

## INVESTIGAÇÃO DE NOVAS ABORDAGENS PARA O PROBLEMA DE PLANEJAMENTO OPERACIONAL DE LAVRA COM ALOCAÇÃO DINÂMICA DE CAMINHÕES ATRAVÉS DO USO DOS ALGORITMOS DE COLÔNIAS DE FORMIGA

**Autores:** VICTOR DE FREITAS ARRUDA, DIEGO LEAL MAIA, RAMÓN SOUZA SILVA RODRIGUES, MATEUS FELLIPE ALVES LOPES, JOÃO BATISTA MENDES

### Introdução

Com o aumento da competição, a diminuição de custos e a tomada de decisões com maior confiabilidade tornaram-se indispensáveis para a lucratividade das empresas. Com isso, operações mais complexas surgiram e assim, tornou-se necessário alocar os recursos disponíveis de forma mais racional (RODRIGUES, 2006).

Particularmente, o processo de mineração em minas a céu aberto envolve atividades de complexidade elevada e alto volume de investimentos. A alocação dos equipamentos deve acontecer de forma criteriosa garantindo a produção de minério e estéril dentro dos limites pré-estabelecidos e utilização equilibrada dos equipamentos (MENDES, 2013). Sendo assim, a utilização de métodos heurísticos para a resolução de problemas com esse tipo de complexidade se apresenta como uma alternativa promissora, visto que o Problema de Planejamento Operacional de Lavra com Alocação Dinâmica de Caminhões é da classe NP-Difícil, ou seja, não se conhece algoritmo que o resolva em tempo polinomial, este trabalho propõe o desenvolvimento de um algoritmo baseado na metaheurística de colônia de formigas para resolução deste problema.

### Material e métodos

Para o presente trabalho foi realizado um levantamento bibliográfico acerca dos principais trabalhos que tratam do Problema de Planejamento Operacional de Lavra com Alocação Dinâmica de Caminhões e dos algoritmos baseados no comportamento de formiga. Logo após foi feita a modelagem do problema para que pudesse ser resolvido através de alguma variação dos algoritmos baseados no comportamento de formiga.

### Resultados e discussão

#### A. Problema de Planejamento Operacional de Lavra em Minas a Céu Aberto com Alocação Dinâmica de Caminhões (POLAD)

As mineradoras realizam suas atividades em minas subterrâneas ou a céu aberto (ou de superfície). Na mina a céu aberto as atividades de carregamento e transporte ocorrem da seguinte maneira: os caminhões se deslocam até as frentes de lavra (locais de extração de minério ou estéril numa mina) onde opera um equipamento de carga que é compatível com o veículo. Os caminhões são carregados pelos equipamentos de carga e em seguida os veículos se deslocam para os pontos de descarga, onde depositam o material extraído. Os pontos de descarga de material se classificam em: Pilhas de estéril é onde fica depositado o material retirado das frentes de estéril; Britador para onde é destinado o minério retirado das frentes de minério (RODRIGUES, 2006).

De acordo com COSTA (2005), o planejamento operacional de lavra em uma mina a céu aberto consiste no planejamento a curto prazo, no qual o principal objetivo é determinar o ritmo de lavra implementado em cada uma das frentes, para assim fornecer para a usina de beneficiamento uma alimentação adequada. Cada uma das frentes de lavra apresenta características de qualidade diferentes, por exemplo, o teor de determinado elemento químico ou a percentagem de minério em determinada granulometria. Dessa maneira, cada frente deve auxiliar com uma quantidade apropriada para que o produto final esteja em conformidade e com as exigências do cliente. No POLAD os caminhões utilizados podem ser de capacidades diferentes. Além disso, neste trabalho considera-se que a alocação dos veículos acontece de forma dinâmica: ao descarregar o material, seja no britador (ou pilhas

de estoque próximas ao britador) ou na pilha de estéril, o caminhão é direcionado a uma frente que não necessariamente seja a mesma da viagem anterior. Além disso, considera-se o planejamento para uma hora de produção, sendo este aplicado até uma frente exaurir ou ocorrer uma quebra de equipamento de carga que opera na frente, situação na qual deve ser feito outro planejamento (COELHO, 2012).

### *B. Ant Colony Optimization e sua metaheurística (ACO – Otimização por colônia de formigas)*

Os Ant Algorithms foram propostos por DORIGO et al. (1991), como uma abordagem alternativa para problemas de otimização combinatória, como o caixeiro viajante e o problema de alocação quadrática. (DORIGO; Di CARO; GAMBARELLA, 1999).

A otimização por colônia de formigas tem inspiração no comportamento de algumas espécies de formiga em busca de alimento. Elas que são conhecidas por serem insetos sociais utilizam da estigmergia para se comunicar. A estigmergia é um tipo de comunicação em que os indivíduos se comunicam através de modificações feitas no ambiente (DORIGO; BONABEAU; THERAULAZ, 2000). No caso das formigas, a estigmergia se dá pela utilização do feromônio. Quando elas saem à procura de alimento, as formigas deixam o feromônio por onde passam e como muitas espécies de formiga são praticamente cegas ele é muito importante para a construção de trilhas, como por exemplo, a trilha entre a colônia e a comida (DORIGO; MANIEZZO; COLORNI, 1996).

Na metaheurística Ant Colony Optimization (ACO - Otimização por Colônia de Formigas), certos números de formigas artificiais constroem soluções para determinado problema de otimização e trocam informações sobre a qualidade dessa solução através de um esquema de comunicação que lembra o mesmo adotado por formigas reais (DORIGO; BIRATTARI; STÜTZLE; 2006).

Nesta metaheurística a cooperação é o principal componente da ACO: Escolhe-se alocar os recursos computacionais em um conjunto de agentes relativamente simples (formigas artificiais) que comunicam indiretamente por estigmergia. Boas soluções são uma propriedade emergente da interação cooperativa de agentes (DORIGO; STÜTZLE, 2004).

A metaheurística ACO é mostrada no algoritmo 1. Ela consiste em um passo de inicialização e um loop sobre três componentes algorítmicos. Uma única iteração de um loop consiste na construção de soluções por todas as formigas, na melhoria dessas soluções encontradas (opcional) com uso de algum algoritmo de busca local, e a atualização do feromônio (DORIGO; SOCHA, 2007).

### *C. Resultados*

Após o levantamento bibliográfico sobre o problema operacional de lavra, foi proposta a utilização da metaheurística de Colônia de Formigas para resolução do problema em questão, o qual funcionamento é explicado a seguir.

O algoritmo desenvolvido funciona da seguinte forma: Inicialmente, ocorre a inicialização dos parâmetros, ou seja, de acordo com o cenário, cria-se os objetos que o caracterizam, também ocorre a inicialização do feromônio. Em seguida há uma quantidade  $n$  de iterações em que em cada iterações cada formiga cria sua solução, que é feita da seguinte forma, cada formiga é colocada em uma frente com uma carregadeira aleatoriamente, e de acordo com a necessidade do cliente a formiga realiza cálculos utilizando a informação heurística e a quantidade de feromônio encontrada nas trilhas para selecionar qual é a próxima frente e qual próximo equipamento de carga que traz uma melhor resultado para a solução, para uma maior variedade de soluções, as 2 ultimas combinações de frente com equipamento de carga é feita de forma aleatória.

Após o final de cada iteração cada formiga avalia sua solução, para isso foi utilizado o método da soma ponderada. Que nada mais é do que transformar um problema multi-objetivo em um problema mono-objetivo. Dessa maneira, através da atribuição de diferentes pesos para cada objetivo temos uma nova função que representa a relação linear entre todos os objetivos. Para que os pesos reflitam aproximadamente a importância dos objetivos, o decisor deve normalizá-los. Ou seja, para que cada peso de um objetivo expresse sua importância

em relação aos demais, os objetivos devem estar todos em uma mesma escala ou ordem de grandeza.

Em seguida, de acordo com a avaliação das formigas faz-se a atualização do feromônio, tentando beneficiar as soluções que obtiveram avaliação melhor, e assim a cada iteração a matriz de feromônio se modifica, fazendo com que a trilha fique mais forte onde as soluções foram melhores.

No final de cada iteração guarda-se a melhor solução e no final é exibido a melhor solução, que é representada como uma matriz, onde cada linha corresponde a uma frente de lavra e cada coluna a um caminhão. Assim o conteúdo de cada célula  $M_{ji}$  da matriz indica a quantidade de viagens que cada caminhão  $c_i$  fará em cada uma das frentes  $f_j$ .

## Conclusões

O procedimento para alocação entre os diversos equipamentos em uma mina não é simples, conforme discutido anteriormente. É importante frisar que uma alocação ruim pode comprometer a qualidade do minério produzido e a produtividade dos diversos equipamentos resultando em prejuízos para a mineradora (cancelamento de contratos ou multas). Assim é comum na literatura especializada a utilização de metaheurísticas na resolução deste tipo de problema. Diante do exposto, propomos a implementação de uma solução baseada na metaheurística de colônia de formigas para tentar solucionar o POLAD, conforme exposto neste documento.

## Agradecimentos

A todos que contribuíram e estão contribuindo para o desenvolvimento deste projeto, aos meus professores, pelo incentivo e conhecimento fornecido, especialmente ao orientador deste trabalho que nos deu a oportunidade de participar dessa Iniciação Científica Voluntária, e por fim, agradeço também aos colegas que fazem parte deste projeto.

## Referências bibliográficas

- COELHO, V.N. Uma Abordagem Multiobjetivo para o Problema de Planejamento Operacional de Lavra. Relatório Final PROBIC/FAPEMIG, 2012, Ouro Preto, MG, Brasil. Disponível em: <<http://www.decom.ufop.br/prof/marcone/projects/ppm469-11/Relatorio-PROBIC-2012.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2017.
- COSTA, F. P. da. Aplicações de Técnicas de Otimização a Problemas de Planejamento Operacional de Lavra em Minas a Céu Aberto. 2005. 140 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Mineral) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 2005. Disponível em: <[http://www.decom.ufop.br/marcone/Orientacoes/Dissertacao\\_Felippe\\_PPGEM.pdf](http://www.decom.ufop.br/marcone/Orientacoes/Dissertacao_Felippe_PPGEM.pdf)>. Acesso em: 20 mar. 2017.
- DORIGO, M.; CARO, G.Di; GAMBARDILLA, L.M. Ant Algorithms for Discrete Optimization. Artificial Life, v.5, p137-172, 1999. Disponível em: <[https://www.cs.ubc.ca/~hutter/EARG.shtml/earg/papers04-05/artificial\\_life.pdf](https://www.cs.ubc.ca/~hutter/EARG.shtml/earg/papers04-05/artificial_life.pdf)>. Acesso em: 05 mar. 2017.
- DORIGO, M.; BIRATTARI M.; STÜTZLE, T.; Artificial Ants as a Computational Intelligence Technique. IRIDIA, Institut de Recherches Interdisciplinaires et de Développements en Intelligence Artificielle. Université Libre de Bruxelles, Bruxelles, Belgium. 2006. Disponível em: <<http://iridia.ulb.ac.be/~mbiro/PaperI/IridiaTr2006-023r001.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2017.
- DORIGO M.; BONABEAU E.; THERAULAZ G.; Ant algorithms and stigmergy. IRIDIA, Institut de Recherches Interdisciplinaires et de Développements en Intelligence Artificielle. Université Libre de Bruxelles, Brussels, Belgium; EuroBios, Paris, France; Université Paul Sabatier, Toulouse, France. 2000. Disponível em: <<http://lia.deis.unibo.it/Courses/AI/fundamentalsAI2007-08/papers/stigmergy.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2017.
- DORIGO, M.; MANIEZZO, V.; COLORNI, A.; The Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B, v.26, p.1-13, 1996. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/cd64/e1519997be0db1ca960def615716719787e8.pdf>>. Acesso em 20 mar. 2017.
- DORIGO, M.; SOCHA, K. An Introduction to Ant Colony Optimization. IRIDIA, Institut de Recherches Interdisciplinaires et de Développements en Intelligence Artificielle. Université Libre de Bruxelles, Bruxelles, Belgium. 2007. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Marco\\_Dorigo/publication/228388768\\_An\\_Introduction\\_to\\_Ant\\_Colony\\_Optimization/links/56cebf6108ae85c8233f77fa/An-Introduction-to-Ant-Colony-Optimization.pdf?origin=publication\\_detail](https://www.researchgate.net/profile/Marco_Dorigo/publication/228388768_An_Introduction_to_Ant_Colony_Optimization/links/56cebf6108ae85c8233f77fa/An-Introduction-to-Ant-Colony-Optimization.pdf?origin=publication_detail)> Acesso em: 20 mar. 2017.
- DORIGO, M.; STÜTZLE, T. Ant Colony Optimization. Massachusetts: MIT Press, 2004. 321p.
- MENDES, J. B. Uma Abordagem Multiobjetivo para o Problema de Despacho de Caminhões em Minas a Céu Aberto. 2013. 133 f. Tese (Pós-Graduação em Engenharia Elétrica), Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013. Disponível em: <<http://www.ppgee.ufmg.br/defesas/254D.PDF>>. Acesso em: 20 mar. 2017.
- RODRIGUES, L.F. Análise comparativa de metodologias utilizadas no despacho de caminhões em minas a céu aberto. 2006. 103p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006. Disponível em: <[http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/NVEA-72CKG8/1\\_sara\\_fabricia\\_rodrigues.pdf](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/NVEA-72CKG8/1_sara_fabricia_rodrigues.pdf)>. Acesso em: 05 mar. 2017.

---

## Algoritmo 1 - Metaheurística ACO (*Ant Colony Optimization* - Otimização por Colônia de Formigas)

---

```
Definir parâmetros, inicializar trilha de feromônio
enquanto as condições de finalização não cumpridas faça
    Construção Solução Formiga
    Busca Local {Opcional}
    Atualização Feromônio
fim enquanto
```

---

Fonte: DORIGO; SOCHA, 2007.