



## Resumo Expandido

<b>Título da Pesquisa (Português):</b> Pesquisa Operacional aplicada ao problema de alocação de caminhões em uma mina a céu aberto.		
<b>Título da Pesquisa (Inglês):</b> Operations Research applied to the allocation of trucks in an open-pit mine		
<b>Palavras-chave:</b> Planejamento de lavra, Programação Matemática, Alocação de caminhões.		
<b>Keywords:</b> Open Pit Mine Plan, Mathematical Programming, Trucks allocation.		
<b>Campus:</b> Governador Valadares	<b>Tipo de Bolsa:</b> PIBIC	<b>Financiador:</b> IFMG
<b>Bolsistas:</b> Jéssica Figueiredo Campos e Victoria Costa Ferreira		
<b>Professor Orientador:</b> Guido Pantuza Júnior		
<b>Área de Conhecimento:</b> Engenharia de Produção		<b>Edital:</b> 139/2013

**Resumo:** Este trabalho trata dos problemas de planejamento operacional de lavra em minas a céu aberto. São propostos dois modelos matemáticos, o primeiro considera a alocação dinâmica de caminhões e o segundo a alocação estática. Além da alocação de caminhões, o problema de estudo trata da mistura de minérios, levando-se em consideração o atendimento a metas de produção e qualidade do minério. Os modelos visam determinar o número de viagens que cada caminhão deve realizar a cada frente de lavra, quais frentes de lavra deve-se alocar as carregadeiras, além da determinação do ritmo de lavra em cada frente. Para a construção dos modelos foi utilizado a programação linear por metas e os resultados computacionais foram obtidos através da efetuação dos modelos no software IBM ILOG CPLEX Optimization Studio.

**Abstract:** *This work covers subjects regarding operations planning in open-pit mines. Two mathematic models are proposed, the first one regards dinamic allocation of trucks and the second one regards static allocation of trucks. Going further of the truck allocation problem, this study discuss towards mineral mixture considering both, production goals and mineral quality. The models seek to determine the numer of trips that each truck has to go for every front minning and which of the front minning should be allocated to the loaders; also, the determination of the rythym of the mine is discussed. Linear programming for goals was used to build the models and the computed results were obtained through effecting the models in the software IBM ILOG CPLEX Optimization Studio.*

## INTRODUÇÃO:

Diminuir custos, otimizar os processos produtivos e tomar decisões rápidas, tornou-se imprescindível para sobrevivência das empresas. Com isso, as organizações passaram a buscar ferramentas de planejamento da produção, com o objetivo de melhorar os processos produtivos e minimizar os erros nas tomadas de decisão.

Um das ferramentas utilizadas para o auxílio da tomada de decisões é a pesquisa operacional – PO. Para Arenales *et al.* (2011, p. 3) “a pesquisa operacional [...] procura determinar como melhor projetar e operar um sistema, usualmente sob condições que requerem a alocação de recursos escassos”.

Uma técnica da pesquisa operacional muito utilizada é a otimização linear, que consiste no planejamento das atividades para obter um resultado ótimo, ou seja, um resultado que atinja o melhor objetivo entre todas as alternativas possíveis. (HILLIER E LIEBERMAN, 2013).

Dentre as aplicações desta técnica está o seu uso no desenvolvimento do planejamento de lavra, em empresas de mineração. Nestas empresas, em especial nas de mina a céu aberto, o planejamento de lavra é realizado pelo método de tentativa e erro, onde as tomadas de decisões são baseadas na experiência dos operadores. Podendo gerar erros e gastos desnecessários para as empresas. (PANTUZA JR, 2011).

Vista a necessidade da utilização das técnicas da pesquisa operacional no planejamento de lavra, este trabalho busca contribuir com o desenvolvimento de modelos de planejamento de lavra apresentando as técnicas da pesquisa operacional e os benefícios da sua utilização, para auxiliar os profissionais da indústria de mineração.

O objetivo principal deste trabalho visa propor um modelo de otimização para o problema de planejamento de lavra em uma mina a céu aberto. Utilizando a otimização linear por metas para a construção do mesmo.

## **METODOLOGIA:**

O método empregado para a elaboração deste trabalho foi dividido em três etapas: revisão bibliográfica, experimentação e análise dos resultados.

Inicialmente foi realizada uma pesquisa em livros, revistas e artigos com a finalidade de se obter um embasamento teórico dos principais conceitos relacionados ao tema, os quais podem ser citados: a programação matemática, as otimizações linear, mista e inteira e trabalhos da pesquisa operacional aplicadas a mineração.

A partir daí, iniciou-se a etapa de experimentação com a formulação dos modelos matemáticos. Para esta formulação foi utilizado como base o modelo proposto por Pantuza Jr (2011), no qual, foram realizadas alterações a fim de tornar o modelo mais próximo da realidade.

Com a utilização da otimização linear por metas foram construídos dois modelos matemáticos, o primeiro considera a alocação dinâmica de caminhões e o segundo a alocação estática. Para a resolução dos mesmos foi utilizado o software IBM ILOG CPLEX Optimization Studio. E para esta resolução foram utilizados os dados de oito instâncias teste que se encontram disponíveis em: <http://www.iceb.ufop.br/decom/prof/marcone/projects/mining.html>.

Após a resolução dos modelos, os resultados são coletados e validados. A validação dos modelos é realizada através da análise dos resultados encontrados, verifica-se se os mesmos são compatíveis com a realidade do problema.

A última etapa deste trabalho consistiu em analisar os resultados encontrados. Foram analisados detalhadamente os valores das funções objetivo e das taxas de utilização das carregadeiras e dos caminhões. Comparando os resultados dos modelos dinâmico e estático.

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES:**

Os resultados obtidos em cada uma das oito instâncias teste utilizadas para os modelos dinâmico e estático são apresentados nos gráficos 1, 2 e 3. Nestes são analisadas as funções objetivo e as taxas de utilização das carregadeiras e dos caminhões, apresentados, respectivamente.

Pelo Gráfico 1 observa-se que o modelo de alocação dinâmica encontrou funções objetivo melhores que o modelo de alocação estática em todas as instâncias analisadas. Pois, as funções objetivo dos modelos matemáticos implementados são funções de minimização, logo quanto menor for o resultado da função objetivo, melhor é o resultado.

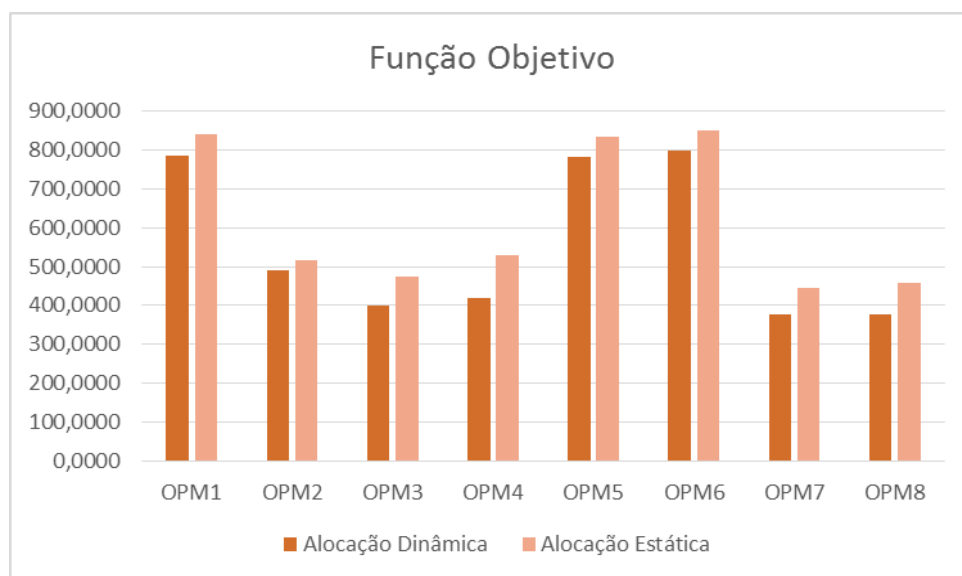


Gráfico 1 – Comparação entre funções objetivos

Fonte: elaborado pelos autores

Pelo gráfico 2 observa-se que nas instâncias opm3, opm4, opm5, opm7 e opm8 as carregadeiras atingiram as mesmas taxas de utilização com os dois modelos implementados. Já nas instâncias opm1 e opm2 as taxas atingiram melhores resultados quando os caminhões foram alocados estaticamente e na instância opm6 obteve-se um melhor resultado com a alocação dinâmica dos caminhões.

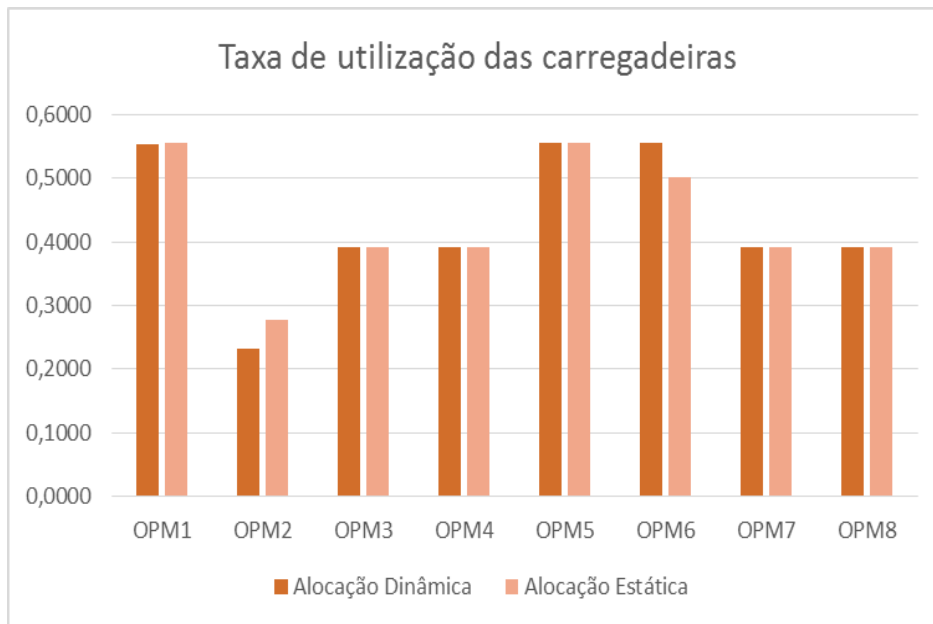


Gráfico 2 – Comparação entre as taxas de utilização das carregadeiras

Fonte: elaborado pelos autores

Na implementação dos modelos foi estipulado a taxa de utilização máxima dos caminhões ( $T_{xu}$ ) de 75%. Pelo gráfico 3 observa-se que os resultados das taxas de utilização atingidas pelos caminhões alocados dinamicamente foram melhores do que as dos caminhões alocados estaticamente em todas as instâncias.

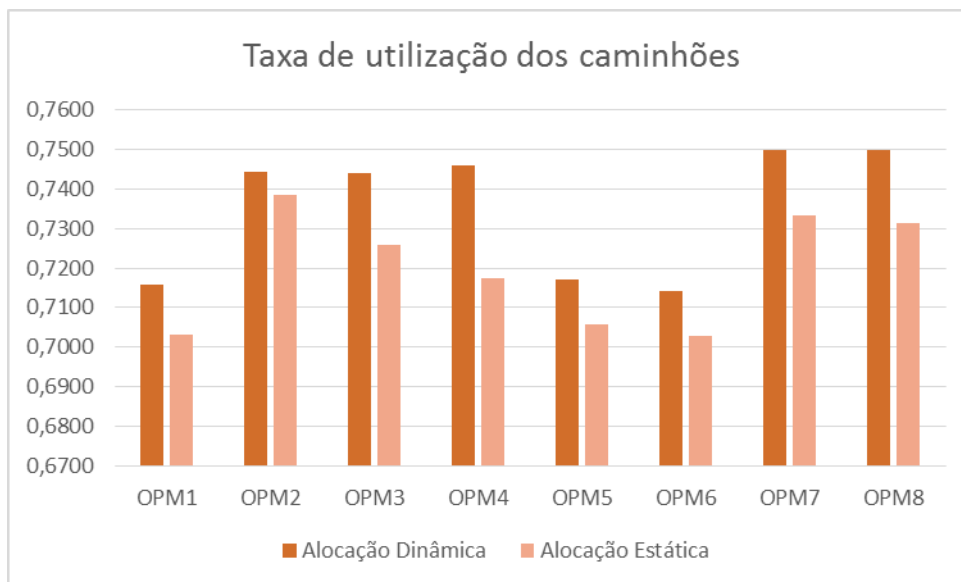


Gráfico 3 – Comparação entre as taxas de utilização dos caminhões

Fonte: elaborado pelos autores

## CONCLUSÕES:

Este trabalho trata de problemas de planejamento de lavra em minas a céu aberto, mais detalhadamente dos problemas de mistura de minérios e da alocação dos caminhões. Foi construído dois modelos de otimização o primeiro considera a alocação dinâmica de caminhões e o segundo a alocação estática. Os modelos visam determinar o número de viagens que cada caminhão deve realizar a cada frente de lavra, quais frentes de lavra deve-se alocar as carregadeiras, além da determinação do ritmo de lavra em cada frente.

Os primeiros resultados analisados, os quais pode-se citar as funções objetivo e as taxas de utilização dos caminhões e das carregadeiras mostram um melhor aproveitamento dos veículos com a alocação dinâmica de caminhões. Mas, como o trabalho ainda se encontra em andamento, não é possível afirmar qual o melhor método de alocação de caminhões.

#### **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA:**

Arenales, Marcos; Armentano, Vinícius; Morabito, Reinaldo; Yanasse, Horacio. Pesquisa operacional: para cursos de engenharia. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2011. 523p.

Hillier, Frederick S.; Lieberman, Gerald J. Introdução à pesquisa operacional. 9.ed. Porto Alegre: AMGH, 2013. 1005p.

Pantuza Jr, Guido. Métodos de otimização multiobjetivo e de simulação aplicados ao problema de planejamento operacional de lavra em minas a céu aberto. Dissertação (Mestrado). UFOP, Ouro Preto: 2011.