

10^o

FEPEG FÓRUM

ENSINO • PESQUISA
EXTENSÃO • GESTÃO
RESPONSABILIDADE SOCIAL: INDISSOCIABILIDADE
ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA



ISSN 1806-549 X

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

Proposta e Investigação de Algoritmo Evolucionário para o Problema de Planejamento de Minas a Céu Aberto com Alocação Dinâmica de Veículos

Introdução

No contexto das minas que operam a céu aberto, os investimentos em máquinas (caminhões, equipamentos de carregamento e britadores) são bastante significativos. Particularmente, a operação de carga e transporte de material neste tipo de mina chega a representar entre 50 a 60% do custo operacional total da mina (ERCELEBI & BASCETIN, 2009).

Desta forma, este trabalho visa estudar e aplicar técnicas evolutivas para otimizar o problema de Planejamento Operacional de Lavra com Alocação Dinâmica de Veículos (POLAD). Inicialmente foram pesquisados vários trabalhos na literatura que tratam de algoritmos evolutivos e outros que abordam o problema em questão. Particularmente, neste último estudo, foi dada uma maior atenção na identificação das principais características trabalhadas pelos modelos matemáticos encontrados. Em suma, deseja-se, como resultado desta pesquisa, registrar os principais objetivos e restrições que foram considerados na literatura para modelagem do problema e propor uma adaptação do algoritmo evolutivo *Particle Swarm Optimization (PSO)* para resolução do problema.

Material e métodos

A. O POLAD

O planejamento operacional de lavra em uma mina a céu aberto consiste no planejamento de curto prazo, onde o principal objetivo é a determinação de qual ritmo de lavra será implementado em cada frente, fornecendo à usina de beneficiamento uma alimentação adequada. Cada frente de lavra possui características de qualidade diferentes, tais como o teor de determinado elemento químico ou a percentagem de minério em determinada granulometria. Assim, cada frente deve contribuir com uma quantidade apropriada para que o produto final esteja em conformidade com as exigências do cliente (COSTA, 2005).

No planejamento operacional de lavra é necessário resolver o problema da mistura de minério levando em consideração as restrições relacionadas à realidade operacional da mina. Restrições como um conjunto finito de equipamentos de carga, caminhões e frentes de minério e estéril, compatibilidade operacional entre caminhões e equipamentos de carga, produção dos equipamentos de carga, tempo de ciclo e qualidade da mistura. Na prática, existem outras restrições, porém, neste trabalho, preocupou-se com a identificação das que são comumente encontradas na literatura.

Dentre alguns métodos aplicados para resolução do POLAD, foi verificado que a programação linear é utilizada para resolução do problema de mistura. Outro exemplo é o método proposto por Chanda e Dagdelen (1995), baseado em programação linear por metas, que foi aplicado com sucesso na resolução deste problema considerando as metas de qualidade e produção. Para fechar os exemplos de aplicações para o POLAD, tem o trabalho de Souza et al. (2010) que propuseram uma versão do *Variable Neighborhood (VNS)*, chamada de *General VNS (GVNS)* e o de Costa et al. (2005) que propôs um algoritmo heurístico baseado em *Greedy Randomized Adaptive Search Procedures (GRASP)*.

B. PSO

Introduzido por (KENNEDY & EBERHART, 1995), o PSO surgiu de experiências com algoritmos modelados a partir da observação do comportamento social de determinadas espécies de pássaros. O algoritmo manipula um conjunto de partículas (enxame ou cardume) onde cada partícula se comporta como um pássaro à procura de alimento ou do local de seu ninho, utilizando aprendizado próprio (*pbest*) e o aprendizado do bando (*gbest*). Cada partícula do enxame é representada por um par de vetores que definem a sua velocidade atual e sua posição. Ambos os vetores (velocidade e posição) da partícula são atualizados em cada iteração do algoritmo segundo sua velocidade (posição) atual, seu aprendizado pessoal e o aprendizado adquirido pelo bando (SICILIANO, 2007). A Figura 1 apresenta um pseudocódigo do algoritmo PSO.

Pela analogia, tem-se que os pássaros ou peixes (partículas) representam as possíveis soluções do problema a ser resolvido, a área percorrida pelo enxame ou cardume corresponde ao espaço de busca e a comida ou ninho é a solução ótima. A proposta é que as partículas alterem sua posição no espaço de busca, atualizando suas velocidades



dinamicamente de acordo com as experiências individuais e coletivas. Desta forma, a evolução do algoritmo está associada a trajetória percorrida e ao tempo gasto para encontrar a solução ótima.

Resultados e discussão

No POLAD, objetiva-se determinar a melhor alocação de frentes de lavra, equipamentos de carga e de transporte que otimize a qualidade e quantidade de minério produzidos, tamanho da frota de caminhões, respeitando as restrições inerentes ao problema.

O projeto iniciou-se com a pesquisa bibliográfica acerca de problemas de otimização no contexto de minas a céu aberto, enfatizando o problema de planejamento operacional de mina com alocação de veículos. Estudado também vários algoritmos e modelos matemáticos propostos na literatura para o POLAD. Após esse embasamento teórico, iniciou-se a implementação de um algoritmo, propondo uma adaptação do algoritmo evolutivo PSO para resolução do problema de planejamento operacional de lavra em mina a céu aberto. A seguir, é descrito o que foi implementado.

Primeiramente, é importado um cenário de uma mina a céu aberto de uma base de dados. Basicamente, um cenário de mina a céu aberto contempla as frentes de lavra (minério e estéril), equipamentos de carga e transporte disponíveis. O modelo contempla também o tempo de ciclo, massa e concentração de variáveis químicas em cada frente de minério, produção de minério e estéril, capacidade de cada caminhão e as taxas de produção das pás carregadeiras. Essas informações são armazenadas em objetos.

A geração da primeira partícula, como propõe Souza et al. (2009), é feita em duas etapas: Na primeira, as carregadeiras são alocadas nas frentes de estéril e acontece a distribuição das viagens dos caminhões entre as várias frentes. Na segunda frente, o processo se repete com as frentes de minério. Essa é uma estratégia adotada observando que nas frentes de estéril é necessário atender apenas a produção e não a qualidade.

Como indica a linha 3 do pseudocódigo, é criado um vetor (V) com valores aleatórios de velocidade e de posição. Cada par de valores é associado a uma linha correspondente a uma frente e o valor da posição é dado pelo fitness calculado. A função fitness avalia os desvios de produção, desvios de qualidade e a quantidade de caminhões utilizados. Neste momento é feita uma comparação definindo o $Pbest$ da linha e o $GBest$ do grupo. Esta foi a primeira adaptação do PSO para resolução do problema.

Os resultados ainda são preliminares. Porém, isso se deve ao fato do algoritmo estar parcialmente implementado. Enfrenta-se alguns problemas como, por exemplo, muitas soluções inviáveis e a falta da adaptação total do PSO ao problema em questão. Além disso, acredita-se que a implementação da atualização da velocidade e de um método para explorar o espaço de soluções de forma mais eficiente pode ajudar a identificar melhores soluções para o problema.

Considerações finais

Dos resultados obtidos com o projeto até então, tem-se um entendimento do problema e da modelagem computacional. Com essa base foi proposto a implementação de um algoritmo genético, o PSO, devido a sua aplicabilidade na resolução de problemas que envolvem soluções não lineares.

Para melhoramento dos resultados, deseja-se para trabalhos futuros implementar um método para explorar o espaço de soluções como o proposto por Souza et. al(2009) e concluir a adaptação do PSO para o problema de planejamento operacional de mina com alocação de veículos.

Agradecimentos

Ao orientador deste trabalho que nos deu a oportunidade de participar deste projeto de Iniciação Científica Voluntária e aos demais professores pelo conhecimento e atenção. Aos colegas que compõem esta equipe, por fim, a todos que direta ou indiretamente contribuem para esse trabalho.

Referências bibliográficas

- CHANDA, E. K. C., DAGDELEN, KADRI. Optimal blending of mine production using goal programming and interactive graphics systems. *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*. v. 9, p. 203-208, 1995.
- COELHO, V. N.; SOUZA, M. J. F.; COELHO, I. M. e RIBAS, S. **Busca geral em vizinhança variável com reconexão por caminhos para o planejamento operacional de lavra**. XLII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, p.1606- 1617, Bento Gonçalves/RS, 2010.
- COSTA, F. P. **Aplicações de técnicas de otimização a problemas de planejamento operacional de lavra em minas a céu aberto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral), PPGEM – UFOP, Ouro Preto, MG: 2005.
- EBERHART, R. and KENNEDY, J. (1995). **A new optimizer using particle swarm theory**. In Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science, pages 39–43.



ERCELEBI, S. G. and A. BASCETIN. 2009. "Optimization of shovel-truck system for surface mining." Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy 109:433-439.

SICILIANO, A. V. Algoritmos Genéticos e Particle Swarm Optimization e suas aplicações problemas de Guerra Eletrônica. In: SIMPÓSIO DE GUERRA ELETRÔNICA do ITA, 9., 2007, São José dos Campos. Anais eletrônicos. São José dos Campos: ITA 2007. Disponível em: <http://www.siget.ita.br/anais/IXSIGET/Artigos/GE_56.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2016.

Algorithm 1 Pseudocódigo do algoritmo de metaheurística PSO

```

1: Atribui parâmetros
2: for  $i = 0$  até  $tamanhoEnxame$  do
3:   Inicia  $\vec{X}^i$  com uma solução aleatória para o problema
4:   Inicia  $\vec{V}^i$  com uma velocidade aleatória  $< V_{MAX}$ 
5:    $\vec{P}_{best}^i \leftarrow \vec{L}_{best}^i \leftarrow \vec{X}^i$ 
6: end for
7: while Não atingir condição de parada do
8:   for  $i = 0$  até  $tamanhoEnxame$  do
9:     atualiza  $\vec{V}^i$ 
10:     $\vec{X}^i = \vec{X}^i + \vec{V}^i$ 
11:     $\vec{P}_{best}^i \leftarrow$  melhor entre  $\vec{X}^i$  e  $\vec{P}_{best}^i$ 
12:     $\vec{L}_{best}^i \leftarrow$  melhor entre  $\vec{P}_{best}^i$  e  $\vec{L}_{best}^i$ 
13:   end for
14: end while
15: return melhor  $\vec{L}_{best}$ 

```

Figura 1. – Pseudocódigo do algoritmo *Particle Swarm Optimization (PSO)*.



Figura 2. Lavra de mina de calcário a céu aberto na região de Confins (MG). Retirado do livro "Mina a céu aberto", publicado pela editora Oficina de Textos. Todos os direitos reservados.