

# UTILIZAÇÃO DE DADOS DO SISTEMA DE DESPACHO PARA ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE DE TRANSPORTE NO PLANO DE LAVRA DE CURTO PRAZO

Ana Carla de Melo Moreira Campelo <sup>1</sup>

Tatiane Marin <sup>1</sup>

Giorgio Francesco Cesare de Tomi <sup>1</sup>

## Resumo

Para elaboração de planos de lavra é necessário que se faça o correto dimensionando da capacidade produtiva dos equipamentos envolvidos nas atividades de perfuração, carregamento e transporte. Esse estudo aborda o dimensionamento da produtividade de transporte para planejamento de curto prazo através da utilização de informações oriundas do banco de dados sistema de despacho e distância média de transporte oriunda da confecção dos planos de curto prazo, tomando como base os avanços de lavra e destinação dos materiais. A fim de chegar num indicador de produtividade de transporte mais fiel aos resultados que de fato são praticados, foram levados em consideração os dados históricos mais recentes, obtidos por meio de um sistema de despacho e controle dos equipamentos. O trabalho proposto foi aplicado na mesma operação onde os dados foram obtidos e obteve resultados satisfatórios, possibilitando o acompanhamento mais detalhado da execução do plano de curto prazo e demonstrou-se passível de ser aplicado, também, para o planejamento de longo prazo. Os dados utilizados são provenientes de uma mina em operação (Cu-Au) situado no norte do Brasil.

**Palavras-chave:** Produtividade de transporte; Sistema de despacho; Estimativa; Plano mensal.

## DISPATCH SYSTEM DATA USAGE FOR FOR SHORT-TERM MINE PLAN HAULAGE PRODUCTIVITY ESTIMATION

## Abstract

In order to develop mine plans, correct sizing of drilling, loading and haulage equipment capacity is required. This study approaches haulage productivity sizing for short-term planning, by using information from the dispatch system database and average haulage distance from short-term plan, based on mine development and material allocation. So as to get to a more accurate haulage productivity indicator regarding the results actually attained, latest historical data provided by equipment dispatch and control system have been taken into account. Proposed work has been applied to the same operation where data have been obtained from, with satisfactory results being achieved. This has allowed for a more detailed monitoring of short-term plan execution, with application for long-term planning also being established. Data used herein are from an operating mine site (Cu-Au) located in the Northern Brazilian region.

**Keywords:** Haulage productivity; Dispatch system; Estimation; Monthly plan.

## I INTRODUÇÃO

Com os últimos desenvolvimentos em tecnologia, é possível monitorar continuamente as várias atividades dos equipamentos, gravando e armazenando seus indicadores de desempenho em bancos de dados, visando a centralização

de dados e integração para uma análise mais elaborada [1]. E a indústria de mineração está sempre procurando novos desafios na otimização de seus processos e produtividade de seus equipamentos. Na área de planejamento de lavra

<sup>1</sup>Pós-graduação em Engenharia Mineral, Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, SP, Brasil. E-mail: [carla.campelo@usp.br](mailto:carla.campelo@usp.br)

\*Versão revisada de trabalho apresentado na ABM Week 2017, de 2 a 6 de outubro de 2017, São Paulo, SP, Brasil.



a pesquisa operacional é utilizada desde os anos 1960s [2]. Técnicas de simulação para representar a operação, incluindo a utilização de dados de despacho são utilizadas comumente [3]. Entretanto na indústria mineral brasileira o planejamento mensal ainda utiliza indicadores pouco realísticos. Este trabalho propõe uma abordagem prática e simples para trazer dados mais realísticos no planejamento de lavra mensal.

O dimensionamento dos equipamentos, utilizados em um empreendimento mineiro, faz uso de uma série de indicadores referentes a capacidade de carregamento e transporte. A correta estimativa de indicadores como a disponibilidade física, a utilização física e a produtividade, são de fundamental importância para as decisões à serem tomadas. Um cenário de curto prazo demanda uma abordagem diferente dos indicadores em relação à um plano de longo prazo, visto que são estes indicadores que irão definir a capacidade de produção em um espaço temporal menor, aonde os valores médios do longo prazo não podem ser utilizados.

Para que o plano de curto prazo se torne factível é preciso que se realize adaptações nesses indicadores, em comparação aos utilizados no plano de longo prazo. De maneira geral, se faz necessário inserir no plano de curto prazo informações que representem o cenário presente da operação. Ao considerarmos a disponibilidade física, se leva em consideração o tempo que os equipamentos estarão disponíveis. Essa informação é obtida considerando as inspeções mais recentes dos equipamentos. Da mesma forma o plano de revitalização destes equipamentos também é considerado. Tratando-se do dimensionamento dos indicadores de utilização física e produtividade, principalmente das frotas de transporte, é prática comum a utilização de dados históricos mais recentes ao plano de lavra em questão, por exemplo, no plano mensal normalmente é utilizado o valor do mês que antecedeu ao mês que se quer planejar.

Entretanto, ao utilizar dados de produtividade médios, não se leva em consideração a influência da distância média de transporte (DMT) no resultado executado. A DMT é calculada entre os pontos de carregamento e basculamento de material, e pode variar de acordo com as necessidades operacionais do projeto. Esse trabalho tem por objetivo fazer uma análise descritiva sobre todos os componentes que podem ser extraídos do banco de dados do despacho e plano de lavra de curto prazo para estimativa da produtividade de transporte do plano mensal subsequente. Como base para este estudo foram utilizados dados reais de produção

de uma mina de cobre no norte do Brasil, a qual utiliza um software de despacho para armazenamento dos dados reais executados em bancos de dados.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Coleta e Tratamento de Dados

Com o foco em um dimensionamento de curto prazo, foram coletados dados históricos do banco de dados (BD) do sistema de despacho de um período de até quatro meses. Entretanto foi dado maior peso nos dados do mês imediatamente anterior ao momento da execução do plano mensal. Estes dados estão na Tabela 1:

Para tratamento dos dados do tempo de ciclo de transporte foi utilizado o software Excel. Esses dados foram fragmentados em todas as etapas que compõem o ciclo (TVV, TFC, TMC, TC, TVC, TMB, TMC, TFB, TB), conforme Tabela 1, através de média simples. Todos os tempos do ciclo de transporte foram estratificados por frota de equipamento de carga e frotas de transporte, essa estratificação se faz necessária para análise dos dados, visto que as diferentes frotas de equipamento possuem diferentes capacidades e analisa-las em conjunto poderia inferir em resultados inadequados. Os tempos do ciclo de transporte se dividem em tempos fixos e variáveis [4,5]. Para calcular a produtividade de transporte (PDT) variando a DMT é necessário utilizar a hora trabalhada do equipamento de transporte na menor unidade possível, visto que a produtividade é representada pela Equação 1:

$$PDT = \frac{PD}{HT} \quad (1)$$

Para extração da produtividade de transporte foram utilizadas informações do banco de dados do servidor de despacho, dessa forma foram extraídos os dados de PD e HT. Quando se deseja fazer uma variação da DMT para gerar variação na HT, então é preciso trabalhar a HT em todos os seus componentes conforme Equação 2, pois dessa forma a HT passa a ser constituída por todos os tempos discriminados que compõem o ciclo de transporte.

$$HT = TVV + TFC + TMC + TC + TVC + TFB + TMB + TB \quad (2)$$

**Tabela 1.** Dados extraídos do banco de dados do despacho

Indicador	Sigla	Indicador	Sigla	Indicador	Sigla
Tempo de Viagem Vazio	TVV	Tempo de Fila para Carregar	TFC	Tempo de Manobra para Carregar	TMC
Tempo de Carregamento	TC	Tempo de Viagem Cheio	TVC	Tempo de Fila para Bascular	TFB
Tempo de Manobra para Bascular	TMB	Tempo de Basculamento	TB	Distância de Transporte	DMT
Local de Carregamento	LOCC	Local de Basculamento	LOCB	Hora Trabalhada	HT
Produção	PD	Carga Média	CM	Velocidade Média	VM

## 2.2 Confeção do Plano de Lavra Mensal

Durante a confeção do plano são definidos os avanços de lavra para cada equipamento de carga, bem como os avanços nos pontos de basculamento (depósitos de estéril e pilhas de minério). De posse dessas duas informações se pode medir a DMT esperada para o mês entre todos os pontos de carregamento e basculamento. Essa medida é feita no software de planejamento que se utiliza.

## 2.3 Estimativa da Produtividade

Os tempos de viagem e DMT podem ser extraídos diretamente do sistema de despacho. E com isso é possível obter a velocidade realizada. Para efeito da simulação do mês subsequente não se pode utilizar a DMT histórica, a menos que seja para comparação. Sendo assim, de posse da velocidade histórica mais próxima (mês corrente) e DMT medida no software de planejamento (mês subsequente) pode-se obter o tempo de transporte estimado para o próximo mês e com ele chegar no objetivo final que é a produtividade para o mês subsequente. Vale ressaltar que dentre todas as unidades de tempo que constituem a HT, os tempos de viagem (TVV e TVC) recebem um destaque especial, pois os mesmos, nesse estudo de caso, são responsáveis por 65% do tempo total do ciclo. Considerada toda informação exposta até aqui, o tempo de transporte para esse estudo é dado pela Equação 3. E a produtividade de transporte é dado pela Equação 4.

Para alcançar o detalhamento necessário no dimensionamento de PDT para o plano de lavra mensal, esses dados foram estratificados por equipamento de carga, frota de transporte, local de carregamento e local de basculamento.

$$\left(\frac{DMT}{VM}\right) = TVC + TVV \quad (3)$$

$$PDT = \frac{CM}{\left(TMC + TMB + TFC + TFB + TC + TB + \left(\frac{DMT}{VM}\right)\right)} \quad (4)$$

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O primeiro resultado obtido foi a estimativa da produtividade de transporte para o mês subsequente, conforme Tabela 2, onde é exibido a produtividade estimada para as frotas de transporte A e B, sendo de 463 toneladas/hora e 245 toneladas/hora, respectivamente. Para a frota A o mês subsequente teria uma produtividade de transporte estimada maior do que o mês anterior, e recebe clara influência da DMT, a qual no mês anterior foi de 3,10 km e no mês subsequente estima-se 2,83 km. Para a frota B haveria uma queda de produtividade (262 t/h → 245 t/h) no mês subsequente em função do aumento de DMT (2,55 km → 3,12 km). Como o planejamento é de curto prazo foi considerado que os valores de velocidades de transporte, carga média por viagem, tempos de fila e todos os tempos fixos são iguais ao que ocorreram no mês anterior ao planejamento, foi adotado que as mudanças no perfil de transporte não alteram a velocidade média no horizonte mensal.

Na Tabela 3, é exibido o detalhe da estimativa de produtividade de transporte da frota de transporte B carregado na escavadeira I (Esc I), conforme todos os locais de basculamento que foram destinados para o avanço dessa escavadeira.

No local de basculamento com preenchimento de amarelo são exibidos todos os locais onde ocorreu basculamento no mês anterior, e os percentuais da massa em cada um desses locais. Os locais de basculamento que estão com asteriscos são os locais que foram definidos no plano para basculamento no mês subsequente, mas que não havia ocorrido basculamento no mês anterior.

Para os locais de basculamento que não houve deposição no mês anterior, é necessário que seja escolhido a velocidade média para que os cálculos sejam executados, dessa forma foram escolhidos aqueles que são mais próximos desse ponto de basculamento ou que possuem perfil de transporte semelhante.

Um segundo resultado obtido por esse trabalho é a possibilidade de acompanhamento detalhado do plano de deposição (DMT e perfil de transporte) e seu impacto

**Tabela 2.** Estimativa da produtividade de transporte

Escavadeira	FROTA DE TRANSPORTE A					FROTA DE TRANSPORTE B				
	MÊS CORRENTE			SUBSEQUENTE		MÊS CORRENTE			SUBSEQUENTE	
	DMT (km)	Vel. (km/h)	Produt. (t/h)	DMT (km)	Produt. (t/h)	DMT (km)	Vel. (km/h)	Produt. (t/h)	DMT (km)	Produt. (t/h)
Esc 1	2,55	20	576	2,83	533	2,56	19	356	2,83	330
Esc 2				2,53	471				-	-
Esc 3	3,35	18	421	2,93	466	3,30	17	265	2,93	291
Esc 4	3,61	18	283	4,06	263	2,62	17	232	4,06	173
Esc 5	4,13	18	329	4,06	332	3,95	17	212	4,06	207
Esc 6	3,13	17	348	1,60	501	3,02	16	226	1,60	338
Esc 7	2,76	18	383	2,75	382	2,29	16	282	3,03	234
Esc 8	2,62	18	376	2,62	376	1,58	17	386	2,81	269
Total	3,10	18	425	2,83	463	2,55	17	262	3,12	245

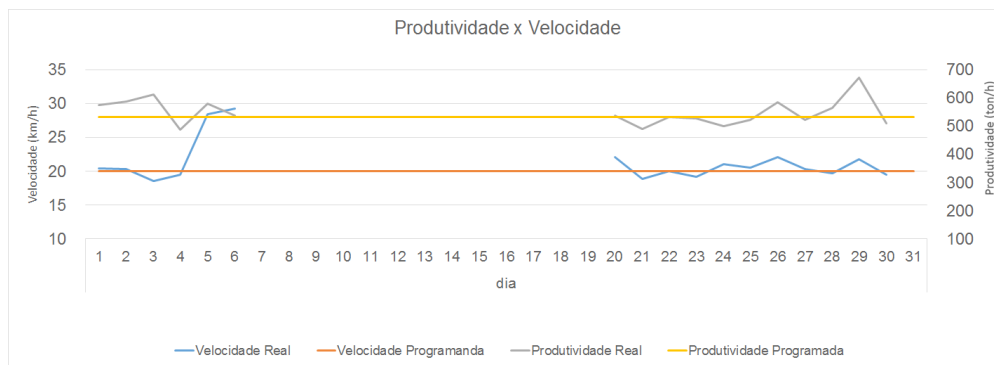
sobre a produtividade de transporte. Nas Figuras 1 e 2, são apresentados o acompanhamento da DMT e velocidade média, programados e realizados para Esc I frota de transporte B. Do dia 07 ao dia 19 esse equipamento esteve em manutenção preventiva, por isso não são apresentados valores.

Na Figura 2 podemos observar, ainda para Esc I, o quão aderente foi o realizado com relação ao planejado.

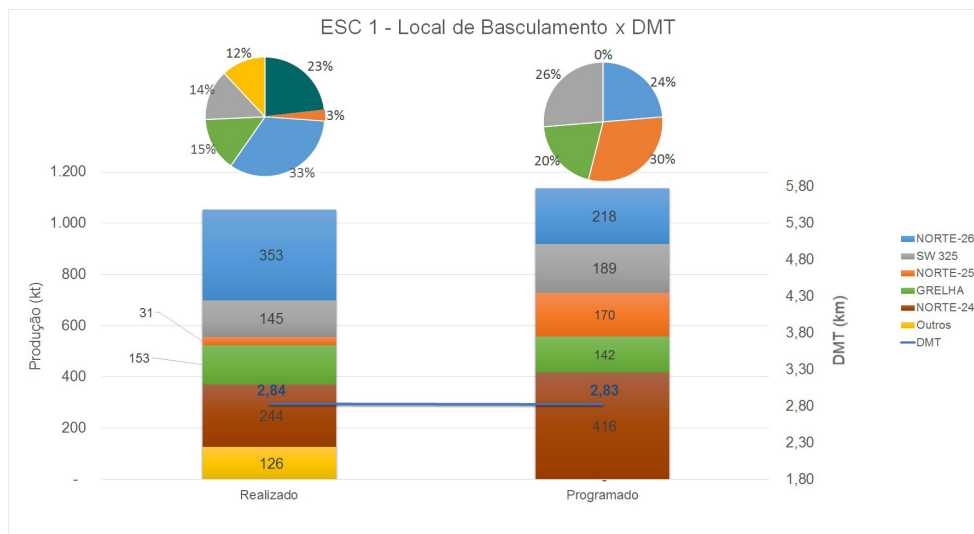
A DMT realizada foi de 2,84 km para um planejado de 2,83 km. Pode-se fazer o acompanhamento detalhado de todos os desvios pois, é possível verificar que houve deposição em local que não havia sido programado e houve também diferença nos percentuais destinados, por exemplo, no depósito N-265 que havia sido programado apenas 19% do material acabou sendo executado 33%, e isso exerce influência na DMT.

**Tabela 3.** Estimativa da produtividade de transporte por local de basculamento, Esc I, frota de transporte B

Local de basculamento	MÊS CORRENTE				MÊS SUBSEQUENTE		
	% de massa	DMT km	Vel. km/h	Produt. t/h	% de massa	DMT km	Produt. t/h
NORTE-245	6%	2,65	21	593	37%	2,98	544
NORTE-255	12%	2,27	21	665	15%	2,75	577
NORTE-265	22%	2,52	20	558	19%	2,55	552
GRELHA*	0%		19		13%	2,69	531
SW 325*	0%		19		17%	2,99	487
Outros Locais	60%	2,86	22	546			
Total	100%	3,10	18	425	100%	2,83	463



**Figura 1.** DMT X Produtividade de transporte Esc I frota de transporte B.



**Figura 2.** Percentual de massa destinado para locais de deposição – planejado x realizado.

#### 4 CONCLUSÃO

Foi constatado a eficácia do dimensionamento de produtividade de transporte através da utilização de dados históricos do BD do despacho e estimativa de DMT oriunda do plano de lavra. Apesar da estimativa ser realista o resultado da produtividade do mês subsequente não é o programado, principalmente em função desvios ligados às condições operacionais que não foram previstas no plano. No entanto, se aproximar muito do planejado, conforme pudemos verificar no caso da Esc I.

A utilização dos dados históricos dos tempos fixos que constituem de ciclo do mês anterior dá uma segurança maior no plano visto que são os dados reais. Além de um dimensionamento de produtividade mais acurado, surge a possibilidade de acompanhamento detalhado dos desvios,

como deposição em locais que não haviam sido programados ou diferença dos percentuais destinados, como pôde ser observado na Figura 2. Essa avaliação recebe um destaque especial pois se o dimensionamento de produtividade de transporte fosse feito como antes, apenas como a média da produtividade executada do mês antecessor, não se teria detalhe nenhum para acompanhamento dos desvios e verificação de oportunidades de melhoria.

Sugere-se que essa pesquisa seja estendida para dimensionamento de produtividade no planejamento de longo prazo, o qual normalmente se utiliza de dados de tempos fixos do tempo de ciclo de transporte baseados nos manuais dos fornecedores, se sugere que há oportunidades de melhoria na acurácia do dimensionamento buscando os dados históricos e fazendo análise estatística mais detalhada dos mesmos.

#### REFERÊNCIAS

- 1 Coronado PPV, Tenorio VO. Optimization of open pit haulage cycle using a KPI controlling alert system and a discrete-event operations simulator. In: Proceedings of The 37th International Symposium on Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry, APCOM; 2015 May 23-27; Fairbanks, United States of America. Fairbanks: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration; 2015. p. 34-44.
- 2 Newman AM, Rubio E, Caro R, Weintraub A, Eurek K. A review of operations research in mine planning. Interfaces. 2010;40(3):222-245.
- 3 Tan Y, Miwa K, Chinbat U, Takakuwa S. Operations modeling and analysis of open pit copper mining using GPS tracking data. In: Proceedings of the Winter Simulation Conference; 2012 December 09-12; Berlin, Germany. Texas: WSC Foundation – WSCF; 2012.
- 4 Darling P. SME mining engineering handbook. 3th ed. Colorado: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration; 2011.
- 5 Caterpillar. Caterpillar performance handbook. 43rd ed. Illinois: Caterpillar Inc; 2013.

Recebido em: 20 Nov. 2017

Aceito em: 22 Jan. 2018