

# Modelagem e simulação como instrumento de apoio às tomadas de decisão e mudança de cenário para melhoria na produtividade: o caso de uma mineração

*Modeling and simulation as a tool to support decision making and change of scenery for improved productivity: the case of mining*

Jackson Kêntelly Marculino de Souza<sup>1</sup> - Univ. Fed. do Vale do São Francisco - Departamento de Engenharia de Produção  
Edson Tetsuo Kogachi<sup>2</sup> - Univ. Fed. do Vale do São Francisco - Departamento de Engenharia de Produção

**RESUMO** Modelagem e simulação computacional de eventos discretos de processos industriais ganham papel de destaque pela capacidade de análise e aprimoramento da gestão das atividades gerando vantagem competitiva para as organizações. Embora sejam encontrados alguns estudos envolvendo simulação na área de mineração, percebem-se incontáveis oportunidades de aplicação em suas subáreas para auxiliar gestores nas tomadas de decisão. Assim, este trabalho apresenta o processo de carregamento e transporte de material em uma mineração a céu aberto no intuito de gerar um modelo de simulação que represente bem o sistema e propor melhorias na composição dos equipamentos de transporte e carga utilizados na mina. O modelo foi desenvolvido no *software* de simulação de eventos discretos Arena e validado para permitir a criação de cenários alternativos em busca de melhorias operacionais. A melhor alternativa decorreu do cenário que projetou a substituição de um veículo alugado por um de frota própria delineando ganho anual na ordem de R\$ 3,8 milhões, pelo ganho expressivo na produção e redução no custo com contratado ter compensando o acréscimo do custo pela frota própria. O modelo computacional com suas inúmeras particularidades foi reproduzido com êxito permitindo exercitar soluções a baixo custo e sem interferência ao sistema real, destacando-se como ferramenta fundamental para perpetuar a competitividade da empresa.

**Palavras-chave:** Mineração. Modelagem e simulação. *Software* Arena.

**ABSTRACT** Computer modeling and discrete event simulation of industrial processes have gained a prominent role for the analysis of capacity and management improvement, which generate competitive advantages for organizations. Although some studies involving simulation in the mining area were found, countless application opportunities in mining subareas to assist managers in decision-making were encountered. This work shows the process of loading and transport of minerals in an open pit mine in order to generate a simulation model that best represents the system to propose improvements in the composition of the load and transport equipment employed in the mine. The model was developed in the discrete event simulation software, Arena, and validated to allow for the creation of alternative scenarios to achieve operational improvements. The best alternative that resulted from the scenario stipulated the replacement of a hired vehicle with its own fleet. This generated an annual gain of R \$ 3.8 million, through the expressive gains in production and the reduction in the cost of hiring services, which have offset the increase in costs of having its own fleet. The computational model, with its many peculiarities, has been reproduced successfully, allowing for work solutions at low cost and without interference in the real system, distinguishing itself as a fundamental tool to solidify the company's competitiveness.

**Keywords:** Mining. Modeling and simulation. *Arena* Software.

1. R. Cristália, 131, Vila Eduardo, Petrolina, Pernambuco, CEP 56328-110, jacksonkentelly@gmail.com; 2. ekogachi@gmail.com

SOUZA, J. K. M.; KOGACHI, E. T. Modelagem e simulação como instrumento de apoio às tomadas de decisão e mudança de cenário para melhoria na produtividade: o caso de uma mineração. *GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas*, Bauru, Ano 12, nº 3, jul-set/2017, p. 197-214.

DOI: 10.15675/gepros.v12i3.1704

## 1. INTRODUÇÃO

Desde que as organizações passaram a utilizar a computação como ferramenta de auxílio às tomadas de decisão para melhorias de suas atividades desenvolvidas, a simulação dos processos industriais ganhou um papel de destaque, pois a mesma é tida como uma fonte de vantagem competitiva capaz de analisar os processos e aprimorá-los.

Também alinhada neste princípio, grandes indústrias de bens minerais buscam aproveitar ao máximo os recursos disponíveis, utilizando-se sempre dos processos mais eficientes, melhores maquinários, instalações modernas, entre outros. Segundo Crain (1997) a simulação é aplicada em todo o mundo em modelos de processos para fabricação, transporte, distribuição, telecomunicações, hospitais, computação, logística, mineração e muitos outros tipos de sistemas de filas.

No âmbito da modelagem e simulação de eventos discretos, característica deste trabalho, muitos pesquisadores sentem-se encorajados em realizar estudos buscando melhorar os processos produtivos com o auxílio de *softwares* de simulação.

Um exemplo recente pode ser notado no trabalho de Tarshizi et al. (2015) em que se buscou melhorar a eficiência de operação de uma retroescavadeira e reduzir o impacto ambiental do transporte em uma mina de carvão. Uma abordagem relevante foi acrescentar na investigação possíveis reduções no impacto ambiental da mineração. Os modelos de animação hipotéticos de duas operações na mina foram desenvolvidos no *software* GPSS/H.

Já, neste trabalho o principal objetivo consiste em gerar um modelo que represente bem o sistema e propor melhorias na composição dos equipamentos de transporte e carga utilizados na mina.

A estruturação deste trabalho é composta de cinco partes sendo a primeira a introdução, a segunda o referencial teórico abordando os assuntos, a terceira a caracterização do problema com utilização da simulação e aplicações, a quarta traz os resultados obtidos e a quinta as considerações finais.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Modelagem e simulação na mineração

Diversas pesquisas mostram que a utilização da modelagem e simulação tem ligação direta com a evolução dos *hardwares* e *softwares*. Na década de 60 eram bastante limitadas às ferramentas computacionais que necessitavam de mão de obra qualificada e somente as grandes organizações tinham acesso aos *softwares*.

Filho (2003) diz que o número de empresas que utilizam a simulação de eventos discretos com o objetivo de minimizar problemas de manufatura e administração de materiais tem crescido de forma rápida e acentuada no cenário brasileiro. Os gestores e administradores estão percebendo os benefícios que o uso dessa técnica possibilita. Muito mais que uma simples alteração de *layout* fabril, a simulação tem oferecido aos administradores, gerentes, planejadores e projetistas, motivos para que os mesmos a incorporem em suas operações diárias.

Alguns autores seguem a linha de raciocínio de Sakurada (2003) ao afirmarem que a simulação de eventos discretos é uma ferramenta que tem como principal característica, o apoio às tomadas de decisão com a utilização de modelos para reprodução de sistemas e resolução de problemas cuja solução analítica se mostre visível ao pesquisador.

Prado (2014) diz que a simulação é uma técnica que visa solução de problemas utilizando um modelo que tem a capacidade de descrever um determinado processo utilizando um computador e exibindo informações digitais.

Trabalhos de mineração envolvendo modelagem ao redor do mundo são encontrados. Segundo Burt e Caccetta (2014) um dos desafios na mineração a céu aberto refere-se à escolha da frota ideal de caminhões e carregadeiras. Pesquisaram modelos heurísticos baseados na pesquisa operacional para tratar do problema de seleção de equipamentos e concluíram que a literatura carece de soluções robustas de modelagens heurísticas para tratamento do problema e o interessante seria considerar a seleção de equipamentos em um planejamento a longo prazo de forma a buscar otimização de forma global.

Já no âmbito dos trabalhos de modelagem e simulação de eventos discretos, Schunnesson et al. (2014) utilizaram a simulação para avaliar a viabilidade da meta de produção estabelecida e comparar duas unidades de transporte de diferentes capacidades no intuito de melhorar a produção. Segundo os autores, a seleção de equipamentos para transporte em minas subterrâneas é fundamental devido o impacto sobre as taxas de produção e custos. O equipamento selecionado deve integrar uma composição ideal para o sistema e a mudança de sua composição precisa ser estudada antecipadamente via simulação.

Ahmed et al. (2016) compartilham uma pesquisa em modelagem e simulação de eventos discretos que reproduz estocasticamente o processo de construção dos níveis de infraestrutura dentro de uma mina subterrânea. Tais simulações capturam as configurações e animam os modelos desde os primeiros estágios de desenvolvimento até as etapas finais. O trabalho desenvolvido em *El Teniente* mostra que pesquisas de modelagem e simulação de eventos discretos podem se mostrar positivas em determinadas operações, aumentando assim, a velocidade de seu desenvolvimento obtendo ganhos consideráveis.

Já na área de manutenção de equipamentos em minas, Haii (2000) apresenta uma metodologia para a tomada de decisões de gestão de equipamentos através da combinação da simulação de eventos discretos e análise da distribuição e ocorrências de falhas e reparos de manutenção. Estudos de casos específicos demonstraram a eficácia da abordagem na avaliação, comparação e aumento da confiabilidade de equipamentos da mina. Permitir o comparativo de máquinas e novos desenhos da broca semiautomática de diamante e máquina perfuratriz foram os resultados do trabalho.

No Sul do Brasil, Pereira et al. (2010) desenvolveram a simulação de eventos discretos na empresa Carbonífera Metropolitana S.A. Depois de construído e validado, o simulador mostrou-se eficaz na previsão de produção diária de carvão e no diagnóstico de gargalos no ciclo de produção e de esperas na realização das operações.

Também foi desenvolvida a simulação hipotética de uma mina subterrânea de minerais metálicos. Pop-Andonov et al. (2011) utilizaram o *software* Arena para simular o processo de transporte do minério bruto entre dois níveis principais. No nível superior o minério bruto é transportado pelo sistema ferroviário enquanto nos níveis mais baixos o minério é transportado até a superfície pelos caminhões. Os autores ainda destacam a ampla gama de problemas que podem ser conduzidas pela simulação e sua eficiência na análise dos tempos e custos dos sistemas de transporte em minas subterrâneas que utilizam trens e caminhões em seus processos dinâmicos.

## 2.2. Software de simulação

Pessanha et al. (2011) ressaltam que a utilização do *software* de simulação pode indicar sobrecargas (gargalos) e viabilizam estudos onde se faz necessário a criação de cenários hipotéticos, sendo assim, uma importante ferramenta para auxiliar nas tomadas de decisão.

Já Martins (2015) enfoca que a aplicação de métodos estatísticos em processos de produção nos dias atuais não é mais uma alternativa e sim, uma condição de sobrevivência e crescimento organizacional. Sendo assim, uma das alternativas que podem ser estudadas, é a aplicação de simulação nas atividades em *softwares* de simulação de eventos discretos.

De acordo com Santos (2014), decisões baseadas em experimentos tendem a resultar somente em gargalos, deficiências no dimensionamento, alocações ineficazes de funcionários e problemas operacionais. Uma forma de sobrepor essas deficiências, é a utilização de *softwares* para simular e otimizar o processo, sendo, por exemplo, o Arena bastante dinâmico e eficaz, possibilitando a utilização de diferentes combinações para as variáveis em estudo.

Prado (2014) diz que a maioria dos *softwares* ligados à simulação, bem como o Arena visualiza o sistema a ser modelado como um conjunto de estações de trabalho, que atendem aos serviços dos clientes, também chamados de entidades ou transações, que se deslocam através do sistema. Esse deslocamento pode ser feito pela própria entidade ou por transportadores (empilhadeiras ou caminhões por exemplo). Assim, para montar um modelo deve-se, inicialmente, construir um desenho mostrando o sistema que será simulado, constituído de: Estações de trabalho e opções de fluxo.

Uma das etapas fundamentais na construção do modelo refere-se à inserção de dados no *software*. Para Marim e Tomi (2010) a simulação de lavra depende da utilização de dados coerentes e representativos da operação da mina. Para tanto os autores desenvolveram uma proposta metodológica aplicada a um estudo de caso de mina a céu aberto, onde dados do tempo de ciclo dos caminhões foram modelados para utilização em simulação de lavra. O estudo identificou a necessidade do rastreamento das causas de inconsistências de dados, para o desenvolvimento de um processo fiel de gestão de operação de lavra.

O *software* Arena ainda inclui módulos de otimização. Segundo Santos et al. (2014) com combinação da simulação e a otimização do módulo *Optquest* do Arena foi possível testar combinações para as variáveis em estudo, obtendo-se em seu trabalho, uma nova disposição de funcionários na linha de produção com acréscimo de produção.

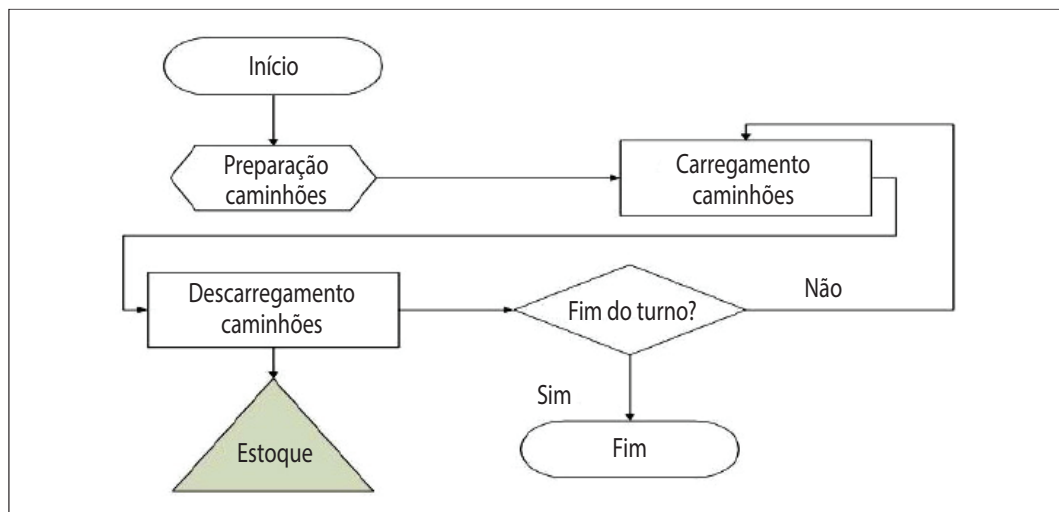
A análise dos resultados das simulações fornecidos pelo programa lida com dados gerados a partir de seus experimentos. Tem como objetivo permitir a realização de interferências e previsões sobre o comportamento e o desempenho do sistema real sob análise crítica de seus processos.

### 3. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

#### 3.1. Atividade de carregamento e transporte

A atividade de carregamento e transporte basicamente consiste em um ciclo onde, equipamentos de cargas, carregadeiras ou escavadeiras, carregam caminhões para transportar um material até seu destino que na maioria das vezes são pilhas de estocagem. Esse fluxo permanece contínuo até que o turno de trabalho seja encerrado, como representado na Figura 01.

Figura 1 – Esquematização da atividade de carregamento e transporte.



Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

### 3.2. Objeto de estudo

Nesta etapa é apresentada a modelagem da atividade. A sua escolha decorre da divergência de produção nos diferentes turnos de trabalho mesmo utilizando igual quantidade de equipamentos. A empresa utiliza dois modelos de caminhões e uma escavadeira para carga, como mostra o Quadro 1.

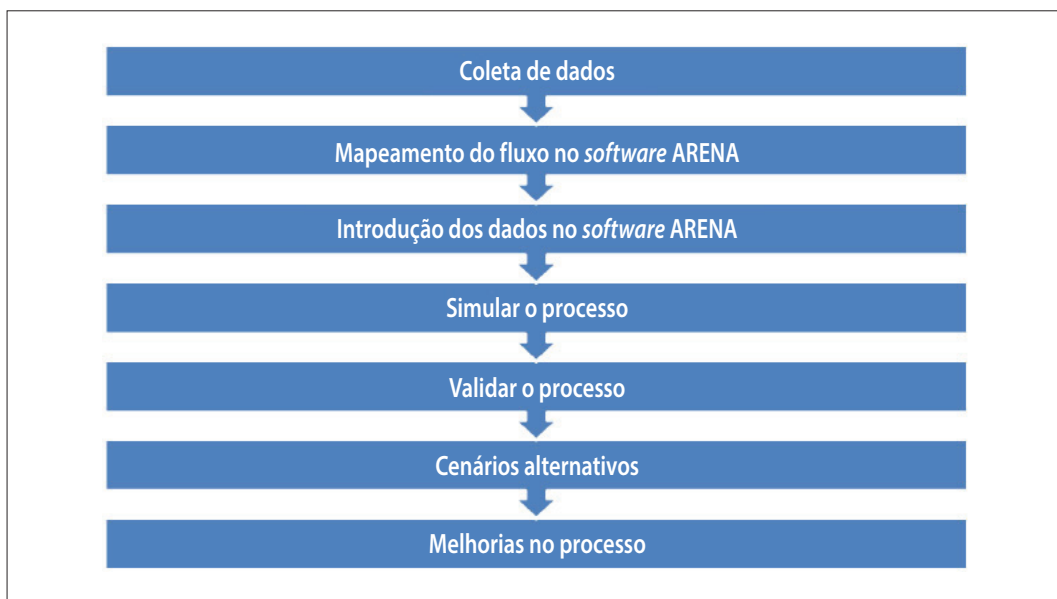
Quadro 1 – Equipamentos disponíveis na empresa.

Caminhão Articulado	Capacidade 30 toneladas	02 unidades
Caminhão Rodoviário	Capacidade 35 toneladas	10 unidades
Escavadeira Hidráulica	Capacidade 7 a 8 toneladas	04 unidades

Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

Em síntese, o planejamento da pesquisa para modelagem dos equipamentos disponíveis na mina segue os passos descritos na Figura 02.

Figura 2 - Planejamento do experimento.

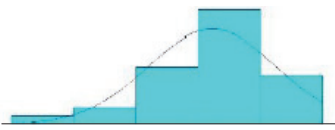
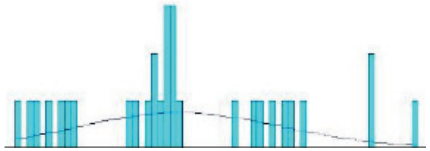
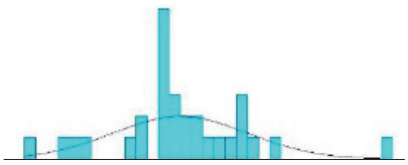
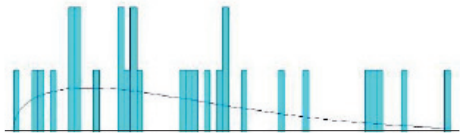


Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

A coleta dos tempos das atividades iniciou no mapeamento do processo, através do cálculo do número de amostras necessários.

Antes de serem inseridos no modelo de simulação, os tempos coletados passaram por tratamentos no intuito de buscar a distribuição probabilística mais apropriada. Os Quadros 2 e 3 mostram as distribuições obtidas com auxílio da ferramenta *Input Analyzer* do Arena.

Quadro 2 – Distribuição da Probabilidade dos Caminhões Basculantes (CB) (em segundos).

ATIVIDADE	DISTRIBUIÇÃO	EXPRESSÃO	ERRO	HISTOGRAMA
Tempo para Carga (EH)	NORMAL	NORM (198, 33.4)	0.01707	
Tempo para Deslocamento Carregado	POISSON	POIS (258)	0.03409	
Tempo para Basculamento (Descarga)	NORMAL	NORM (61.5, 6.08)	0.04743	
Tempo para Deslocamento Descarregado	WEIBULL	184 + WEIB (30.5, 1.39)	0.02849	

Fonte: Elaborado pelos autores (2016).



Quadro 3 – Distribuição da Probabilidade dos Caminhões Articulados (CA) (em segundos).

ATIVIDADE	DISTRIBUIÇÃO	EXPRESSÃO	ERRO	HISTOGRAMA
Tempo para Carga (EH)	BETA	$113 + 81 * \text{BETA}$ (0.972, 0.783)	0.033463	
Tempo para Deslocamento Carregado	BETA	$139 + 70 * \text{BETA}$ (0.973, 1.29)	0.03838	
Tempo para Basculamento (Descarga)	ERLANG	$28.5 + \text{ERLA}$ (1.69, 3)	0.024789	
Tempo para Deslocamento Descarregado	TRIANGULAR	TRIA (127, 132, 177)	0.036241	

Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

Com os dados inseridos iniciou-se a simulação e percebido que esta não poderia ser validada sem antes fazer a inserção de intervenções de paralização do processo. Os tempos de parada para abastecimento, reposicionamento da escavadeira na lavra, diálogo diário de segurança (DDS), manobra de carregamentos e deslocamento para entrada da mina, como mostra o Quadro 4, foram inseridos nos módulos específicos do *software* Arena.

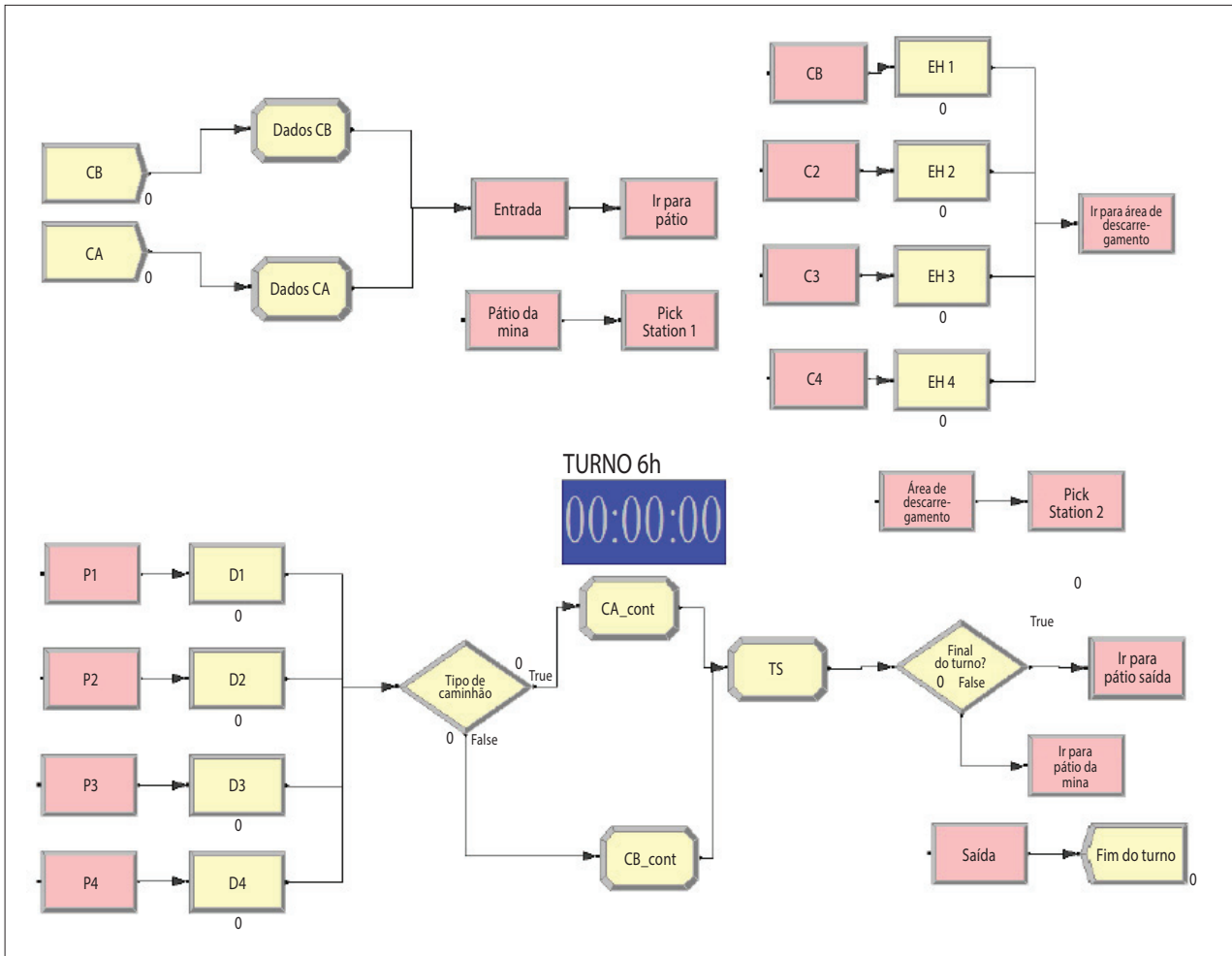
Quadro 4 – Paradas no Processo.

Paradas Programadas	Quando	Duração (segundos)
DDS – Diálogo Diário de Segurança	Início do Turno	600
Deslocamento para entrada da mina	Início do Turno	30
Manobra de Carregamento	Chegada de caminhões	25
Abastecimento	Nível Baixo de Combustível	300 - 600 / equipamento
Movimentação	Falta de Material no Local	120

Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

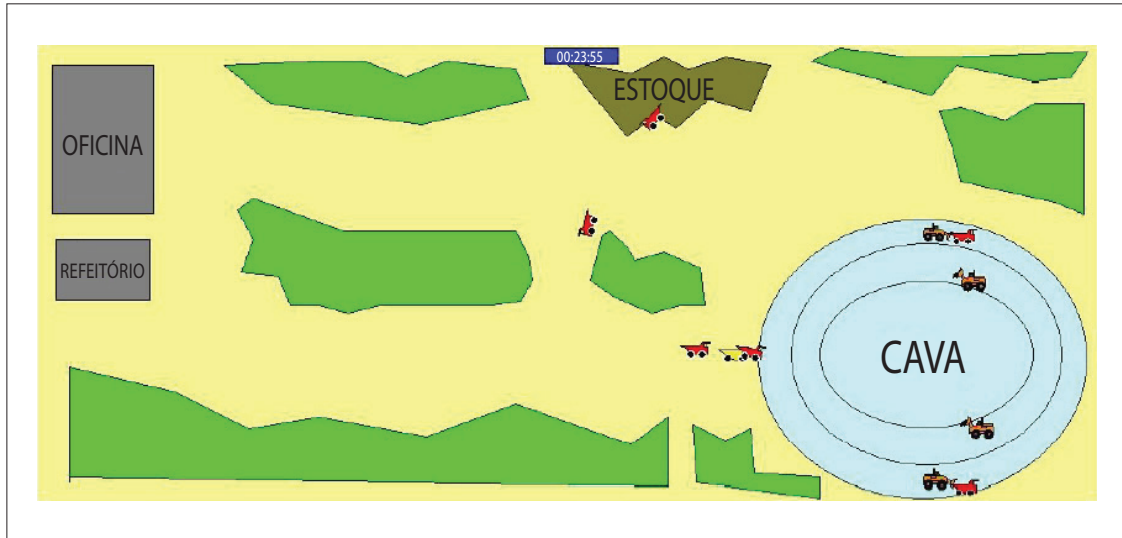
Os principais módulos desenvolvidos deste trabalho no *software* Arena, o modelo em fluxograma e animação, estão representados nas Figuras 03 e 04.

Figura 3 – Modelo da Atividade de Carregamento e Transporte da Mina.



Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

Figura 4 – Animação do Modelo da Atividade de Carregamento e Transporte da Mina.



Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

Outras parametrizações foram no módulo *Run Setup*, o tempo de simulação igual à jornada de turno de 6h, caracterizando um sistema terminal, sem necessidade de tempo para warm-up e número de replicações igual a 15, suficientes para validar os resultados obtidos com confiança de 95%.

Já para introduzir as interrupções, reproduzindo a realidade, no módulo de falhas foram inseridas as paradas para abastecimento, manobras de reposição da escavadeira nas frentes de lavra, movimentação e manutenção. Já no módulo *create* foi inserido o tempo de 10 minutos para realização do diálogo diário de segurança, antes do início dos serviços.

A validação dos resultados, inclusive dos cenários alternativos, com um intervalo de confiança estatística de 95% foram obtidas através de 15 replicações, dada a Equação 1. O método empírico de determinação do tamanho da amostra, utilizado foi:

$$n^* = [n(h/h^*)^2] \quad (1)$$

Onde:

$n^*$  = a nova estimativa para  $n$

$h$  = semi-intervalo de confiança obtido

$h^*$  = semi-intervalo de confiança desejado

O sistema virtual indicou uma produção diária de 6.037,3 toneladas contra um real de 5.810 toneladas, diferença de apenas 3,7%, certificando e validando assim o modelo.

Na sequência, e após observar a baixa utilização de alguns equipamentos, foram estudados diferentes cenários para obter a melhor composição de equipamentos e conseqüentemente o melhor resultado operacional para mina.

## 4. RESULTADOS

Na Tabela 1 é apresentada a quantidade de equipamentos do sistema real e 2 cenários alternativos. Nos cenários, o número máximo de equipamentos foi de 12 para não aumentar o número de equipamentos e trabalhadores.

Tabela 1 – Cenários Alternativos

	REAL	CENÁRIO 01	CENÁRIO 02
Escavadeira hidráulica	04	04	03
Caminhão basculante	07	06	07
Caminhão articulado	01	02	02
Total Equipamentos	12	12	12

Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

Os fatores que levaram a escolher a melhor composição de equipamentos levaram em consideração três condições de influência para o resultado operacional da mina. A diferença na produção, gastos com terceiros e gastos com equipamentos próprios.

Para compor a formulação dos cálculos, tornou-se necessário levantar os dados de produção dos equipamentos e custos conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Dados dos Caminhões.

		CAMINHÃO BASCULANTE	CAMINHÃO ARTICULADO
Capacidade	(t)	30	35
Preço	(R\$/t)	0,22	0,83

Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

Também foram necessárias informações complementares da produção do minério conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Dados da Produção e Minério.

INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES		
Preço do cobre	(R\$/t)	18.000,00
Relação minério/estéril	(%)	21,61
Teor minério	(%)	0,85
Turnos por dia	(dia)	4
Dias no mês	(dia)	26
Meses no ano	(dia)	12

Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

Por fim a Tabela 4 mostra o resumo do resultado final alcançado em relação ao cenário atual.

Tabela 4 – Resultados Finais (Ano).

STATUS	GANHO	PERDA
	CENÁRIO 01	CENÁRIO 02
Ganho de produção (r\$)	3.300.276,00	-825.069,00
Redução do custo terceirizado (r\$)	728.000,00	582.400,00
Acréscimo do custo próprio (r\$)	-217.402,00	-150.509,00
Total anual do ganho (r\$)	3.810.874,00	-393.178,00

Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

No Cenário 2, observa-se que houve redução de custos com terceirizados, no entanto a redução não é suficiente para compensar as perdas com produção e acréscimo do custo próprio. Por outro lado, o Cenário 1 apresentou o melhor resultado, projetando ganho anual na ordem de R\$ 3,8 milhões, pelo ganho expressivo na produção e redução nos custos com terceirizado ter compensando em muito o acréscimo do custo pela frota própria.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos dias atuais, as empresas de mineração buscam cada vez mais realizar as atividades de maneira eficiente e com intervalos de tempos cada vez menores. Devido à grande exigência do mercado, as mesmas são obrigadas a adquirir metodologias modernas de gestão que sejam capazes de melhorar a produtividade, contudo, os profissionais devem estar aptos para emprega-las.

A modelagem e simulação computacional de eventos discretos das atividades de carregamento e transporte em uma mineração e suas inúmeras particularidades de interrupções foram realizadas no *software* Arena com êxito. Foram reproduzidas três perspectivas neste trabalho, entretanto, destaca-se o fato do modelo estar preparado para simular inúmeros cenários.

O resultado operacional deste trabalho atesta que a simulação é uma ferramenta capaz de auxiliar na tomada de decisão e visualizar o processo de maneira mais detalhada. Foi possível a identificação de gargalos, utilização, ociosidades e interrupções no decorrer das atividades.

Em consonância com referências de vários autores citados, observou-se neste estudo que a Simulação Computacional de Eventos Discretos é uma ferramenta importante para perpetuar a competitividade da empresa, pois estimula a criação de soluções a baixo custo e sem interferência ao sistema real.

## REFERÊNCIAS

AHMED, H.; SCOBLEA, M.; DUNBARA W. S. A comparison between Offset Herringbone and El Teniente underground cave mining extraction layouts using a discrete event simulation technique. **International Journal of Mining, Reclamation and Environment**, v. 30, n. 2, p. 71-91, 2016.

BURT, C. N.; CACCETTA, L. Equipment selection for surface mining. **Journal Interfaces**, v. 44, n. 2, p. 143-162, 2014.

CRAIN, R. C. Simulation using gpps/h. In: PROCEEDINGS OF THE WINTER SIMULATION CONFERENCE, p. 15-20, **Anais...** 1997.

DESPODOV, Z.; POP-ANDONOV, G.; MIJALKOVSKI, S. Application of ARENA computer program for computer simulation of the underground mine transport. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL INTEGRADO, ISTI. **Anais...** Sérvia: 2011.



FILHO, C. P.; SCHAFRANSKI, E. L. O uso do software de simulação arena para desenvolvimento de jogos de empresas. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, artigo 225, **Anais... ENEGEP**: 2003.

FREITAS, F. P. J. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em Arena**. Florianópolis: Visual Books, 2008.

HAIL, R. A. **Reliability Analysis and Discrete Event Simulation As Tools For Mining Equipment Management**. (Tese) - Doutorado em Filosofia, 2000, 172f. Queen's University, Kingston, Ontario, Canada, 2000.

MARIN, T.; TOMI, G. F. C. Modelagem de dados de entrada para simulação estocástica de lavra. **Revista Escola de Minas**, v. 63, n. 3, p. 559-562, 2010.

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração da Produção**. São Paulo: Saraiva, 2015.

PEREIRA, S. P.; COSTA, J. F. C. Simulação de produção em mina subterrânea de carvão com uso de conjuntos mecanizados. **Revista Escola de Minas**, v. 63, n. 3, p. 581-589, 2010

PESSANHA, A. M. B.; Filho, S. M. D. R.; Melo, N. A. Estudo da aplicação do software arena em um contrato de prestação de serviço de manutenção de instrumentação. **Revista Perspectiva Online, Ciências Exatas e Engenharia**, v. 1, n. 2, p. 30-53, 2011.

PRADO, D. S. **Teoria das Filas e da Simulação**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1999.

PRADO, D. S. **Usando o Arena em Simulação**. Belo Horizonte (MG). Editora Falconi – 2014 (Série Pesquisa Operacional – Volume 3).

SALAMA, A; GREBERG, J.; SCHUNNESSON H. The use of discrete event simulation for underground haulage mining equipment selection. **International Journal of Mining and Mineral Engeneering**, v. 5, n. 3, 2014.

SANTOS, J. A. A.; FERRÃO, S. R.; SOUZA, R. C.; SHIOYA, H. M.; MONTEIRO, C. Modelagem, simulação e otimização da dinâmica operacional do processo de fabricação de placas de sinalização. **Revista Gestão, Inovação e Tecnologias**, v. 4, n. 1, 2014.

SAKURADA, N.; MIYAKE, D. I. Estudo Comparativo de Softwares de Simulação de Eventos Discretos Aplicados na Modelagem de um Exemplo de Loja de Serviços. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 23, 2003. **Anais... ENEGEP: 2003.**

SOUZA, T. F. **A simulação a eventos discretos como ferramenta de apoio à tomada de decisão em empresas do ramo de mineração: aplicação em uma unidade da Yamana Gold**, 175f., 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, 2009.

TARSHIZI, E.; STURGUL, J.; IBARRA, V.; TAYLOR, D. Simulation and animation model to boost mining efficiency and enviro-friendly in multi-pit operations. **International Journal of Mining Science and Technology**, v.25, n.4, p. 671- 674, 2015.