PLANEJAMENTO OPERACIONAL DE MINA A CÉU ABERTO COM O USO DE SIMULAÇÃO

[1]Brener Gonçalves Vaz; [1]brenervaz@gmail.com; [1]Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão;
[2]Stella Jacyszyn Bachega; [2]stella@ufg.br; [2]Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão;
[3]Nilson Jose Fernandes; [3] nilsonfernandes@ufg.br; [3]Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão;
[3]Dalton Matsuo Tavares; [3]dalton_tavares@ufg.br; [3]Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão.

RESUMO: *Independente do setor que atuam, organizações que garantirem uma melhoria contínua na realização de seus processos, alcançarão uma vantagem competitiva em relação a seus concorrentes, o que consequentemente, alavancará as receitas da organização. Uma técnica bastante utilizada com esse intuito é a simulação computacional, a qual através da modelagem do sistema no software, permite a análise de todos os componentes que exercem influência nos mesmos. Deste modo, a presente pesquisa dá continuidade ao trabalho intitulado: "Simulação Computacional Aplicada ao Planejamento Operacional de Mina a Céu Aberto" e tem como objetivo geral analisar o planejamento operacional de uma mina a céu aberto via simulação computacional. Para isso, foi utilizada a abordagem de pesquisa quantitativa e procedimento de pesquisa experimental. Depois da representação no simulador, verificou-se nos resultados obtidos que as escavadeiras tiveram alta utilização e que a quantidade de caminhões utilizadas nas frentes foi maximizada para o cenário. Esse trabalho contribuiu para um melhor entendimento do planejamento operacional de uma mina a céu aberto, além do processo de elaboração do modelo e análise de um sistema em um simulador.*

PALAVRAS-CHAVE: *Simulação; Planejamento Operacional; Mina a Céu Aberto.*

ABSTRACT: *Regardless of the sector in which they operate, organizations that guarantee continuous improvement in the performance of their processes, will achieve a competitive advantage in relation to their competitors, which consequently will leverage the organization's revenues. A technique widely used for this purpose is computer simulation, which by means of the modeling of the system in the software, allows the analysis of all components that influence them. In this way, this research continues the work entitled: "Computational Simulation Applied to Operational Planning of Open Pit Mine" and has the general objective of analyzing the operational planning of an open pit mine through computer simulation. In order to attain this, the quantitative approach and the experimental procedure were used. After the representation in the simulator, it was found in the results obtained that the bulldozers had high use and that the number of trucks used on the fronts was maximized for the scenario. This work contributed to a better understanding of the operational planning of an open pit mine, in addition to the process of preparing the model and analyzing a system in a simulator.*

KEYWORDS: *Simulation; Operational Planning; Open Pit Mine.*

1. Introdução

Em mineradoras que trabalham com lavra a céu aberto, a eficiência do planejamento da produção é dependente das habilidades de quem está planejamento, uma vez que, são feitas por meio do método de tentativa e erro (PANTUZA JÚNIOR, 2011). De acordo com Castro Neto (2006), o sistema produtivo de organizações do setor mineral pode ser descrito como um grande ciclo de produção, de forma integrada e contínua.

O planejamento operacional de lavra de uma mina a céu aberto pode ser entendido como a determinação da quantidade ideal de viagens a serem realizadas pelos caminhões em cada lavra da mina, além do gerenciamento dos equipamentos. Esse planejamento deve ser

realizado seguindo normas e especificações necessárias para a produção (PANTUZA JÚNIOR, 2008, 2011).

Segundo Pantuza, Souza e Cabral (2009), organizações que não conseguirem uma melhoria contínua de seus processos produtivos, consequentemente perdem competitividade no mercado. Desse modo, a simulação computacional é recomendada para realizar um planejamento operacional, além de garantir uma melhoria contínua dos processos. Segundo Harrell, Ghosh e Bowden (2004), a simulação permite definir as melhores decisões para um sistema em análise, mesmo que este seja um sistema complexo.

Diversos estudos com modelos de simulação para minas a céu aberto, com resultados positivos, podem ser encontrados, como por exemplo os estudos de Ataeepour e Baafi (1999), Dindarloo, Osanloo e Frimpong (2015), Forsman, Ronnkvist e Vagenas (1993) e Kolonja e Mutmansky (1995).

O presente estudo tem por objetivo a continuidade do trabalho intitulado “Simulação Computacional Aplicada ao Planejamento Operacional de Mina a Céu Aberto”, com a utilização de dados e resultados relevantes. A ideia é ampliar o modelo já elaborado com o intuito de adequá-lo de forma fidedigna com a realidade de uma mina a céu aberto. O objetivo geral do presente trabalho é analisar o planejamento operacional de uma mina a céu aberto via simulação computacional. Os objetivos específicos são: i) compreender a atividade de planejamento operacional em uma mina a céu aberto e reunir dados relevantes; ii) modelar, simular e validar os cenários desenvolvidos; e iii) analisar o planejamento operacional do sistema simulado.

O presente trabalho é estruturado da seguinte forma: a seção 2 introduz o referencial teórico, a seção 3 explica a metodologia adotada para a realização do estudo, a seção 4 mostra os resultados alcançados e analisados e, posteriormente, a seção 5 apresenta as considerações finais acerca do estudo.

2. Referencial teórico

Com o uso de simulação é possível verificar o comportamento dos sistemas modelados, sem a necessidade de alteração do modelo real. Permite a elaboração de projetos mais eficientes, uma vez que se pode analisar sistemas que ainda não existem e, possibilita a avaliação de detalhes que até pouco tempo eram impossíveis de se observar. Dessa forma, a realização de

um estudo bem elaborado pode gerar benefícios financeiros ao sistema, melhorando quesitos como qualidade e produtividade (FREITAS FILHO, 2008).

Com a utilização da simulação é possível chegar a conclusão de quais são as melhores decisões a se tomar, sem que seja necessário aplicar técnicas de teste e erro. A simulação permite antecipar com precisão o desempenho de sistemas complexos ou não (HARRELL; GHOSH; BOWDEN, 2004). Pode ser aplicada com eficiência a sistemas, como por exemplo, sistemas produtivos, sistema de estoque e transporte, sistemas computacionais, sistemas administrativos, sistemas de prestação de serviços diretos ao público, entre outros (FREITAS FILHO, 2008).

A simulação computacional não é capaz de prever acontecimentos do futuro. Com sua utilização, é possível entender o comportamento do sistema estudado mediante a análise dos dados de entrada. Também não é caracterizada como uma técnica de último recurso e vem sendo amplamente utilizada em trabalhos de campo. Possui diversas aplicações, como por exemplo, aeroportos e portos, cadeias logísticas, centrais de atendimentos, escritórios, hospitais, linhas de montagem, programação da produção, aplicações na área militar, entre outros (CHWIF; MEDINA, 2015).

Para Pegden (1991) e Banks (1984) *apud* Freitas Filho (2008), dentre os principais benefícios ao se utilizar a simulação estão: após sua elaboração, o mesmo modelo pode ser utilizado inúmeras vezes; é possível realizar a análise do modelo, mesmo que os dados de entrada ainda não estejam completamente definidos; sua aplicação é mais simples e fácil ao se comparar aos métodos analíticos; pode-se avaliar novas ideias/procedimentos sem a alteração do sistema real; o tempo pode ser alterado, de modo a atrasar ou adiantar os acontecimentos do sistema, para uma melhor análise; é possível entender quais variáveis são mais relevantes para o sistema; e permite encontrar os “gargalos” do sistema.

De acordo com Chwif e Medina (2015), para se desenvolver um estudo de simulação deve-se seguir três etapas principais: i) **Concepção ou formulação do modelo**: etapa na qual se entende qual o problema do estudo e posteriormente, se define os objetivos e metas. Os dados necessários para a realização da simulação são coletados nessa etapa; ii) **Implementação do modelo**: com a utilização do que foi desenvolvido na etapa anterior, elabora-se o modelo computacional; e iii) **Análise dos resultados**: com o modelo computacional já desenvolvido, realiza-se os experimentos para a posterior análise dos resultados.

A simulação computacional se beneficia do uso de modelos computacionais e pode beneficiar profissionais, como por exemplo, engenheiros, biólogos, administradores entre outros (FREITAS FILHO, 2008). Vale observar que esta não deve substituir o pensamento humano ao se tomar uma decisão (CHWIF; MEDINA, 2015).

Um estudo de simulação deve seguir dez passos principais (LAW; KELTON, 2000): i) **Formulação do problema e planejamento do estudo**: etapa de início, onde se analisa o problema de modo a adequá-lo ao estudo; ii) **Coleta de dados e definição do modelo**: consiste na elaboração de um modelo de acordo com o modelo real a partir da coleta de dados; iii) **Validação do modelo**: realização de testes com o intuito de comprovar se o modelo foi construído de forma adequada; iv) **Construção do programa computacional e verificação**: através do modelo construído na etapa anterior, faz-se a construção do modelo no software de simulação; v) **Realização de execuções piloto**: o modelo elaborado é testado várias vezes, verificando-se seu comportamento; vi) **Validação do modelo**: é realizado a validação do modelo, podendo ser através de comparações com o modelo real; vii) **Projeto dos experimentos**: são definidas as condições em que se realizarão as simulações experimentais; viii) **Realização de execuções de simulação**: a simulação é executada diversas vezes, com o intuito de analisar seu comportamento; ix) **Análise dos resultados**: analisa-se os resultados obtidos através das execuções da simulação; x) **Documentação, apresentação e implementação dos resultados**: o estudo é documentado e em caso de resultados positivos, realiza-se sua implementação.

3. Metodologia

O presente estudo emprega a explicação científica hipotético-dedutiva, na qual proposições são produzidas para conduzir os cenários simulados (CARVALHO, 2000). A abordagem de pesquisa utilizada foi a quantitativa com o uso de procedimento experimental que, segundo Creswell (1994), tem por objetivo analisar as relações de causa e efeito, com o intuito de avaliar os resultados de acordo com a mudança de comportamento das variáveis. Tanto a abordagem de pesquisa, quanto o procedimento experimental seguem as instruções de Bryman (1989).

A simulação computacional foi elaborada com o auxílio do software ProModel® e os resultados foram analisados por meio do Output Viewer®, o qual é integrado ao simulador. O estudo de simulação foi realizado de acordo com os passos de Law e Kelton (2000). Os dados

para a elaboração do modelo foram obtidos a partir de especialistas da área, deixando o modelo mais próximo da realidade empresarial.

Para a análise dos resultados foi considerado um nível de confiança de 95%. Conforme Kelton, Sadowski e Sadowski (2002), os valores de *half-width* (semi-intervalo de confiança) significam que em 95% das observações, as médias obtidas estão entre a média e o *half-width* obtido. O limite estabelecido para o *half-width* foi de até 10% da média amostral, para maior precisão da média alcançada (FREITAS FILHO, 2008).

4. Resultados alcançados

Para a modelagem conceitual do sistema, utilizou-se a técnica IDEF-SIM, proposta por Leal, Almeida e Montevechi (2008), pois esta favorece o entendimento do sistema. O IDEF-SIM foi elaborado com o auxílio do software DIA®, levando em consideração suas entidades, funções, recursos e os fluxos dos processos.

O modelo se baseia nas operações de uma mina a céu aberto que opera simultaneamente com quatro frentes de lavra. Inicia-se com a entrada de duas entidades denominadas minério (E1) e estéril (E2), que são retiradas dos locais de escavação respectivos para cada frente de lavra (F1, F7, F10 e F13) com uso do recurso escavadeira, específico de cada frente (R1, R3, R5 e R7). Após a escavação, cada entidade é transportada para um local específico com uso do recurso Caminhão, possuindo uma frota de 8 caminhões disponíveis para cada frente (R2, R4, R6 e R8).

Em relação a entidade minério de todas as frentes (E1), a mesma é transportada para um local específico de armazenagem de minério de cada frente, denominados locais do minério escavado (F2 para frente 1, F8 para a frente 2, F11 para a frente 3 e F14 para a frente 4). A entidade estéril de todas as frentes é transportada para um local específico de armazenagem de estéril para cada frente, denominados locais do estéril escavado (F3 para frente 1, F9 para a frente 2, F12 para a frente 3 e F15 para a frente 4).

Posteriormente, todo o estéril que foi depositado em seus locais de armazenagem é transportado para outro local, denominado depósito de estéril (F6), através dos respectivos recursos (caminhões) de cada frente. Em relação ao minério que foi depositado em seus locais de armazenagem, este é transportado para o britador (F5), através dos recursos (caminhões) de cada frente.

Se o britador estiver em uso, os caminhões são direcionados para um local de fila de espera do britador (F4) e, quando disponível, os caminhões são encaminhados ao britador. O modelo conceitual pode ser visto nas Figuras 1, 2, 3 e 4, as quais representam as frentes de lavra 1, 2, 3 e 4. A legenda do modelo conceitual, com os nomes das entidades, locais e recursos, pode ser vista na Tabela 1.

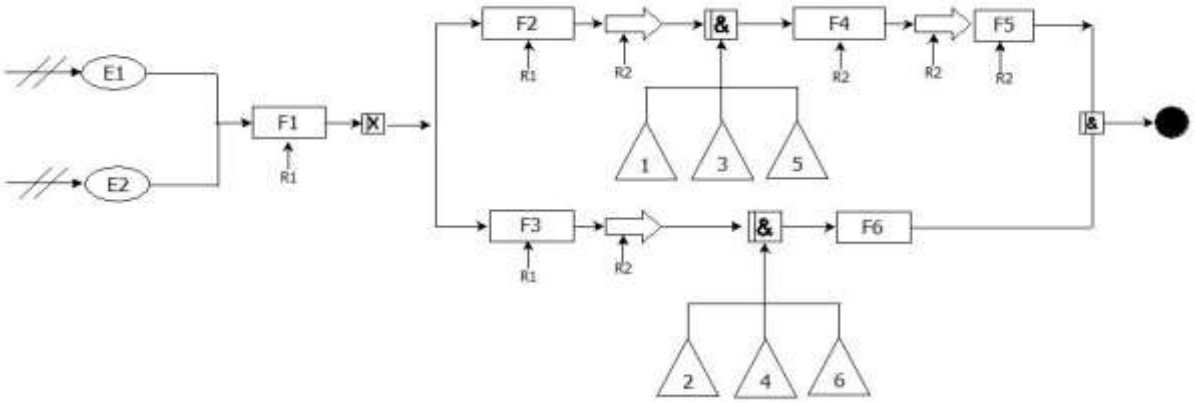

FIGURA 1 - Primeira parte do IDEF-SIM elaborado referente à frente de lavra 1.

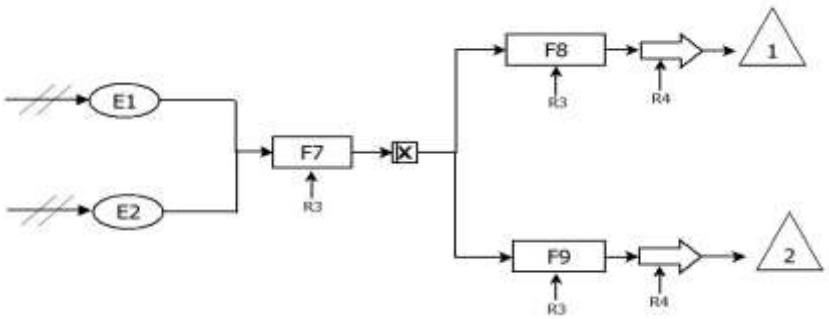

FIGURA 2 - Segunda parte do IDEF-SIM elaborado referente à frente de lavra 2.

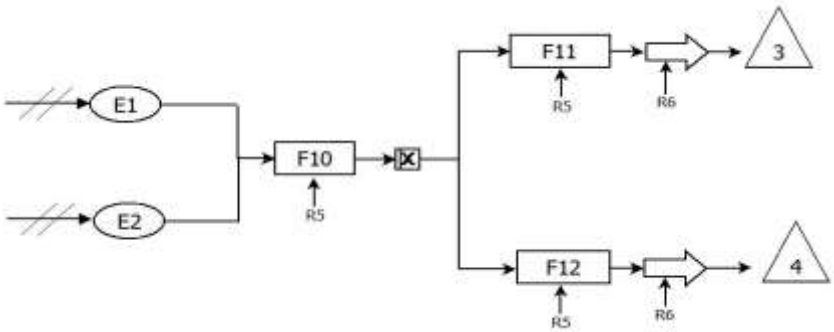

FIGURA 3 - Terceira parte do IDEF-SIM elaborado referente à frente de lavra 3.

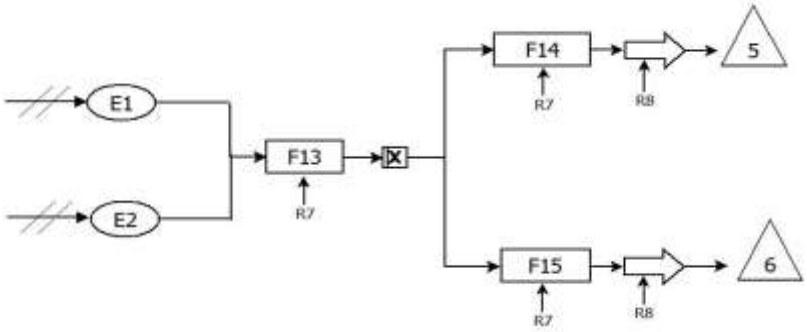

FIGURA 4 - Quarta parte do IDEF-SIM elaborado referente à frente de lavra 4.

Para a modelagem do sistema foram cadastrados seus respectivos locais, entidades, recursos, os processamentos e lógicas de chegada e movimentação. No modelo foi levado em consideração o britador, o depósito de estéril, além dos respectivos locais de escavação das quatro frentes representadas. Dentre as lógicas utilizadas na construção do modelo, pode-se citar: IF THEN ELSE, BEGIN END, ROUTE, CONTENTS, MOVE WITH, INC e GRAPHIC.

Para a análise dos resultados foi levado em consideração a utilização dos recursos (escavadeiras e caminhões), além de 4 medidas de desempenho: toneladas de minério, toneladas de estéril, número de transportes e tempo médio do minério no sistema. Mesmo que o modelo represente a entrada tanto de minério quanto de estéril, o objeto de interesse do estudo é o minério. Dessa forma, foi analisado apenas o tempo médio no sistema do minério. Foram realizadas 30 replicações para validação do modelo. Como os *half-widths* encontrados foram menores que 10% das médias amostrais, o número de replicações é capaz de produzir dados confiáveis.

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos para as medidas de desempenho do sistema estudado, que são: a quantidade de minério e estéril, em toneladas, o tempo médio do minério no sistema, além do número de transportes realizados durante um turno de trabalho (seis horas e meia de escavação). Ainda são mostradas as quantidades mínimas, máximas e médias, além do desvio padrão e do *half-width* de cada medida de desempenho citada.

Como pode ser observado, a quantidade escavada de estéril foi significativamente maior que a quantidade escavada de minério, com a realização de aproximadamente 162 transportes do caminhão. Além disso, o tempo médio do minério no sistema foi de aproximadamente 162 minutos.

TABELA 1 - Identificação dos elementos do IDEF-SIM

Entidades	Nomes	Locais	Nomes	Recursos	Nomes
E1	Minério	F1	Local de escavação 1	R1	Escavadeira 1
E2	Estéril	F2	Local do minério escavado 1	R2	Caminhão 1
		F3	Local do estéril escavado 1	R3	Escavadeira 2
		F4	Fila de espera do minério se britador não disponível	R4	Caminhão 2
		F5	Local de basculamento de minério	R5	Escavadeira 3
		F6	Local de depósito de estéril	R6	Caminhão 3
		F7	Local de escavação 2	R7	Escavadeira 4
		F8	Local do minério escavado 2	R8	Caminhão 4
		F9	Local do estéril escavado 2		
		F10	Local de escavação 3		
		F11	Local do minério escavado 3		
		F12	Local do estéril escavado 3		
		F13	Local de escavação 4		
		F14	Local do minério escavado 4		
		F15	Local do estéril escavado 4		

Fonte: Autores (2020).

TABELA 2 - Resultados obtidos das medidas de desempenho.

Medidas de desempenho	Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão	*Half-Width*
Quantidade de minério (ton)	1.654,8	2.124	1.224	197,97	73,92
Quantidade de estéril (ton)	4.272	4.716	3.816	202,62	75,66
Nº de transportes do caminhão	162,03	167	154	2,58	0,97
Tempo médio do minério no sistema (min)	201,67	232,35	174,4	14,14	5,27

Fonte: Autores (2020).

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos para as escavadeiras das quatro frentes de lavra, onde a escavadeira 1 representa a escavadeira da frente 1, a escavadeira 2 representa a escavadeira da frente de lavra 2 e assim sucessivamente. A análise é feita em relação a porcentagem de utilização durante o turno de trabalho. São apresentadas, também, os valores mínimos, máximos e médios, além do desvio padrão e do *half-width*.

Percebe-se que a utilização, tanto média, quanto mínima e máxima das escavadeiras foi de 100%, isso ocorre porque durante toda o período da simulação, as escavadeiras estavam em utilização, escavando minério/estéril, o que é uma situação desejável na prática empresarial. Cada frente de lavra possui um total de 8 caminhões, com capacidades de 36 toneladas,

disponíveis para o transporte tanto de minério quanto de estéril. Deste modo a análise será feita por caminhão de cada frente.

TABELA 3 - Percentual de utilização das escavadeiras.

Recursos / utilização	Média (%)	Máximo (%)	Mínimo (%)	Desvio Padrão	*Half-width*
Escavadeira 1 (R1)	100,0	100,0	100,0	0,0	0,0
Escavadeira 2 (R3)	100,0	100,0	100,0	0,0	0,0
Escavadeira 3 (R5)	100,0	100,0	100,0	0,0	0,0
Escavadeira 4 (R7)	100,0	100,0	100,0	0,0	0,0

Fonte: Autores (2020).

Nas Tabela 4, 5, 6 e 7 estão os resultados médios, máximos e mínimos, além do desvio padrão e do *half-width* obtidos para a utilização dos caminhões das frentes de lavra 1, 2, 3 e 4 respectivamente. Na Tabela 4 percebe-se que apenas três caminhões foram utilizados no cenário do sistema analisado. Os caminhões utilizados apresentaram em média pouca utilização, com aproximadamente 40%, 36% e 28%. Na Tabela 5, apenas quatro caminhões foram utilizados na frente de lavra 2. Os 4 caminhões utilizados apresentaram pouca utilização, com porcentuais de utilização média de aproximadamente 40%, 39%, 31% e 26%. Na Tabela 6 observa-se o mesmo comportamento da frente de lavra 1, com a utilização de apenas três caminhões para o transporte. Estes apresentaram pouca utilização, com utilizações médias de aproximadamente 44%, 41% e 37%. Na Tabela 7 percebe-se que os recursos da frente de lavra 4 apresentaram o mesmo comportamento dos recursos das frentes de lavra 1 e 3, com a utilização de apenas três caminhões. Os caminhões usados apresentaram pouca utilização média, com percentuais de aproximadamente 40%, 34% e 27%.

TABELA 4 - Percentual de utilização dos caminhões da frente de lavra 1.

Recursos / utilização	Média (%)	Máximo (%)	Mínimo (%)	Desvio Padrão	Half-width
Caminhão 1	39,75	42,56	36,28	1,47	0,55
Caminhão 2	35,85	39,41	30,13	1,99	0,75
Caminhão 3	27,55	32,31	17,31	3,22	1,20
Caminhão 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Caminhão 5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Caminhão 6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Caminhão 7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Caminhão 8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Autores (2020).

TABELA 5 - Percentual de utilização dos caminhões da frente de lavra 2.

Recursos / utilização	Média (%)	Máximo (%)	Mínimo (%)	Desvio Padrão	Half-width
Caminhão 1	39,93	41,28	39,42	0,58	0,22
Caminhão 2	38,62	39,49	37,69	0,75	0,28
Caminhão 3	30,54	36,76	25,29	2,43	0,91
Caminhão 4	25,07	32,31	14,36	4,33	1,61
Caminhão 5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Caminhão 6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Caminhão 7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Caminhão 8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Autores (2020).

TABELA 6 - Percentual de utilização dos caminhões da frente de lavra 3.

Recursos / utilização	Média (%)	Máximo (%)	Mínimo (%)	Desvio Padrão	Half-width
Caminhão 1	43,88	45,00	41,82	0,88	0,33
Caminhão 2	40,14	43,33	35,30	2,07	0,77
Caminhão 3	36,39	41,67	31,96	2,70	1,01
Caminhão 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Caminhão 5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Caminhão 6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Caminhão 7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Caminhão 8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fonte: Autores (2020).

TABELA 7 - Percentual de utilização dos caminhões da frente de lavra 4.

Recursos / utilização	Média (%)	Máximo (%)	Mínimo (%)	Desvio Padrão	Half-width
Caminhão 1	39,67	42,82	36,87	1,48	0,56
Caminhão 2	33,91	38,00	29,40	2,12	0,79
Caminhão 3	26,55	33,71	19,23	3,88	1,45
Caminhão 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Caminhão 5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Caminhão 6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Caminhão 7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Caminhão 8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Autores (2020).

5. Considerações finais

O objetivo para realização deste trabalho foi dar continuidade ao trabalho “Simulação Computacional Aplicada ao Planejamento Operacional de Mina a Céu Aberto”. Com isso, foi elaborado um modelo que representa um cenário real de planejamento operacional de uma mina a céu aberto, cumprindo-se o objetivo determinado. Nesse contexto, foi elaborado um modelo de simulação que permite a compreensão, por parte dos gestores, do comportamento

do sistema analisado e que pode ser utilizado durante o processo de planejamento operacional de uma lavra a céu aberto. Assim, pode-se analisar a utilização de recursos como escavadeira e caminhões, para melhor dimensionamento destes em cada frente de lavra.

Depois da análise dos resultados obtidos para as medidas de desempenho, foi possível perceber que a quantidade de caminhões alocada em cada frente de lavra é excessiva para atender a capacidade de escavação configurada em cada frente de lavra, uma vez que foram utilizados no máximo metade dos caminhões disponíveis e que as escavadeiras trabalharam 100% do tempo analisado. Assim, conclui-se que se houver mais escavadeiras em cada frente de lavra ou o suporte de carregadeiras para o carregamento dos caminhões, haverá maior utilização dos caminhões alocados. Ressalta-se que o uso de 100% das escavadeiras é uma situação desejada nas mineradoras, entretanto, cabe reforçar que isso pode ocasionar maior necessidade de manutenção (detectiva, corretiva, preventiva e preditiva), devido ao desgaste dos equipamentos.

Esse trabalho contribuiu para um melhor entendimento do planejamento operacional de uma mina a céu aberto, além do processo de elaboração de modelo e análise de um sistema em um simulador. Um planejamento operacional mais efetivo pode ocasionar a melhor utilização dos recursos e funcionários, aumentando a utilização deste até um limite desejado, além de evitar que estes fiquem ociosos. Consequentemente traria mais resultados positivos a organização, como redução de equipamentos, redução de custos, aumento de lucros, entre outros.

Sugere-se para pesquisas futuras a análise de novas medidas de desempenho, de modo a encontrar a melhor disposição do planejamento operacional da mina em questão, além de otimizar a quantidade de recursos para o ritmo de lavra adotado.

Referências

ATAEEPOUR M.; BAAFI E.Y. ARENA Simulation Model for Truck-Shovel Operation in Dispatching and Non-Dispatching Modes. **International Journal of Mining, Reclamation and Environment**. v. 13, p.125-129, 1999.

BRYMAN, A. **Research methods and organization studies**. London: Uniwin Hyman, 1989.

CARVALHO, M. C. M. de. A construção do saber científico: algumas posições. In: CARVALHO, M. C. M. de (org.). **Construindo o saber**. 2. ed. Campinas, SP: Papirus, 2000.

CASTRO NETO, L. R. **Modelagem e simulação da cadeia produtiva do minério de ferro**. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia de Transporte. USP, São Paulo, 2006.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e Simulação de eventos discretos**: Teoria e aplicações. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

CRESWELL, J. W. **Research design**: qualitative & quantitative approaches. London: Sage, 1994.

DINDARLOO, S. R.; OSANLOO, M.; FRIMPONG, S. A Stochastic Simulation Framework for Truck and Shovel Selection and Sizing in Open Pit Mines. **Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy**. v. 115, n. 3, p.209-2019, 2015.

FORSMAN, B.; RONNKVIST, E.; VAGENAS N. Truck Dispatching Computer Simulation In Aitik Open Pit Mine. **International Journal of Mining, Reclamation and Environment**. v. 7, p.117-120, 1993

FREITAS FILHO, P. J. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em Arena**. 2. ed. Visual Books, 2008.

HARRELL, C.R.; GHOSH, B.K.; BOWDEN, R. **Simulation Using ProModel**. 2. ed. McGraw-Hill Professional, 2004.

KOLONJA B.; MUTMANSKY, J. M. Analysis Of Truck Dispatching Strategies For Surface Mining Operations Using SIMAN. SME ANNUAL MEETING, Colorado, 1995. **Proceedings** […]. Colorado, 1995.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation modeling & analysis**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 2000.

LEAL, F.; ALMEIDA, D.A. de; MONTEVECHI, J.A.B. Uma Proposta de Técnica de Modelagem Conceitual para a Simulação através de elementos do IDEF. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 40., 2008, João Pessoa. **Anais**[...]. João Pessoa, 2008. p. 2503-2514.

PANTUZA JÚNIOR, G. A **Utilização de Ferramentas da Pesquisa Operacional Aplicadas ao Planejamento de Lavara em Minas a Céu Aberto**. Monografia de Graduação (Engenharia de Produção) – UFOP, Ouro Preto, 2008.

PANTUZA JÚNIOR, G. **Métodos de Otimização Multiobjetivo e de Simulação Aplicados ao Problema de Planejamento Operacional de Lavra em Minas a Céu Aberto**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.

PANTUZA JÚNIOR, G.; SOUZA, M. J.; CABRAL, I. E. Uma Nova Formulação de Programação Matemática para o Problema de Planejamento de Lavra. **Revista GEPROS**. v.4, n. 4, p.125-137, 2009.