



ANTÔNIO CARLOS DE MIRANDA FRANCISCO

**SEQUENCIAMENTO ESTRATÉGICO DE LAVRA DAS MINAS CAPÃO
XAVIER E MAR AZUL VIA OTIMIZAÇÃO GLOBAL**

Belo horizonte, MG

2022

ANTÔNIO CARLOS DE MIRANDA FRANCISCO

**SEQUENCIAMENTO ESTRATÉGICO DE LAVRA DAS MINAS CAPÃO
XAVIER E MAR AZUL VIA OTIMIZAÇÃO GLOBAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Tecnológico Vale, como parte dos requisitos para obtenção do título de especialista em Lavra de Minas A Céu Aberto.

Área de concentração: Lavra de Minas.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Enrique Arroyo Ortiz, UFOP.

Coorientador: Eng. Alexandre Barbosa Andrade, Mestre em Matemática Aplicada e Computacional - UNICAMP.

Belo Horizonte, MG

2022

Título: Sequenciamento estratégico de lavra das minas Capão Xavier e mar azul via otimização global

Classificação: (X) Confidencial () Restrita () Uso Interno () Pública

Informações Confidenciais - Informações estratégicas para o Instituto e sua Mantenedora. Seu manuseio é restrito a usuários previamente autorizados pelo Gestor da Informação.

Informações Restritas - Informação cujo conhecimento, manuseio e controle de acesso devem estar limitados a um grupo restrito de empregados que necessitam utilizá-la para exercer suas atividades profissionais.

Informações de Uso Interno - São informações destinadas à utilização interna por empregados e prestadores de serviço.

Informações Públicas - Informações que podem ser distribuídas ao público externo, o que, usualmente, é feito através dos canais corporativos apropriados.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação(CIP)

F893s

Francisco, Antônio Carlos de Miranda
Sequenciamento estratégico de lavra das minas de Capão Xavier e Mar Azul via otimização global. Antônio Carlos de Miranda Francisco... [et al.] - Ouro Preto, MG: ITV, 2022.

132 p.: il.

Monografia (Especialização latu sensu) - Instituto Tecnológico Vale, 2022.
Orientador: Carlos Enrique Arroyo Ortiz
Coorientador: Alexandre Barbosa Andrade

1. Sequenciamento. 2. Otimização global. 3. Planejamento estratégico. 4. Disposição de estéril. I. Ortiz, Carlos Enrique Arroyo. II. Andrade, Alexandre Barbosa. III. Título.

CDD.23. ed. 622.23

Antonio Carlos de Miranda Francisco

**SEQUENCIAMENTO ESTRATÉGICO DE LAVRA DAS MINAS CAPÃO
XAVIER E MAR AZUL VIA OTIMIZAÇÃO GLOBAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Tecnológico Vale, como parte dos requisitos para obtenção do título de especialista *lato sensu* em [Lavra de Minas a Céu Aberto].

Orientador: Prof. D.Sc. Carlos Enrique Arroyo Ortiz

Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em 29 de novembro de 2022 pela banca examinadora constituída pelos professores:

Prof. D.Sc. Carlos Enrique Arroyo Ortiz
Orientador – Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)

Prof. D.Sc. Giorgi Francesco Cesare de Tomi
Membro externo – Universidade de São Paulo (USP)

Prof. D.Sc. Adilson Curi
Membro externo – Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)

Os Signatários declaram e concordam que a assinatura será efetuada em formato eletrônico. Os Signatários reconhecem a veracidade, autenticidade, integridade, validade e eficácia deste Documento e seus termos, nos termos do art. 219 do Código Civil, em formato eletrônico e/ou assinado pelas Partes por meio de certificados eletrônicos, ainda que sejam certificados eletrônicos não emitidos pela ICP-Brasil, nos termos do art. 10, § 2º, da Medida Provisória nº 2.200-2, de 24 de agosto de 2001 (“MP nº 2.200-2”).



PROTOCOLO DE ASSINATURA(S)

O documento acima foi proposto para assinatura digital na plataforma Portal de Assinaturas Vale. Para verificar as assinaturas clique no link: <https://vale.portaldeassinaturas.com.br/Verificar/BED0-2CEA-2138-07CF> ou vá até o site <https://vale.portaldeassinaturas.com.br:443> e utilize o código abaixo para verificar se este documento é válido. The above document was proposed for digital signature on the platform Portal de Assinaturas Vale . To check the signatures click on the link: <https://vale.portaldeassinaturas.com.br/Verificar/BED0-2CEA-2138-07CF> or go to the Website <https://vale.portaldeassinaturas.com.br:443> and use the code below to verify that this document is valid.

Código para verificação: BED0-2CEA-2138-07CF



Hash do Documento

6193059C4DBD3F733AB48AC2623D91686AE7353E1BDA34AE5FD7355677FC602E

O(s) nome(s) indicado(s) para assinatura, bem como seu(s) status em 18/01/2023 é(são) :

- Adilson Curi (Signatário) - em 17/01/2023 11:47 UTC-03:00

Tipo: Assinatura Eletrônica

Identificação: Por email: curi@ufop.edu.br

Evidências

Client Timestamp Tue Jan 17 2023 11:47:28 GMT-0300 (Horário Padrão de Brasília)

Geolocation Latitude: 38.66624 Longitude: -9.1815936 Accuracy: 1662.151604330902

IP 95.93.159.190

Hash Evidências:

BE2C204E89F64F8C325700383E562DB55152396EF39E880642196BAC2D626D84

- Carlos Enrique Arroyo Ortiz (Signatário) - em 20/12/2022 15:17 UTC-03:00

Tipo: Assinatura Eletrônica

Identificação: Por email: carroyo@ufop.edu.br

Evidências

Client Timestamp Tue Dec 20 2022 15:17:46 GMT-0300 (-03)

Geolocation Latitude: -20.38375544112837 Longitude: -43.49967449627966 Accuracy: 35

IP 152.255.99.200

Hash Evidências:

58C6BEB946E8B0BCB061EA5747797E3474CB7B66262F4EC45F2E8CBF6F515C57

- Giorgio Francesco Cesare de Tomi (Signatário) - em 20/12/2022 13:51 UTC-03:00

Tipo: Assinatura Eletrônica

Identificação: Por email: gdetomi@usp.br

Evidências

Client Timestamp Tue Dec 20 2022 13:51:34 GMT-0300 (Brasilia Standard Time)

Geolocation Location not shared by user.

IP 179.228.87.90

Hash Evidências:

6B6075E6ABC5D559E47C3F53F9F47292A8857A251A67AD2BF8F083873339C982



À minha esposa Arlete, pelo apoio.

Aos filhos Luca Tony e Nicolý Daiane.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que ajudaram de certa maneira a tornar possível a realização deste trabalho, especialmente:

À Deus, pela saúde e presença espiritual.

Aos meus orientadores, Prof. Dr. Carlos Enrique Arroyo Ortiz e Eng. Alexandre Barbosa Andrade, pela motivação, discussões e ensinamentos na evolução do trabalho.

A todos colegas de turma que participaram do curso de Especialização em Lavra de Minas a Céu Aberto, pelo respeito, carinho e ajuda durante as aulas, nesse período complicado que foi a pandemia.

A todos os professores e membros do Instituto Tecnológico Vale pelo aprendizado e dedicação conosco.

Ao gerente e amigo Marcos Antônio Cunha, pela oportunidade e confiança de realizar esta especialização.

Aos colegas de trabalho Marisa de Souza Rangel, José César Pena de Oliveira e Breno Gonçalves Cardozo Ribeiro, pela disponibilidade de sugerir melhorias e revisões no conteúdo do trabalho.

Ao Mauro Sérvulo, Murilo Teixeira e Ítalo Koyama da Deswik, pela disponibilização da licença do software e consultoria no projeto de estudo.

Ao Pedro Augusto Silva, Guilherme Paiva e Humberto de Oliveira Machado pela fonte de inspiração, do trabalho feito para o complexo Itabira.

RESUMO

O sequenciamento de lavra corresponde ao processo que registra a sequência de blocos de mineração e simula a extração de cada bloco enquanto acumula resultados em cada tempo para atender a uma meta de produção programada. Este processo consiste basicamente em determinar onde lavrar (sequência), registra quanto é lavrado (simulação) e verifica os resultados acumulados com a meta, e refaz até que todos os períodos do cronograma sejam finalizados. Portanto, o sequenciamento deve assegurar que os avanços operacionais ou *pushbacks* sejam capazes de entregar quantidade e qualidade satisfatórios de minério para a planta de beneficiamento, tornando-se estratégico para o êxito num projeto de mineração, por garantir que o fluxo de caixa esteja de acordo com os objetivos da empresa. Este estudo apresenta como proposta quatro cenários de sequenciamento de lavra integrando as minas de Capão Xavier (CPX) e Mar Azul (MAZ), atendendo as metas de produção e qualidade, respeitando as restrições técnicas, legais, segurança e ambiental e para isto utilizou-se a solução de sequenciamento via otimização global para maximizar o valor presente líquido (VPL). Os cenários propostos distinguem-se por apresentar objetivos específicos: Cenário 1 - livre para a otimização; Cenário 2 - priorização da lavra em CPX nos cinco primeiros anos; Cenário 3 - restrição de lavra na cava CPX, que preserva a PDE Sudoeste e Cenário 4 - ampliação para 14Mt/ano de produção de *Run Off Mine* (ROM) - Produção Bruta do Minério, a partir do 5º período. Concluído os cenários de sequenciamento com a ferramenta de otimização global, analisou-se os resultados obtidos da simulação, que mostrou um VPL máximo de 1.9 bilhões de dólares para o Cenário 4, uma maior oferta de 183.4Mt de ROM para o Cenário 2, uma movimentação total (minério e estéril) para os Cenários 1, 2 e 4 de 314.8Mt e 252.7Mt para o Cenário 3 e uma máxima geração de estéril para o Cenário 4 de 135.2Mt. Quanto ao resultado de qualidade, todos os cenários conseguiram atender aos parâmetros especificados pela premissa. Uma análise importante identificada nos cenários, que a massa total de estéril de formação ferrífera (EFF) destinada para as pilhas, foi de aproximadamente, 45Mt ou 34.5% do total de estéril. Então, como sugestão de trabalhos futuros, avaliar a necessidade de atualizar a otimização de cava final dessas minas, usando como referência os teores de corte praticados na sílica global, nas fases de *pushbacks*.

Palavras-chave: Sequenciamento. Otimização global. Planejamento estratégico. Disposição de estéril.

Fase da Cadeia: Mina.

ABSTRACT

Mining scheduling corresponds to the process that records the sequence of mining blocks and simulates the extraction of each block while accumulating results at each time to meet a programmed production target. This process basically consists of determining where to mine (sequence), recording how much is mined (simulation) and checking the accumulated results with the goal, and redoing until all schedule periods are finalized. Therefore, scheduling must ensure that operational advances or pushbacks are able to deliver satisfactory quantity and quality of ore to the beneficiation plant, making it strategic for the success of a mining project, by ensuring that the cash flow is in accordance with the company's objectives. This study proposes four mining scheduling scenarios integrating the Capão Xavier (CPX) and Mar Azul (MAZ) mines, meeting production and quality goals, respecting technical, legal, safety and environmental restrictions. if the scheduling solution via global optimization to maximize the net present value (NPV). The proposed scenarios are distinguished by presenting specific objectives: Scenario 1 - free for optimization; Scenario 2 - prioritization of mining in CPX in the first five years; Scenario 3 - mining restriction in the CPX pit, which preserves the Southwest PDE and Scenario 4 - expansion to 14Mt/year of Run Off Mine (ROM) production - Gross Ore Production, as of the 5th period. After completing the sequencing scenarios with the global optimization tool, Deswik.GO, the results obtained from the simulation were analyzed, which showed a maximum NPV of 1.9 billion dollars for Scenario 4, a greater supply of 183.4Mt of ROM for the Scenario 2, a total movement (ore and waste) for Scenarios 1, 2 and 4 of 314.8Mt and 252.7Mt for Scenario 3 and a maximum waste generation for Scenario 4 of 135.2Mt. As for the quality result, all scenarios were able to meet the parameters specified by the premise. An important analysis identified in the scenarios, that the total mass of overburden of iron formation (EFF) destined for the piles, was approximately, 45Mt or 34.5% of the total waste. Then, as a suggestion for future work, to evaluate the need to update the final pit optimization of these mines, using as a reference the cut-off levels practiced in the global silica, in the pusback phases.

Keywords: Scheduling. Global optimization. Strategic planning. Disposal waste.