



Autor(es): RAMÓN SOUZA SILVA RODRIGUES, VICTOR DE FREITAS ARRUDA, MATEUS FELLIPE ALVES LOPES, DIEGO LEAL MAIA, JOÃO BATISTA MENDES

Metaheurística de Colônia de Formigas Aplicado ao Problema de Planejamento Operacional de Lavra

Introdução

Este trabalho trata do problema de planejamento operacional de lavra com alocação dinâmica de caminhões, para o qual foi proposta uma adaptação da metaheurística ACO (*Ant Colony Optimization* - Otimização por Colônia de Formigas) para sua resolução.

O algoritmo ACO é baseado na observação do comportamento de formigas reais na busca por alimento. Como muitas espécies são praticamente cegas elas utilizam da estigmergia, que é uma forma indireta de comunicação baseada em modificações do ambiente, sendo essa uma das principais características da metaheurística.

Material e Métodos

A. Metaheurística ACO

Os *Ant Algorithms* foram propostos por Marco Dorigo *et al.* (1991), como uma abordagem alternativa para problemas de otimização combinatória como caixeiro viajante e o problema de alocação quadrática. Eles são inspirados no comportamento de formigas reais que utilizam da estigmergia, que no caso das formigas é um composto químico que é deixado por onde elas passam. Esse composto químico é chamado de Feromônio e como muitas espécies de formigas são praticamente cegas ele é importante para a construção de trilhas como, por exemplo, uma trilha entre a colônia e a comida. Também é pela sensibilidade a essa trilha de feromônio que novas formigas podem encontrar trilhas que foram feitas por outras formigas, aumentando a concentração de feromônio ao passar pela mesma (DORIGO, M.; CARO, G. Di & GAMBARDELLA L. M., 1999). Vale lembrar que se a trilha não for utilizada, a concentração de feromônio na trilha tende a diminuir até desaparecer, processo que é chamado evaporação do feromônio.

Na metaheurística ACO, uma colônia de formigas artificiais de tamanho finito cooperam para encontrar boas soluções para problemas de otimização combinatória. Cada formiga constrói uma solução partindo de um estado inicial selecionado de acordo com algum critério pré-estabelecido (DORIGO, M.; CARO, G. Di & GAMBARDELLA L. M., 1999). Após construir uma solução a formiga utiliza informações sobre a solução para modificar a representação do problema, ou seja, ela depositará uma certa quantidade de feromônio na trilha criada, de acordo com a qualidade da solução encontrada naquele momento.

Assim, na ACO os seguintes procedimentos, conforme descrito em ver Alg. 1, são executados após a inicialização dos parâmetros do algoritmo: Construção das Soluções, Atualização do Feromônio e Busca Local (Opcional) (DORIGO, M.; STÜZLE, T., 2004).

B. Problema de Planejamento Operacional de Lavra com Alocação Dinâmica de Caminhões em Minas a Céu Aberto

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 preciso alocar os recursos disponíveis de forma mais racional. Particularmente, o processo de mineração em minas a céu aberto envolve atividades complexas e alto volume de investimentos. Diante dessas especificidades, a tomada de decisão nesse tipo de empresa deve ser tomada com base em critérios bem definidos (RODRIGUES, 2006).

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

Neste contexto o objetivo é atender as exigências do cliente, lavrando minério de diversas frentes. Como cada frente de minério possui características diferentes (parâmetros de controle), é necessário determinar os ritmos de lavra de um conjunto de frentes de minério e estéril, onde são alocados os equipamentos de carga e caminhões, de maneira que as metas de produção e qualidade sejam atendidas. Existem outras restrições importantes para o problema em questão como, por exemplo, a relação estéril/minério a ser lavrada para viabilizar a abertura de novas frentes e a realização de obras de infraestrutura (COSTA, 2005).

Para o funcionamento da mina, utiliza-se um conjunto finito de equipamentos de carga (S), caminhões (C) e frentes (F) de minério e estéril. O transporte do material é feito através da frota de caminhões que são alocados dinamicamente. Os caminhões possuem capacidades de carga diferenciadas e devem ser alocados à frente onde opera uma a carregadeira



compatível com o caminhão (COSTA, 2005).

Resultados e Discussão

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. A seguir será feita uma descrição da metaheurística ACO adaptada para o problema de planejamento operacional de lavra em mina a céu aberto.

Assim como na ACO original o algoritmo proposto também foi dividido em três procedimentos. Porém, neste trabalho é detalhada somente a fase de *Construção de uma Solução* realizada por uma formiga da colônia, conforme descrito pelo Alg. 2.

Primeiramente executa-se a função **Iniciar** que realiza três operações principais:

- *Alocar aleatoriamente frentes de lavra e os equipamentos de carga*: Para cada equipamento de carga seleciona-se aleatoriamente uma frente de lavra, que pode ser de minério ou estéril;
- *Criar mapas informativos*: Estes mapas contêm informações acerca das restrições de quantidade mínima e máxima de viagens que devem ser feitas em cada uma das frentes;
- *Definir massa mínima a ser lavrada*: De acordo com a quantidade mínima de viagens que devem ser feitas em cada frente, pode-se determinar a massa mínima (minério e estéril) a ser lavrada, computando também o desvio dos parâmetros de controle, sem esquecer-se de considerar os equipamentos de carga alocados em cada frente.

No passo seguinte determina-se a quantidade de viagens que devem ser realizadas em cada frente, otimizando a qualidade de minério, relação estéril/minério e ainda respeitando as restrições de produção, conforme descrito:

1. Executa-se a rotina **Selecionar Frente** para identificar o tipo de frente (estéril ou minério) que trará o menor desvio à relação estéril/minério.
 - a) Se for minério: Determina-se a frente que permitirá uma melhoria na qualidade de minério. Neste caso, será adicionada uma nova viagem à frente selecionada.
 - b) Se for estéril: Seleciona-se aleatoriamente uma frente de estéril e também será adicionada uma nova viagem à frente selecionada.
2. Enquanto a seleção de uma frente for viável, retorna-se ao passo 1. Caso contrário, encerra-se o processo.

Após determinar o total de viagens para cada frente de lavra, calcula-se o total de viagens de cada caminhão para cada frente de lavra, respeitando as restrições de tempo de ciclo. Este processo é realizado pela rotina **Alocar Caminhões**. De forma resumida, ela divide os caminhões em conjuntos (C') segundo a capacidade de transporte. Os passos seguintes são executados para cada conjunto C':

1. Seleciona-se um caminhão c_i aleatoriamente;
2. Identificam-se as frentes de lavra F' que são compatíveis com c_i e seleciona-se aleatoriamente uma frente f_j ;
3. Calcula-se a quantidade de viagens (n) que c_i pode fazer à frente f_j :
 - a) Se $n \geq 1$, seleciona-se um valor m , compreendido entre 0 e n , que corresponde ao total de viagens a ser realizada pelo caminhão c_i na frente f_j .
 - b) Se $n = 0$, verifica-se o limite de viagens de c_i foi atingido. Caso não tenha sido, retorna-se ao passo 2. Caso contrário, se todas as viagens foram distribuídas finaliza-se o processo, senão retorna-se ao passo 1.

A solução gerada pela formiga 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.



Trabalhos Futuros

As seguintes atividades futuras serão desenvolvidas:

- Implementar o mecanismo de atualização do feromônio para evolução do conjunto de soluções;
- Implementar um mecanismo de busca local para melhorar a qualidade das soluções geradas.

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, ao Marco Aurélio que ajudou com a compreensão do problema em questão, e por fim, agradeço também aos colegas que fazem parte deste projeto.

Referências

- 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.
- DORIGO, M.; CARO, G. Di & GAMBARDELLA L. M., 1999. "Ant Algorithms for Discrete Optimization". *Artificial Life*, 5 (2): 137-172
- DORIGO, M.; STÜZLE, T. *Ant Colony Optimization*. Massachusetts: MIT Press, 2004.
- 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.
- RODRIGUES, L. F. *Análise comparativa de metodologias utilizadas no despacho de caminhões em minas a céu aberto*. 2006. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.
- DORIGO, M.; MANIEZZO, V.; COLORNI, "A. Positive Feedback as a search strategy". Technical Report 91-016, Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Milano, IT, 1991

Algoritmo 1: Metaheurística ACO

```

1 Início
2   InicializarParâmetros()
3   para cada iteração  $i \in I$  fazer
4     para cada formiga  $k \in A$  fazer
5       ConstruirSolução()
6     fim
7     AtualizarFeromônio()
8     BuscaLocal //Opcional
9   fim
10 fim
```

Sendo I a quantidade de iterações e A o conjunto de formigas da colônia.

Algoritmo 2: ConstruirSolução()

```

1 Início
2   Iniciar()
3   repita
4     SelecionarFrente()
5   até que não seja possível selecionar próxima frente;
6   AlocarCaminhões()
7 fim
```
