



Coordenadoria de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) -
Curso Superior de Tecnologia em Mineração

Autorizo a divulgação deste Trabalho de Conclusão de Curso na
Biblioteca da Unipampa / Campus Caçapava do Sul

ANÁLISE E PROPOSIÇÃO DE DIMENSÕES PARA AS BANCADAS DE
TRABALHO A PARTIR DO PORTE DOS EQUIPAMENTOS DE MINERAÇÃO

Caçapava do Sul
2018

NOME DO ALUNO: Daniela Machado Jaime TCC – RS - 2018

DANIELA MACHADO JAIME

ANÁLISE E PROPOSIÇÃO DE DIMENSÕES PARA AS BANCADAS DE
TRABALHO A PARTIR DO PORTE DOS EQUIPAMENTOS DE MINERAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação de
Tecnologia em Mineração da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA),
como requisito parcial para obtenção do grau de Tecnólogo em Mineração.

Orientador(a): Dr. Luis Eduardo de Souza

Caçapava do Sul
2018

ANÁLISE E PROPOSIÇÃO DE DIMENSÕES PARA AS BANCADAS DE TRABALHO A PARTIR DO PORTE DOS EQUIPAMENTOS DE MINERAÇÃO

Daniela Machado Jaime

Orientador: Prof. Dr. Luis Eduardo de Souza

RESUMO

Existe uma tendência natural de que as minas a céu aberto busquem aumentar cada vez mais o seu nível de produção, com ajuda de novas tecnologias e equipamentos maiores, com vistas a obter custos unitários menores e maior produtividade. Em contrapartida, a utilização de equipamentos de grande porte faz com que as bancadas projetadas sejam altas e largas, implicando em uma maior diluição e menor seletividade do minério. É por este motivo que, para maximizar a lucratividade, nas operações unitárias de carregamento e transporte, é relevante que o porte da carregadeira e do caminhão estejam de acordo com as dimensões das bancadas de trabalho que estão em operação e que estas dimensões respeitem as restrições geológicas do depósito. A proposta deste estudo é analisar e, caso necessário, propor o ajuste das dimensões das bancadas de trabalho para que estas fiquem em sintonia com o porte de equipamentos utilizados em uma mina de calcário - localizada na cidade de Caçapava do Sul - RS, visando aprimorar o espaço de trabalho para todas as máquinas. Geralmente as dimensões das bancadas devem ser definidas periodicamente para verificar se estão de acordo com os equipamentos utilizados na lavra ou ainda, quando os equipamentos mais antigos já foram substituídos, mas as dimensões das bancadas não foram atualizadas. Assim, para diminuir os custos da empresa, devemos ajustar as dimensões das bancadas às características operacionais dos equipamentos existentes na mina, já que a compra de novos equipamentos demandaria de um grande investimento. Como conclusão, as bancadas de trabalho atuais scanneadas são maiores que as bancadas de trabalho estimadas garantindo segurança, produtividade, disponibilidade de mais equipamentos e podendo implicar em menos flexibilidade das operações.

Palavras-chave: dimensionamento de bancadas; praças de trabalho; equipamentos de carregamento e transporte; mina a céu aberto; operações unitárias.

ABSTRACT

There is a natural tendency that open pit mines search seek to increase their production level with new technologies and larger equipment in order to achieve lower unit costs and higher productivity. In contrast, the use of large equipment causes the projected benches to be high and wide, implying in a greater dilution and smaller selectivity of the ore. For this reason, in order to maximize profitability in unit loading and transport operations, it is relevant that the size of the loader and the truck are in accordance with the dimensions of the working benches in operation and that these dimensions respect the geological restrictions of the deposit. The proposal of this study is to analyze and, if necessary, propose the adjustment of the dimensions of the working benches so that they are in harmony with the size of equipment used in a limestone mine - located in the city of Caçapava do Sul - RS, aiming to improve the work space for all machines. Generally the dimensions of the benches should be defined periodically to verify if they are in accordance with the equipment used in the tilling or when the older equipment has already been replaced, but the dimensions of the benches have not been updated. Thus, in order to reduce the costs of the company, we must adjust the dimensions of the working benches to the operational characteristics of the existing equipment in the mine, since the purchase of new equipment would require a large investment. As a conclusion, the current scanned working benches are larger than the estimated working benches, guaranteeing safety, productivity, availability of more equipment and it may imply in less flexibility in operations.

Keywords: bench design; working bench; loading and transport equipment; open pit mine; unitary operations.

1. Introdução

A mineração é uma atividade exercida no mundo todo e suas técnicas de extração estão sempre em desenvolvimento, pois é através da mineração que são extraídos os bens minerais utilizados na fabricação de diversos produtos necessários para a humanidade. Os métodos de exploração para remoção dos recursos minerais podem ser subterrâneos e/ou a céu aberto, sendo que a escolha do método de exploração pode ser definida por condições operacionais, entre elas a seleção dos equipamentos. Os métodos de alta produtividade, como a céu aberto, requerem equipamentos maiores e mais flexíveis, ao contrário das minas subterrâneas que, de maneira geral, não dispõem de equipamentos de grande porte e de alta produção. Em uma mina a céu aberto, as operações unitárias de desmonte, carregamento e transporte são muito relevantes para garantir uma boa produtividade e eficiência da lavra. A seleção errada do equipamento para determinada operação pode ocasionar condições negativas para viabilidade do empreendimento.

Para garantir a produção desejada, muitas empresas optam por equipamentos maiores, sem perceber que isso poderá interferir na qualidade do produto. Segundo Bozorgebrahimi & Blackwell (2003), a mineração a céu aberto seleciona equipamentos de grande porte sendo que o efeito nem sempre é positivo. A utilização de máquinas maiores resulta em bancadas altas e largas, ou seja, esta escolha pode interferir na seletividade do minério, já que diferentes alturas de bancadas representam diferentes quantidades de diluição e vários níveis de seletividade.

Em grande parte das minas a céu aberto não é executado um planejamento detalhado das dimensões das bancadas de trabalho e que leve em consideração critérios como o porte dos equipamentos de carregamento e transporte, a geometria das camadas de minério e estéril e o comportamento geológico destes corpos. Geralmente os equipamentos mais antigos já foram substituídos por novos, sem a atualização das dimensões das bancadas de trabalho.

A revisão e proposição de melhorias nas dimensões das bancadas de trabalho foram realizadas em uma mina a céu aberto de calcário em Caçapava do Sul, (RS). O dimensionamento adequado das bancadas de trabalho de acordo com porte dos equipamentos de lavra é de grande importância, pois quando estão propriamente ajustados, estes operam com maior eficiência, aumentando a produtividade, diminuindo os custos da operação e, por consequência, aumentando a lucratividade do empreendimento. Além disso, diminuindo o desgaste das máquinas de carregamento e transporte que estão em operação na mina. O ajuste adequado das bancadas de trabalho melhora o espaço para as máquinas operarem na frente de lavra em operação. Portanto, se a superfície das bancadas estiver ajustada favorece o desenvolvimento do carregamento e transporte do material desmontado.

1.1 Objetivo geral

O presente estudo pretende analisar e, se necessário, propor melhorias às dimensões das bancadas de trabalho para os equipamentos já existentes em uma empresa de mineração de calcário em Caçapava do Sul, RS. O objetivo é estimar a largura mínima das bancadas de trabalho de acordo com os equipamentos de carregamento e transporte e analisar as bancadas de trabalho em processo de lavra através da utilização do equipamento *laser scanner*.

1.1.1 Objetivos específicos

Foram elencados os seguintes objetivos específicos para viabilizar a realização deste trabalho:

- i) mapear e analisar o porte dos equipamentos existentes e as dimensões das bancadas de trabalho em operação;
- ii) calcular dimensões das bancadas de trabalho compatíveis às características das máquinas, de acordo com a geologia do depósito, o tipo e o tamanho dos equipamentos;
- iii) analisar a compatibilidade entre as bancadas de trabalho calculadas e as bancadas de trabalho atuais na mina.

Após a verificação entre as dimensões das bancadas de trabalho calculadas e as já em operação, existe a hipótese delas serem muito próximas, não sendo necessária nenhuma alteração, caso contrário, será proposto o ajuste das dimensões praticadas atualmente.

2. Estado da arte

2.1 Contexto geológico

O Estado do Rio Grande do Sul é subdividido em quatro domínios geológicos, sendo eles: Planalto da Serra Geral, Planície Costeira, Escudo Sul-Rio-Grandense e Depressão Central. No domínio geológico Escudo Sul-Rio-Grandense existe a ocorrência das rochas mais antigas do Rio Grande Sul, abrangendo o embasamento das sequências sedimentares e vulcânicas da Bacia do Paraná e das sequências sedimentares da Bacia de Pelotas (Gross *et al.*, 1998).

A litologia do Escudo Sul-Rio-Grandense é formada por xistos, ortognaisses, paragnaisses e metagranitos do Proterozóico Inferior e Médio. Esse conjunto de rochas foi intrudido por granitóides gerados durante o Proterozóico Superior, sendo recoberto de forma erosiva por rochas vulcânicas e sedimentares da Bacia do Camaquã (Gross *et al.*, 1998).

O município de Caçapava do Sul está situado no domínio Escudo Sul-Rio-Grandense, (Gross *et al.*, 1998) e é reconhecido como a “Capital Gaúcha da Geodiversidade” devido à ocorrência dos principais tipos de rochas, feições geológicas e paisagens (Borba, 2013). Na região de Caçapava do Sul os principais grupos de rochas encontrados são ígneas vulcânicas e plutônicas, metamórficas e sedimentares (Borba *et al.*, 2015).

As pesquisas geológicas feitas na região de Caçapava do Sul e municípios vizinhos identificaram jazidas de mármore dolomítico (Gross *et al.*, 1998) e segundo Borba (2013), a região situada nas Caieiras é umas das áreas que possui mármore muito antigos. O alto grau de fraturamento e heterogeneidade do maciço inviabiliza o aproveitamento econômico do mármore, para extração de blocos e/ou chapas, sendo que ocorre a extração do mármore, comumente denominado calcário, que após britagem e moagem é usado na agricultura de maneira a corrigir o Ph do solo (Borba, 2015), além de também ser utilizado para produção de cal e argamassa, empregadas na construção civil.

2.2 Escolha dos equipamentos de carregamento e transporte

O processo de seleção e compatibilidade entre os equipamentos de lavra corresponde à etapa de dimensionamento dos equipamentos, uma etapa que deve atender aos objetivos da empresa, buscando a maximização do retorno financeiro, sendo esta etapa afetada por fatores técnicos, operacionais e de segurança. Além disso, a seleção dos equipamentos depende do tipo de remoção do estéril e do minério e do projeto da lavra (Racia, 2016).

Segundo Ferreira & Andrade (2010), o processo de seleção dos equipamentos é feito em duas etapas:

- i) especificação do tipo dos equipamentos;
- ii) seleção entre os vários equipamentos dentro do tipo escolhido, a fim de decidir entre as propostas.

No estudo de um projeto de mineração interessa especialmente a seleção do tipo de equipamento, que será influenciada pelo processo utilizado na lavra, pela escala de produção e pelo índice de mecanização, fatores relacionados entre si (Ferreira & Andrade, 2010). Em muitas minas a céu aberto ainda não existe o dimensionamento adequado entre o porte da operação e o tamanho dos equipamentos, o que gera desperdícios, baixa produtividade e até o aumento dos custos operacionais (Racia, 2016).

A Figura 1 mostra os parâmetros que devem ser considerados para o dimensionamento dos equipamentos e, na Figura 2, são apresentados os fatores afetados pelo tamanho do equipamento (Bozorgebrahimi & Blackwell, 2003).

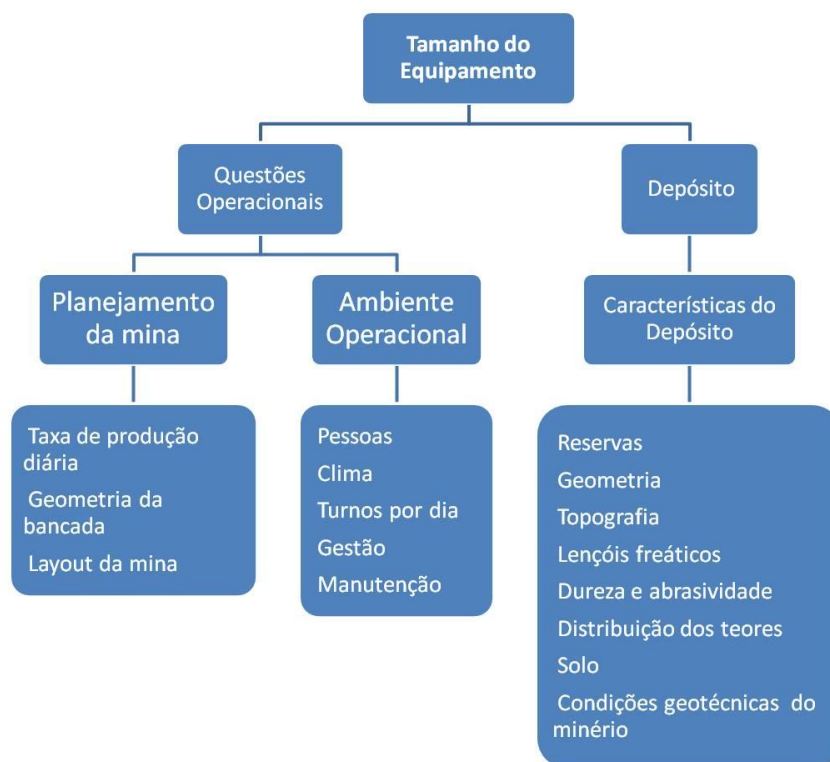


Figura 1: Parâmetros considerados para o dimensionamento do equipamento. Fonte: modificado de Bozorgebrahimi & Blackwell, 2003.

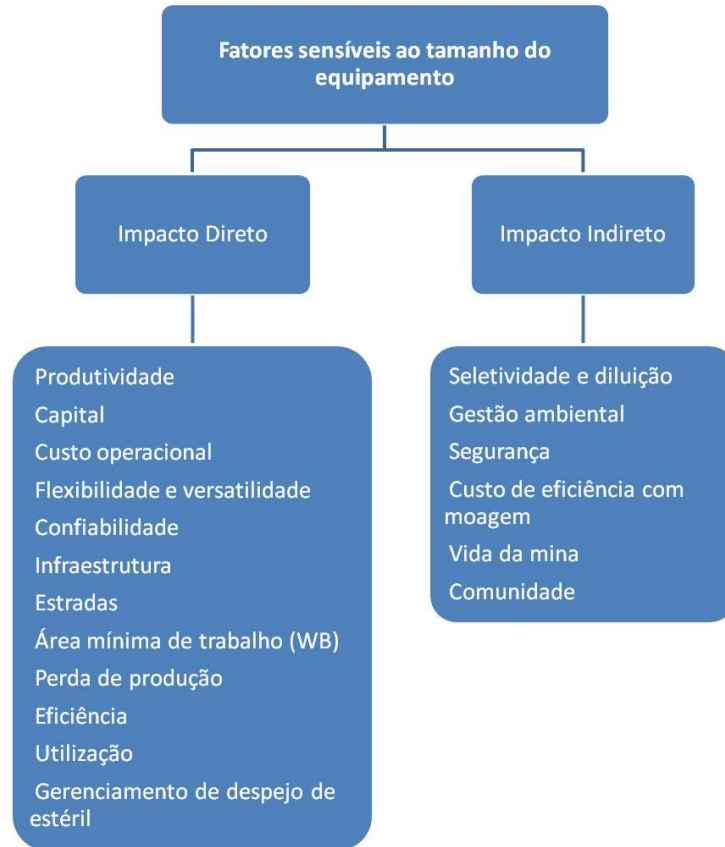


Figura 2: Fatores afetados pelo dimensionamento do equipamento. Fonte: modificado de Bozorgebrahimi & Blackwell, 2003.

Um parâmetro de grande importância no processo de seleção do porte do equipamento é a taxa de produção diária. Geralmente determinada de acordo com as reservas, mercados, tipo de *commoditie*, estratégia de produção corporativa e o período de reembolso esperado (Bozorgebrahimi & Blackwell, 2003).

Assumindo uma taxa de produção diária combinada com a qualidade e a capacitação dos operadores, a utilização e a disponibilidade de equipamentos e o *layout* da mina, pode-se determinar o tamanho do equipamento. O tamanho do equipamento selecionado interfere nos custos, no *design* da cava e suas dimensões. A Figura 3 mostra a interação entre o tamanho do equipamento e outros parâmetros de mineração (Bozorgebrahimi & Blackwell, 2003).

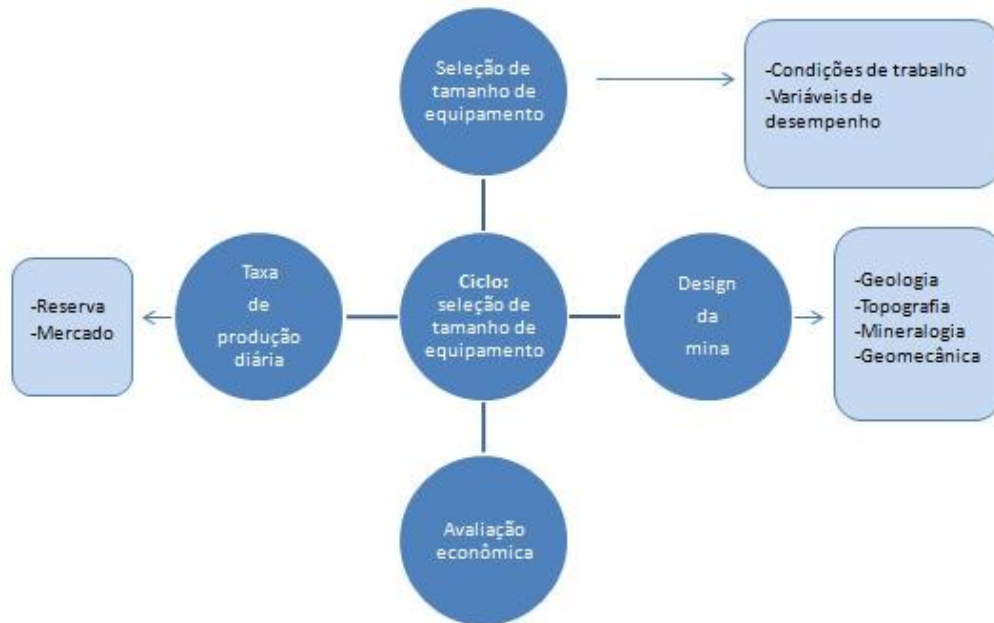


Figura 3: Interação entre o tamanho do equipamento e outros parâmetros de mineração. Fonte: modificado de Bozorgebrahimi & Blackwell, 2003.

De maneira geral, a mineração a céu aberto é altamente mecanizada. Além disso, cada equipamento tem uma geometria associada, tanto relacionada ao seu próprio tamanho físico, como também ao espaço para funcionar de forma eficiente. As operações de perfuração, carregamento e transporte requerem um certo espaço de trabalho. Portanto, necessita-se levar em consideração este espaço para dimensionar as chamadas bancadas de trabalho (Hustrulid *et al.*, 2013). A utilização de equipamentos de grande porte em uma mina a céu aberto requer um espaço amplo de trabalho, sendo assim, são projetadas grandes dimensões para as bancadas.

A execução de bancadas mais altas e largas interfere em vários fatores como (Hustrulid *et al.*, 2013).

- i) menor seletividade;
- ii) maior diluição;
- iii) necessidade de praças mais regulares;
- iv) quantidade reduzida de praças de trabalho.

Ainda assim, a projeção dessas bancadas com maiores dimensões pode fornecer algumas vantagens:

- i) menos equipamentos;
- ii) controle das operações;
- iii) alta produtividade e eficiência;
- iv) facilidade na supervisão das atividades.

2.3. Dimensionamento das bancadas de trabalho (WB)

Quando o porte dos equipamentos está de acordo com as bancadas de trabalho, os equipamentos operam com a eficiência máxima, diminuindo os custos operacionais. Na Figura 4 podemos verificar um carregamento simples sendo realizado e na Figura 5, podemos

visualizar os principais elementos utilizados para o cálculo da largura da bancada de trabalho WB.

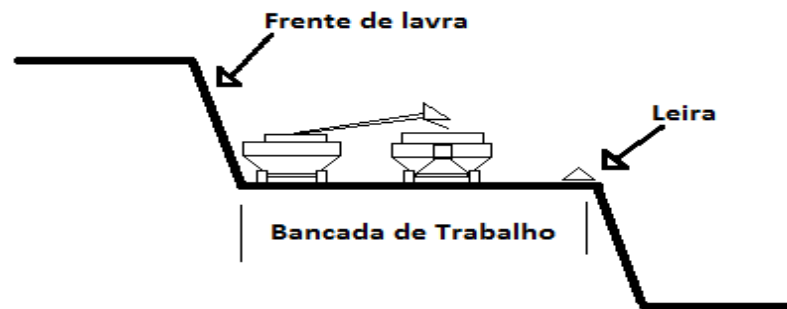


Figura 4: Bancada de trabalho típica para carregamento simples.

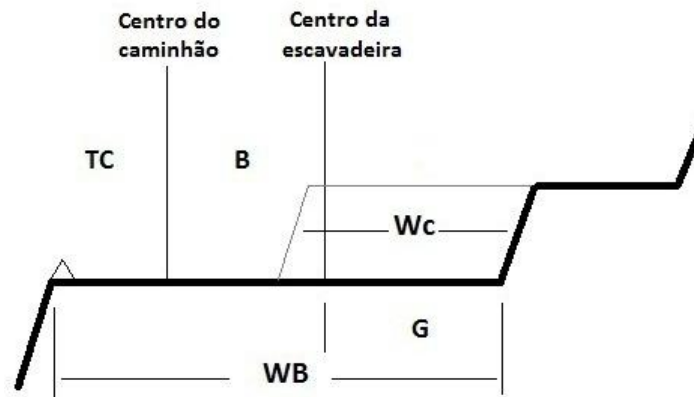


Figura 5: Principais elementos utilizados para o cálculo da largura da bancada de trabalho (WB): distância da crista até o centro do caminhão (TC); distância do centro do caminhão até o centro da escavadeira (B); distância do centro da escavadeira até o pé da bancada superior (G); largura de corte (Wc).

2.3.1 Geometria básica da bancada

Em uma mina a céu aberto o componente de extração básica é chamado de bancada. As bancadas são formadas pela extração do minério e estéril, de cima para baixo, em uma série de camadas horizontais. Cada bancada tem uma superfície superior e inferior separada por uma distância H , denominada como altura. Outros elementos das bancadas são descritos por pé, crista e ângulo de face α (o ângulo médio que a face faz com a horizontal). A largura da bancada de trabalho WB é definida pela distância entre crista da bancada inferior e o pé da bancada em operação, que está sendo executada pelo corte (Hustrulid *et al.*, 2013). Podemos verificar a geometria básica da bancada e seus elementos principais na Figura 6.

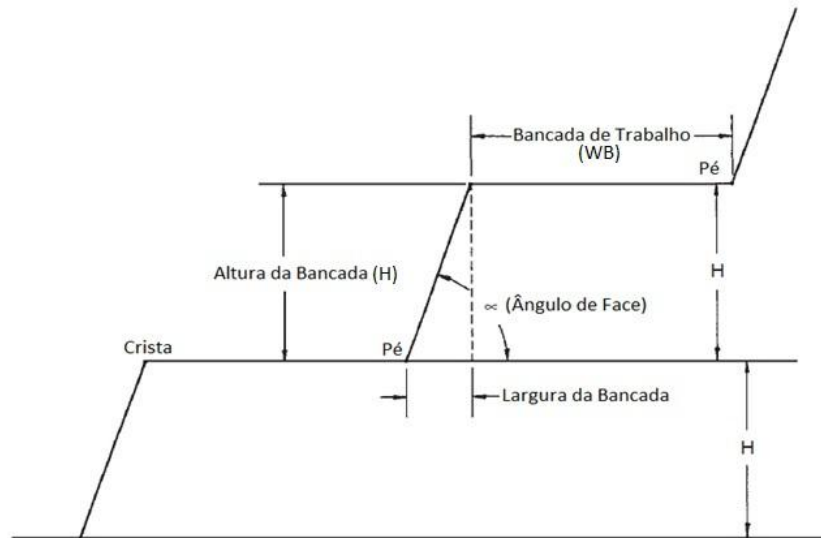


Figura 6: Geometria básica da bancada e seus elementos principais. Fonte: Hustrulid et al., 2013.

Uma bancada de segurança de largura S_B permanece após o corte (C) ter sido removido. O objetivo é coletar o material que desliza das bancadas acima e parar o processo descendente de matacos. A bancada de segurança e o corte podem ser vistos na Figura 7:

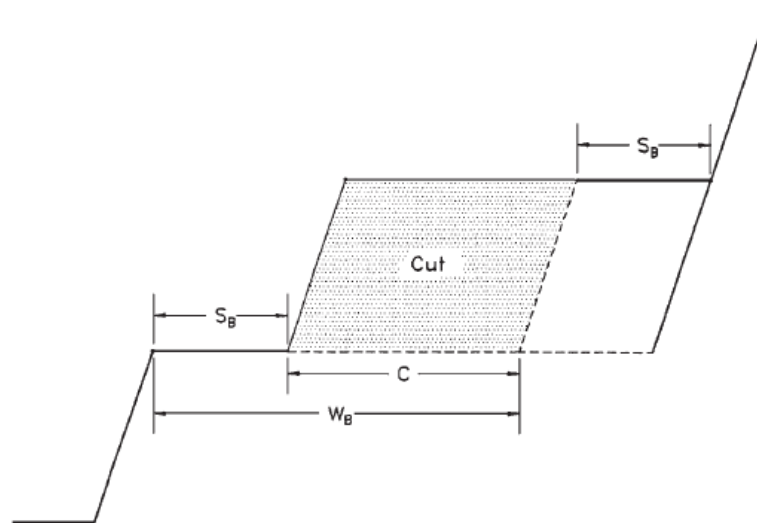


Figura 7: Bancada de segurança. Fonte: Hustrulid et al., 2013.

Além de deixar uma bancada de segurança, as leiras (pilhas) de materiais quebrados são construídas ao longo das cristas. Essas leiras (Figura 8) servem para evitar a queda de caminhões e outros equipamentos. Geralmente são construídas com alturas maiores ou iguais ao raio dos pneus do caminhão de maior porte que circula na mina. Normalmente, a inclinação da leira (ângulo de repouso do material) pode variar de 35° à 45° .

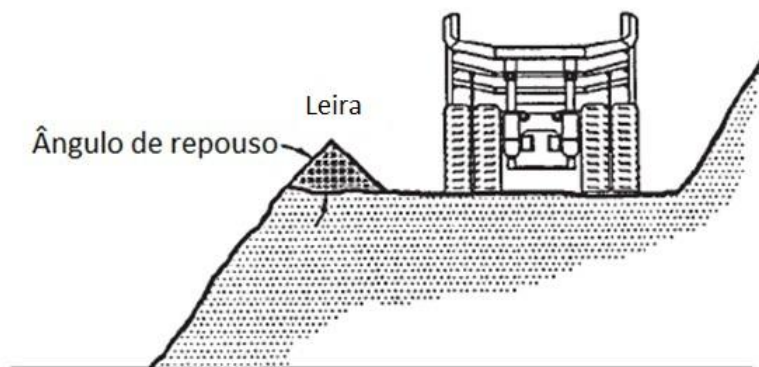


Figura 8: Exemplo da posição da leira e ângulo de repouso do material. Fonte: Hustrulid et al., 2013.

2.3.2 Bancada de trabalho (WB)

A largura da bancada de trabalho é estabelecida pela distância da crista da bancada de piso até o pé da bancada que está sendo executada pelo corte, ou seja, bancada de trabalho é aquela que está em processo de lavra (Hustrulid et al., 2013). A bancada de trabalho necessita de uma largura mínima que varia de acordo com:

- i) as dimensões das máquinas em operação;
- ii) o tipo de carregamento que será executado: simples ou duplo;
- iii) o tamanho da leira.

Segundo a NRM-02-Lavra a céu aberto, a largura mínima da bancada de trabalho deve ser projetada de acordo com as condições geomecânicas, a operação, as máquinas e equipamentos utilizados, conduzindo as atividades com segurança (DNPM, 2001).

A metodologia de estimativa das bancadas de trabalho segundo Hustrulid et al. (2013) envolve diversos dados, entre eles podemos citar: a altura da bancada; a largura da leira; a distância mínima entre o pneu mais externo do caminhão até a leira; o tipo de carregamento; o ângulo de inclinação da face da bancada; o tipo de equipamento de carregamento; o tamanho do caminhão; o raio do pneu do maior caminhão que circula na mina; o fator de empolamento; o ângulo de repouso do material.

2.3.3 Largura da leira (Sbe)

A largura da leira é definida de acordo com o raio do pneu do maior caminhão existente na mina, além de também levar em consideração o ângulo de repouso do material que a constitui. A largura da leira pode ser expressa através da Equação 1:

$$\tan(\alpha) = \frac{R}{\frac{Sbe}{2}} \quad (1)$$

onde R é o raio do pneu do maior caminhão que circula na mina e α é o ângulo de repouso do material.

2.3.4 Distância da crista até a linha central do caminhão (TC)

A distância que vai da crista até o centro da caminhão depende do comprimento do caminhão; da largura da leira e da largura entre a leira e o pneu mais externo do caminhão. A largura que vai da crista até a linha central do caminhão deve ser calculada de acordo com a Equação 2:

$$TC = Sbe + a + \frac{b}{2} \quad (2)$$

onde a é a distância entre a leira e o pneu mais externo do caminhão, b é o comprimento do caminhão e Sbe é a largura da leira.

2.3.5 O cálculo que define a largura da bancada de trabalho (WB)

A largura da bancada de trabalho (WB) deve ser igual a soma entre a distância da crista até a linha central do caminhão, o raio em que a escavadeira consegue fazer o carregamento no caminhão e o raio de alcance da escavadeira ao nível do piso. O cálculo da largura da bancada de trabalho está descrito na Equação 3:

$$WB = TC + B + G \quad (3)$$

onde B é a distância entre a linha central do caminhão até o centro da escavadeira, ou seja, raio máximo de carregamento da escavadeira correspondente à altura máxima de empilhamento do caminhão, G é a distância máxima do centro da escavadeira em que a mesma pode limpar o piso, ou seja, raio máximo de alcance no nível do piso e TC é a largura que vai da crista até a linha central do caminhão.

2.3.6 Largura do corte (Wc)

A largura do corte pode ser estimada de acordo com as dimensões do equipamento de escavação, assumindo uma direção paralela à crista. Além disso, segue as condições da pilha de material desmontado, o fator de empolamento e o alcance da escavadeira ao nível do piso. Sugere-se que a largura do corte seja estimada através da Equação 4:

$$Wc = F \times G \times 2 \quad (4)$$

onde F é o fator de empolamento deste material e G é o raio máximo da escavadeira para limpar o piso.

2.3.7 Inclinação da face de acordo com as dimensões da máquina

Também é necessário verificar se a declividade da face da bancada está de acordo com o porte da máquina de escavação. O cálculo define a menor inclinação da face que o equipamento de escavação consegue escavar, portanto o ângulo atual da face da bancada deve ser maior que o ângulo definido de acordo com as características da máquina. Para verificar se a inclinação da face corresponde às dimensões do equipamento aplica-se a Equação 5:

$$\alpha = \text{atan} \left(\frac{H}{E-G} \right) \quad (5)$$

onde H é a altura da bancada, E é o raio máximo de corte da máquina e G é o raio máximo no nível do piso.

Além disso, outras dimensões e parâmetros podem ser analisados, entre eles: o porte da escavadeira, que deve estar de acordo com altura da bancada, tanto para alcance ao piso quanto para efetuar o corte; a altura de carregamento da escavadeira, que deve estar conforme com a altura do caminhão.

3. Metodologia

3.1 Obtenção das dimensões das bancadas de trabalho

De maneira a atingir os objetivos propostos, a primeira etapa do projeto foi verificar o dimensionamento das bancadas atuais de trabalho. Além disso, as dimensões das bancadas da cava foram mapeadas e analisadas através do equipamento *laser scanner* Stonex X-300. Seu *software* JRC 3D Reconstructor® foi utilizado para extrair os dados fundamentais para a projeção das bancadas de trabalho em processo de lavra. Através das imagens obtidas no *software* consegue-se analisar as dimensões das bancadas, que também foram obtidas em campo com o uso de uma trena. Em seguida, foram calculadas as dimensões das bancadas de trabalho de acordo com o porte dos equipamentos de carregamento e transporte, e por fim, realizou-se uma análise comparativa com o vistas a verificar a compatibilidade entre as bancadas de trabalho atuais scaneadas com as bancadas de trabalho estimadas. As bancadas mapeadas com *laser* e a trena são representativas de parte da cava analisada neste estudo.

A metodologia de estimativa de dimensões das bancadas de trabalho foi realizada de acordo com Hustrulid *et al.* (2013). Os cálculos das dimensões das bancadas estão de acordo com as características operacionais dos equipamentos de carregamento e transporte do material.

3.2 Laser scanner Stonex X-300

O equipamento *laser scanner* Stonex X-300 pode ser aplicado em setores além da mineração, como por exemplo: arqueologia, engenharia civil e monitoramento, levantamentos digitais de prédios e monumentos, entre outros. É realizada uma varredura a *laser* com o objetivo de pesquisar ou amostrar o objeto real de interesse, podendo determinar a localização, orientação, forma e suas dimensões. Sobretudo, o equipamento consegue coletar dados em larga escala e também em três dimensões. Além disso, o equipamento pode ser utilizado na mineração para obter medidas de área, de volume e modelamento do depósito.

O sistema de varredura tem como principal vantagem a capacidade de gerar uma nuvem de pontos 3D de todo o objeto que se quer analisar com agilidade na coleta dos dados, sendo que o equipamento pode gerar até mais de 525.000 pontos. Além disso o sistema não necessita de refletores para a coleta de distâncias dos objetos. O ângulo de varredura vertical do *laser* é 90° e o ângulo de varredura horizontal 360° . No equipamento estão integradas duas câmeras digitais em tempo real com resolução de 5 Mpx e também está integrado junto ao *scanner* um GPS padrão (Stonex SRL, 2015).

3.3 Verificação e análise de dados operacionais dos equipamentos

Os dados dos equipamentos foram explorados a partir do acompanhamento das máquinas de carregamento e transporte. Através dos manuais destes equipamentos foram analisadas as informações necessárias para o desenvolvimento e determinação dos cálculos

das bancadas de trabalho estimadas. Os dados informados foram determinados a partir da verificação e análise das características operacionais de cada máquina.

4. Resultados e discussão

Conforme salientado anteriormente, os resultados obtidos foram baseados tanto em medidas das bancadas realizadas diretamente em campo, quanto por meio de medições a partir da nuvem de pontos gerada pelo *laser scanner*, além de levar em consideração o porte e as características operacionais dos equipamentos de carregamento e transporte.

4.1 Análise das dimensões das bancadas de trabalho atuais

A Tabela 1 apresenta o comprimento da face das bancadas que foram medidas manualmente com uma trena e as medidas feitas com o *laser*.

Tabela 1: Comprimento da face da bancada, em metros, (a) medida utilizando o software Reconstructor e (b) medida manualmente com uma trena.

Bancadas	(a)	(b)
1	8,60	8,50
2	10,81	11,00
3	13,43	13,50

A diferença entre as medidas manuais e com o *laser* foram baixas, as variações percentuais foram menores que 1,73%, indicando que a relação entre as medidas são próximas. A Tabela 2 apresenta o ângulo interno da face e a altura da bancada calculada a partir das medidas do comprimento da face da bancada obtidas através do *software Reconstructor*:

Tabela 2: O ângulo interno de face (α) e as alturas das bancadas calculadas, em metros (H):

Bancadas	(α)	(H)
1	75°	8,31
2	74°	10,39
3	76°	13,03

Através da utilização do *laser scanner Stonex X-300* e do *software JCR Reconstructor* foram obtidas as imagens com a dimensão das bancadas de trabalho representativas de parte da cava estudada. Logo, consegue-se verificar comprimento da face de cada bancada e a largura das bancadas de trabalho (WB). As Figuras 10, 11 e 12 apresentam as medições das bancadas 1, 2 e 3 tomadas a partir do *software Reconstructor*.



Figura 10: Dimensões obtidas com o laser scanner Stonex X-300 da Bancada n° 1: o comprimento da face da bancada é 8,5959(m) e a dimensão da praça de trabalho (WB) de 102,695(m).

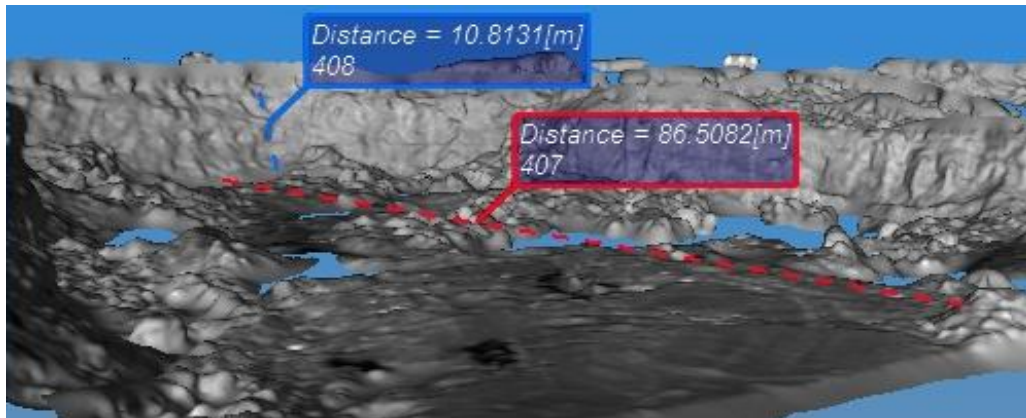


Figura 11: Dimensões obtidas com o laser scanner Stonex X-300 da Bancada n°2: o comprimento da face da bancada é 10,8131(m) e a dimensão da praça de trabalho (WB) de 86,5082(m).

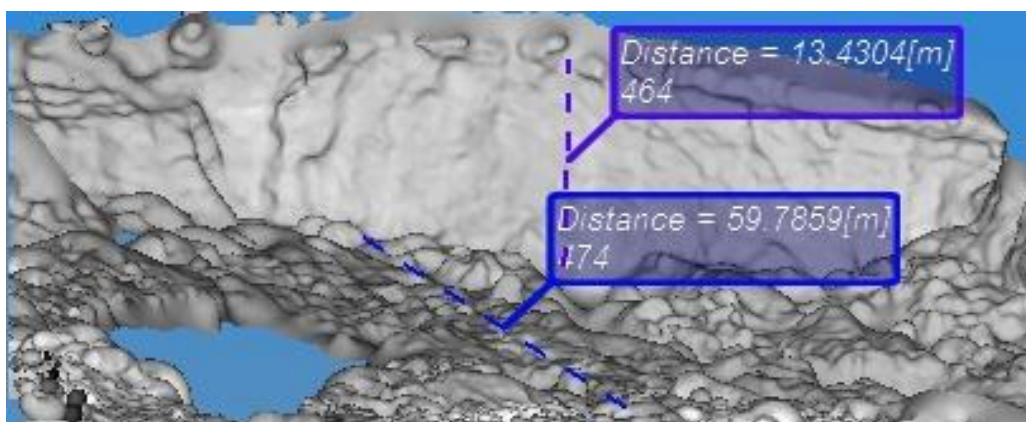


Figura 12: Dimensões obtidas com o laser scanner Stonex X-300 da Bancada n°3: o comprimento da face da bancada é 13,4304(m) e a dimensão da praça de trabalho (WB) de 59,7859(m).

A Tabela 3 mostra as medidas das larguras das bancadas de trabalho realizadas em campo com a utilização de uma trena e as medidas extraídas do JCR Reconstructor:

Tabela 3: Largura da praça de trabalho (WB), em metros, obtida com (a) o software e em (b) através da trena.

Bancadas	(a)	(b)
1	102,70	102,50
2	86,51	85,65
3	59,79	59,30

Para a análise do dimensionamento das bancadas de trabalho estimadas serão aplicadas as medidas obtidas no *laser scanner*, a diferença entre as medidas manuais e com o *laser* foram relativamente baixas, as variações percentuais foram menores que 1% . Então, já que a diferença entre as medidas manuais e o *laser* são pequenas e muito próximas, a utilização do *laser* e o *software* são vantajosos em relação quanto ao deslocamento para obter as medidas manualmente com uma trena. Além dessa vantagem de usar o *software* para minimizar idas ao campo, temos outras vantagens como:

- i) obter as medidas em bancadas instáveis e com risco de escorregamento;
- ii) obter as medidas das bancadas de trabalho com a presença de material desmontado, maticos ou ainda com repés na praça;
- iii) fazer as medições em condições de segurança sem riscos de desmoronamento do material;
- iv) fazer as medições a uma distância consideravelmente segura dos equipamentos de lavra, sem riscos;
- v) obter as medidas das bancadas de trabalho rapidamente através da utilização do *software*.

4.2 Características operacionais dos equipamentos de carregamento e transporte

Os equipamentos de transporte estão divididos em quatro modelos diferentes, mas com portes próximos. Logo, as dimensões do equipamento de transporte de maior porte foram empregadas nos cálculos de praça mínima ou bancada de trabalho.

Além dos equipamentos de transporte, os equipamentos de escavação e carregamento do material desmontado são analisados de acordo com cada modelo e o tamanho do braço de cada escavadeira e as Figuras 13 e 14 apresentam a faixa operacional de uma escavadeira da marca Komatsu modelo PC240LC-8 e de uma escavadeira de marca Hyundai modelo R250LC-7, respectivamente.

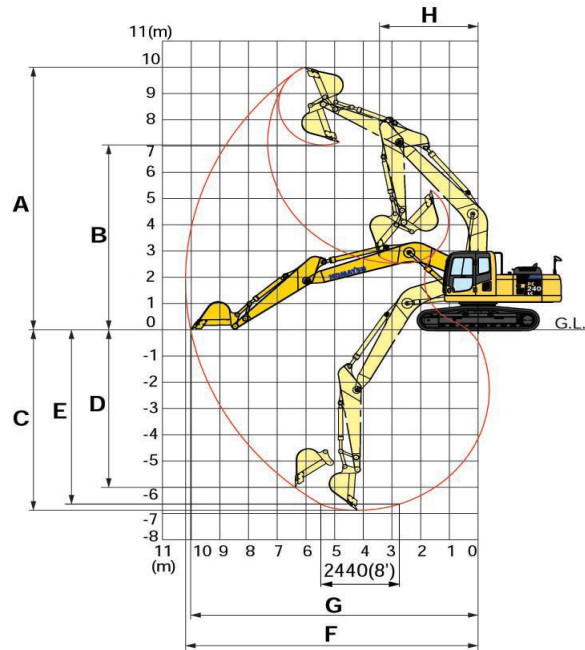


Figura 13: (A) Altura máxima de escavação; (B) altura máxima de despejo; (C) profundidade máxima de escavação; (D) profundidade máxima em parede vertical; (E) profundidade máxima de escavação a fundo 2440mm; (F) alcance máximo de escavação; (G) alcance máximo de escavação ao nível do solo e (H) raio de giro mínimo. Fonte: Komatsu Ltd, 2015.

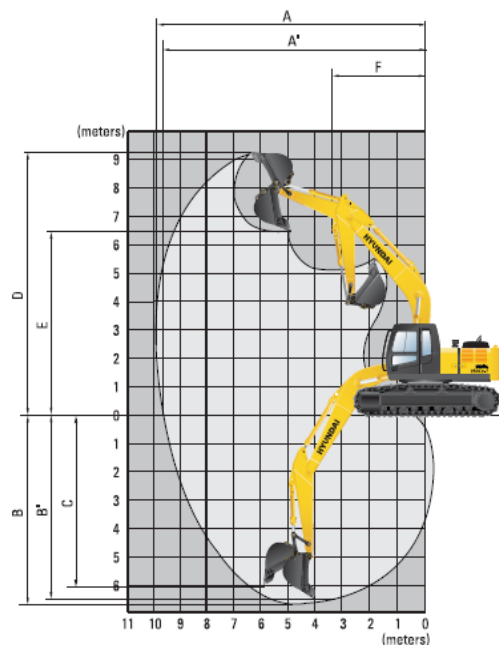


Figura 14: (A) Máximo alcance de escavação; (A') máximo alcance de escavação no chão; (B) máxima profundidade de escavação; (B') máxima profundidade de escavação (Nível 8); (C) máxima parede vertical profundidade de escavação; (D) máxima altura de escavação; (E) máxima altura de despejo; (F) mínimo raio do balanço. Fonte: Hyundai Heavy Industries co. Ltd., 2009.

4.3 Bancadas de trabalho estimadas a partir do porte dos equipamentos de carregamento e transporte

Para este estudo foi assumida uma praça mínima ou bancada de trabalho para cada modelo de equipamento de carregamento utilizado em lavra.

4.3.1 Determinação da dimensão da bancada de trabalho conforme os dados operacionais da escavadeira da marca Komatsu modelo PC240LC-8

4.3.1.1 Leira (Sbe)

O dimensionamento da largura da leira está descrita na Equação 1 respectivamente:

- i) altura da leira é habitualmente maior ou igual a altura do raio do pneu do maior caminhão, denomina-se o raio do maior caminhão igual a 73 cm;
- ii) assume-se que o ângulo de repouso do material é de 45°;
- iii) estima-se que a largura da leira (Sbe) é de 1,46 metros.

4.3.1.2 Distância da crista até a linha central do caminhão (TC)

A distância da crista até o centro do caminhão pode ser estimada conforme a Equação 2:

- i) distância entre a leira e o pneu mais externo do caminhão (a) é de 1,52 metros;
- ii) considerando um carregamento simples e frontal, o comprimento do caminhão (b) é de 8,00 metros;
- iii) estima-se que a distância da crista até o centro do caminhão é de 6,98 metros.

4.3.1.3 Determinação largura da WB 1

O cálculo da largura da bancada de trabalho está descrito conforme a Equação 3:

- i) dados B e G são determinados pelo fabricante da máquina de escavação de acordo com as características operacionais do equipamento;
- ii) raio máximo de carregamento da escavadeira é de aproximadamente 5,50 metros;
- iii) raio máximo da escavadeira para limpar o piso é de 9,50 metros;
- iv) largura da bancada de trabalho 1 estimada para a escavadeira marca Komatsu modelo PC240LC-8 é de 21,98 metros.

4.3.2 Determinação da dimensão da bancada de trabalho conforme os dados operacionais da escavadeira da marca Hyundai modelo R250LC-7

4.3.2.1 Leira (Sbe)

O dimensionamento da largura da leira está descrita na Equação 1 respectivamente:

- i) altura da leira é habitualmente maior ou igual a altura do raio do pneu do maior caminhão, denomina-se o raio do maior caminhão igual a 73 cm;
- ii) assume-se que o ângulo de repouso do material é de 45°;
- iii) estima-se que a largura da leira (Sbe) é de 1,46 metros.

4.3.2.2 Distância da crista até a linha central do caminhão (TC)

A distância da crista até o centro do caminhão pode ser estimada conforme a Equação 2:

- i) distância entre a leira e o pneu mais externo do caminhão (a) é de 1,52 metros;

ii) considerando um carregamento simples e frontal, o comprimento do caminhão (b) é de 8 metros;

iii) estima-se que a distância da crista até o centro do caminhão é de 6,98 metros.

4.3.2.3 Determinação largura da WB 2

O cálculo da largura da bancada de trabalho está descrito conforme a Equação 3:

i) dados B e G são determinados pelo fabricante da máquina de escavação de acordo com as características operacionais do equipamento;

ii) raio máximo de carregamento da escavadeira é de 5,50 metros;

iii) raio máximo da escavadeira para limpar o piso é de 10,19 metros;

iv) largura da bancada de trabalho 2 estimada para a escavadeira marca Hyundai R250LC-7 é de 22,67 metros.

4.4 Análise de outras dimensões e parâmetros

Outros parâmetros e dimensões podem ser analisados de acordo com os equipamentos.

4.4.1 Estimativa de largura do corte (W_c)

O empolamento do material desmontado pode variar de acordo com o tipo de desmonte empregado. Segundo Mattos (2006), o empolamento para rocha desmontada pode ser 50%. Neste caso estimou-se a largura de corte (W_c) com o empolamento para rocha desmontada de 50%. A Tabela 4 apresenta a largura de corte (W_c) que foi estimada para cada equipamento de escavação descrita na equação 4 respectivamente:

Tabela 4: Estimativa de W_c para as máquinas de escavação, em metros.

Escavadeira	W_c
Komatsu	9,50
Hyundai	10,19

4.4.2 Bancada de segurança (S_b)

A bancada de segurança é a diferença entre WB e W_c . A Tabela 5 apresenta a bancada de segurança que foi determinada de acordo com cada equipamento de escavação e conforme descrita na equação 6:

$$S_b = WB - W_c \quad (6)$$

onde S_b é a bancada de segurança, WB é a bancada de trabalho e W_c é a largura de corte.

Tabela 5: Largura da bancada de segurança (S_b), em metros.

WB	S_b
WB1	12,48
WB2	12,48

4.4.3 Inclinação da face de acordo com as máquinas de escavação

Estima-se uma inclinação de face de acordo com os dois equipamentos de escavação e as alturas das bancadas atuais em operação. O menor ângulo de face estimado que as máquinas poderiam escavar é de aproximadamente 89°.

4.4.4 Análise comparativa das bancadas de trabalho e outros parâmetros

As larguras das bancadas de trabalho estimadas para os dois modelos de equipamentos de escavação de acordo com as características de operação de cada máquina são: 21,98 metros para escavadeira Komatsu PC240LC-8 e 22,67 metros para escavadeira Hyundai R250LC-7. Portanto, as larguras das bancadas de trabalho atuais analisadas neste estudo são superiores às larguras estimadas. Em determinadas zonas da cava estudada, a adoção das bancadas de trabalho estimadas inviabilizaria economicamente a lavra. Além disso, devido a complexidade da geologia dos depósitos de calcário da região estudada, existe uma dificuldade constante de ajustar este fator com as dimensões das bancadas de trabalho.

Outros parâmetros podem ser analisados de acordo com as características das máquinas de escavação. Para as máquinas efetuarem o corte de acordo com altura máxima de escavação, a altura máxima de bancada para Komatsu é de 9,85 metros e para Hyundai é de 9,67 metros. O alcance ao piso deve haver uma distância máxima de 9,50 metros para Komatsu e de 10,19 metros para Hyundai. A altura máxima do caminhão é de 2,95 metros e altura máxima de despejo no caminhão é de 6,85 metros para Komatsu e 6,63 metros para Hyundai.

Essas máquinas de escavação com a caçamba voltada para baixo podem operar em vários níveis de bancadas. Podem trabalhar em nível inferior de degrau, em nível superior ou ainda sobre o material desmontado. São equipamentos com boas características de corte, garantindo uma facilidade em trabalhar em rochas mais rígidas que uma *shovel*, podendo exercer grandes pressões sobre as rochas (Lacerda *et al.*, 2016). Na empresa estudada os equipamentos costumam fazer o carregamento sobre o material desmontado (em cama) o que possibilita bancadas mais altas que 9,85 metros. Além disso, o tipo de carregamento analisado foi simples e frontal, mas os equipamentos de carregamento e transporte podem ser planejados de forma diferente.

5. Conclusão

O presente estudo mostrou como é definida a largura mínima da bancada de trabalho de acordo com os equipamentos de lavra. O dimensionamento das bancadas de trabalho foram estimadas conforme as características operacionais dos equipamentos de carregamento e escavação, o porte dos equipamentos de transporte e a largura da leira. Com isto, podê-se observar que as larguras das bancadas de trabalho atuais scanneadas possuem dimensões maiores que as larguras mínimas das bancadas de trabalho estimadas. Este fato pode implicar em menos flexibilidade da operação pela redução de quantidade de praças, mas pode proporcionar maiores desmontes, melhor produtividade e uma disponibilidade e utilização de um maior número de equipamentos.

Cada mina tem suas particularidades e características individuais, estabelecendo assim uma forma para que se ajuste à determinada situação, as dimensões de bancadas de trabalho são definidas para se trabalhar nas melhores condições de cava a céu aberto. As

bancadas de trabalho atuais scaneadas sendo maiores garantem fácil monitoramento das atividades e garantem maior segurança para os operários e para os equipamentos. Além disso, a empresa de mineração de calcário poderá dispor de novas máquinas de carregamento e escavação de maior porte futuramente.

As dimensões das bancadas de trabalho atuais foram medidas através da utilização do *laser scanner* Stonex X-300 e o *software* JCR *Reconstructor*, sendo importantes ferramentas para verificação das medidas reais das bancadas, facilitando a obtenção das mesmas. Além disso, esse método oferece vantagens em relação à segurança, pois permite medições para quaisquer condições de bancadas e trânsito de equipamento, além de não ser necessário interromper as atividades de lavra.

6. Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que de alguma maneira deram todo o apoio necessário para o desenvolvimento deste trabalho. Primeiramente, agradecer minha família minha mãe Neiva Jaime, meu pai Edir Jaime e meu companheiro Guilherme Alcalde pela paciência e contribuição para que eu pudesse alcançar todos os objetivos propostos durante o período acadêmico.

Deixo meu grato agradecimento aos profissionais da empresa de mineração de calcário e aos professores e profissionais da Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA são pessoas dedicadas para o desempenho do graduando. Além disso, dedicam-se para transpor seus conhecimentos da forma clara e objetiva.

Gostaria de deixar meu agradecimento a todos, principalmente aos seguintes responsáveis meu professor orientador Luis Eduardo de Souza; minha professora e orientadora na primeira etapa deste projeto Luciana A. Abichequer e a tecnóloga em mineração Ângela Fleck pelo apoio e pela ajuda com o equipamento.

7. Referências bibliográficas

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

BORBA, A.W.; TEIXEIRA, K.M.; FERREIRA, P.F.; FERREIRA P.F. Concepções de professores de ciências naturais de Caçapava do Sul (RS, Brasil) sobre geologia local: subsídios à educação geopatrimonial. **Revista Eletrônica Terra e Didática**. São Paulo, v.11, pp. 117-124.(2015).

BORBA, A.W. Proposta de uma (geo)identidade visual para caçapava do sul, “capital gaúcha da geodiversidade”. **Geographia Meridionalis - revista eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pelotas**. Pelotas, pp.405-411.(2015).

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **NRM 02: Lavra a céu aberto**. Rio de Janeiro, 2001.

FERREIRA, G. E.; ANDRADE, J. G. Elaboração e avaliação econômica de projetos de mineração. **Comunicação Técnica elaborada para a 4ª Edição do Livro de Tratamento de Minérios**. Rio de Janeiro, pp. 817- 852. (2010).

Geólogo fala sobre a geodiversidade do município. Caçapava do sul, nov. 2013. Disponível em:<<http://www.farrapo.com.br/noticia/2/5501/Geologo-fala-sobre-a-geodiversidade-do-municipio.html/>>. Acesso em: 24 de Set. (2017).

GROSS, M. J.; MONTEIRO, A.; NOVAES, L. **Mármore e Granitos Potencialidade da Metade Sul.** Porto Alegre, 1998.

HYUNDAI HEAVY INDUSTRIES CO. LTD. **250 lc – 7/250 NLC-7 crawler excavator.** Especificação de equipamento. Coreia do Sul, 2009.

HUSTRULID, W.; KUCHTA, M.; MARTIN, R. **Open Pit Mine Planning and Design.**(3. ed.). London: Taylor & Francis, 2013.

KOMATSU LTD. **PC240LC-8 escavadeira hidráulica.** Especificação de equipamento. Brasil, 2015.

LACERDA, D.O.T.; NETO, C.B.A.; SILVA, R.A.P. **Critérios de Seleção e Principais Equipamentos Utilizados na Lavra a Céu Aberto.** Revista pensar engenharia. Minas Gerais, 2016.

MATTOS, A. D. **Como preparar orçamentos de obras.** São Paulo: Pini, 2006.

RACIA, I. M. **Desenvolvimento de um modelo de dimensionamento de equipamento de escavação e de transporte em mineração.** 2016. 108f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGE3M. Porto Alegre, 2016.

STONEX SRL. **Stonex X-300.** Especificação do equipamento. Itália, 2015.