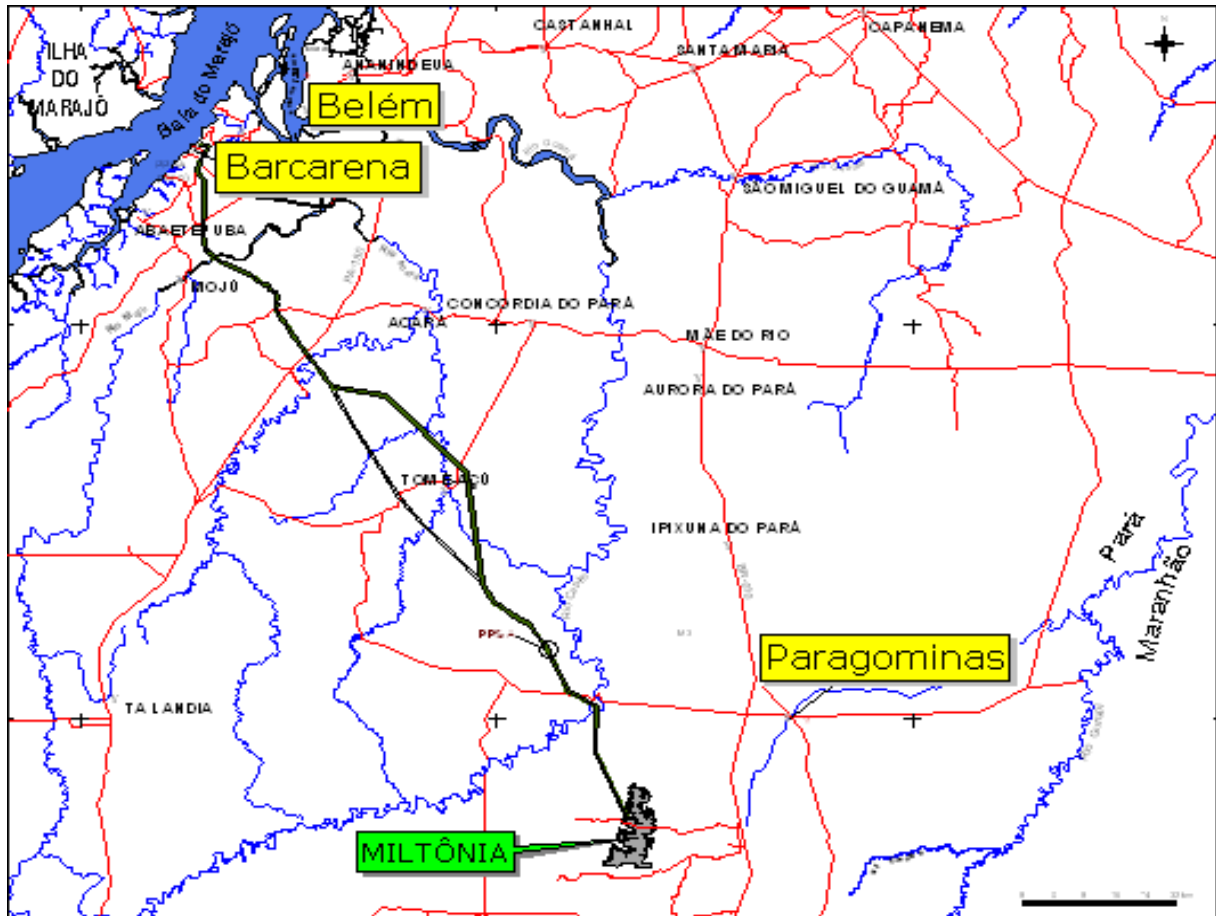
**TABELA 3:** Principais empresas na mineração de bauxita no Brasil

<b>Anos</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>
<b>Suprimento</b>	<b>32.041,2</b>	<b>33.765,2</b>	<b>35.072,0</b>
<b>Produção</b>	<b>32.028,0</b>	<b>33.624,6</b>	<b>34.955,8</b>
Alcoa Alumínio S.A.	3.648,7	4.965,5	5.315,2
- Poços de Caldas (MG)	1.050,4	1.032,5	1.015,2
- JURITI (PA)	2.598,3	3.933,0	4.300,0
HYDRO MINERAÇÃO – PARAGOMINAS S.A. (PA)	7.523,7	8.150,8	9.221,4
MRN – MINERAÇÃO RIO DO NORTE S.A. – ORIXIMINÁ (PA)	17.021,4	16.819,8	17.100,0
Votorantim Metais – CBA Itamarati, Cataguases e Mirafá (MG)	2.855,0	2.722,5	2.399,2
Outros	979,2	966,0	920,0
<b>Importações</b>	<b>13,2</b>	<b>140,6</b>	<b>116,2</b>
<b>Consumos domésticos</b>	<b>22.949,1</b>	<b>25.161,8</b>	<b>24.705,9</b>
Usos metálicos	22.488,1	24.706,5	24.021,7
Outros usos	481,0	455,3	634,2
<b>Exportações</b>	<b>6.789,1</b>	<b>6.887,3</b>	<b>6.860,7</b>

Fonte: Anuário estatístico ABAL, 2011.

### 3.4 LOCALIZAÇÃO DA MINA DE BAUXITA EM PARAGOMINAS

A Mina de bauxita está localizada a 67 km da cidade de Paragominas, situada às margens da rodovia Belém-Brasília (BR-010), a 320 quilômetros da capital Belém. A Figura 4 ilustra o percurso de Belém até o projeto, percorrendo as rodovias BR-316, BR-010, e PA-256.



**Figura 4:** Pontos de localização da MPSA.

Fonte: Mendes, 2013.

O projeto teve suas atividades de pesquisas geológicas iniciadas a partir do ano de 2002, com análise das áreas do Gurupi, Jibóia e Miltônia 3, em 2003 e 2004 com trabalhos mais detalhados sobre Miltônia 3 e Miltônia 5.

- Miltônia/Belém..... 360 Km;
- Miltônia/Paragominas.. 67 Km;
- Mineroduto/Alunorte.. 244 Km.

### 3.5 CARACTERÍSTICAS DA MINA

A Mineração Paragominas S.A., empresa alvo do estudo, possui operações de lavra complexas. É uma jazida diferenciada por ser composta de elevadas camadas de estéril, variando de 8 a 19 metros de profundidade, sendo que a média da altura dessa camada de estéril é de 13 metros.

A mina de Bauxita de Paragominas é diferente principalmente quando comparada com outras minas do estado como Alcoa e MRN, onde a relação estéril/minério é aproximadamente 3:1, enquanto na mina de Paragominas a REM (da ordem de 5,5 m<sup>3</sup>de estéril/ton de minério), se fazendo necessária a criação de estratégia nas operações de decapeamento, utilizando escavadeiras hidráulicas de grande porte, e caminhões fora de estrada, para diminuir o trabalho dos tratores de esteiras D11.

### 3.6 ASPECTOS GEOLÓGICOS DA MINA DE BAUXITA PARAGOMINAS

A área investigada faz parte da Província Bauxitífera de Paragominas, que ocupa uma extensão de aproximadamente 50.000 km<sup>2</sup>, localizada na porção leste do Estado do Pará/oeste do Maranhão na Amazônia oriental. É o mais extenso e denso conjunto de depósitos de Bauxita da Amazônia e do Brasil, possuindo dimensões cerca de 300 km na direção norte-sul e até 200 km na direção leste-oeste. A porção sul do município de Paragominas comporta os distritos de Miltônia, Gurupi, Tiracambu, Camoai, e a norte os distritos de Futuro e Jabuti (KOTSCHOUBEY et al, 2005).

A Província Bauxitífera de Paragominas é uma região vasta que comporta antigos vestígios importantes de manto laterítico, hospedeiro de depósitos de Bauxita e apresentando características estruturais semelhantes por toda a sua extensão. Sua gênese se insere no quadro evolutivo supergênico e, de forma mais generalizada, no contexto ecológico como um todo, da Amazônia Oriental durante o cenozóico (KOTSCHOUBEY, et al. 2005).

As rochas mais antigas dessa região pertencem ao Grupo Itapecurú (nas porções sul e central da região) e à Formação Ipixuna (na porção norte) e estão expostas em inúmeros afloramentos ao longo da rodovia BR 010 e outras rodovias das proximidades. Estas formações sedimentares sustentam os Platôs (regiões elevadas e aplainadas no seu topo) dominantes da região, como ilustra a figura 5, portadores da cobertura laterítica/bauxítica e do seu capeamento argiloso, feições geomorfológicas dominantes na região (KOTSCHOUBEY, et al. 2005).



**Figura 5:** Platô Bauxítico típico da região de Paragominas.

Fonte: Adaptado de Kotschoubey et al, 2005.

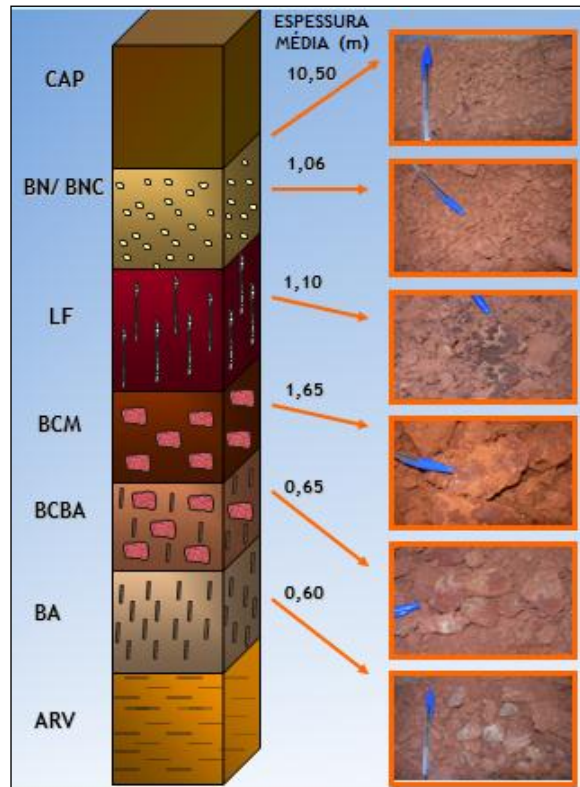
### 3.6.1 Platô Miltônia 3 (m<sup>3</sup>)

O distrito bauxítico de Paragominas está localizado na porção noroeste da Bacia do Parnaíba e ocupa a região sul da chamada Plataforma Bragantina, tectonicamente estável desde o Cretáceo. Os sedimentos que afloram nesta plataforma são de idade cretácea, terciária ou quaternária.

Os depósitos de bauxita ocorrem apenas na parte sul da Plataforma Bragantina e se originaram de rochas sedimentares continentais fluviais pertencentes às formações Ipixuna/Itapecurú, depositados em clima semi-árido. Eventualmente, ocorrem horizontes bauxíticos relacionados à Argila Belterra.

A litologia da área investigada, no interior da mina de Bauxita da empresa Vale, foi obtida por meio de furos de sondagem. Esse perfil é composto por uma espessa camada argilosa (Argila de Belterra), seguida de um Horizonte pisolítico, uma camada de Bauxita nodular, Laterita ferruginosa, Bauxita cristalizada, zona de Bauxita cristalizada/amorfa, Bauxita amorfa e, por fim, Argila variegada. A figura 6 mostra o perfil litológico da área destacando também a espessura estimada de cada camada (KOTSCHOUBEY et al, 2005).





**Figura 6:** Desenho esquemático do perfil litológico da área investigada dentro da mina com as espessuras estimadas das camadas.

Fonte: Mendes, 2013.

**Capeamento Argiloso (CAP):** camada argilo-arenosa de coloração amarelada (argilas de belterra), com média de 11 metros de espessura.

**Bauxita Nodular Pisolítica (BN):** a bauxita apresenta-se com forma de nódulos, de coloração amarelada, lilás, avermelhada. Por vezes com pisolitos ferruginosos em meio a canais e bolsões de argila. Os cristais de gibbissita são pequenos, micro a criptocristalizados.

**Bauxita Nodular Cristalizada (BNC):** a Bauxita com forma de nódulos, de coloração predominantemente avermelhada, com cristais de gibbissita visíveis a olho nu. Presença de canais e bolsões de argila avermelhada.

**Laterita Ferruginosa (LF):** apresenta uma camada enriquecida em óxido de ferro, de coloração escura. Ocorre como nódulos soltos ou como concreções, por vezes com cimento bauxítico.

**Bauxita Cristalizada (BC):** a bauxita de coloração avermelhada, em geral concrecional, dura, com cristais de gibbissita bem desenvolvidos e presença de canais e bolsões de argila avermelhada e uma estratificação/acamamento da rocha mãe.

**Bauxita Cristalizada associada à Bauxita Micro (BCBA):** é possível observar uma bauxita de coloração avermelhada, róseo, lilás, com manchas amareladas, esbranquiçadas, podendo

ocorrer como concreções duras, como blocos ou como nódulos, em geral possui cristais de gibbissita bem desenvolvidos e presença de canais e bolsões de argila avermelhada ou lilás, por vezes argila caulínica. Frequentemente é possível identificar estratificação/acamamento da rocha mãe.

**Bauxita “Amorfa” Micro:** tem-se uma bauxita com o ambiente caulinizado do perfil laterítico. O percentual mínimo de bauxita em relação à matriz argilosa, para ser considerada BA, fica em torno de 15% a 20%. Percentuais inferiores recebem a denominação de argila variegada (ARV), contendo traços de bauxita e/ou rocha saprolitizada (PIMENTEL, 2009).

O principal horizonte bauxítico é a BC e possui em média, de 25 a 30 % de matriz argilosa. O topo, em regra, é ferruginoso devido à interface transicional com a LF sobrejacente. A transição para a fácies subjacente BCBA é representada por uma passagem muito irregular com superfície não definida e muito sinuosa. Além disso, a bauxita cristalizada é caracterizada por:

- Possuir espessura média de 1,5 a 2,0 metros.
- Apresentar nas formas maciça, blocos, nódulos, estratificadas e concreção (nódulos ferruginosos com cimento bauxítico).
- Estratigraficamente ocorrer sempre subjacente e concordante com a LF.
- “Granocrescência”, grau de cristalização e a razão bauxita / argila diminuïrem com a profundidade.
- Conteúdos de alumínio e de ferro diminuïrem e o da sílica aumentar com a profundidade.

### 3.7 MÉTODO DE LAVRA

O método de lavra é a sistematização e coordenação dos serviços de aproveitamento de uma jazida. A escolha do método de lavra é um ponto crucial durante o estudo de viabilidade econômica de um projeto mineiro. Seu principal objetivo é a utilização completa, segura e econômica das substâncias minerais com o mínimo de perturbação ambiental (LOBATO, 2012).

Assim, segundo Salles (2008), na fase de planejamento, a seleção é baseada em critérios geológico, social, geográfico e ambiental, todavia as condições de segurança e higiene devem ser garantidas durante toda a vida útil da mina. Os aspectos relativos à

estabilidade da mina, à recuperação do minério e à produtividade máxima também devem ser considerados.

O método de lavra é a técnica de extração do material. Isso define a importância de sua seleção, já que todo projeto é elaborado em torno da técnica utilizada para lavar o depósito. A metodologia adotada em determinado depósito é aquela que apresenta o menor custo unitário, considerando-se todas as condições operacionais envolvidas (SALLES, 2008).

### 3.7.1 Lavra em Tiras

Pimentel (2009) expõe que as características de disposição dos platôs da Mina de Paragominas conduzem aplicação do método de lavra em tiras (*strip mining*) para o aproveitamento racional da reserva. Este método tem aplicação consagrada nos depósitos em camadas, onde a remoção do minério e do estéril se dá ao longo de cortes paralelos com uma pequena largura e grandes comprimentos chamados de tiras, como podemos verificar na figura 7. O estéril removido de uma tira é depositado na tira lavrada anteriormente, promovendo assim o descobrimento do minério nessa tira. Com isso, tem-se uma minimização na distância de transporte do estéril e facilitação da exposição do minério, bem como agilidade nos processos de recuperação ambiental.



**Figura 7:** Lavra em tiras na mina de Paragominas.  
Fonte: Pimentel, 2009.

De acordo com PERONI (2007), o material de cobertura não é disposto para o depósito de estéril por meio de transporte, caminhões ou equipamentos que se deslocam por

estradas e acessos e sim por lançamento direto. Dessa forma, o manuseio de material consiste na escavação e transporte (por lançamento), geralmente combinados em uma única operação e executados por um único equipamento. Por isso a diferenciação em um método único é o que o faz uma técnica de alta produtividade e menor custo unitário dentre os métodos de ampla aplicação em lavra a céu aberto.

Porém, não é somente o fato de concentrar escavação e transporte em uma única operação que torna o método atrativo. O fato de permitir depositar o material estéril em áreas previamente mineradas significa que a taxa de exposição e pré descobertura em avanço é a mínima possível. Dessa maneira, a operação de decapeamento propriamente dita, fica concentrada em uma área bastante restrita. Além disso, a deposição de material estéril na sua posição de destino final permite que seja feita a recomposição do terreno imediatamente após a lavra (PERONI, 2007).

Pela característica dos depósitos onde são aplicados esse tipo de método (corpos planos, tabulares e extensos em área) e o padrão repetitivo, planos de lavra não necessitam ser tão elaborados quanto os planos de lavra em cava. Contudo, em terrenos mais acidentados ou em situações de mergulho acentuado da camada mineralizada, o conhecimento do comportamento da relação estéril minério (REM) e a definição dos limites econômicos de lavra são fundamentais (PERONI, 2007).

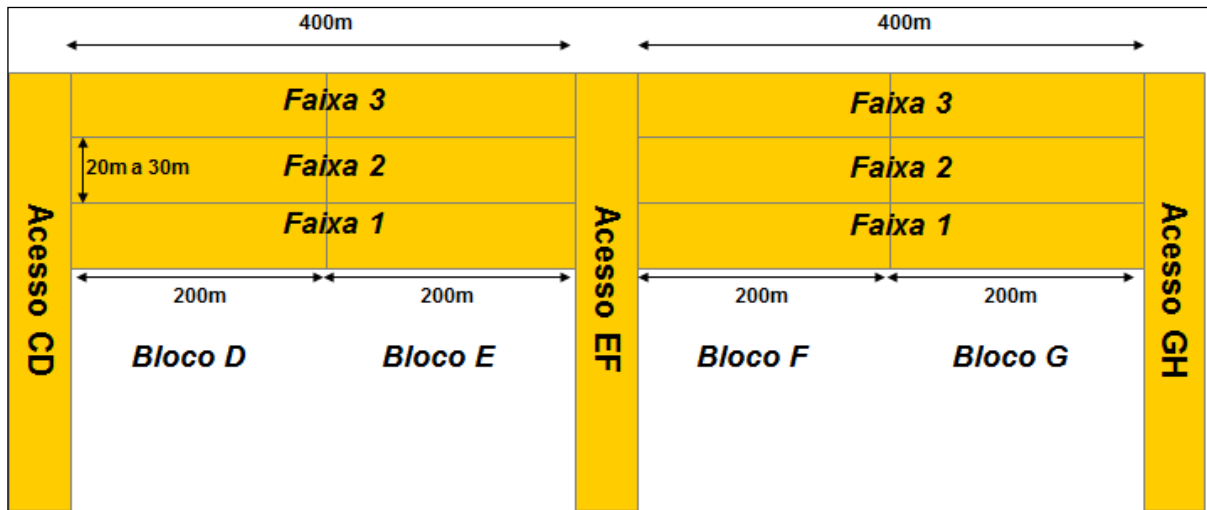
As principais aplicações para lavra em tiras são em mineração de camadas de carvão, arenitos oleosos, folhelhos pirobetuminosos, bauxita, fosfatos, bentonita. Esses são alguns dos bens minerais lavrados por esse método.

Analisando em uma óptica ambiental, o método de lavra em tiras pode ser considerado um dos mais corretos, devido conjugar as operações de lavra do minério com a disposição de estéril, evitando a ocupação de novas áreas e reduzindo assim, os impactos ambientais decorrentes da atividade.

### **3.7.2 Sistema de Lavra**

O depósito caracteriza-se por apresentar alta relação estéril/minério e por localizar-se em região com alto índice pluviométrico. Dessa forma, o sistema de lavra mais adequado caracteriza-se em dividir a mina (Platô M3) em blocos ordenados de A a Z, cada um com 200 metros de comprimentos e lavrados em faixas (tiras) de 25-30 m de extensão (Figura 8), que apresenta, além de baixos custos operacionais, boa flexibilidade, bem como razoável

segurança operacional nos períodos chuvosos. Nesse contexto, um dos pontos mais críticos será o decapeamento da camada de bauxita, em face da elevada relação estéril/minério e de sua característica argilosa.



**Figura 8:** Geometria das faixas.  
Fonte: Mendes 2013.

De acordo com Pimentel (2009), outra condição exigida do sistema é que apresente alta produtividade, em decorrência da pequena espessura da camada de bauxita, o que implica rápido avanço das frentes de lavra, para atender à escala de produção requerida. Esse sistema é constituído, basicamente, por um conjunto de tratores de esteiras CAT D11, Escavadeiras hidráulicas LIEBHERR 994, Hitachi EX2500 e CAT 777 para o decapeamento, e de Tratores de Esteiras CAT D11, Escavadeiras hidráulicas CAT 365, caminhões Rodoviário Scania de 35 t para a escarificação, escavação, carregamento e transporte de minério respectivamente, sendo estes apoiados por equipamentos auxiliares diversos, esse é o esquema do método de lavra tradicional.

Para a extração e transporte de bauxita, o sistema é o convencional e não há maiores problemas, mesmo em períodos de chuva, visto que os equipamentos trabalham sobre a camada de bauxita, e as estradas são compactadas e revestidas com laterita (PIMENTEL, 2009).

No entanto, na mina é utilizada também outra maneira de lavra, o método que usa o minerador de superfície. Este equipamento tem sua tecnologia Alemã e substitui em alguns processos os tratores de esteiras D11, escavadeiras, motoniveladoras, também não sendo necessário a britagem primária.

### 3.8 GENERALIDADES SOBRE TRATORES

Conforme Catalani (2007), o trator é uma unidade autônoma capaz de realizar inúmeras tarefas como tração ou até mesmo empurrar outras máquinas, podendo receber diversos implementos e assim ser destinado as mais variadas tarefas.

Este equipamento, dependendo do trabalho a ser realizado, pode ser encontrado montado sobre dois tipos de plataformas diferentes (Tabela 4), sobre esteiras (trator de esteiras) e pneumático (trator de pneus). Porém, ambos apresentam características comuns entre si como:

**TABELA 4:** Comparação das unidades de tração

	<b>Trator de Esteira</b>	<b>Trator de Rodas</b>
<b>Esforço trator</b>	Elevado	Elevado, limitado pela aderência
<b>Aderência</b>	Boa	Sofrível
<b>Flutuação</b>	Boa	Regular a má
<b>Balanceamento</b>	Bom	Bom
<b>Velocidade</b>	Baixa (<10km/h)	Alta (<70km/h)

Fonte: Catalani, 2007.

**Esforço Trator:** É a força que o trator possui na barra de tração (no caso de esteiras) ou nas rodas motrizes (no caso de tratores de rodas) para executar as funções de rebocar ou de empurrar outros equipamentos ou implementos;

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

**Aderência:** É a maior ou menor capacidade do trator de deslocar-se sobre os diversos terrenos ou superfícies revestidas, sem haver o patinamento da esteira (ou dos pneus) sobre o solo (ou revestimento) que o suporta;

**Flutuação:** É a característica que permite ao trator deslocar-se sobre terrenos de baixa capacidade de suporte, sem haver o afundamento excessivo da esteira, ou dos pneus, na superfície que o sustenta;

**Balanceamento:** É a qualidade que deve possuir o trator, proveniente de uma boa distribuição de massas e de um centro de gravidade a pequena altura do chão, dando-lhe boas condições de equilíbrio, sob as mais variadas condições de trabalho (CATALANI, 2007).

### 3.9 TRATORES DE ESTEIRA

Elevada importância é dada aos tratores de esteira CAT D11 na MPSA, (Figura 9), pois o mesmo além de ser uma unidade de tração básica das atividades de terraplenagem, também é responsável por cerca de 67% de toda movimentação de estéril, que é relativamente alta comparada com outras empresas que também realizam a extração de bauxita.



**Figura 9:** Trator de esteira.  
Fonte: Ferreira 2012.

Sempre que a mina desenvolve a abertura de uma nova frente de lavra, ou abertura de uma rampa ou de um acesso, o D11 é solicitado para dar início aos trabalhos que antecedem a produção. Qualquer falha operacional no D11, ou qualquer atraso pode causar uma perda de produtividade em todos os outros equipamentos.

Segundo Catalani (2007), os tratores de esteira possuem baixa velocidade locomoção, <10 km/h, o que lhe torna inviável (por razões financeiras) para realizar trabalhos que sejam necessários percorrer grandes distâncias, pois os tempos de ciclo ficariam muito grandes, ocasionando perda na produção. Sendo assim, a redução da distância percorrida pelo TE, implica em ganhos, dentre eles está incluso o objetivo principal. Como característica dos tratores de esteira, podemos destacar o seu elevado esforço trator que, aliado com a sua boa

aderência ao solo, lhe permite empurrar maiores quantidades de material sem que o mesmo venha a patinar, o que lhe deixa apto a trabalhar em rampas com declividades acentuadas.

Este equipamento apresenta uma boa aderência sobre o terreno, pelo fato de sua unidade de locomoção ser montada sobre esteira, formada por placas de aço rígidas, de vários tipos e tamanhos, unidas umas às outras de maneira que exista uma boa articulação entre si, o permitindo uma boa acomodação sobre as irregularidades. A aderência da esteira ao solo fica por conta de uma saliência chamada de garra, dependendo do tipo de trabalho a ser desenvolvido e a superfície em questão, o tamanho das garras podem variar. Aumentando a garra haverá uma maior aderência, porém, a manobra do equipamento será feita com maior dificuldade (CATALANI, 2007).

Por haver um maior contato entre esteira e terreno, sua pressão exercida ao solo é reduzida, o que permite a esta máquina realizar trabalhos que nenhum outro equipamento teria condições de conseguir.

Logo, o D11 é utilizado em operações que necessitem de bastante força para serem realizadas, pois o mesmo possui um maior rendimento. Portanto, sua introdução em determinada atividade possui a finalidade de aumentar a produtividade do empreendimento. No Manual de Produção Caterpillar estão presentes suas especificações técnicas (Tabela 5).



**TABELA 5:** Especificações técnicas dos tratores de esteira D11R e D11 CD

MODELO	D11R		D11R CD	
Potência no volante	634 KW	850hp	634 KW	850hp
Peso de operação	104.600 kg	230.100lb	113.000 kg	248.600lb
Modelo do motor	3508BTA		3508BTA	
RPM nominal do motor	1800		1800	
Nº de cilindros	8		8	
Diâmetro do cilindro	170 mm 6,7"		170 mm 6,7"	
Curso	190 mm	7,5"	190 mm	7,5"
Cilindrada	34,5 L	2105pol <sup>2</sup>	34,5 L	2105pol <sup>3</sup>
Roletes de esteira (cada lado)	8		8	
Largura de sapata padrão de esteira	710 mm	2'4"	915 mm	3'0"
Comprimento de esteira no solo	4,44m 14'7"		4,44 m	14'7"
Área de contato no solo (c/sapata padrão)	6,31 m <sup>2</sup>	9781pol <sup>2</sup>	8,13 m <sup>2</sup>	12.605pol <sup>2</sup>
Bitola de esteira	2,89m	9'6"	2,89 m	9'6"
<b>DIMENSÕES GERAIS</b>				
Altura (sem estrutura superior)**	3,61m 11'10"		3,61 m	11'10"
Altura (com toldo ROPS)	-		-	
Altura (com estrutura ROPS)	4,66m 15'3"		4,66 m	15'3"
Comprimento Total (Com Lâmina e Riper)	10,68m	35'0"	10,50 m	34'5"
(Sem Lâmina e Sem Riper)	6,16m 20'3"		6,16 m	20'3"
Largura (sobre munhão)	4,37m 14'4"		4,37 m	14'4"
Largura (sem munhão – sapata padrão)	3,60m 11'10"		3,60 m	11'10"
Altura livre	623mm 2'0,5"		623 mm	2'0,5"
Tipos e larguras de lâmina:				
Reta	-		6,71 m	22'0"
Reta angulável	-		-	
Universal	6,35m 20'10"		-	
Semi –U	5,60m 18'4"		-	
'P' Reta/Angulável	-		-	
Capacidade do tanque de combustível	1609 L	425galEUA	1609 L	425galEUA

Fonte: Manual de produção Caterpillar, 2000.

De acordo com Ricardo e Catalani (2007), se um trator de esteiras ou de pneus receber a adaptação de um implemento que o transforma numa unidade capaz de empurrar a terra, chama-se de unidade escavo-empurradora. Este implemento é denominado lâmina, e o equipamento passa a se chamar trator de lâmina ou "bulldozer". É um equipamento utilizado praticamente nas operações de terraplanagem, que abrangem desmatamento, decapeamento, abertura de acessos, abertura de rampas, desmonte mecânico utilizando escarificadores e outras.

Todas as lâminas têm sua seção transversal curva para facilitar a operação de desmonte e na parte inferior recebe uma ferramenta de corte, constituída de uma peça cortante

denominada “faca” da lâmina, nela parafusada. Nas extremidades, temos duas peças menores que são chamados de cantos da lâmina (CATTERPILA, 2000).

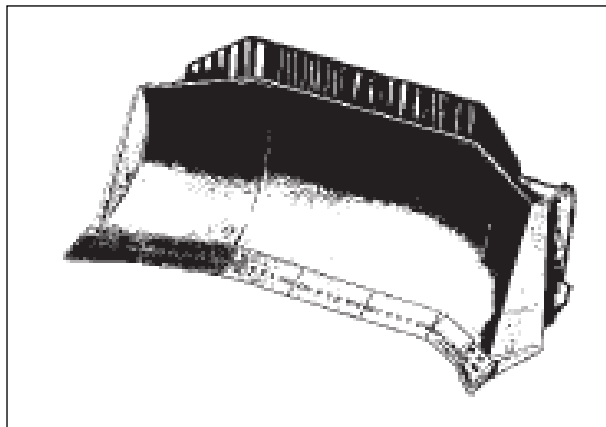
As lâminas são suportadas por braços laterais, fixados nos “chassis” da esteira, um de cada lado, e seu acionamento é do tipo hidráulico, feito por dois pistões de duplo efeito que sustentam a lâmina e são movidos pela pressão fornecida por uma bomba hidráulica de alta pressão.

Uma das principais vantagens consiste no fato de que esses dois pistões podem exercer um empuxo sobre o solo, forçando a lâmina ou, especialmente, a faca sobre a superfície a ser cortada, facilitando a operação. Além disso, nos materiais mais compactos e, portanto, mais difíceis de serem escavados, o empuxo aumenta bastante a eficiência da operação de corte, resultando em aumento da produção.

De acordo com as necessidades de utilização, existem hoje no mercado vários modelos de lâminas disponíveis para os mais variados tipos de trabalhos a serem realizados.

As lâminas utilizadas por modelos D11 Caterpillar disponibilizadas pela própria empresa são U - Universal e a SU - Semi-Universal e CD - CarryDoozer.

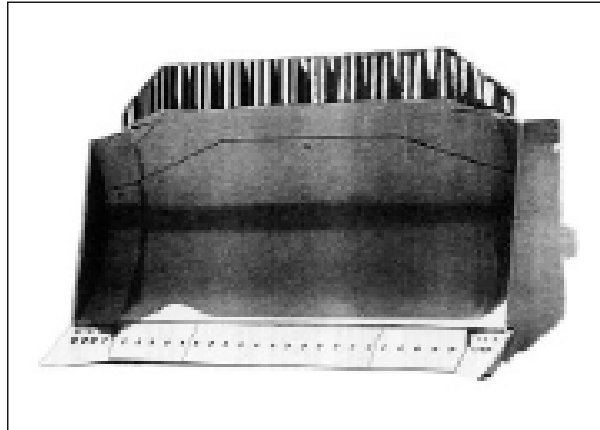
O modelo de lâmina U - Universal (Figura 10) apresenta grandes asas laterais lâmina, como é o caso das lâminas: que incluem pelo menos um canto e uma seção de borda cortante, o que a torna eficiente para realizar a movimentação de grandes cargas de material a longas distâncias, como o amontoamento de material e empilhamento para carregadeiras.



**Figura 10:** Lâmina U – Universal.  
Fonte: Manual de Produção Caterpillar, 2000.

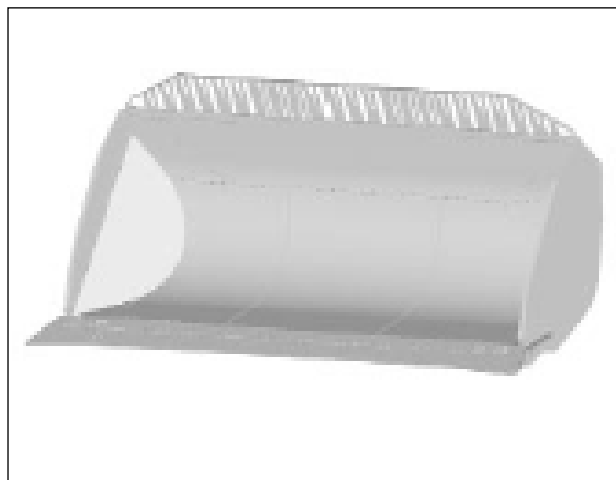
O modelo de lâmina SU - Semi-Universal tem maior aptidão graças ao acréscimo de duas asas que proporcionam melhor capacidade de retenção de carga e mantêm a capacidade da lâmina para penetrar e carregar rapidamente materiais fortemente compactados, Figura 11,

bem como acomodar uma variedade de materiais quando o trator está sendo usado em aplicações de produção (CATERPILAR, 2000).



**Figura 11:** Lâmina SU – Semi-Universal.  
Fonte: Manual de Produção Caterpillar, 2000.

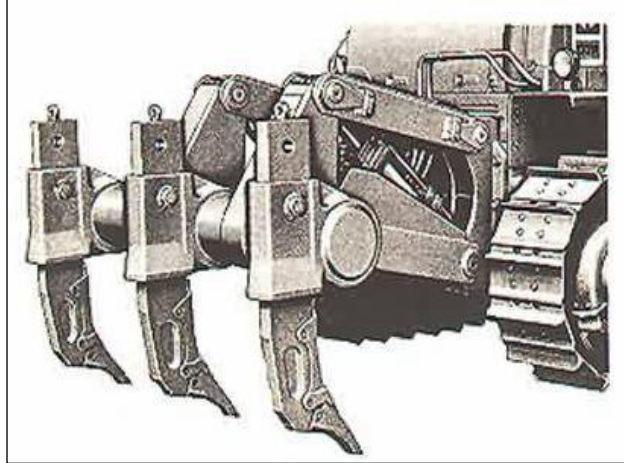
Conforme a Caterpillar (2000), a lâmina CD - CarryDoozer (Figura 12), é disponível apenas para o trator de esteira D11. A referida lâmina tem um formato especial de caçamba, que permite o transporte de material na lâmina, possui também uma maior capacidade de reter materiais pegajosos.



**Figura 12:** Lâmina CD – CarryDoozer.  
Fonte: Manual de Produção Caterpillar, 2000.

Outro implemento dos tratores de esteira são os Ríperes (Figura 13) mostrado no Manual Caterpillar, esta fundamentado em dois tipos de forças: Força de desagregação, dada em Newton (e libras), é a força máxima contínua gerada pelos cilindros de levantamento medidos na ponta do ríper; Força de penetração, dada em quilonewtons (e libras), é a força

máxima contínua para baixo gerada pelos cilindros de levantamento do ríper medidos em sua ponta.



**Figura 13:** Ríperes ou Escarificadores.  
Fonte: Manual Prático de escavação (2007).

### 3.10 PRODUTIVIDADES DE EQUIPAMENTOS

Para o cálculo da produção de qualquer equipamento, deve-se determinar o tempo de ciclo que, por sua vez, depende das velocidades desenvolvidas em qualquer trecho do trajeto. O ciclo produtivo analisado é basicamente composto pelas etapas de carregamento e transporte, que se iniciam com a chegada do caminhão a frente de lavra, fila para carregamento, manobra, carregamento, viagem do caminhão cheio, chegada ao local de basculamento, basculamento e viagem do caminhão vazio. (RICARDO, CATALANI, 2007).

Essa análise é 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. No geral, a produção de um equipamento é definida pela equação 1:

$$Q_{ef} = C \cdot \phi_1 \cdot \frac{1}{t_{c\ min}} \quad (1)$$

Onde:

$Q_{ef}$  = produção efetiva

$C$  = capacidade de caçamba

$\Phi_1$  = fator de empolamento

$T_{c\ min}$  = tempo mínimo de ciclo

$E$  = coeficiente de rendimento da operação

Entretanto, essa metodologia de cálculo não se aplica de forma prática em todos os tipos de equipamentos. Por exemplo, para tratores de esteira, realizamos levantamentos topográficos e dividimos pelas horas trabalhadas. No entanto, é de extrema importância analisar também os tempos de ciclo de cada equipamento e em cada processo.

Antes de analisar a produtividade de um sistema, é necessário definir alguns termos fundamentais que são utilizados quando se trata de produtividade de qualquer tipo de equipamento na mineração. Segundo HARTMAN (1992), estes termos são:

- 1. Produção:** Volume de material que deve ser movimentado em uma operação específica. Pode-se referir tanto ao mineral/minério a ser produzido (dado em peso), quanto ao material estéril (dado em volume).
- 2. Taxa de Produção:** O volume (ou massa) que um equipamento é capaz de produzir em uma unidade de tempo.
- 3. Produtividade:** A produção real por unidade de tempo quando todos os fatores de eficiência e gerenciamento forem considerados (Ex: t/h).
- 4. Eficiência:** A 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 às condições de trabalho.
- 5. Disponibilidade Física:** A fração do tempo de operação programado no qual um equipamento estará mecanicamente disponível para uso. A disponibilidade varia de acordo com a idade da máquina, condições de trabalho, a eficiência da manutenção preventiva, etc.
- 6. Capacidade:** Se refere ao volume de material que um equipamento de manuseio pode movimentar em qualquer momento no tempo.
- 7. Capacidade Nominal:** A carga que um equipamento pode carregar em termos de peso. A maioria das máquinas é projetada para carregar um determinado peso ao invés de um volume. Assim, o volume de material que poderá ser manuseado depende da densidade do material.
- 8. Fator de Empolamento:** Aumento percentual de volume de um material que ocorre quando este é fragmentado e removido de sua condição natural (Volume no Corte) e é depositado em um estado fragmentado (Volume Solto).
- 9. Fator de Enchimento da Caçamba:** Um ajuste à capacidade da 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:** É o tempo gasto pela máquina para executar uma operação completa (carregamento, transporte, descarga e retorno).

**a. Tempo Fixo:** É tempo gasto em carregamento e descarga, incluindo qualquer manobra que possa ser 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.

### 3.11 PRODUTIVIDADE DO TRATOR DE ESTEIRA

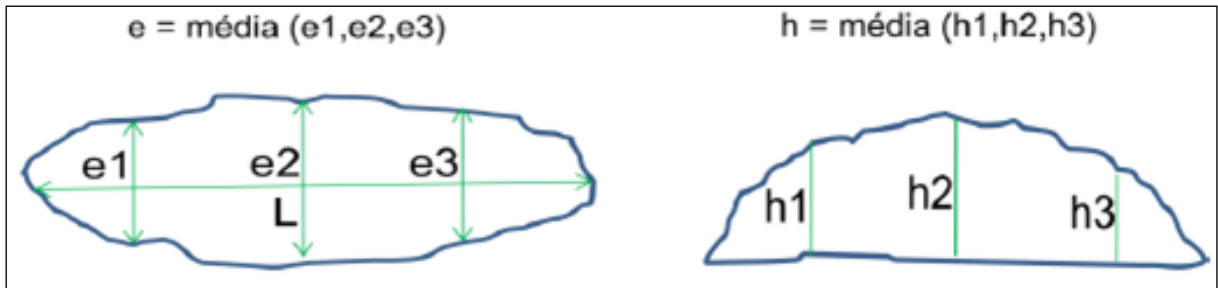
Para estimativa de produção de um trator provido de lâmina, usamos a fórmula básica equação 2.

$$Q = C \cdot \frac{1}{t_{c \text{ min}}} \cdot E \quad (2)$$

Há necessidade de se calcular a capacidade da lâmina, ou seja, a quantidade de terra solta acumulada a sua frente, após o corte. É estimado também, o tempo de ciclo mínimo gasto pelo trator para escavar, transportar e descarregar o material. Fórmula prática para o solo argiloso, equação 3.

$$C = 0,6 \cdot H^2 \cdot L \quad (3)$$

Outro processo bastante prático e de resultados mais corretos, consiste em escavar uma carga completa da lâmina, levando-a a uma área plana. Em seguida, levanta-se a lâmina, empurrando o material, como ilustra a Figura 14.



**FIGURA 14:** Estimativa da capacidade da lâmina.  
 FONTE: Ricardo e Catalani, 2007.

Após as medições topográficas dos volumes removidos como ilustra a Figura 12, determinamos a capacidade da lâmina pela equação 4:

$$C = \frac{3}{8} \cdot e \cdot h \cdot L \text{ (Solto)} \quad (4)$$

Admite-se para o cálculo do tempo de ciclo uma distância média de percurso, representada pela distância entre o centro de massa do corte e o do aterro, ou seja,  $D$ , com a rampa média. Os tempos variáveis de ida e retorno serão calculados em função da distância média  $D$ . Por outro lado, durante o ciclo do trator de lâmina, isto é, durante a escavação, transporte e descarga (espalhamento), os esforços tratores empregados para vencer as resistências opostas ao movimento são bastante desiguais. O ciclo pode ser dividido em três partes:

*i) Escavação ou corte*

Esforço trator máximo que pode ser aplicado à esteira, será definido através da equação 5.

$$E_{\max} \leq f \cdot P_m \quad (5)$$

Onde:

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

$P_m$  = Peso aderente =  $P_t$  = peso total da máquina.

$E_{\max}$  = esforços máximo aplicado.

*ii) Transporte ou empurramento do material*

Já concluída a escavação, o material fica solto e a lâmina apenas rasante em relação ao solo, reduzindo bastante o atrito de escorregamento, bem como o atrito interno dentro da massa em movimento . Esse valor pode ser calculado pela equação 6.

$$\mu = \frac{P_t \cdot F}{C \cdot \gamma_s} \quad (6)$$

Onde:

C = capacidade da lâmina

$\gamma_s$  = massa específica do solo solto

$\mu$  = coeficiente de atrito de carga

$P_t$  = 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.

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

Onde:

K = coeficiente de rolamento do trator

$P_t$  = peso total do trator

i = rampa (active)

Entretanto, esse modelo de calcular a produtividade somente é utilizado quando a empresa não possui equipamentos sofisticados, (Ex: equipamentos topográficos), geralmente as empresas que tem pequena produção realizam esse cálculo dessa forma.

Em empresas com grande produção, como é o caso da mina de Paragominas, a produtividade é a relação entre a produção ( $m^3$ ) obtida em um determinado trabalho e as horas efetivamente trabalhadas nesse serviço (Equação 8).

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



P =Produtividade

V = Volume ( $m^3$  ou toneladas)

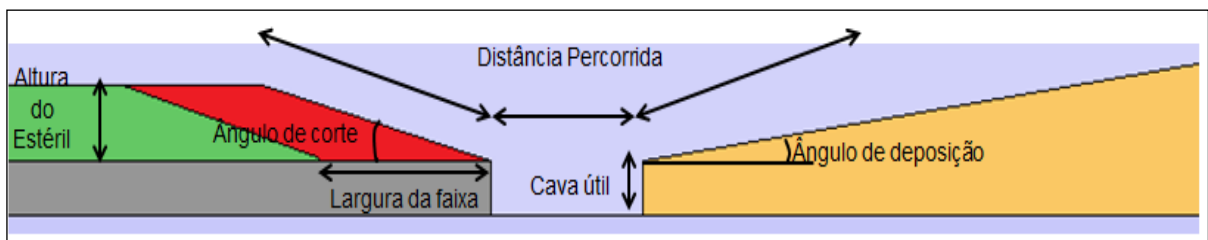
h = horas trabalhadas

Para análise de produtividade é necessário a realização de serviços topográficos, que apresenta grande importância para se obter o volume de estéril decapeado ao final da operação.

### 3.12 SOFTWARE DOZSIM

Este software é direcionado para tratores de esteira e é disponibilizado para empresas que adquirem esse equipamento. Trata-se de um programa com duas grandes áreas funcionais: a calculadora rápida, que permite que o usuário possa estimar os custos gerais de lâmina e taxas de produção; e a seção Pit, onde o usuário pode modelar graficamente a mina, estimar os custos e taxas de produção.

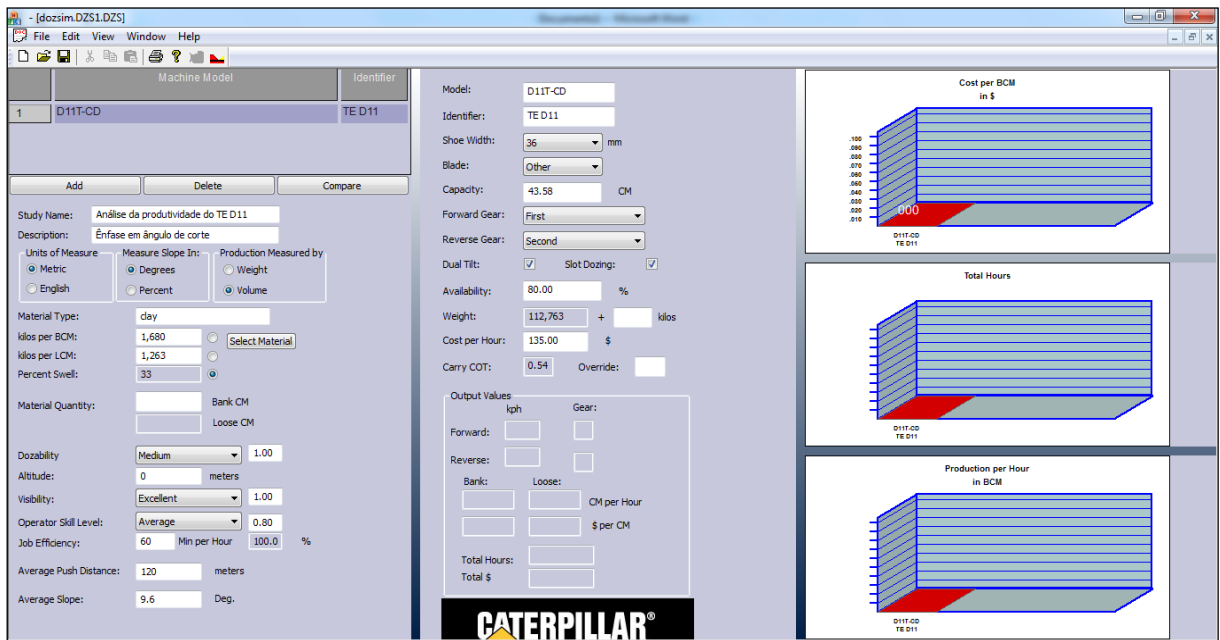
O programa, além de testar ângulos de cortes diferentes, também permite avaliar outras variáveis geométricas, como ângulo de deposição, largura da faixa, altura da camada de estéril, cava útil, entre outros. Essas variáveis são apresentadas na Figura 15.



**Figura 15:** Perfil da lavra de bauxita em Paragominas, ilustrando variáveis geométricas.

O grande objetivo deste software é direcionar ações que deverão ser tomadas em campo e tentar alimentá-lo com a maior quantidade de dados práticos.

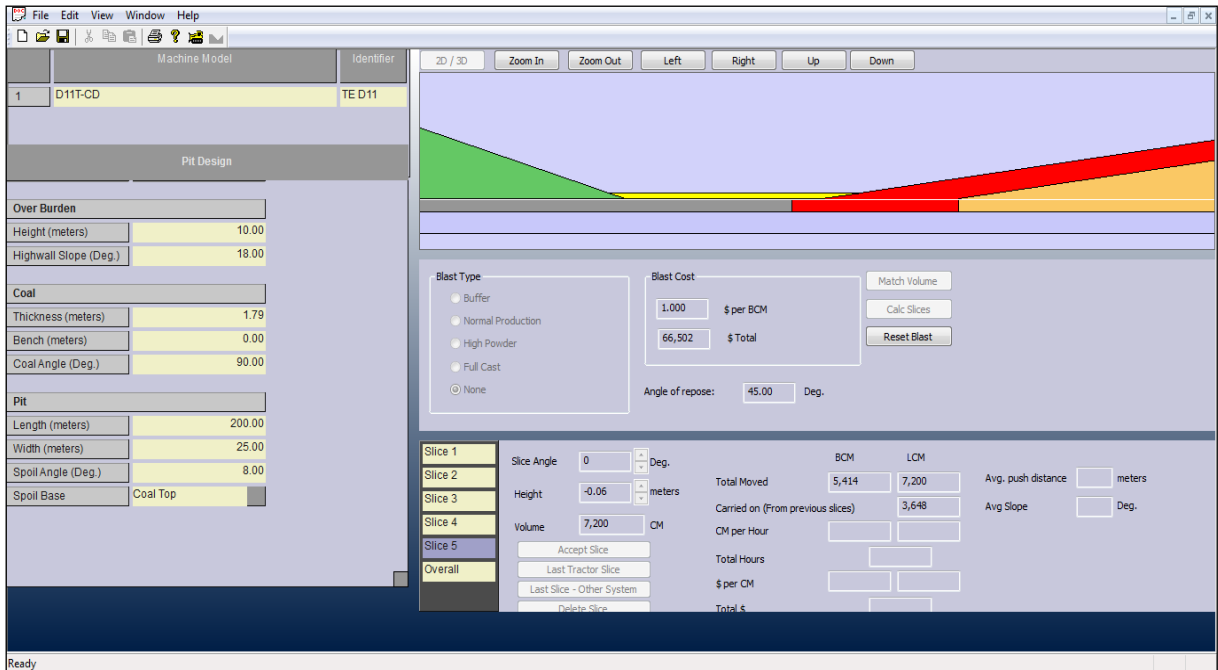
Na página inicial do programa (Figura 16) há opções para a seleção do trator, unidades de medida, inclinação, descrição do material e visibilidade do operador, bem como campos para entrada de dados da mina, como fator de empolamento, altitude e eficiência do operador, além de informações que já são inseridas pelo fornecedor em função do modelo escolhido.



**Figura 16:** Página inicial do software Dozsim.

Fonte: Software Dozsim.

Além disso, há a seção Pit (Figura 17), onde é realizada toda a descrição da cava, como a altura de estéril, ângulo de corte, altura da cava útil, comprimento e largura da faixa, e ângulo de deposição. Assim, obtêm-se o modelo da cava à medida que são preenchidas as informações e os cortes são confirmados. É também o local onde são definidas a forma em que o trator realizará os cortes, a quantidade de material que será carregado e depositado a cada corte, total que está sendo movimentado, volume, entre outros.



**Figura 17:** Página inicial do Pit.  
 Fonte: Software Dozsim.

Ao final dos cortes o software produzirá uma tabela com alguns valores, total movimentado em todo o desmonte, produtividade, total de horas gastas, custos entre outros (Figura 18).

Slice 1	Blast Totals				
Slice 2	Total Moved	66,502	BCM	88,447	LCM
Slice 3	Avg \$ per CM	1,000	BCM	0,752	LCM
Slice 4	Total \$	66,502			
Slice 5	Dozing Totals				
Overall	Total Moved			81,780	LCM
	Carried On			43,313	LCM
	Avg CM per Hour			1,126	LCM
	Total Hours	73			
	Avg \$ per CM	135			
	Total \$	9,807			

**Figura 18:** Tabela com os resultados da simulação.  
 Fonte: Software Dozsim.

### 3.13 OPERAÇÕES UNITÁRIAS EM PARAGOMINAS

De acordo com as características da Mina de Paragominas, onde o material de superfície é constituído de solos, as operações básicas se enquadram no ciclo de operação de terraplenagem. Examinando-se a execução de quaisquer serviços de terraplenagem, podem-se distinguir quatro operações básicas que ocorrem em sequência, ou, às vezes, com simultaneidade: escavação; carga do material escavado; transporte e descarga e espalhamento.

Essas operações básicas podem ser executadas pela mesma máquina ou por equipamentos diversos. Exemplificando: um trator de esteira provido de lâmina, executa sozinho todas as operações acima indicadas, sendo que as três primeiras com simultaneidade. Porém, há outros que apenas efetuam parte das operações indicadas. As unidades escavocarregadoras apenas executam as duas primeiras. Para completar as outras duas operações, temos que empregar outro equipamento independente: unidade transportadora. (RICARDO, CATALANI, 2007).

As operações que integram o sistema de lavra da mina de Paragominas são descritos de forma sucinta, e ilustrada na Figura 19.

- Supressão vegetal;
- Decapeamento da camada de bauxita;
- Raspagem, carregamento e transporte de laterita;
- Escarificação, Escavação, carregamento e transporte de bauxita;
- Reabilitação de áreas degradadas;



**Figura 19:** Resumo das operações de lavra.  
 Figura: Mendes, 2013.

### 3.13.1 Supressão Vegetal

As operações florestais são um conjunto de técnicas e procedimentos de retirada de toda floresta e solo orgânico das áreas planejadas e corretamente delimitadas, sendo somente iniciadas com a autorização da área de meio ambiente (LOBATO, 2012).

Estas atividades visam deixar a área pronta para o decapeamento de estéril. As operações florestais são compostas por operações de supressão vegetal com trator de grande porte, equipado com uma gaiola especial de proteção contra possíveis acidentes por queda de galhos ou árvores, espalhamento de galhadas e madeira inútil para picagem por motosserras, picagem e descarte de galhada e madeira inútil, abatimento de árvores grossas e aproveitáveis, retirada e transporte de solo orgânico para as áreas de reflorestamento, como podemos visualizar na figura 20(LOBATO, 2012).

Uma ação importantíssima para garantir a manutenção da biodiversidade local e minimizar os impactos sobre o meio biótico em atendimento a condicionantes ambientais. Resgate da Fauna e Flora. Esse resgate é coordenado pela equipe de infraestrutura de mina e realizado em campo por empresas terceirizadas (FERREIRA, 2012).

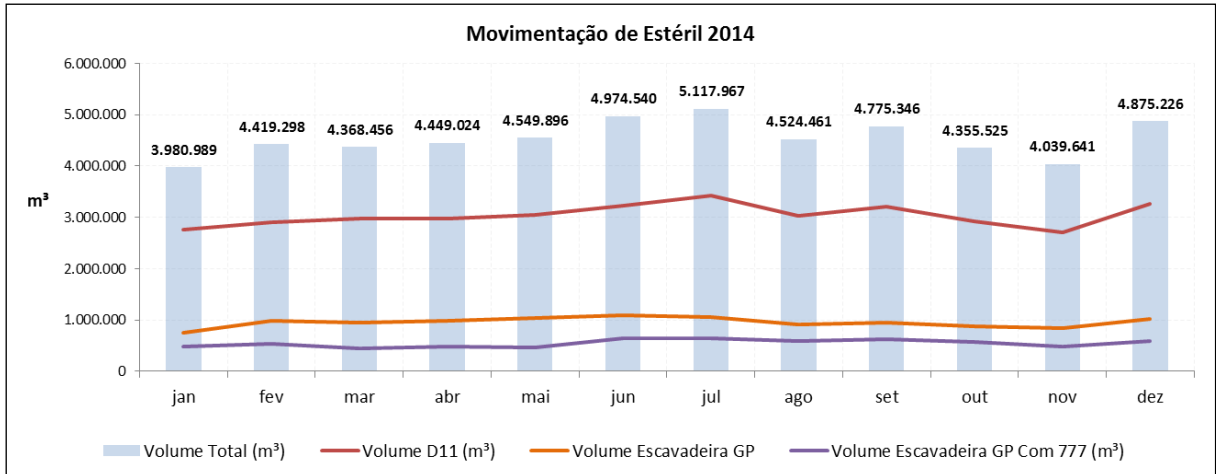


**Figura 20:** Supressão vegetal.

### **3.13.2 Decapeamento da camada de estéril.**

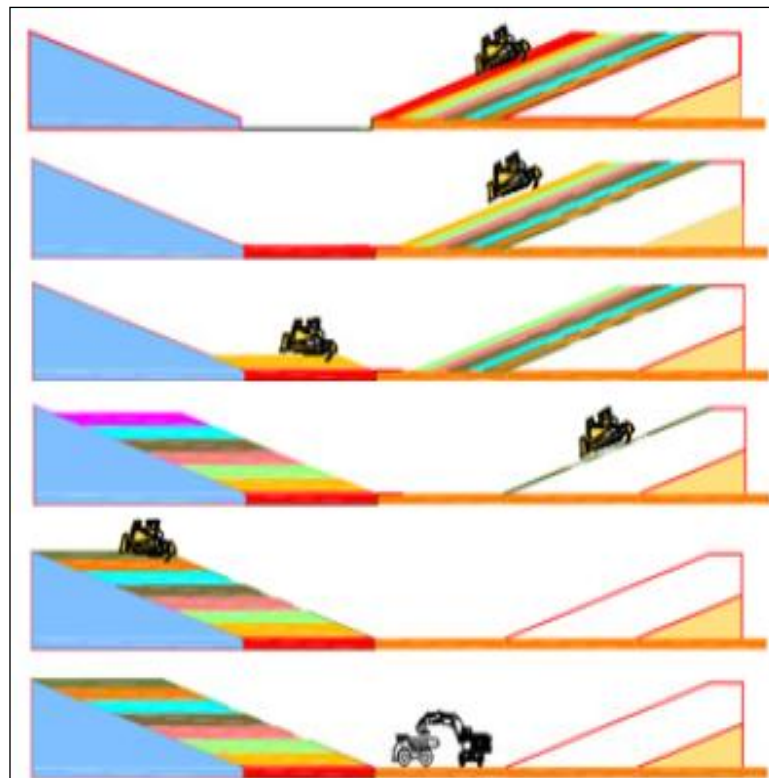
Como a utilização dos tratores de esteira D11 nas operações de decapeamento é de suma importância, é necessário saber como é dado o funcionamento da retirada dessa camada de estéril. Logo, é imprescindível falar sobre esta fase da operação que integra o sistema de lavra na mina. Sendo assim, decapear a camada de estéril significa remover os horizontes: argila amarela ou argila belterra, bauxita nodular e laterita ferruginosa. Nesta fase, tem-se como objetivo do decapeamento, expor a camada de minério (bauxita) para desmonte mecânico e posterior escavação e transporte para as instalações de beneficiamento do minério.

A jazida da Mineração Paragominas S.A. (MPSA) é diferenciada por ser composta de elevadas camadas de estéril variando de 8-19 metros de profundidade, tornando-se diferente principalmente quando comparada com outras minas do estado do Pará, fazendo-se necessária a criação de estratégia nas operações de decapeamento, utilizando escavadeiras hidráulicas de grande porte, caminhões fora de estrada e tratores de esteiras D11, sendo este responsável por cerca de 67% de toda movimentação (2014), como podemos verificar na figura 21(FERREIRA, 2012).



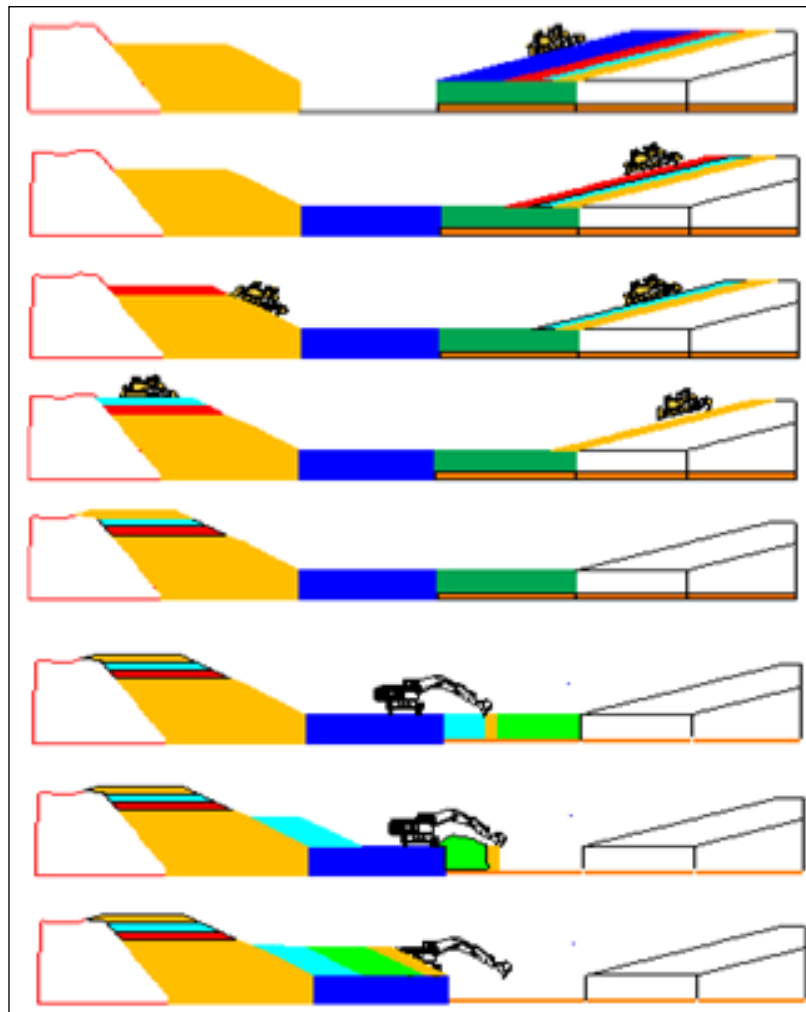
**Figura 21:** Movimentação de estéril em 2014.

Desse modo, foi possível verificar que por causa das diversas profundidades do corpo mineralizado, a espessura da camada de estéril varia bastante. Diante desse fator, são empregados três modelos de decapeamento: O primeiro tipo é realizado quando a altura de estéril é até 8 metros, neste caso o decapeamento é direto (somente com Trator de esteira D11), ilustrado na figura 22.



**Figura 22:** Altura de estéril de até 8 metros.  
Fonte: Ferreira, 2012.

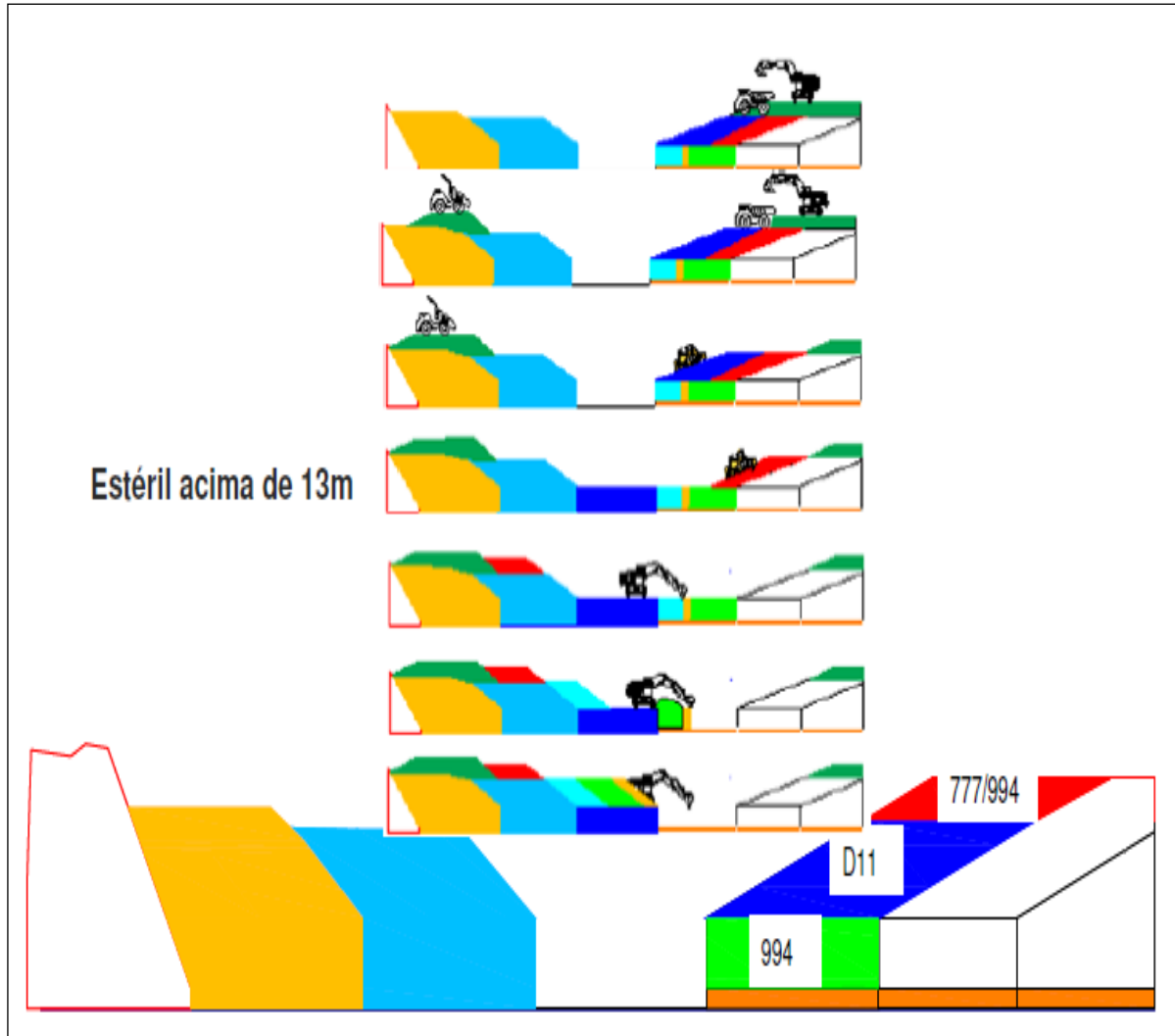
Já o segundo modelo de decapeamento, demonstrado na figura 20, é utilizado quando a camada de estéril tem a altura entre 8 e 13 metros, o trator de esteira inicia o pré corte, em seguida a escavadeira hidráulica retira os últimos 04 metros de estéril, expondo assim, a camada de bauxita.



**Figura 23:** Altura de estéril está entre 8 e 13 metros.  
Fonte: Ferreira, 2012.

No terceiro tipo de decapeamento, que é executado quando a camada de estéril está acima de 13 metros, é feito primeiramente um rebaixo com escavadeira hidráulica de 18m<sup>3</sup>, juntamente com caminhões fora de estrada CAT 777 de 60m<sup>3</sup>. Posteriormente o trator de esteira inicia o pré corte, em seguida a escavadeira retira os últimos 04 metros de estéril, ilustra a figura 24.





**Figura 24:** Altura de estéril está acima de 13 metros.  
Fonte: Ferreira, 2012.

A figura 25 mostra, na prática, como é realizado esses modelos de decapeamento, que pode ser somente com TE; TE + EH; ou TE, TE + EH e EH +777CAT.



**Figura 25:** As três maneiras de retirar o decapeamento.

### **3.13.3 Raspagem, Carregamento e Transporte da Laterita**

A laterita, por ser um material rico em ferro e possuir nódulos soltos e resistentes, requer bastante esforço na sua raspagem. Logo depois da escarificação, a laterita é raspada pelos tratores D11R e D8T, sendo carregada por escavadeiras hidráulicas CAT 365 CL e pás carregadeiras, e transportada em caminhões basculantes para vias de acesso para ser utilizada como forro, aumentando a aderência do piso (PIMENTEL, 2009).

### **3.13.4 Escarificação, Escavação, Carregamento e Transporte da Bauxita**

A MBP possui dois métodos de carregamento e transporte de bauxita, ambos em plena operação. Entretanto, o método com Minerador de Superfície (SM) tem maior produtividade e menor custo de operação, comparado ao método tradicional. Apesar da ótima produtividade do Minerador de superfície, o método de escavação com EH CAT 365 CL ainda é utilizado porque a Mineração Paragominas possui apenas três Mineradores na Frota, que são insuficientes para atender às demandas de produção (FERREIRA, 2012).

#### **3.13.4.1 Método Tradicional**

A escarificação ocorre na camada de bauxita cristalina que é bastante compacta e, devido à resistência ao corte, é necessário a desagregação do material. Para diminuir os impactos ambientais, substitui-se o uso de explosivos pelo uso de escarificadores, implemento de garras que são posicionadas na parte traseira do trator CAT D11, movimentando-se para baixo e para cima através de acionamentos hidráulicos, “afrouxando” a camada presa.

Depois da escarificação, a superfície é regularizada com Motoniveladora, para facilitar o trabalho da escavadeira e possibilitar o tráfego de caminhões que transportam a bauxita até a britagem primária. A bauxita é escavada por EH CAT 365 CL, carregando o minério em caminhões rodoviários Scania P420. Diante da pequena espessura da camada de bauxita, o alcance da lança é mais que suficiente, permitindo um bom controle do operador para seletividade na escavação. A Figura 26 ilustra todo o método tradicional de carregamento de bauxita (PIMENTEL, 2009).



**Figura 26:** Método tradicional de carregamento de bauxita utilizando EH CAT 365CL.  
Fonte: Mendes, 2013.

#### 3.13.4.2 Método com Minerador de Superfície

A implantação do minerador de superfície (figura 24) tem como objetivo principal a redução dos custos operacionais e investimentos, substituindo os tratores de esteira D11 no processo de escarificação e recuperação de fundo de cava, a escavadeira CAT 365 no carregamento de minério, a motoniveladora no nivelamento da praça após a escarificação, proporcionando a possibilidade de operação com caminhões de maiores capacidade e, com a obtenção da curva granulométrica e blendagens adequadas, substitui a britagem primária, obtendo assim, ganhos mais significativos.

Para extrair a bauxita o equipamento é controlado eletronicamente através de comandos que regulam a altura de corte, velocidade e ângulo de carregamento. O corte do minério é efetuado por pontas de aço chamadas de “BITS” posicionadas na parte inferior central, reduzindo a granulometria até 2mm no máximo. Depois de cortada a bauxita é transportada automaticamente para o caminhão rodoviário Scania através da correia transportadora própria do equipamento.

Posicionando a correia a 90° possibilita uma melhor visibilidade para o operador do SM, facilitando o posicionamento do caminhão e minimizando o derramamento de material durante o carregamento, aproveitando adequadamente a capacidade da caçamba. A figura 26 mostra as operações praticadas pelo SM (FERREIRA, 2012).



**Figura 27:** Minerador de superfície fazendo o carregamento da bauxita.

### 3.13.5 Transporte do Minério

O transporte da bauxita é efetuado por caminhões basculantes (figura 28), até a britagem primária. O caminhão carregado nas frentes de lavra transita sobre a camada de bauxita até um dos acessos perpendiculares às tiras, por onde faz o restante do percurso até o britador primário. Esses acessos foram projetados a um espaçamento máximo de 400 m, uns dos outros. Os acessos são revestidos com laterita e a manutenção constante garante a boa condição de tráfego dos caminhões durante todo o ano. O trecho sobre a camada de bauxita não apresenta problemas, dada sua própria característica (FERREIRA, 2012).



**Figura 28:** Transporte do minério por caminhões rodoviários.  
Fonte: Mendes, 2013.

### 3.13.6 Preparo para Reabilitação

O compromisso da empresa consiste em destinar 80% das áreas reabilitadas como reserva legal e 20% da área para outros usos (Figura 29).

Dentre as diferentes possibilidades de utilização dos 20% da área, inclui-se a pastagem, a plantação de espécies para fornecimento de produtos madeireiros e não madeireiros, de frutos, sementes, folhas e galhos para utilização na alimentação, na indústria farmacêutica e de perfumaria. Essas alternativas de uso serão definidas em função de experimentos a serem desenvolvidos com espécies nativas e também considerando as demandas locais e regionais por determinados produtos (FERREIRA, 2012).



**Figura 29:** Preparando a área para recuperação.

### 3.13.7 Etapas da Recuperação

*i) Curto prazo:* recomposição da topografia do terreno, controle da erosão e correção dos níveis de fertilidade do solo, amenização do impacto na paisagem e controle da deposição de estéreis e rejeitos.

*ii) Médio prazo:* sucessão vegetal, restauração das propriedades físicas e químicas do solo, ciclagem dos nutrientes e reaparecimento da fauna.

*iii) Longo prazo:* auto sustentação do processo de recuperação, inter-relacionamento dinâmico entre solo-planta-animal e utilização futura da área (PIMENTEL, 2009).



**Figura 30:** Foto aérea com os plantios das mudas, em seguida, a área depois de recuperada.  
Fonte: Mendes, 2013.

## 4 METODOLOGIA

Sabe-se que na avaliação da produtividade têm-se algumas variáveis que influenciam na mesma (ângulo de corte, ângulo de deposição, largura da cava, altura da camada de estéril, cava útil, habilidade do operador, condições do equipamento, tipo de lâmina, entre outros). Neste trabalho, será abordado o aumento da produtividade dos tratores através do aumento do ângulo de corte e, conseqüentemente, redução da distância de transporte.

O software Dozsim foi o programa utilizado para verificar a produtividade através de simulações com diferentes ângulos de corte e comparação destes resultados com testes práticos em campo.

### 4.1 SIMULAÇÕES COM O SOFTWARE DOZSIM

As simulações foram realizadas no software DOZSIM, onde foi possível verificar a possibilidade de mudança dos ângulos de corte do material, com a intenção de aumentar a produtividade. Com isso, as operações que antes eram executadas sob os ângulos entre 13°, 14° e 15°, passaram para 17°, 18° e 19°.

Simulação com ângulo de 13° (Figura 31).

<b>Over Burden</b>	
Height (meters)	10.00
Highwall Slope (Deg.)	13.00
<b>Coal</b>	
Thickness (meters)	1.79
Bench (meters)	0.00
Coal Angle (Deg.)	90.00
<b>Pit</b>	
Length (meters)	200.00
Width (meters)	25.00
Spoil Angle (Deg.)	8.00
Spoil Base	Coal Top

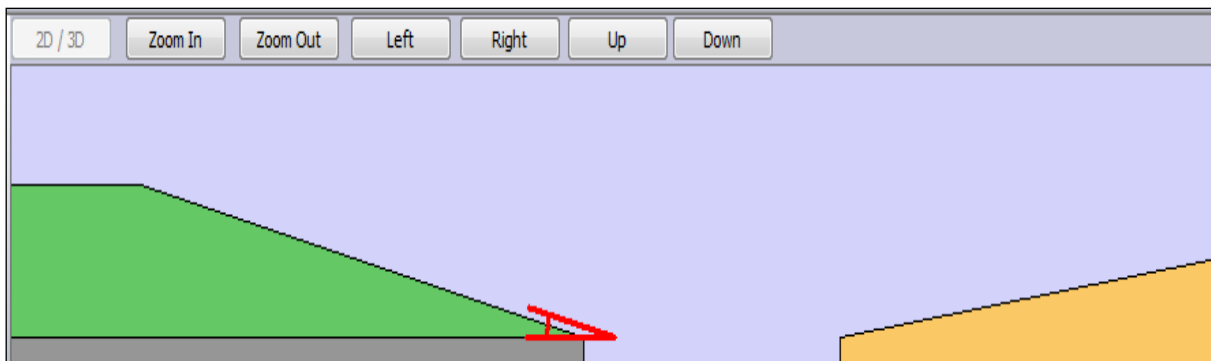
**FIGURA 31:** Recorte da página inicial do software, com análise no ângulo de 13°.  
FONTE: Software Dozsim.

Assim, as simulações foram realizadas modificando apenas a variável geométrica ângulo de corte ( $13^{\circ}$ – $19^{\circ}$ ). Os outros dados utilizados nas simulações (altura da camada de estéril, espessura da camada de bauxita, ângulo de deposição, etc.) foram fornecidos pela topografia (Tabela 6).

**TABELA 6:** Dados fixos utilizados nas simulações

Dados fixos	Valores
Altura da camada de estéril	10 m
Espessura da camada de bauxita	1,79 m
Ângulo da camada de bauxita	$90^{\circ}$
Comprimento da cava	200 m
Largura da cava	25 m
Ângulo de deposição	$8^{\circ}$

Foram realizados quatro cortes para cada simulação dos ângulos de corte analisados.



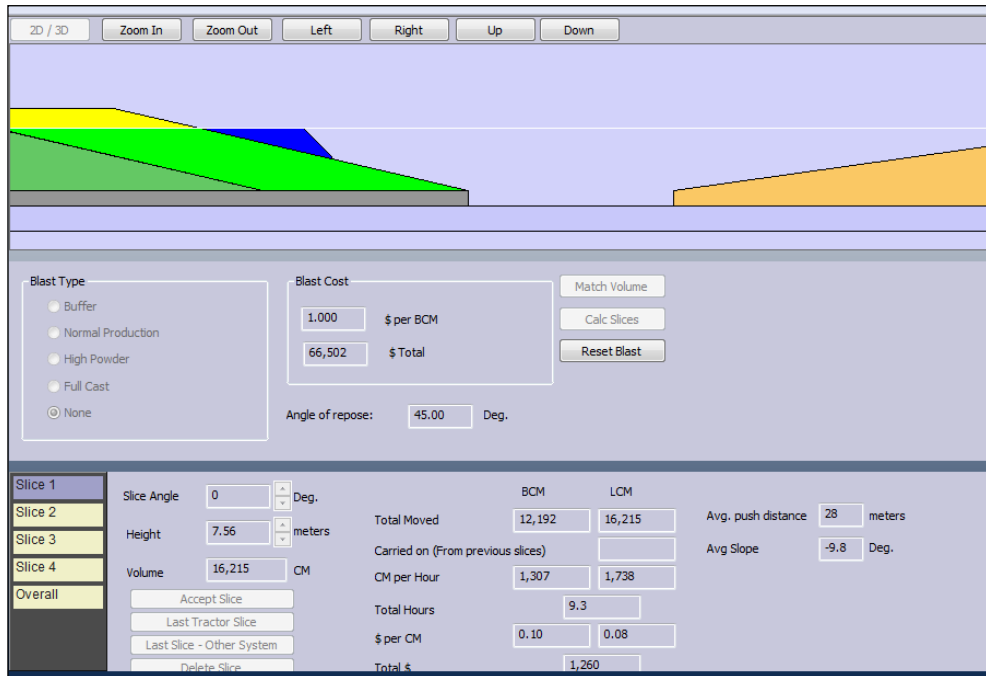
**Figura 32:** Ilustração do ângulo de corte.

Fonte: Software Dozsim.

Essa linha em branco na figura abaixo representa o trator fazendo a retirada do estéril e depositando na faixa que foi lavrada anteriormente.



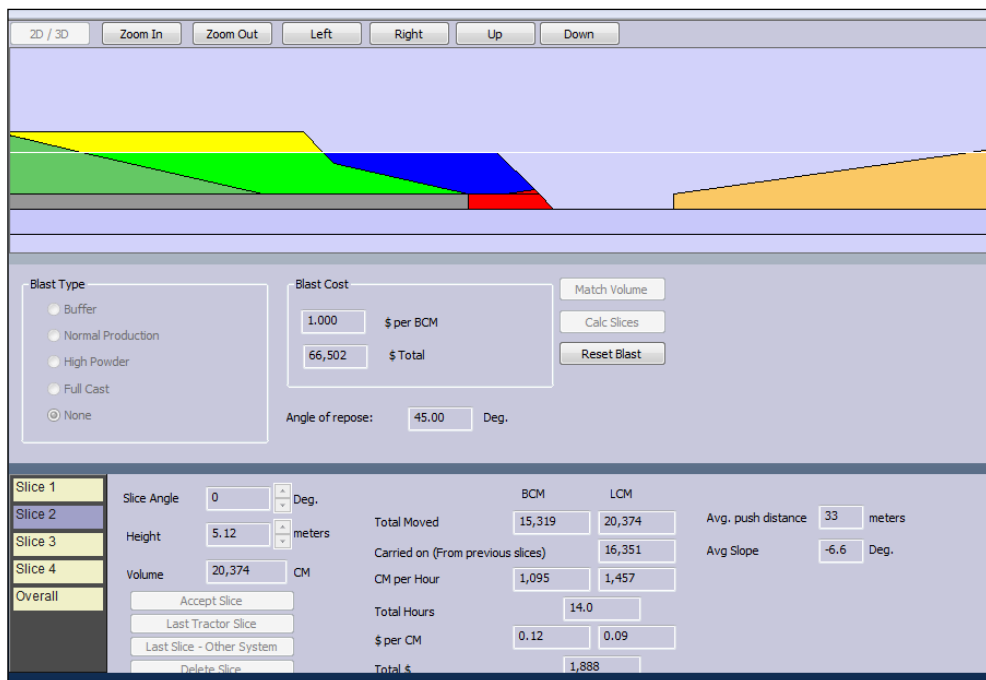
## 1° Corte



**Figura 33:** Primeiro corte no ângulo de 13°.

Fonte: Software Dozsim.

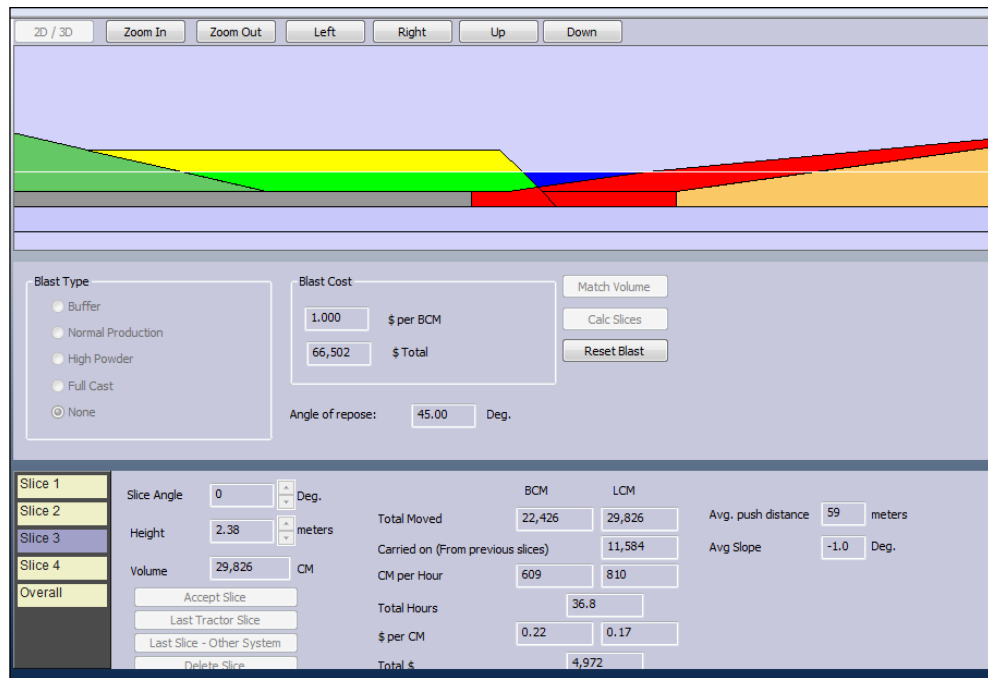
## 2° Corte



**Figura 34:** Segundo corte no ângulo de 13°.

Fonte: Software Dozsim.

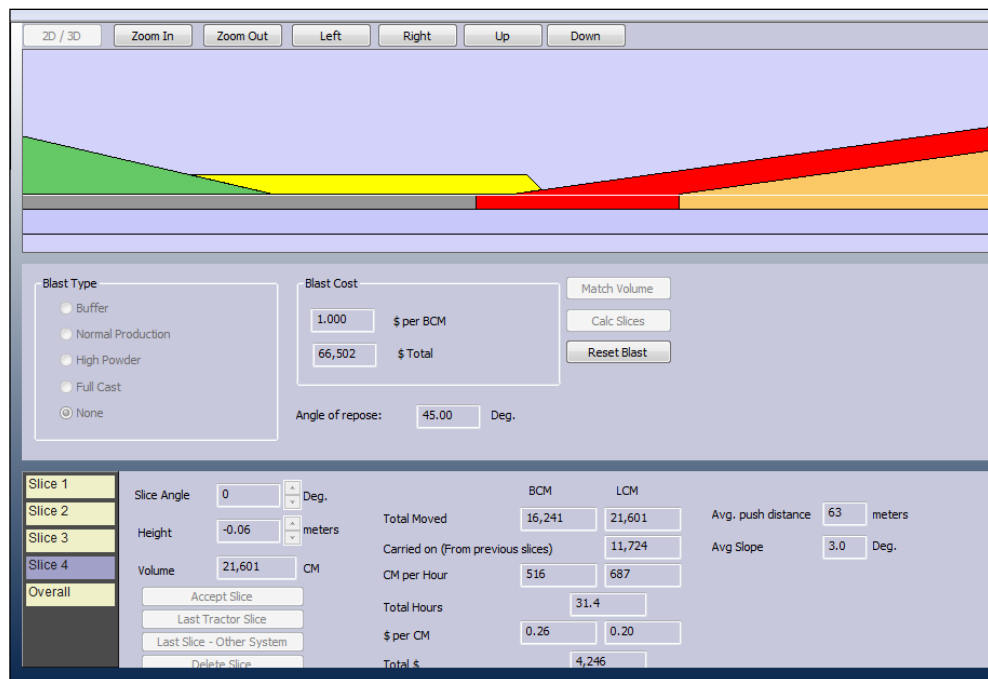
## 3° Corte



**Figura 35:** Terceiro corte no ângulo de 13°.

Fonte: Software Dozsim.

## 4° Corte



**Figura 36:** 4° corte no ângulo de 13°.

Fonte: Software Dozsim.

Para todos os ângulos de 14°, 15°, 16°, 17°, 18° e 19° foi feito o mesmo procedimento, inclusive com a mesma altura entre os cortes.

#### 4.2 DETERMINAÇÃO DA DISTÂNCIA DE RECUO

Também determinou-se a distância média de recuo do trator em função do ângulo de corte. Para isso, dividiu-se a altura da camada de estéril pela tangente do ângulo de corte, conforme a equação 9.

$$\text{DMR} = \frac{H}{\text{tg}(\text{ângulo de corte})} \quad (9)$$

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 DETERMINAÇÃO DA PRODUTIVIDADE EM FUNÇÃO DO ÂNGULO DE CORTE

Ao fim dos cortes obteve-se uma tabela com os resultados de produtividade, total movimentado em todo o desmonte, total de horas gastas, custos, entre outros. Por fim, foram comparados os resultados de todas as simulações de modo a obter o aumento da produtividade em função da variação do ângulo de corte.

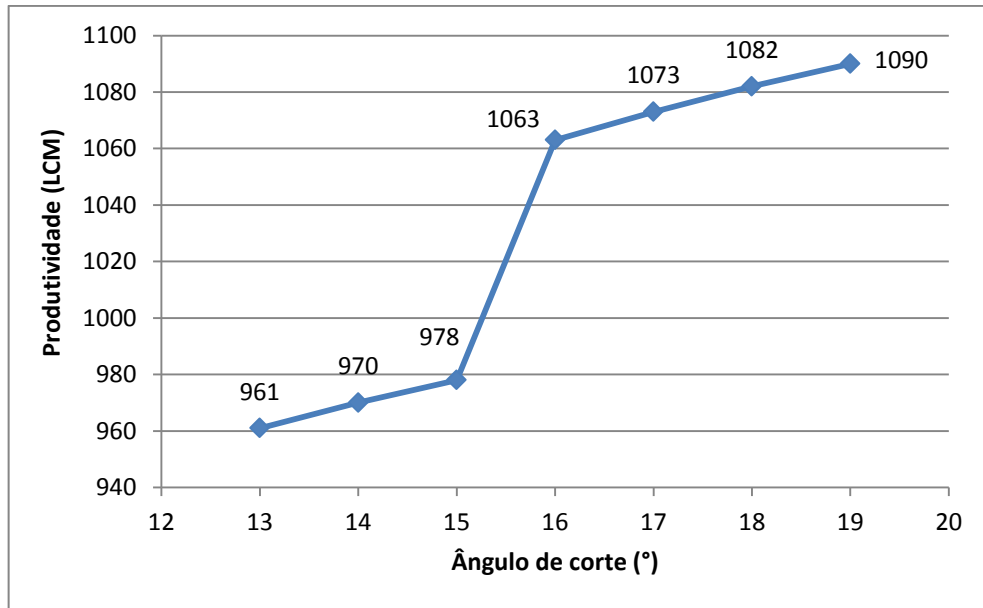
Para o ângulo de 13° foram obtidos os seguintes resultados (figura 36):

Slice 1	<b>Blast Totals</b>			
Slice 2	Total Moved	66,502	BCM	88,447 LCM
Slice 3	Avg \$ per CM	1.000	BCM	0.752 LCM
Slice 4	Total \$	66,502		
Overall	<b>Dozing Totals</b>			
	Total Moved			88,016 LCM
	Carried On			39,658 LCM
	Avg CM per Hour			961 LCM
	Total Hours	92		
	Avg \$ per CM	135		
	Total \$	12,365		

**Figura 37:** Resultados para corte no ângulo de 13°.

Fonte: Software Dozsim.

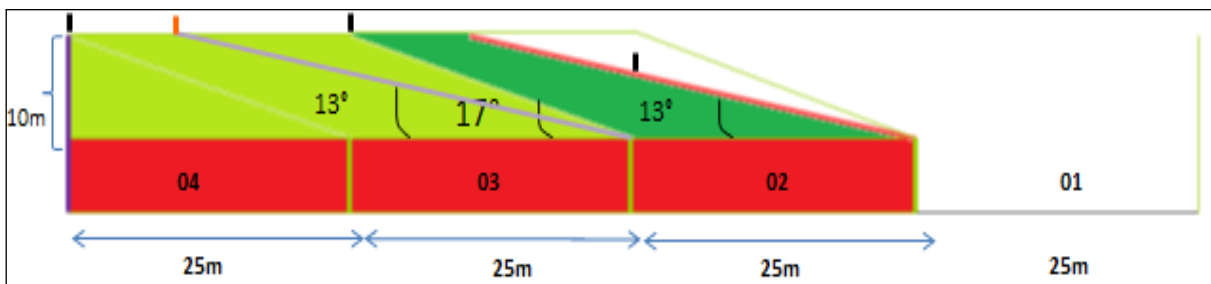
Como podemos observar na figura 38, à medida que aumentamos o ângulo de corte a produtividade do trator de esteira D11 aumenta. A produtividade que inicialmente era de 961 LCM (m<sup>3</sup> empolado) para o ângulo de 13°, chegando até 1,090 LCM para o ângulo de 19°.



**Figura 38:** Resultado da produtividade do D11 para cada ângulo simulado.

## 5.2 DETERMINAÇÃO DA DISTÂNCIA DE RECUO

As figuras 39 e 40 mostram a relação entre a variação do ângulo de corte e a distância de recuo. Estas variáveis são inversamente proporcionais, de modo que a distância de recuo aumenta quando trabalhamos com ângulos mais suaves e diminui com ângulos de corte mais íngremes.



**FIGURA 39:** Ilustração para o ângulo de 13°.

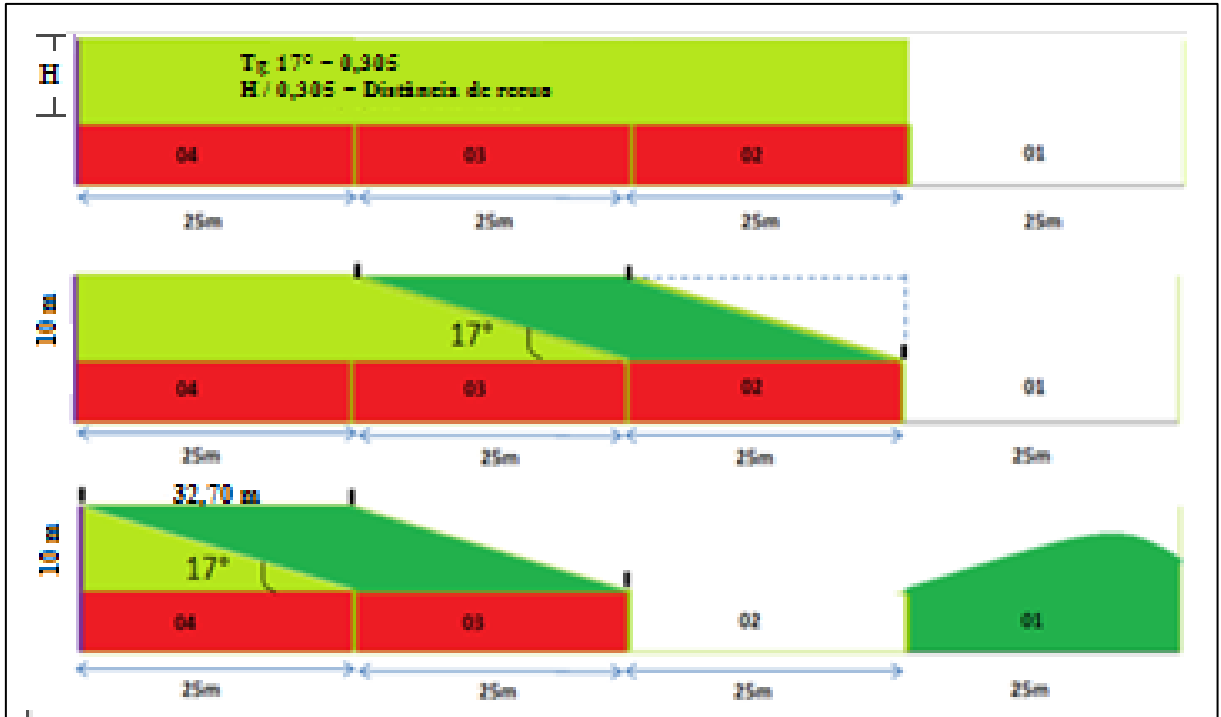


Figura 40: Ilustração para o ângulo de 17°.

No figura 41 é possível confirmar que os valores da distância de recuo para cada ângulo estudado diminuem consideravelmente na medida em que é aumentado o ângulo de corte.

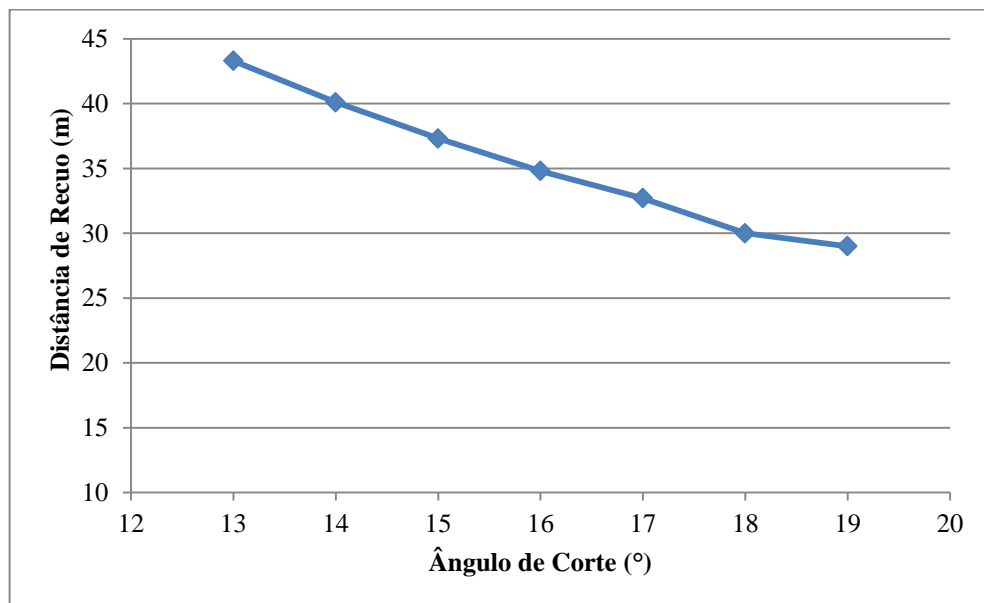


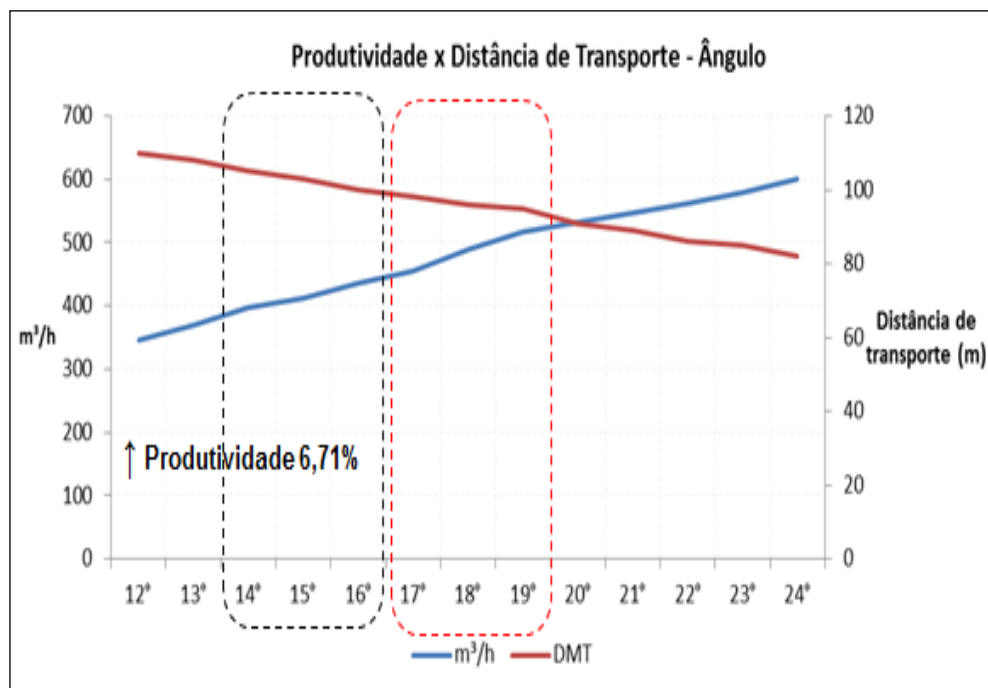
Figura 41: Ilustração da distância de recuo para todos os ângulos simulados.

Assim, tem-se que a utilização de ângulos de corte mais íngremes proporciona melhoria na produtividade do trator esteira no sentido que diminui a distância de recuo. A

distância percorrida para tratores de esteira é de suma importância, pois o mesmo possui baixa velocidade de locomoção (inferior a 10km/h), o que lhe torna inviável (por razões financeiras) para realizar trabalhos que sejam necessários percorrer grandes distâncias. Portanto, o aumento do ângulo de corte significa um ganho para a empresa, visto que à medida que o trator percorrer distâncias menores a sua produção aumentará. Conseqüentemente, essa redução também resultará em menos desgaste do equipamento, menor gasto de combustível, maior agilidade no percurso do transporte, entre outros, obtendo assim, o aumento da produtividade no TE.

Nesse sentido, a empresa Hydro, que anteriormente trabalhava com ângulos de corte variando entre 13 e 16°, conseguiu um aumento na produtividade de 6,71% e, conseqüentemente a redução direta de diesel (672.685,02191 litros), com a alteração dos ângulos para valores entre 17 e 19°.

A figura 42 demonstra o aumento da produtividade com alterações no ângulo de corte.



**Figura 42:** Aumento da produtividade obtido pelo software Dozsim.

## 6 CONCLUSÃO

Com o constante aumento na distância média de transporte, tornou-se necessária a aplicação de estudos e acompanhamentos para aumento de produtividade no transporte de minério e, conseqüentemente, a redução de custos.

Após as simulações, os resultados dos testes se mostraram satisfatórios e imediatamente colocados em prática na mina, onde é feito somente um acompanhamento dos resultados. Os “testes” foram realizados em várias tiras com os ângulos de 13°, 14°, 15°, 16°, 17°, 18° e 19°, onde a espessura da camada de estéril era variada, sendo necessário utilizar diferentes tipos de decapeamento.

Desse modo, a partir da análise dos resultados, verifica-se que a produtividade da operação de decapeamento sofreu influência positiva (aumento de 6.71%) quando foi mudada a variável geométrica (ângulo de corte). Sabendo que este equipamento (trator de esteira D11) tem uma ampla responsabilidade na movimentação de estéril (67%), é de suma importância conseguir uma otimização do processo.

Com relação ao aumento do ângulo do corte, não há referências que limitem este valor, ou seja, de acordo com o fabricante, o limite de aumento deste ângulo, que possa proporcionar danos ao equipamento (superaquecimento e desgaste prematuro de componentes do sistema de locomoção) deve ser determinado em função das condições operacionais da mineradora. Alguns casos práticos, oriundos de minerações de carvão nos Estados Unidos e Alemanha, mostram que para tratores de esteira de 850HP (120 toneladas), as rampas de corte não deveriam ultrapassar os 26°. Entretanto, em Paragominas, devido às condições de aderência do terreno, o limite máximo para este ângulo é de 24°.

Portanto, os estudos e acompanhamentos para aumento da produtividade, contribuíram consideravelmente para aumentar a capacidade produtiva da mina durante o período analisado. Sendo assim, os resultados não apresentaram impacto negativo no desempenho operacional e mecânico dos equipamentos de produção na mina de bauxita em Paragominas – Pa.



## **7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Recomenda-se que a avaliação das demais variáveis (altura da camada de estéril, espessura da bauxita, ângulo da bauxita, comprimento da faixa, largura da cava e ângulo de deposição) sejam realizadas, obtendo assim seus possíveis impactos na distância percorrida pelo trator e, conseqüentemente, na produtividade do equipamento. Além disso, é de extrema importância que este processo seja realizado sob planejamentos coerentes com a rotina operacional, ou seja, devido à elevada quantidade de variáveis, bem como a dificuldade no controle das mesmas, sugere-se que a modificação ou aplicação prática de possíveis mudanças, seja sequencial, com uma de cada vez. Com isso, além de facilidade na recepção pelos operadores, torna-se possível identificar seus ganhos.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Associação Brasileira de Alumínio (ABAL).** Disponível em: <<http://www.abal.org.br/estatisticas/nacionais/bauxita/>> . **Acessado em: 20/04/2014 as 14:35.08.**

CATALANI, G.; RICARDO, H. S, (2007), *Manual Prático de Escavação: Terraplanagem e Escavação de Rocha*.3.ed. Ed. Pini, paginas 653.8.

CATTERPILLAR, INC. *Manual de Escavação*. 31ª Edição, 2000, Peorla, EUA.

### **CATERPILLAR (CAT), Software DOZSIM®**

FERREIRA, L.F, M, (2012), *Avaliação de três cenários operacionais no decapeamento da lavra de bauxita de Paragominas – Pa*, trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal do Pará (UFPA), página 30.

HARTMAN, Howard L. *Introductory mining engineering*.2nd ed.

KOTSCHOUBEY B.; CALAF J.M.C.; LOBATO A.C.C.; LEITE A.S. AZEVEDO C.H.D, (2005), *Caracterização e gênese dos depósitos de bauxita da Província Bauxitífera de Paragominas*, noroeste da bacia do Grajaú, nordeste do Pará/ oeste do Maranhão, DNPMCT/ Mineral-ADIMB, pagina 694.

KOPPE, J.C, (2008), *Métodos de Lavra e Procedimentos Operacionais*, Mineração de Bauxita – LA, Vale, paginas 7 e 8.

LOBATO, S, R (2012), *Análise de produtividade na operação de decapeamento de estéril da mina de bauxita de Juruti – Pa*, trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal do Pará (UFPA), página 21.

MENDES, C, R, (2013), *Diferentes metodologias de transporte de estéril e minério - Mineração Paragominas*, Hidro Paragominas, slides 8,9, 11,13, 24, 25, 27, 49.

MOURA, S, R, A; FERREIRA, F, H, E; FUKUSHIMA, K, F; NETO, A, M, T;

MOUTINHO, P, M, T; COSTA, V, T, (2008), *Processo de obtenção do alumínio*, Universidade Federal do Pará (UFPA), página 5, 10 e 11.

PEREIRA, F.T; MARQUES J.M; PIMENTEL, E.N; CANDIDO, R.; FERREIRA, D.; DELGADO, A, (2012), *Aumento de produtividade da frota de caminhões rodoviários com a Padronização de cargas – Mineração Paragominas S.A*, Artigo, página 2.

PERONI, R, (2007), *Lavra a céu aberto – ENG05007*, trabalho de teoria e prática, versão 01, paginas 9,10 e 11.

PIMENTEL, E.N, (2009), *Aspectos gerais da mina de bauxita de Paragominas. Estudo comparativo e elaboração de modelos ótimos de logística operacional – troca de turnos*, Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal do Pará (UFPA), página 2.

SALES, E, (2008), *Métodos de Lavra*, Ministério de Minas e Energia, paginas 1 e 2.

SAMPAIO, A, J; NEVES, B, H, C, (2002), *Bauxita – Minerais S. A*, CT2002-183-00 *Comunicação Técnica elaborada para o Livro Usina de Beneficiamento de Minérios do Brasil*, páginas 1 e 2.