

CONSTRUÇÃO DE MODELO PARA SIMULAÇÃO DA LOGÍSTICA DE FROTA: ESTUDO DE CASO

Vanessa Brito Pinheiro - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais -
vanessabp94@gmail.com

Guilherme Alzamora Mendonça - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
– guilherme.alzamora@cefetmg.br

RESUMO

O presente trabalho apresenta um estudo de caso sobre a construção de um modelo para simulação da logística de carregamento e transporte de uma mina através do software *Arena*. Com o intuito de simular a logística dos caminhões e carregadeiras da mina, utilizou-se dados da frota, dos locais de aterro, entre outros. Ao fim do estudo, concluiu-se que o modelo criado foi representativo, permitindo modificações para simular diversos cenários alternativos, além de ser robusto o suficiente para simular longos períodos de tempo. Notou-se que um aumento na velocidade média dos caminhões apresentaria ganhos operacionais representativos, assim como a adição de um quarto turno de trabalho. Esta última, porém, implicaria em um acréscimo nos custos da empresa, sendo necessário um estudo mais aprofundado acerca de sua viabilidade econômica.

Palavras-Chave Simulação. Logística. Frota. Estéril.

ABSTRACT

The present work presents a case study on the construction of a model for simulating the logistics of loading and transporting of a mine using the *Arena* software. In order to simulate the logistics of the mine's trucks and loaders, data from the fleet, landfill sites, among others, were used. At the end of the study, it was concluded that the model created was representative, allowing modifications to simulate several alternative scenarios, in addition to being robust enough to simulate long periods of time. It was noted that an increase in the average speed of the trucks would present significant operational gains, as well as the addition of a fourth shift. The latter, however, would imply an increase in the company's costs, requiring a more in-depth study about its economic viability.

Keywords: Simulation. Logistics. Fleet. Waste

INTRODUÇÃO

Em uma mina subterrânea, realizar aberturas de desenvolvimento é fundamental para a produção, pois permite o acesso a novas áreas de minério, que é o foco principal de qualquer mineração. Todavia, com o desenvolvimento de galerias, grandes volumes de estéril são gerados que, por vezes, não são devidamente destinados a depósitos adequados, seja pela ausência de um local específico para a deposição, pelo custo para a movimentação de um material que não oferece retorno financeiro para a empresa, ou ainda outros motivos diversos.

A má gestão do estéril pode gerar um gargalo na mina, causando atrasos na produção. Tais atrasos ocorrem por conta da presença de material nas frentes de trabalho, o que interfere no desenvolvimento de novas galerias e na lavra do minério propriamente dito. Sendo assim, a gestão do estéril é um ponto crucial para o desenvolvimento da mina, pois pode causar atrasos na produção e, em casos mais extremos, fazer com que essa seja interrompida. (HASSANI AND ARCHIBALD, 1998).

Buscando a melhoria na gestão do estéril, um dos principais enfoques deste trabalho foi aprimorar a logística dos meios de carregamento e transporte de minério/estéril dentro da mina através de simulações computacionais, utilizando-se o software Arena.

Na mineração, simulações são utilizadas no intuito de analisar sistemas para estudo do seu comportamento antes que estes sejam construídos ou implementados. Se o sistema já está operante, a simulação tem como função avaliar rotas alternativas para o projeto, bem como pontos de melhoria e identificar possíveis problemas que possam ocorrer.

O intuito principal deste trabalho é criar um modelo dinâmico que simule a realidade do carregamento e transporte da mina, buscando melhorar a logística dos equipamentos de carregamento e transporte. Além disso, este trabalho também visa detectar gargalos e falhas, realizar melhorias no processo, auxiliar as tomadas de decisão sobre a produção e otimizar a deposição do estéril na mina.

A mina

A mina na qual o trabalho foi desenvolvido está localizada dentro do Quadrilátero Ferrífero, e consiste em uma mina subterrânea com profundidade aproximada de 1500 metros e gera, mensalmente, cerca de 69 mil toneladas de estéril, proveniente do

desenvolvimento primário e secundário da mina, que juntos totalizam mais de 10 mil metros de galerias abertas anualmente (ano base 2018).

A lavra é realizada utilizando-se dois métodos distintos, sendo o Corte e Aterro responsável por 30% da lavra da mina, o qual já não é mais praticado. O segundo método é o de Lavra por Realces e Subníveis, que representa 70% da lavra da mina e é aplicado atualmente.

Na mina estudada, o estéril é, em grande parte, depositado nos realces já escavados, já que o estéril se apresenta próximo aos locais passíveis de serem preenchidos. Para a empresa, isso se converte em ganho econômico, tendo em vista que o material não necessita ser transportado por longas distâncias, diminuindo a necessidade da construção de pilhas de estéril na superfície, que requerem supressão vegetal e geram impacto visual negativo para a região. Além disso, as pilhas de estéril geralmente se localizam a grandes distâncias das frentes de lavra, aumentando custos com transporte de um material que não tem retorno financeiro para a empresa (SME Mining Engineering Handbook, 2011).

Logística dos Equipamentos

No intuito de se movimentar o material dentro da mina de forma coordenada e adequada, a logística dos equipamentos deve ser bem planejada para que se obtenha uma operação ótima, sem filas e evitando o acúmulo excessivo de material devido à falta de equipamentos.

Segundo Alarie e Gamache (2010) o porte dos equipamentos e as distâncias transportadas impactam a eficiência de uma frota. Tendo isso em vista, determinar o ponto ótimo no qual os equipamentos de carregamento não fiquem ociosos e grandes filas não ocorram é primordial para otimização da produção e utilização dos equipamentos.

Sistema de Despacho

Minerações de grande porte, seja ela a céu aberto ou subterrânea, normalmente apresentam diversas frentes de lavra operando simultaneamente, visando fornecer à usina de tratamento de minérios um minério conforme as especificações de qualidade necessárias. Para isso, é fundamental que se planeje, controle e programe os recursos e produção, de tal forma que seja possível atender a tais necessidades. Sendo assim, diversos equipamentos são utilizados, como carregadeiras, caminhões, escavadeiras, entre outros, que apresentam confiabilidade de uso variável. (COSTA; GANGA, 2010).

Tendo em vista a maximização da eficiência de utilização dos equipamentos de transporte, várias empresas fazem uso de sistemas capazes de definir as melhores rotas considerando-se restrições de custos, tamanho de frota entre outras variáveis. (CUNHA, 2000). Tal roteirização de caminhões é de grande importância e complexidade, pois uma alocação ótima pode resultar em grande economia para a empresa. Essa roteirização pode ser realizada através de um sistema de despacho estático ou dinâmico.

O sistema de despacho empregado na mina analisada é o *SmartMine UG* que, de acordo com a Hexagon, fornecedora do sistema, consiste em uma ferramenta de controle da frota através do monitoramento do progresso das tarefas sendo executadas. Esse sistema também fornece dados de gestão da produção, controle de processos, e principalmente os Key Performance Indicators (KPI's) da frota, que serão de grande importância nesse trabalho, pois será a base para a simulação da logística da frota.

Simulação

De acordo com Turner (1999), as simulações de processos e sistemas é uma grande ferramenta para o estudo de efeitos de novos investimentos no empreendimento, bem como planejamento de produção, mudanças operacionais, de equipamentos e rotas de produção, avaliação da capacidade de produção, entre vários aspectos. Além disso, a simulação permite estudar diversos cenários antes que estes estejam implementados, reduzindo gastos desnecessários, otimizando operações, detectando aspectos críticos, entre várias outras vantagens.

Sem a simulação dos cenários, as decisões e ações são baseadas em impressões, que podem funcionar para modelos simples. Porém, em modelos complexos, tomar decisões se torna algo mais complicado, por apresentar maiores limitações.

Origem do Problema

A gestão do estéril na mina se tornou um ponto crucial para o processo devido a diversos fatores, sendo alguns deles:

- Falta de um plano robusto para gerir a movimentação e gestão de estéril no subsolo;
- Competição de recursos do transporte horizontal (caminhões e carregadeiras) para realizar a movimentação do estéril, contra a movimentação do minério;
- Competição no uso do poço (*shaft*) pra extração do material do subsolo para a superfície, onde a prioridade muitas das vezes era para remoção do minério;

- Aumento do custo operacional para a retirada do estéril do subsolo para a superfície contra mantê-lo no subsolo.

Dessa forma, é de extrema relevância entender a gestão do estéril dentro das operações da mina, assim como estudar as alternativas que tornem a atividade mais viável.

METODOLOGIA

Visando resolver o problema discorrido no tópico anterior, construiu-se uma simulação no software *Arena*, buscando a melhoria na logística dos caminhões e carregadeiras presentes na mina. Para que o trabalho fosse desenvolvido, 7 etapas fundamentais foram definidas para que o modelo fosse bem construído e aperfeiçoado. As etapas foram ordenadas na forma de um fluxograma de atividades, presente na figura 1 abaixo:

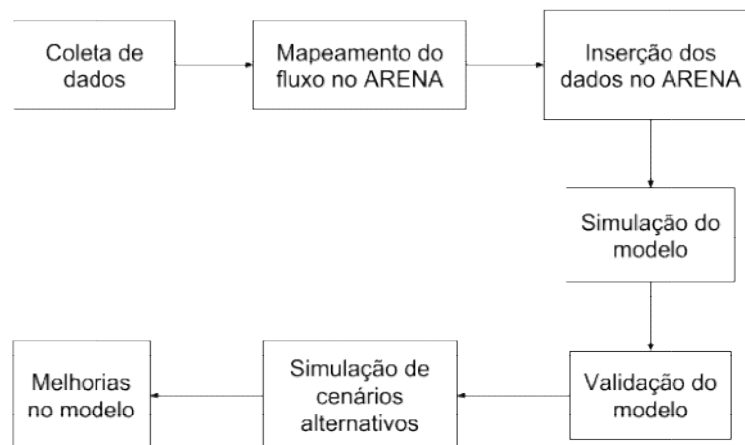


Figura 1: Fluxograma de atividades para construção do modelo

Coleta de dados

A etapa de Coleta de Dados é a primeira do processo e constitui a base do modelo a ser construído. Para a construção do modelo, foram levantados os seguintes dados:

- Dados da frota – velocidade média, capacidade, indicadores de manutenção (MTTR e MTBF), KPI's, tempos médios de ciclo;
- Taxa de produção do poço;
- Capacidade dos pontos de aterro, estoques temporários e dos silos de estéril e minério;
- Frentes em lavra e em desenvolvimento;

- Massa de material movimentado de cada frente em lavra;
- Distâncias médias de transporte (DMT's) de cada ponto da mina;
- Horas efetivas de turno.

Os dados foram obtidos através do acompanhamento da rotina diária dos caminhões, dos registros gerados pelo sistema de despacho e por planilhas de controle interno da empresa.

Com base nos dados obtidos foi definido o modelo de logística atual dos caminhões e carregadeiras da mina, como visto no fluxograma da figura 2:

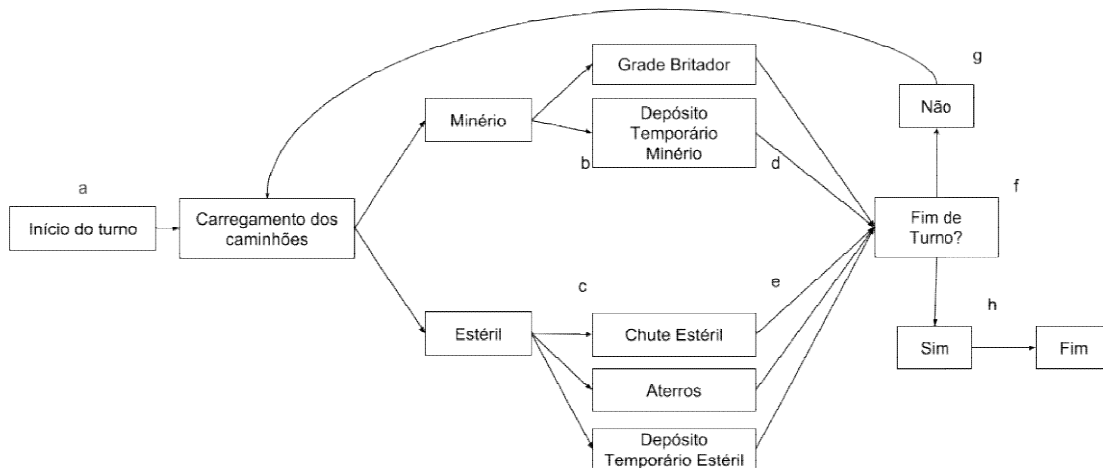


Figura 2: Fluxograma da lógica utilizada para simulação

Como visto na figura 2, ao se iniciar um turno (a), os caminhões na mina são direcionados para os pontos de carregamento, podendo ser realces em lavra ou locais em desenvolvimento de travessas ou rampas, sendo então carregados com material a ser transportado, seja estéril ou minério. Se o caminhão for carregado com minério (b), o material pode ser destinado a dois locais distintos, sendo eles a grade do britador no nível 11 ou o depósito temporário de minério, no nível 12.

Na grade do britador, presente no nível 11, o minério passa pelo processo de britagem e é direcionado para a estação de carga, onde será carregado então em um *skip* e içado para a superfície, onde segue para as etapas seguintes de beneficiamento. Se o minério for alocado no depósito localizado no nível 12, este fica temporariamente estocado até ser direcionado para a grade do nível 11, sendo britado e içado para as etapas seguintes de beneficiamento.

Se o caminhão for carregado com estéril (c), ele pode ter três rotas a seguir, podendo ser direcionado para o chute de estéril – localizado no nível 11, para os pontos de aterros espalhados pela mina, ou para os pontos de depósito temporário de estéril presentes no nível 10.1 e 17. Caso o caminhão seja direcionado para o chute de estéril, o material ficará armazenado no silo até que seja direcionado para a estação de carga, onde será içado pelo poço até a superfície, sendo então enviado para a mina à céu aberto desativada para que seja aterrado.

Caso os caminhões sejam direcionados para os pontos de aterro, eles irão descarregar o estéril no local, onde será aterrado e permanecerá lá definitivamente. Se for levado para os aterros temporários, o estéril é armazenado provisoriamente, até que seja direcionado para uma das duas opções citadas.

Após o descarregamento do material (estéril ou minério), o caminhão passa para o fluxo d (minério) ou e (estéril) e se depara com a questão 'Fim de turno' (f). Se o tempo restante no turno for suficiente para iniciar um novo ciclo, o caminhão é redirecionado para o fluxo g, retornado ao carregamento dos caminhões, reiniciando o ciclo. Se o tempo restante for insuficiente para uma nova viagem, o caminhão segue para o fluxo h e encerra o turno.

Ao fim do turno ocorre então a troca de pessoal, iniciando-se um novo turno, reiniciando então o ciclo.

Com relação aos dados da mina, foram utilizados:

- Frentes de trabalho presentes em 5 corpos minerais;

- Frota:

- 9 Carregadeiras R1700;
- 5 Caminhões AD30 – Capacidade 25ton;
- 8 Caminhões AD45 – Capacidade 40 ton;
- 2 Caminhões A30F – Capacidade 25 ton.

- Poço: produção 272 t/h;

- Silos Estéril e Minério (nível 11);

- Estoques:

Estéril

- Nível 17 – Capacidade 5.000 ton;
- Nível 10.1 – Capacidade 3.000 ton.

Minério

- Nível 12 – Capacidade 2.500 ton.

Mapeamento do fluxo e dados

Com os dados levantados, as sequências foram mapeadas no *software Arena*, de modo que o software seja capaz de simular a sequência lógica o mais próximo possível da realidade da mina. Além disso, foi gerada uma tabela no *Excel* compilando todos os dados obtidos de produção diária e mensal frente a frente, DMT's de cada frente para cada ponto de interesse (silos, estoques e grade do britador), quantidade e velocidade média de cada grupo de equipamentos (carregadeira ou caminhão), a preferência de operação de cada grupo de equipamentos (operar em estéril/minério), o número de dias a ser simulado pelo *software*, tempo máximo de fila nas carregadeiras, qual dia da semana se inicia o mês da simulação, se a frota pertence à empresa ou a uma empresa terceirizada, quais realces serão aterrados, seus respectivos volumes, entre outras variáveis.

Simulação do Modelo

Após mapear o modelo no *Arena* e ordenar os dados necessários, a simulação é efetuada. Cada simulação foi replicada 30 vezes, visando simular o máximo de eventos e possibilidades.

Finalizada a simulação, o modelo é validado, ou seja, os dados reais e os resultados obtidos na simulação são comparados, esperando-se que sejam os mais próximos possíveis. Para isso, à guisa de comparação, analisou-se os dados de produção real da mina, os tempos de ciclos obtidos e como ocorreu a movimentação dos aterros e estoques. Se os valores não fossem semelhantes, o modelo deveria passar por um refinamento, até atingir o ponto ótimo, onde simulação e realidade fossem o mais semelhante possível.

Cenários Alternativos

Após o refinamento do modelo, foram definidos cenários alternativos para serem simulados, buscando estudar o comportamento da mina em diversos contextos distintos do real, e como os efeitos de tais mudanças ocasionarão melhorias e/ou perdas no processo.

Para este trabalho, foram simulados três cenários alternativos, sendo eles:

- a. Variações na velocidade média dos equipamentos;

Variar a velocidade média dos equipamentos pode vir a interferir na produção final da mina, tendo em vista que se um caminhão se move mais rápido, seu tempo de ciclo será

menor, e, portanto, poderá realizar mais viagens dentro do turno, transportando então mais material. De forma semelhante, um caminhão que se locomove mais lentamente terá tempo de ciclo menor, o que reduz a quantidade de material transportada por turno.

Em uma mina, a velocidade média dos equipamentos pode ser afetada pela própria capacidade dos equipamentos, inclinação das rampas e também pelo *layout* da mina. Rampas com piso muito irregular dificultam a circulação dos caminhões, que passam a transitar em velocidade menor por motivos de segurança. Se as rampas tiverem ângulo muito inclinado, a mecânica do caminhão será muito exigida para que ele seja capaz de subi-la, e, portanto, o equipamento não será capaz de desenvolver velocidades mais elevadas.

b. Adição do 4º turno;

Adicionar um quarto turno tem como objetivo aumentar as horas de operação da mina, na intenção de diminuir as perdas de tempo ocasionadas pelas trocas de turno ao sobrepô-las, passando de três trocas diárias de turno para somente duas.

c. Planejamento da produção para 2018.

O intuito da simulação do planejamento da produção para 2018 é analisar a robustez da ferramenta criada no *software*, bem como a precisão da simulação para períodos longos.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o fluxo mapeado no *software Arena* e as simulações realizadas, foram obtidos os resultados para as simulações definidas para o trabalho, como pode ser observado nos tópicos que seguem.

Validação do Modelo

Assim como citado no tópico anterior, utilizou-se como base para a simulação e validação do modelo a produção programada da mina referente ao mês de fevereiro/2018. A tabela 1 apresenta o comparativo entre os valores de produção (em toneladas) obtidos na simulação e os dados reais:

Tabela 1 - Comparativo Real x Simulado – fevereiro/2018

Cenário	Programado		Material Movimentado		Total Movimentado	Poço		Total Içado
	Minério	Estéril	Minério	Estéril		Minério	Estéril	
Real	98.133	67.442	86.889	75.753	162.642	82.888	16.394	99.282
Simulado	98.133	67.442	89.420	61.610	151.030	82.720	14.080	96.800

É possível ver, através dos resultados da simulação, que a produção de minério foi 2,91% maior que o resultado obtido na simulação, enquanto que a produção de estéril foi 18,67% menor, gerando uma diferença no total de material movimentado (estéril + minério) igual a 7,14%. Apesar da diferença nos valores, o modelo construído foi considerado válido, e os novos cenários alternativos foram simulados, a fim de encontrar pontos de melhoria, possíveis gargalos na produção, bem como promover maior aprofundamento na ferramenta criada.

Cenários alternativos

a. Variação na velocidade média dos equipamentos

Para entender o efeito da velocidade média na produção da mina, foram simulados dois cenários distintos, variando a velocidade média dos equipamentos. As tabelas 2 a 6 a seguir apresentam, através da simulação, o impacto da variação na velocidade média na produção da mina.

Tabela 2 - Variação tempo de ciclo - Carregadeiras

Cenário	Velocidade Média (km/h)	Tempo de Ciclo (min) Estéril	Tempo de Ciclo (min) Minério
1	10	9,1	9,1
2	9	9,1	9,1
3	11	9,1	9,1

Tabela 3 - Variação tempo de ciclo - Caminhão AD-30

Cenário	Velocidade Média (km/h)	Tempo de Ciclo (min) Estéril	Tempo de Ciclo (min) Minério
1	10	41,1	48,5
2	9	41,3	50,9
3	11	38,5	45,1

Tabela 4 - Variação tempo de ciclo - Caminhão AD-45

Cenário	Velocidade Média (km/h)	Tempo de Ciclo (min) Estéril	Tempo de Ciclo (min) Minério
1	12	36,9	42,94
2	11	37,4	45,55
3	13	35,6	41,12

Tabela 5 - Variação tempo de ciclo - A30F

Cenário	Velocidade Média (km/h)	Tempo de Ciclo (min) Estéril	Tempo de Ciclo (min) Minério
1	10	40,2	47
2	9	40,95	50,3
3	11	38,9	44

Tabela 6 - Movimentação total de material (ton)

Cenário	Movimentação Minério	Movimentação Estéril	Total Movimentado
1	89.420	61.610	151.030
2	85.390	59.940	145.330
3	92.180	62.380	154.560

Nota-se, através dos dados presentes nas tabelas acima, que houve um grande impacto na produção da mina decorrente da variação da velocidade média dos equipamentos de carregamento e transporte. No Cenário (2), com a redução da velocidade, obteve-se uma perda na movimentação de material total de 5700 t, equivalente a 3,77% da produção mensal. Analisando-se o cenário (3), tem-se que, com o aumento da velocidade, a produção mensal média aumentou 3530 t, igual a 2,33% da produção média mensal.

Outro ponto importante obtido através do resultado da simulação foram os tempos de ciclo médio dos equipamentos operando tanto em estéril quanto em minério. É perceptível que com o aumento da velocidade média dos equipamentos o tempo de ciclo consequentemente reduziu, impactando positivamente a produção dos equipamentos. Com o tempo de ciclo menor, os equipamentos são capazes de realizar mais ciclos na mina dentro do turno de trabalho, movimentando mais material, o que se reflete em ganhos para a empresa.

Como dito anteriormente, melhorar a qualidade das pistas da mina e reduzir a inclinação de rampas impactam na velocidade média dos equipamentos. Manter as pistas bem conservadas impactam não somente na velocidade média dos equipamentos como

também com a manutenção dos equipamentos, pois será exigido menos deles, reduzindo gastos com manutenções não programadas (corretivas) e aumentando o tempo médio entre falhas (MTBF) e o tempo médio de reparo (MTTR).

Por fim, é importante frisar também que apesar do tempo médio de ciclo dos caminhões ter aumentado, o tempo de ciclo das carregadeiras permaneceu constante nas três simulações. Isso se deve ao fato de o tempo de ciclo das carregadeiras consistir, em sua grande maioria, por manobras e pequenos deslocamentos dentro do realce para o enchimento da pá e carregamento dos caminhões, e, portanto, o tempo de ciclo não é severamente afetado pela variação da velocidade média.

b. Adição do 4º turno

Como citado anteriormente, simulou-se a adição do quarto turno à jornada de trabalho, tendo como base o planejamento da produção de fevereiro/2018 para análise da produção horizontal e vertical da mina. Os dados obtidos estão presentes na tabela 7 a seguir:

Tabela 7 - Comparativo produção (em toneladas) - 3 e 4 turnos - fevereiro/2018

Cenário	Programado		Material Movimentado		Total Movimentado
	Minério	Estéril	Minério	Estéril	
3 Turnos	98.133	67.442	89.420	61.610	151.030
4 Turnos	98.133	67.442	92.950	62.100	155.050

Através da tabela, é possível perceber que com a adição do quarto turno a movimentação de minério aumentou 3530 t, um aumento equivalente à 3,95%. Já com relação ao estéril, o aumento foi de 2,66%, se comparado com a operação em apenas 3 turnos.

Apesar de ter-se obtido um aumento na produção com a adição do 4º turno à jornada de trabalho, é necessário um estudo mais aprofundado para mensurar se o ganho obtido irá impactar de forma relevante os lucros da empresa, tendo em vista que com o novo turno, surgirão novas demandas, como contratação, transporte e alimentação dos funcionários, entre outros fatores.

Além do ganho em movimentação de material, a mina também passa a ficar mais horas operando, já que na época que o estudo foi realizado, a mina operava com 3 turnos de 6 horas. Nesse arranjo, estimava-se que apenas 4,2 horas eram dedicadas à operação, e

o restante era perdido na realização da troca de turnos, deslocamento para os equipamentos, realização de checklist diário, entre outras atividades necessárias. Com o 4º turno, o tempo real de operação passaria de 12,6 horas para cerca de 16,8 horas, podendo ser ainda maior se as trocas de turno forem sobrepostas, conforme planejado pela empresa. Assim, no momento que uma equipe encerrasse seu turno, a próxima já estaria de prontidão para assumir.

c. Planejamento da produção para 2018

Por fim, foi simulada a produção programada para a mina referente ao ano de 2018, visando analisar a robustez do modelo construído. Os resultados obtidos estão presentes na tabela 8 abaixo:

Tabela 8- Simulação produção programada - 2018

Cenário	Programado		Total Programado	Material Movimentado		Total Movimentado
	Minério	Estéril		Minério	Estéril	
Programação 2018	1.474.446	666.277	2.140.722	1.482.270	666.290	2.148.560

Analisando a tabela, nota-se que a massa movimentada total obtida através da simulação apresentou valor próximo ao total programado, estando apenas 7838 t acima dele, o que equivale a uma diferença de 0,37% do programado.

Discussões

Com base nos resultados obtidos com os cenários simulados percebe-se que o modelo está bem ordenado e é capaz de representar a realidade atual da mina com satisfatório grau de semelhança, mesmo para períodos mais longos, como foi o caso da simulação do planejamento da produção de 2018.

Analisando-se os diversos cenários alternativos simulados, estes, além de ter o objetivo de exporem as diversas realidades que possam ocorrer dentro da mina, expuseram também pontos possíveis de melhoria na dinâmica da mina, de redução de custos e possíveis aumentos nos lucros. Eles também tiveram papel considerável na validação do modelo, pois a cada cenário simulado novas modificações eram feitas no intuito de refinar cada vez mais a ferramenta, de modo a torná-la mais complexa, sendo capaz de simular cenários diversos sem que se necessite criar um novo modelo para tal.

CONCLUSÃO

Através do desenvolvimento do estudo neste trabalho é possível concluir os seguintes pontos:

- O modelo criado é considerado representativo, pois foi capaz de gerar resultados muito próximos da realidade atual da mina;
- A variação na velocidade média dos equipamentos impactou nos tempos de ciclo dos caminhões. Com o aumento da velocidade média, a produção foi impactada positivamente, com incremento no transporte de minério/estéril. De forma análoga, com a redução da velocidade média dos caminhões, a produção foi impactada negativamente;
- Apesar da variação na velocidade média ter afetado o tempo de ciclo dos caminhões, não houve mudança no tempo de ciclo das carregadeiras, já que estas se deslocam por pequenas distâncias para efetuar o carregamento dos caminhões;
- A adição do quarto turno apresentou ganhos na produção, pois reduziu o tempo ocioso existente entre trocas de turno. No entanto, apesar de se observar aumento na produção, ainda não é possível estimar se tal aumento é significativo e será lucrativo para a empresa;
- O modelo foi capaz de simular a produção programada para todo o ano de 2018, mostrando ser um modelo robusto e adaptável, abrindo a possibilidade de atuar na simulação também de cenários mais complexos e extensos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Hassani, F., Archibald J.H. (1998). *"Mine Backfill"*. CIM, CD-ROM.

RAYMOND L. LOWRIE, 2011. *Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (U.S.) - Technology & Engineering*

ALARIE, S. e GAMACHE, M. 2002. *"Overview of Solution Strategies Used in Truck Dispatching Systems for Open Pit Mines"*, International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment 16, 59-76.

COSTA.B, GANGA.G.M.D, 2010. *Benefícios da Implantação de um Sistema de Despacho: Estudo de caso em uma empresa de mineração*. Enegep.

CUNHA, C.B. 2000. *Aspectos práticos da aplicação de modelos de roteirização de veículos a problemas reais*. Revista Transportes da ANPET – Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes. São Paulo, v.8, n.2, p.51-74,

TURNER, R. J. 1999. "*Simulation in the mining industry of South Africa*", International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment 13, 47-56.