

ARTIGO REF: 6467

DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE DIMENSIONAMENTO DE EQUIPAMENTOS DE ESCAVAÇÃO E DE TRANSPORTE EM MINERAÇÃO

Ismael Momade Racia^(*), Rodrigo de Lemos Peroni

Departamento de Engenharia de Mina da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Brasil

^(*)*Email*: racia.ismael@gmail.com

RESUMO

O artigo Desenvolvimento de um Modelo de Dimensionamento de Equipamentos de Escavação e de Transporte em Mineração surgiu da necessidade de apoiar no processo de decisão de dimensionamento dos principais equipamentos de mineração. Este trabalho apresenta um modelo simples e direto para dimensionar escavadeiras e caminhões através de uma rotina criada denominada EXCESimulator, concebido para o cálculo da capacidade das caçambas das escavadeiras, do número dos equipamentos de escavação e de transporte, bem como os tempos de espera das unidades de transporte em carregar. Para tal, definem-se os parâmetros de produtividade e características dos equipamentos; calcula-se aplicando um modelo determinístico de produção; e faz-se o levantamento de equipamentos existentes no mercado, reunindo as suas características e serviços prestados pelos fabricantes das marcas. O modelo desenvolvido é aplicável a qualquer tipo de equipamento de escavação e de transporte, independente do seu porte e capacidade de produção.

INTRODUÇÃO

A constante busca pelo aumento da produtividade e redução de custos representa em forte aporte de investimentos na indústria de mineração. Novas tecnologias de equipamentos de mineração foram desenvolvidas a partir da demanda dos recursos. Diversos programas e modelos que auxiliam a tomada de decisões na rotina dos trabalhos de dimensionamento e alocação de equipamentos facilitaram e melhoraram o desempenho dos processos na mineração mundial.

O dimensionamento de equipamentos de lavra corresponde ao processo para a seleção e compatibilização de equipamentos de escavação, carga e transporte dentro de uma mina segundo uma estratégia previamente estabelecida. Essa etapa deve atender aos objetivos de curto, médio e longo prazo, maximizando o valor econômico da empresa, mas muitas vezes afetado por restrições técnicas, operacionais e de segurança. Em função dessas restrições e condicionantes, dimensionamento de equipamentos e frotas deve ser revisado periodicamente. Entre os aspectos que devem ser sistematicamente verificados estão: os tempos de ciclo, as condições operacionais, consumos de peças e combustível, vida útil dos equipamentos, os fatores mecânicos, a depreciação, dentre outros. O dimensionamento de equipamentos está baseado em um processo de seleção e compatibilização dos equipamentos para a movimentação do material mineralizado e estéril dentro do empreendimento, criado a partir das características dos equipamentos, das condições operacionais e do projeto da lavra no tocante a produção anual planejada. As etapas envolvidas são normalmente sequenciais e após a decisão sobre os tipos e o porte destes equipamentos a serem utilizados no empreendimento,

compreendem a determinação do número (quantidade) e o custo destes, a criação de planos de produção, contendo as descrições das atividades específicas a serem executadas.

EXPLORAÇÕES MINEIRAS A CÉU ABERTO

COUTO (1990), define como explorações mineiras à céu aberto, aquelas em que os trabalhos de escavação são desenvolvidas ao ar livre e dirigidas a depósitos superficiais, ou aquelas em que os locais de trabalho não são constituídos por escavações cercadas em todo o seu perímetro pelos terrenos encaixantes. Em oposição, as lavras subterrâneas, são atividades executadas no subsolo e são aplicadas a depósitos mais profundos, o que não significa que ambas se excluam na exploração do mesmo depósito. E as explorações subterrâneas conduzidas a partir da superfície são de aplicações menos geral e atualmente restritas a extrações sob a forma de fluidos, como exemplo da exploração de petróleo, de sais sódico-potássicos, de gases combustíveis naturais, etc. De um modo geral, a mineração à céu aberto proporciona um acréscimo de produtividade no trabalho em relação à mineração em subsolo, apesar de, às vezes, penalizar no aspecto qualidade do produto (ROM) em função de perda de seletividade e efeito escala. Esse aumento de produtividade teve origens após a segunda grande guerra com a introdução de novos explosivos, novas máquinas de perfuração, aumento da capacidade das máquinas de desmonte, melhoria dos processos de beneficiamento dos minerais e uso de equipamentos de escavação e de transporte de grandes capacidades.

Operações e equipamentos de escavação e transporte de mineração a céu aberto

Segundo QUEVEDO et al (2009), as operações de carregamento e de transporte consistem em retirar o material extraído da frente de lavra até diferentes pontos de descarga. Em minas a céu aberto as atividades se iniciam com a preparação da área a ser lavrada para que ela possa ser perfurada e detonada, quando necessário. Então a escavação e o carregamento são feitos por equipamentos pás carregadeiras ou escavadeiras que estão estrategicamente distribuídos nas frentes de lavra para atender à demanda de produção. Estes retiram o material e o carregam nos equipamentos de transporte, (caminhões, correias transportadoras, vagões, entre outros). O equipamento de transporte transporta o material até um determinado ponto de descarga, esses pontos de descargas podem ser britadores, pilha estéril ou pilha pulmão, e o ciclo da operação recomeça, sendo realizada de forma contínua (Figura 1).



Fig. 1 - Escavadeira e caminhão usados em mineração a céu aberto

COUTO (1990), diz que “as operações fundamentais na lavra à céu aberto são praticamente as mesmas da lavra subterrânea, embora algumas delas sejam mais simples e até em certos casos de diminuta importância, sendo de destacar a inexistência de sustentação do teto e de um menor ou nulo emprego de explosivos”. É evidente que as operações de carga e de transporte ocorrem tanto em um como no outro tipo de lavra, mas elas permitem o emprego de

equipamentos mais avantajados em métodos de lavra à céu aberto. A sequência ou ciclo normal das operações da lavra fundamentais a céu aberto pode ser sintetizada segundo o diagrama apresentado na Figura 2. Essas operações podem ser executadas no estéril sobrejacente e ou no minério, simultaneamente ou defasadamente, desde que tenha se liberado superficialmente o minério de interesse.

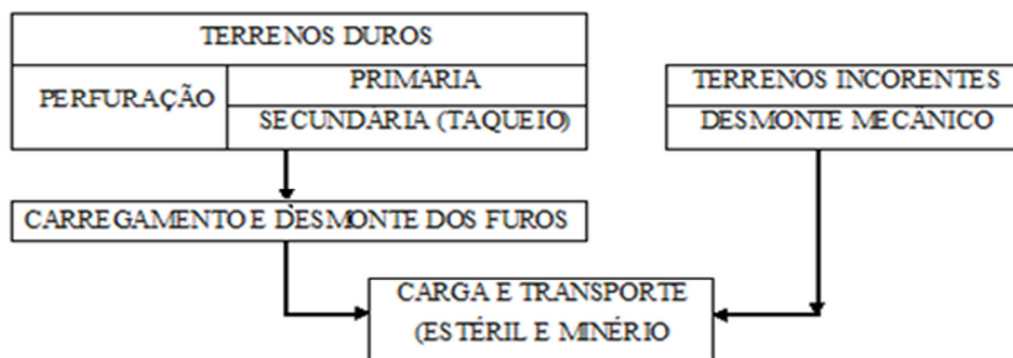


Fig. 2 - Ciclo normal de operações mineiras. Fonte: Couto (1990)

Produtividade dos equipamentos de carregamento e de transporte

Segundo SILVA (2009), a produtividade dos equipamentos de carregamento e de transporte na mineração a céu aberto, depende com que o projeto da mina e o planejamento de lavra sejam adequados à jazida e que os equipamentos selecionados estejam ajustados às demais operações unitárias de lavra e beneficiamento. Assim sendo, o tipo, o número de equipamentos a serem utilizados e a produtividade dependem dos seguintes fatores:

- Porte dos empreendimentos: vida da mina, taxa de produção, método de lavra;
- Projeto de cava: altura das bancadas, largura das frentes de trabalho, diferença de nível entre as frentes de lavra e o destino dos caminhões;
- Tipos de rocha: características do minério e do estéril, como massa específica “in-situ”, empolamento, umidade, resistência à escavação, grau de fragmentação;
- Projeto de deposição do estéril: local da deposição, forma de disposição do estéril;
- Projetos das estradas: largura das estradas (recomenda-se uma largura mínima de pista igual a 3,5 vezes a largura do caminhão, o que deixa uma faixa igual a meio caminhão de largura entre os veículos que se cruzam e nas laterais. Caso a faixa seja estreita, o motorista se sentirá inseguro e reduzirá a velocidade ao se aproximar um veículo em sentido contrário), inclinação longitudinal das rampas de acesso, raio de curvatura em trechos curvos, acabamento da superfície de rolamento;
- Planejamento de lavra: número de frentes simultâneas, relação estéril/minério, frequência de deslocamento entre as frentes de lavra;
- Destino do minério: distância, tipo, dimensões e taxa de produção do equipamento que receberá o minério do caminhão, tais como britadores, silos, pilha para lixiviação, entre outros.
- Infraestrutura de apoio: recursos de manutenção, recursos para abastecimento, comunicações etc.;
- Equipamentos para demais operações: manutenção das estradas e frentes de lavra desmonte de minério e do estéril etc.

Parâmetros Fundamentais para Estimativa de Produtividade dos Equipamentos

Como forma de auxílio à tomada de decisão ao planejamento dos equipamentos de carregamento, transporte e dimensionamento dos mesmos, os cálculos de estimativa de produtividade são indispensáveis no processo de seleção de equipamentos.

Segundo SILVA (2009), para os cálculos de estimativa de produção é necessário considerar alguns parâmetros fundamentais tais como:

- Volume da caçamba ou concha que representa a capacidade operacional, rasa ou coroada conforme o caso dos equipamentos de carregamento, essa capacidade pode ser calculada pela equação 1;

$$V_C = \frac{C_{\max}}{P_{\text{esp}}} \quad (1)$$

Onde:

- V_C é o volume da caçamba ou concha do equipamento;
- C_{\max} é a carga máxima admissível na caçamba ou concha;
- P_{esp} é o peso específico do material solto.
- Fator de Enchimento da Caçamba que é um fator aplicável sobre a capacidade operacional da caçamba e que, basicamente, será função das características do material, e ou das condições dos desmontes, da altura da bancada e da forma de penetração do equipamento. A capacidade da concha e do tipo de material é descrita pela equação 2;

$$Q_U (m^3) = V_C \times F_{EB} \quad (2)$$

Onde: F_{EB} é o fator de enchimento da caçamba.

- Empolamento que é o aumento de volume que a rocha apresenta depois de fragmentada, ou mais amplamente, é o aumento de volume em relação a um estado anterior de maior compactação. O empolamento é dado pela seguinte equação 3;

$$E = (\lambda - 1) \times 100 \% , \text{ onde } \lambda = \frac{\gamma_c}{\lambda_s} \text{ e } V_s = V_c \times \frac{\gamma_c}{\lambda_s} = \lambda \times V_c, \quad (3)$$

Onde:

- λ é o fator de empolamento,
- γ_c é o peso específico do material no corte;
- λ_s é o peso específico do material empolado ou solto,
- V_c é o volume originalmente no corte ou in situ; e
- V_s é o volume do material rochoso após a fragmentação.
- Carga de Tombamento que é a carga que faz com que uma escavadeira hidráulica equipada para determinada finalidade e, considerando a posição em que a sustentação é mais desfavorável, perca o equilíbrio e tombe;
- Fator de Disponibilidade do Equipamento, onde a sua correta determinação é primordial para os cálculos de rendimento em longo prazo. Os fatores tais como má organização da mina, condições de trabalhos adversas, operações em vários turnos e manutenção preventiva e corretiva inadequadas poderão reduzir a disponibilidade do equipamento. A disponibilidade do equipamento se divide em disponibilidade mecânica e disponibilidade física que corresponde à parcela das horas programadas

em que o equipamento está apto para operar, isto é, não está à em manutenção. A isponibilidade mecânica e física é dada pelas equações a 4 e 5 respetivamente;

$$DM = \frac{HT - (MP + MC + TP)}{HT} \times 100\% \quad (4)$$

$$DF = \frac{HP - HM}{HP} \times 100\% \quad (5)$$

Onde:

- DM é disponibilidade mecânica;
- DF é disponibilidade física
- HT é total de horas teóricas possíveis no período, exemplo, por ano;
- MP é manutenção preventiva, compreendendo todo o serviço programado, conservação e inspeção dos equipamentos, executados com a finalidade de manter o equipamento em condições satisfatórias de operação;
- MC é manutenção corretiva. Significa o serviço executado no equipamento com a finalidade de corrigir deficiências que possam acarretar a sua paralisação;
- TP é o tempo perdido correspondente à locomoção da máquina por motivos de desmonte de rocha ou outros intervalos de operação (almoço, café, troca de turno, entre outros).
- DF é a disponibilidade física que representa a percentagem do tempo que o equipamento fica à disposição do órgão operacional para a produção;
- HP corresponde às horas calculadas por ano, na base dos turnos previstos, já levando em conta a disponibilidade mecânica e/ou elétrica;
- HM corresponde às horas de reparos na Oficina ou no Campo, incluindo a falta de peças no estoque ou falta de equipamentos auxiliares.
- Fator de Utilização do Equipamento que é o fator aplicável sobre as horas disponíveis do equipamento. Corresponde à parcela em que o equipamento está efetivamente em operação. Os fatores tais como número de unidades ou porte compatível, maior ou menor que o requerido; paralisação de outros equipamentos; falta de operador; deficiência do operador; condições climáticas que impeçam a operação dos equipamentos; tipo de desmonte de rocha na mina e preparação das frentes de lavra influencia na utilização de um equipamento. O fator de utilização é calculada pela equação 6;

$$U = \frac{HT}{HP - HM} \times 100\% \quad (6)$$

Onde:

- HT é total de horas efetivamente trabalhadas;
- HP corresponde às horas calculadas por ano, na base dos turnos previstos, levando em conta a disponibilidade mecânica e ou elétrica;
- HM são as horas de reparos na oficina ou no campo, incluindo a falta de peças no estoque de equipamentos auxiliares.

Rendimento ou Eficiência Operacional que é a relação entre as horas efetivamente trabalhadas e as horas programadas, ou seja, é o produto da disponibilidade física pela utilização. É esta eficiência de trabalho que resulta em maior lucratividade. Fatores devido às paradas, atrasos ou deficiências em relação ao máximo desempenho do equipamento devem-se, entre outros, aos motivos tais como características do material, supervisão no trabalho, esperas no britador,

falta de caminhão, maior ou menor habilidade do operador, interrupções para a limpeza da frente de lavra, desmontes de rochas, capacidade da caçamba e pequenas interrupções devido aos defeitos mecânicos, não computados na manutenção. O rendimento é dado pela equação 7;

$$R = D_f \times U \quad (7)$$

- Tempo de Ciclo da Escavadeira que é o tempo gasto pelo equipamento para executar um conjunto de determinadas operações como, por exemplo: manobra, carga, descarga, basculamento, deslocamento, etc. O tempo de ciclo total de uma operação é o somatório de tempo de todas as atividades que compõem essa operação;

Para uma escavadeira, o tempo de ciclo de trabalho normalmente consiste em tempo de carregamento, tempo de rotação com caçamba carregada, tempo de descarga ou basculamento e tempo de rotação com caçamba descarregada. O ciclo só estará concluído quando a máquina estiver posicionada de forma a iniciar um novo ciclo, ou seja, pronta para iniciar o carregamento. A duração do tempo de ciclo de uma escavadeira é igual à soma dos quatro tempos como mostra a equação 8:

$$T_{ciclo}(s) = T_C + T_{RC} + T_D + T_{RD} \quad (8)$$

O tempo total do ciclo da escavadeira depende do tamanho da máquina (máquinas pequenas podem completar o ciclo mais depressa que máquinas grandes) e das condições operacionais. Em condições operacionais muito boas, a escavadeira pode completar o ciclo com rapidez. À medida que as condições do trabalho tornam-se mais severas (escavação mais dura, profundidade de escavação, mais obstáculos etc.), a escavadeira diminui a velocidade. O tempo para o enchimento da caçamba aumenta à medida que a escavação torna-se difícil em função da consistência do solo. À medida que a vala torna-se mais profunda e o monte do despejo maior, a caçamba tem que percorrer um deslocamento mais longo e a estrutura superior tem que oscilar a uma distância maior a cada ciclo de escavação.

Para os caminhões, o estudo dos tempos e movimentos característicos é dividido em fixos e variáveis, sendo o primeiro composto por: tempo de carga, tempo de descarga e tempo de manobras. (soma de manobras para carregamento e manobras para descarga). Já os tempos de transporte, carregado e vazio, somados formam o tempo de ciclo variável. A duração do tempo de ciclo é igual à soma dos cinco tempos, segundo a equação 9.

$$T_{ciclo} = T_{MP} + T_C + T_{TC} + T_{MB} + T_{TV}. \quad (9)$$

- Resistência ao Rolamento que é uma medida da força necessária para superar o atrito interno dos rolamentos e, em unidades montadas sobre rodas pneumáticas, para superar o efeito de retardamento entre os pneus e o solo. Isto é dada pelo afundamento do pneu do caminhão no material de revestimento da estrada. A resistência ao rolamento é dado pela equação 10;

$$Rr = (20 + 6A) \times P = K \times P \quad (10)$$

Onde:

- Rr é a resistência ao rolamento (kg);
- P é o peso total do equipamento (t);
- A é afundamento dos pneus no solo (cm);
- K é o coeficiente de rolamento que depende do terreno sobre o qual o equipamento se locomove.

- Resistência de Rampa (RRa) que, é uma medida da força, devido à gravidade, que é preciso superar para movimentar a máquina em rampas desfavoráveis (aclives). A resistência da rampa é uma medida da força, devido à gravidade, que ajuda na movimentação da máquina em rampas favoráveis. Via de regra, as rampas são medidas em percentagem de inclinação, que é a relação entre a ascensão ou queda vertical e a distância horizontal em que ocorre essa ascensão (+) ou queda (-). Por exemplo, uma inclinação de 10% equivale a uma ascensão ou queda de 10 m para cada 100 m de distância horizontal (10:1) ou $\text{tg}\theta = 10/100 \rightarrow \theta = 5,7^\circ$ em relação à horizontal. Uma ascensão de 4,60 m em 53,50 m corresponde a uma inclinação de 8,6%. Isto é: $(4,60 \text{ m} : 53,50 \text{ m}) \times 100\% = 8,6\% \rightarrow \theta = 4,9^\circ$. O fator de resistência de rampa é expresso em kgf/ e é dado pela equação 11;

$$FRRa = P \times \text{sen}\alpha \quad (11)$$

DIMENSIONAMENTO DE EQUIPAMENTOS POR INDICADORES DE PRODUÇÃO

Segundo CLARKE et al (1990), usando os indicadores de produção é possível estimar a produção de quaisquer equipamentos, dada sua taxa de utilização, disponibilidade, produtividade, eficiência de operação, número de equipamentos e horas totais programadas, onde o produto destes é igual à produção da frota em um determinado período de tempo, conforme a equação 12:

$$P = DF \times UT \times PR \times HTP \times N_{equip} \quad (12)$$

Onde,

- P = Produção da frota
- DF = Disponibilidade física dos equipamentos;
- UT = Fator de utilização dos equipamentos;
- PR = Produtividade efetiva dos equipamentos;
- HTP = Horas totais programadas;
- N_{equip} = Número de equipamentos na frota.

Nesse caso, para estimar o número de equipamentos, deve ser feita a operação inversa, onde se tem a produção anual e os indicadores mencionados, pelos quais é obtido o número exato de equipamentos necessários para produção planejada, através da equação 13:

$$N_{equip} = \left(\frac{P_a}{HT} \right) \times \frac{1}{P} \quad (13)$$

Onde:

- P_a = Produção anual

Em que,

$$HT = DF \times UT \times HTP \quad (14)$$

O dimensionamento de equipamentos por indicadores de produção gera resultados fidedignos à realidade da operação. Quanto maior a aderência dos indicadores de produção estimados aos

indicadores praticados, maior será a aderência da estimativa de produção a produção realizada.

As estimativas dos indicadores de produção devem sempre ser fundamentadas em estudos de campos, manuais de fabricantes e principalmente estar aderentes às médias históricas praticadas em cada operação a fim de se evitar que estes sejam subestimados ou superestimados, causando divergências na capacidade produtiva dimensionada com a realizada.

MODELO EXCEsimulator

O EXCEsimulator é uma rotina criada a partir da plataforma do *Microsoft Excel* complementada com linguagem de programação *Visual Basic for Applications (VBA)* onde o usuário poderá dimensionar os equipamentos de escavação e de transporte em mineração através do cálculo das capacidades das caçambas das escavadeiras, do número de escavadeiras e de caminhões, do tempo de espera dos caminhões para serem atendidas pelas escavadeiras em uma determinada escala de produção, com base nas interfaces do programa. Esse modelo reúne informações relativas às condições operacionais e aos dados dos equipamentos.

Panorama Geral do EXCEsimulator

O modelo reúne informações relativas às condições operacionais e aos dados dos equipamentos. Assim é possível calcular e fornecer ao usuário resultados sobre as capacidades das caçambas das escavadeiras, o número de escavadeiras e de caminhões, e o tempo de espera dos caminhões para serem atendidas pelas escavadeiras em uma determinada escala de produção.

A figura 3 resume como foi estruturada a rotina EXCEsimulator desde a entrada de dados até a produção dos resultados finais.

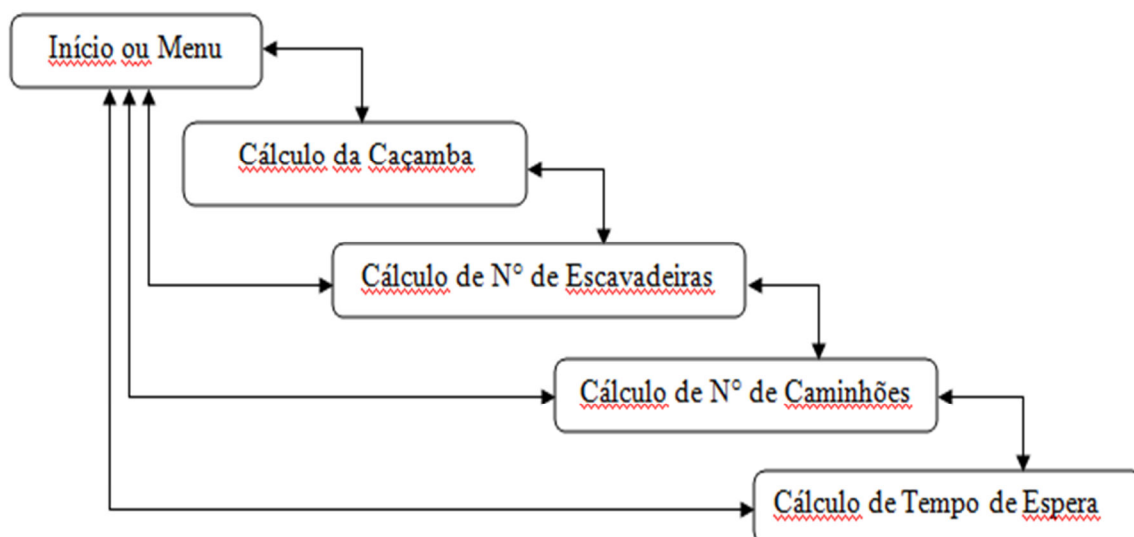


Fig. 3 - Fluxograma do EXCEsimulator

A interface

Como se pode observar na figura 3, o EXCESimulator está dividido em cinco etapas ou janelas de interação relacionadas com interfaces que podem ser executadas sequencialmente ou individualmente, o que permite uma fácil utilização por parte do usuário.

A primeira janela (ou interface de abertura) dá acesso às quatro janelas de cálculo do programa onde o usuário irá escolher a atividade a executar. Todas as janelas permitem acesso à primeira e vice-versa. Nessas quatro janelas que são acessadas através da interface abertura, tem na sua esquerda os parâmetros ou indicadores de produção; À direita são apresentados os campos de entrada para a informação dos valores referentes a cada parâmetro da esquerda; e na parte inferior de cada passo, estão os comandos “Calcular”, “Limpar”, “Voltar” e “Abrir outra janela”, se quiser continuar com os cálculos.

A seguir se descrevem os cinco passos das atividades das janelas:

1º Passo (Entrada na Janela Início ou Menu)

Ao abrir o programa, entrará na janela de menu (Figura 4) onde estão as quatro janelas para as atividades dos cálculos da caçamba, do número de escavadeiras, do número de caminhões, do tempo de espera e o comando para sair do programa. Tendo entrado no programa, o usuário irá escolher qual das atividades a executar.



Fig. 4 - Janela de Início ou Menu

2º Passo (Cálculo da Capacidade da Caçamba da Escavadeira):

Como todos os outros passos, aqui estão apresentados os parâmetros para o cálculo da capacidade da caçamba da escavadeira, onde o usuário irá digitar os valores de cada parâmetro segundo as características do equipamento e dos valores do planejamento da lavra. Tendo inserido os respectivos valores, são habilitados na parte inferior da janela os comandos calcular, limpar, início, passar ao cálculo de número de escavadeiras e seguir se assim desejar continuar com os cálculos desta etapa e, mais a baixo o relatório da atividade desta janela (Figura 5).

Fig. 5 - Janela para o cálculo do volume da capacidade da escavadeira

Tendo calculado a capacidade da caçamba, seleciona-se um equipamento dentro das opções disponíveis nos manuais de equipamentos fornecidos pelos fabricantes e em seguida, escolhem-se os veículos de transporte que é baseado no número de passes necessários para o enchimento do caminhão.

3º Passo (Cálculo do Número de Escavadeiras):

Como no passo anterior, esta janela contém os parâmetros da escavadeira e da capacidade da caçamba da escavadeira selecionada com base nos manuais de equipamentos fornecidos pelos fabricantes. Tendo inserido os respectivos valores, na parte inferior da janela ficaram disponíveis cinco comandos (calcular, limpar, voltar, início e passar ao cálculo de número de caminhões) para utilizar (Figura 6).

Fig. 6 - Janela para o cálculo de número de escavadeiras

Tendo calculado o número de escavadeiras necessárias e sabendo que deve adotar um número inteiro, há que se levar em consideração a escolha de um inteiro inferior ou superior ao valor obtido no cálculo.

4º Passo (Cálculo do Número de Caminhões):

Como no passo dois e três, esta janela contém os parâmetros do caminhão, da escavadeira e a capacidade da concha da escavadeira selecionada com base nos manuais de equipamentos fornecidos pelos fabricantes. Tendo sido informados os respetivos valores, na parte inferior da janela habilita-se os comandos calcular, limpar, voltar, início e passar ao cálculo de tempo de espera e, mas abaixo o relatório da atividade desta janela (Figura 7).

Fig. 7 - Janela de cálculo de número de caminhões

Sabendo que o número de caminhões a adotar depois de calculados será um número inteiro, há que ter em consideração a escolha de um inteiro inferior ou superior ao valor obtido. No caso de se adotar um inteiro inferior a escavadeira torna-se o “gargalo” da operação e conseqüentemente o ciclo de produção ficará limitado pelo equipamento de escavação. No caso de se adotar o inteiro superior a limitação transfere-se para os caminhões. O que é preferível, pois é mais fácil depender da adição de um caminhão do que de uma nova escavadeira, ou mesmo da ampliação da concha, que pode provocar alteração da adequação (MATCH) caminhão /escavadeira ou problemas com a limitação de carga de lançamento por parte do sistema de elevação da escavadeira.

5º Passo (Cálculo de tempo de espera):

Como no quarto passo, esta janela contém os parâmetros do caminhão e da escavadeira. Na parte inferior desta janela também podemos encontrar quatro comandos (calcular, limpar, voltar e início) para utilizar (Figura 8).

Fig. 8 - Janela de cálculo de tempo de espera de o caminhão carregar

A escolha do número inteiro maior ou menor do número cálculo de tempo de espera é fundamental porque permitirá uma boa compatibilização dos equipamentos. E o outro fator é de se saber qual dos equipamentos (escavadeira ou caminhão) comanda a operação.

5. EXEMPLO

Como procedimento de validação dos cálculos realizados pelo EXCESimulator foi efetuada uma comparação com base nos valores retirados no manual da Caterpillar para o cálculo da capacidade da caçamba da escavadeira e do manual da Komatsu para cálculo do número de caminhões e tempo de espera. Os resultados estão apresentados nas tabelas 1, 2, 3 e 4.

Tabela 1 - Valor da capacidade da caçamba segundo o cálculo da caterpillar

Dados utilizados para cálculo da capacidade da caçamba da escavadeira	
Produção anual (t)	5.369.880
Regime de operação (h/ano)	8760
Fator de enchimento	85% (0,85)
Densidade do material solto (t/m ³)	2,5
Tempo total de ciclo da escavadeira (min)	0,80
Eficiência de operação	90% (0,9)
Densidade mecânica	95% (0,95)
Capacidade da caçamba calculada (m³)	5,4

Fig. 9 - Valor da capacidade da caçamba segundo o cálculo do EXCESimulator

A figura 9 demonstra que o resultado obtido usando a interface de cálculo coincide com o resultado apresentado no manual do fabricante, validando que os cálculos implementados estão consistentes.

A mesma proposta de cálculos e validações foram usados para as demais etapas implementadas nas demais janelas de cálculo da interface.

Tabela 2 - Valor de número de escavadeiras segundo o cálculo da Caterpillar

Dados utilizados para cálculo de número de escavadeira	
Produção anual (t)	5.369.880
Regime de operação (h/ano)	8760
Disponibilidade mecânica	95% (0,95)
Utilização	80% (0,8)
Eficiência de operação	90% (0,9)
Tempo total de ciclo da escavadeira (min)	0,8
Capacidade da caçamba (m ³)	5,4
Número de escavadeiraa calculado	2,21 → 3

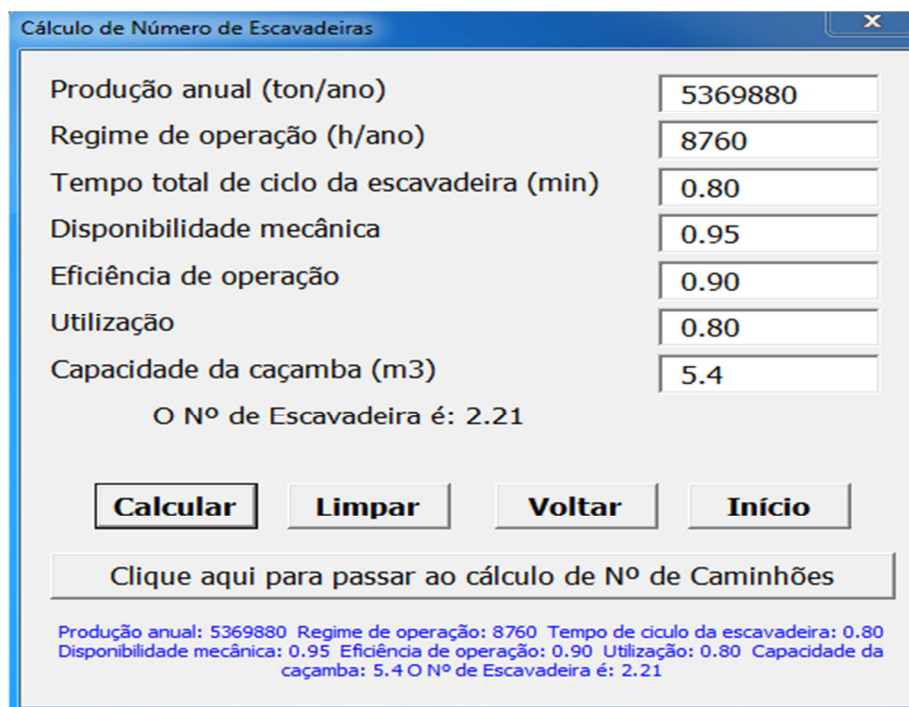


Fig. 10 - Valor de número de escavadeira segundo o cálculo do EXCESimulator

Para não tornar a escavadeira “gargalo” da operação, adotou-se um número superior do calculado.

Tabela 3 - Valor de número de caminhões segundo o cálculo da Komatsu

Dados utilizados para cálculo de número de caminhões	
Produção anual (t)	5.369.880
Regime de operação (hano)	8760
Disponibilidade mecânica	85% (0,85)
Utilização	75% (0,75)
Eficiência de operação	90% (0,9)
Tempo total de ciclo do caminhão (min)	12,32
Capacidade da caçamba (m3)	5,4
Número de passes	5
Número de caminhões calculados	8,1

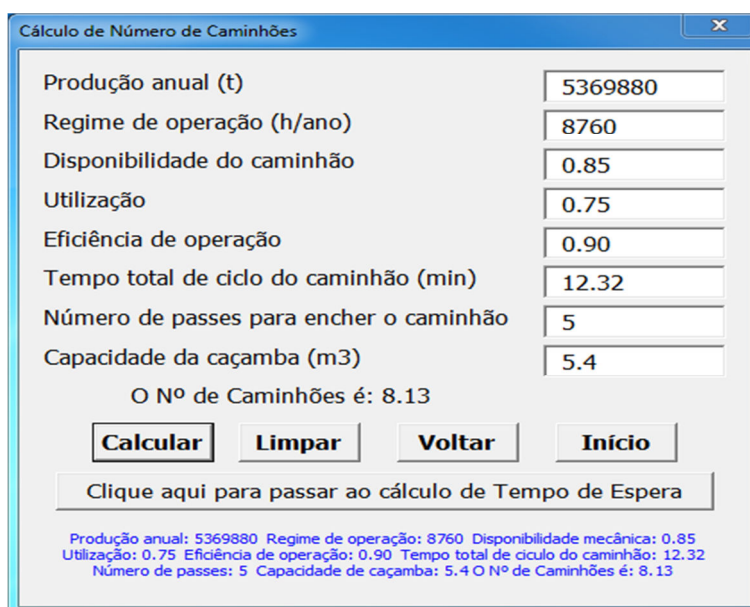


Fig. 11 - Valor do número de caminhões segundo o cálculo do EXCESimulator

Tabela 4 - Valor do tempo de espera segundo o cálculo da Komatsu

Dados utilizados para cálculo de tempo de espera	
Número de caminhões calculados	8,13
Número inteiro menor de caminhões	8
Capacidade de caminhão (m ³)	22,4
Capacidade da caçamba da escavadeira (m ³)	5,4
Tempo de ciclo da escavadeira (min)	0,8
Tempo de espera (min)	0,43

Cálculo de Tempo de Espera

Número de Caminhões calculado: 8.13

Número inteiro menor de Caminhões calculado: 8

Capacidade do Caminhão (m3): 22.4

Capacidade da Caçamba (m3): 5.4

Tempo total de ciclo da Escavadeira (min): 0.80

O Tempo de Espera é de: 0.43 min

Calcular **Limpar** **Voltar** **Início**

Número de caminhões calculados: 8.13 Número inteiro menor de caminhões calculados: 8
 Capacidade do caminhão: 22.4 Capacidade da caçamba: 5.4 Tempo total de ciclo da escavadeira: 0.80 O Tempo de Espera é de: 0.43

Fig. 12 - Valor do tempo de espera segundo o cálculo do EXCESimulator

Tendo em conta os resultados obtidos através do EXCESimulator estarem em conformidade com os valores obtidos pelos cálculos de alguns dos fornecedores dos equipamentos, é possível tirar a conclusão de que o modelo satisfaz aos objetivos do trabalho.

CONCLUSÕES

O estudo e análise dos métodos e conceitos fundamentais da seleção e dimensionamento de equipamentos de escavação e de transporte presentes na literatura atual foram base para o entendimento e aplicação prática dos principais conceitos e técnicas relacionados ao dimensionamento dos equipamentos. Todavia, das diversas técnicas e conceitos para dimensionamento de equipamentos na literatura, neste artigo foi utilizado o dimensionamento por indicadores de produção, que se bem utilizados geram resultados com um bom nível de aderência à realidade da operação.

O modelo desenvolvido para este artigo é aplicável a qualquer tipo de equipamentos de escavação e de transporte, independente do seu porte e volume de produção.

A partir da inserção de algumas variáveis como os indicadores de produção dos equipamentos, o modelo criado é capaz de fornecer:

- A capacidade da caçamba a ser usado nos equipamentos de escavação;
- O número de unidades de escavadeiras necessário para operar com as unidades de transporte;
- O número de unidades de transporte necessário para operar com as unidades de escavação;
- O tempo de espera que uma unidade transporte irá levar para ser carregado pela unidade de escavação.

Os serviços de escavação podem apresentar características muito específicas e particulares, por exemplo: escavação linear, abertura de valas e trincheiras; conservação e limpeza de cursos de água e taludes. Assim, julga-se vantajoso verificar se os critérios definidos no presente modelo são aplicáveis ou adaptáveis a obras que não se restrinjam à escavação comum.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem a Universidade Federal do Rio Grande de Sul (UFRGS) pela oportunidade e apoio na realização na dissertação de mestrado e ao projeto NICHE pelo suporte financeiro na bolsa de estudo.

REFERÊNCIAS

- [1]-CATERPILLAR Inc. Manual de Desempenho (PHB). 42ª edição, Peoria, Illinois, EUA. USA, 2012. Pg. 260-792.
- [2]-CLARKE, M.P. DENBY, B. SCHOFIELD, D. Decision making tools for surface mine equipment selection. Mining Science and Technology, n.10. 1990. Pg 323-335.
- [3]-COUTO, R. T. Da S. Lavras a céu aberto e equipamentos principais. Dissertação de doutoramento apresentada à Faculdade de Engenharia do Porto, Departamento de Engenharia de Minas. 1990. Pg 68-70
- [4]-KOMATSU. Specifications & Application Handbook, 27 Edition. Japan: s.n., 2006. Pp. 177-695
- [5]-QUEVEDO, J. M. G.; DIALLO, M.; LUSTOSA, L. J. Modelo de simulação para o sistema de carregamento e transporte em mina a céu aberto. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. 2009.
- [6]-RUNGE LIMITAD. Curso de formação em software Tulpac, Austrália 2012, Pg 5-6
SENAC - Rio Grande do Sul. Apostila de Programação VBA para Excel, Porto Alegre, 2010. 06p
- [7]-SILVA, Antônio. Sebenta de Introdução à Computação - Visual Basic, ISEP 2009. p 53-63
- [8]-SILVA, V. C. Apostila de Carregamento e transporte de rochas. Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 2009. Pg. 32-89.