

## **Utilização de um modelo de simulação para análise da produtividade da expedição ferroviária em uma empresa mineradora**

Caio Fabio Martiniano Pereira (Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira)

caio.pereira84@icloud.com

Priscila Mara Cota (Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira)

Priscila.cota@funcesi.br

Sinara Paula Cota de Freitas Cassoli (Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira)

sinaracassoli@hotmail.com

### **Resumo**

O presente artigo analisa por intermédio de um modelo de simulação computacional os impactos no indicador de produtividade em dois cenários com configurações diferentes das máquinas no setor de expedição ferroviária em uma empresa mineradora localizada na cidade de Itabira – MG. Adotou-se a abordagem quantitativa de forma descritiva, através de um estudo de caso. A coleta de dados foi realizada através da utilização de documentos internos da empresa. O artigo descreve inicialmente o processo de expedição ferroviária, posteriormente esse processo de expedição é analisado por um modelo de simulação através do software ProModel de forma a identificar melhorias no processo, alterando a utilização das máquinas de carregamento dos vagões. A partir do modelo computacional proposto verificou-se a melhoria no indicador de produtividade da fase de expedição ferroviária da empresa, reduzindo o tempo gasto para a execução das tarefas, o que pode representar um ganho considerável para a empresa analisada.

**Palavras-Chaves:** Simulação computacional, Expedição ferroviária, Indicadores de produtividade.

### **1. Introdução**

Diante do atual cenário econômico mundial, com a desaceleração do crescimento global, a estagnação do comércio mundial e as recessões econômicas, as empresas e instituições têm buscado formas de se manterem ativas e competitivas em um mercado cada vez mais globalizado e competitivo. Nesse contexto, a produtividade tem sido um assunto muito discutido nas empresas, pois possui extrema importância em praticamente todos os setores da

economia. Assim, percebe-se a necessidade de se ter processos cada vez mais produtivos, com custos de operação cada vez menores, sem comprometer a qualidade e segurança.

O setor de mineração, por sua vez, vem sofrendo muito com a queda vertiginosa dos preços das commodities. O mineral explorado pela empresa estudada passou de US\$ 187,18 a tonelada em fevereiro de 2011 para US\$ 46,18 em fevereiro de 2016, ou seja, uma redução de 75,3% em cinco anos (METAL BULLETIN IRON ORE INDEX, 2016). Desta forma, as organizações que não buscarem o máximo de eficiência das suas operações e outros diferenciais competitivos, não irão sobreviver frente a este desafiador cenário econômico.

A fase de expedição ferroviária da empresa estudada é responsável por todo o escoamento da produção desta unidade em Itabira – MG, com destino ao porto de Tubarão em Vitória - ES, e também a alguns clientes internos ao longo deste trecho. Apesar de o modal ferroviário ser uma modalidade de transporte de baixo custo operacional que movimenta grandes cargas, a fase de transporte representa o elemento mais importante do custo logístico na maior parte das organizações (SCHOPPA, 1985), fato que justifica trabalhos que vislumbrem aumento de produtividade neste setor.

O foco deste artigo é realizar um estudo de caso na mineradora, onde a simulação computacional será utilizada para avaliar uma alteração nas máquinas que realizam a expedição dos seus produtos, verificando os impactos obtidos. Essa alteração não gera custo algum para a empresa, mas pode trazer uma grande vantagem competitiva, utilizando da melhor maneira possível os recursos disponíveis, de maneira a tornar o trabalho mais eficiente e influenciando diretamente no indicador de produtividade.

## **2. O processo de expedição ferroviária da mineradora em estudo**

O processo de expedição ferroviária da empresa é constituído por máquinas empilhadeiras (EM's), máquinas recuperadoras (ER's), correias transportadoras (TC's) e silos de carregamento (Silo), além dos vagões e locomotivas, responsáveis pelo transporte do produto aos portos e clientes ao longo do trecho ferroviário entre os estados de Minas Gerais e o Espírito Santo. A Tabela 1 lista os equipamentos que fazem parte do processo de expedição.

Tabela 1 - Lista de equipamentos do processo de expedição

Classe	Equipamentos	Operação
Empilhadeiras	EM-6701	Automático
	EM-6702	
Correias Transportadoras	TC-7002	
	TC-7003	
	TC-7005	
Recuperadoras	TC-7027	Manual
	ER-7001	
Silos de Carregamento	ER-7004	
	SR-7081	
	SR-7082	

As máquinas empilhadeiras são responsáveis pela disposição dos produtos oriundos das usinas de concentração nos pátios de estocagem, conforme pode ser observado na Figura 1, a disposição dos produtos em estoque e em processo de estocagem nos pátios de produtos, que serão posteriormente expedidos nos vagões.

Figura 1 – Disposição dos produtos em estoque nos pátios



As correias transportadoras tem a função de transportar os produtos de um processo a outro, esses equipamentos são controlados remotamente, ou seja, não há a intervenção humana a todo o momento, apenas para as programações necessárias para a operação automática.

As máquinas recuperadoras, conforme demonstrado na Figura 2 são responsáveis por retirar o material em estoque e direcioná-los para os silos de carregamento através das correias transportadoras, e os silos de carregamento são utilizados para executar a carga dos vagões, ou seja, depositar o minério dentro dos vagões.

Figura 2 – Recuperadora ER7001 em operação



A Figura 2 demonstra o funcionamento de uma das recuperadoras em operação, são essas as máquinas que terão seu sequenciamento alterados nas simulações que serão propostas nesta pesquisa.

A última fase do processo de expedição ferroviária é a operação dos silos de carregamento, neste momento os vagões chegam vazios e são carregados com o minério de ferro, produto final desta unidade, nos silos de carregamento. A atividade de carregar os vagões é manual, sendo desempenhada por operadores e ou técnicos da área de expedição, a Figura 3 ilustra a fase supracitada.

As máquinas recuperadoras, ER7001 e ER7004 são similares, podem executar as mesmas tarefas, porém com tempos distintos. A primeira possui capacidade instalada de trabalho de 2.500 toneladas por hora, já a segunda possui capacidade de 3.500 toneladas por hora. De acordo com Muller et. al. (2002), tal configuração de máquinas as classificam como máquinas paralelas uniformes.

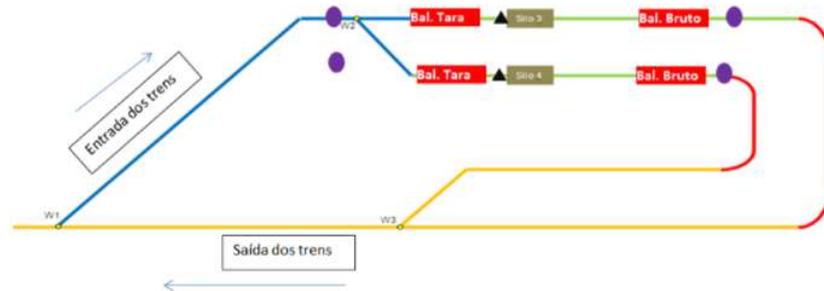
O controle de expedição diária é realizado por lotes, por definição da empresa, um lote é caracterizado pela composição de 84 vagões sendo puxados por uma ou duas locomotiva, e possuem em média 7.000 toneladas líquidas, por motivo de segurança, cada vagão não pode ultrapassar o peso bruto de 110 toneladas.

### **3. Simulação computacional do processo de expedição ferroviária**

O propósito de simular o processo de expedição atual e propor uma alteração na forma como as máquinas recuperadoras trabalham visa comparar os resultados de produtividade do sistema, verificando assim os prós e contras de cada cenário. A Figura 4 apresenta a malha

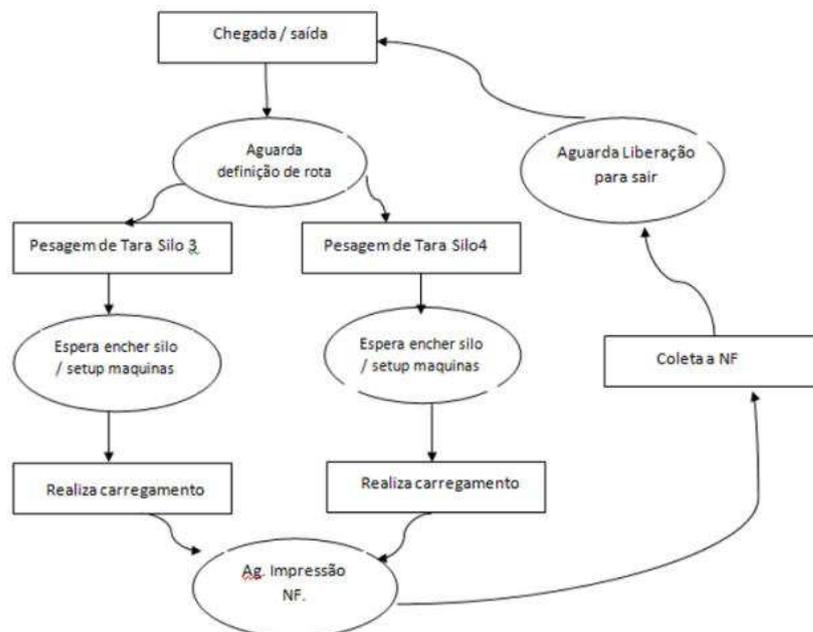
ferroviária da expedição, onde as entidades (que no modelo de simulação será a locomotiva com os vagões) trafegam.

Figura 4 - Malha ferroviária da expedição da unidade estudada



O primeiro passo para a criação do modelo de simulação foi desenvolver o modelo conceitual ACD (*Activity Cycle Diagram*) Diagrama do ciclo de atividade da entidade no sistema da entidade, conforme Figura 5. Segundo Chwif e Medina (2007), o diagrama ACD é uma das técnicas de representação de modelos de simulação mais fáceis de entendimento e utilização prática.

Figura 5 - Diagrama ACD



Dessa forma, a Figura 5 apresenta os caminhos que a entidade seguirá dentro do sistema em análise, possibilitando verificar se o modelo está sendo construído corretamente, além de auxiliar na simulação computacional.

Ao construir o modelo o software ProModel disponibiliza em sua tela os elementos de modelagem em grupos de construção para a representação do sistema ou processo a ser simulado. Sendo assim, os elementos foram configurados na seguinte ordem: Locais, entidade, chegadas e processos.

Conforme Harrel et. al. (2000), a classificação dos locais em um modelo de simulação pode ser entendida como os locais fixos onde acontecem as operações e por onde as entidades se movimentam. Torga (2007) afirma que locais são lugares onde se realizam os processos, onde é possível definir capacidade, regras de chegadas e saídas e unidades de medidas.

A partir da observação do processo de expedição, foi possível identificar e determinar os locais por onde a entidade se moverá no sistema, balança de tara, silos de carregamento, balança de bruto e ponto de coleta de documentação fiscal, os tempos nesses locais são fixos, com a exceção dos silos de carregamento. Portanto, de acordo com os autores acima e com as observações realizadas, foram definidos os locais no ProModel.

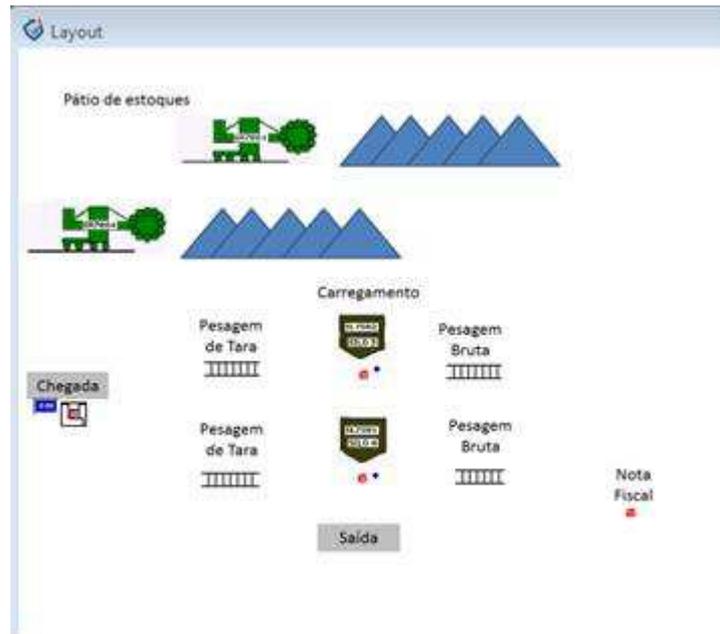
Segundo Freitas Filho (2008), em uma modelagem e simulação computacional, a entidade é representada por um objeto que se movimenta através do sistema, ou servindo outras entidades. Por isso, configurou-se uma entidade denominada como composição de vagões, uma composição é composta por uma locomotiva e 84 vagões, que se move entre os locais. Logo, a entidade composição dos vagões como entidade é a responsável por transportar os produtos e percorrer todos os locais definidos anteriormente, gerando as informações necessárias para os resultados da simulação.

Feito isso configurou-se as chegadas das entidades no sistema, as quais referem às composições de vagões que chegam vazios para serem carregados com o produto a ser expedido para os clientes.

A definição das composições como entidade, baseia-se com em Harrel et. al. (2000), o qual assevera que a chegada representa a inserção da entidade no sistema em determinado local e a quantidade pode ser definida de acordo com o sistema em estudo.

Por fim, como os dados de entrada do sistema são aleatórios, o modelo foi configurado para processar 100 replicações para verificar os resultados do mesmo. O tempo de simulação definido foi de 24 horas, haja visto que o processo em análise também funciona 24 horas por dia, portanto obteve-se como resultados dados relativos a média por dia e o modelo de simulação segue na Figura 6.

Figura 6- Modelo de simulação no *Software ProModel*



### 3.1 Cenário 1

O primeiro cenário analisado utiliza as duas máquinas trabalhando em paralelo, cada máquina carregando um trem diferente, dessa forma, dois trens são carregados simultaneamente. O processo a ser simulado, possui duas variáveis aleatórias, o tempo médio entre as chegadas dos lotes e o tempo médio gasto para realizar os lotes (tempo de carga) no ano de 2015, assim todos os tempos entre chegadas e todos os tempos de carregamento foram utilizados na construção do modelo, tornando o modelo o mais próximo do real possível.

Nesse cenário realizou-se 100 iterações e obteve-se uma média de 8,17 composições carregadas por dia, considerando dois trens sendo carregados simultaneamente. O tempo médio da operação de carregamento foi em média 115,37 minutos, o tempo total da entidade no sistema foi em média 153,22 minutos, essa diferença refere-se as atividades de transporte entre os locais considerados no modelo de simulação.

Observou-se também ociosidade nos locais denominados silos de carregamento, essa ociosidade é justificável, já que o tempo médio de carregamento é menor que o tempo médio do intervalo entre chegadas sucessivas das entidades no sistema, além de ter duas opções (silos de carregamento) para realizar os carregamentos.

Dessa maneira existem momentos em os silos de carregamento estão em ociosidade, e em outros momentos percebe-se os trens esperando liberação para serem carregados devido aos silos estarem todos ocupados. Dessa maneira o novo cenário analisado, chamado cenário 2,

tem como objetivo utilizar melhor os silos de carregamento, de maneira a aumentar a produtividade.

### **3.2 Cenário 2**

Para o modelo com as duas máquinas trabalhando simultaneamente em cada entidade, utilizou-se os dados de 2016, quando o processo já estava com essa configuração. Vale também ressaltar que para os dados de 2016 as mesmas duas variáveis aleatórias do cenário 1 foram coletadas, o tempo médio entre as chegadas dos lotes e o tempo médio gasto para realizar os lotes (tempo de carga), assim todos os tempos entre chegadas e todos os tempos de carregamento foram utilizados na construção do modelo, tornando o modelo o mais próximo do real possível. Entretanto os cálculos para o ano de 2016 levou em consideração os meses de janeiro a julho, dada em que os cálculos começaram a ser realizados. Para uma garantia da equidade dos dados foram seguidos os mesmos passos para executar a simulação, com 100 iterações durante um tempo de 24 horas de simulação.

O que mudou na simulação do cenário, além dos valores de tempo entre chegada e de tempos de processamento, foi a configuração das máquinas, agora ambas as máquinas trabalham de forma a carregar um único trem, ou seja, um trem é carregado por vez. Sendo assim o carregamento de um trem passa a acontecer em menos tempo, entretanto as duas máquinas estão ocupadas com o mesmo trem (entidade). Logo, o objetivo dessa alteração é verificar se o aumento da produtividade é real ou não, através dessa configuração.

No novo cenário verificou-se que houve uma redução substancial para empresa. O tempo médio gasto para executar os carregamentos foram de 106,48 minutos, havendo assim uma redução interessante do ponto de vista de produtividade no tempo de carregamento. Observou-se que a ociosidade dos locais denominados silos de carregamento ficaram maiores, fato justificado já que o tempo médio de carregamento diminuiu e o mesmo ainda continua menor que o tempo médio do intervalo entre as chegadas das entidades no sistema.

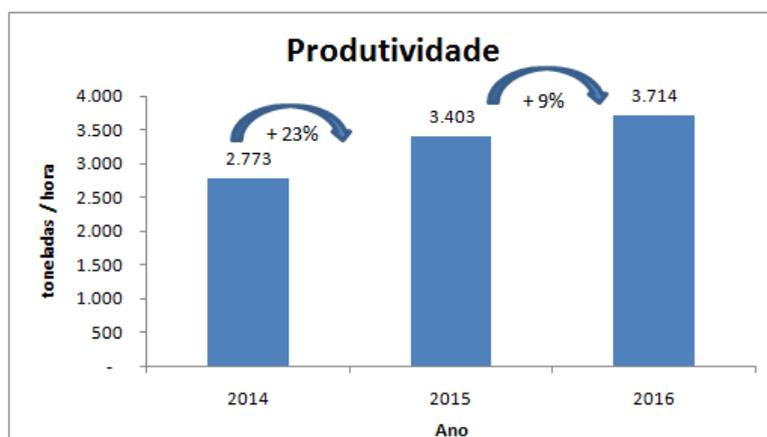
## **4. Comparativo de cenários**

O indicador de produtividade pode ser impactado positiva ou negativamente a partir de duas vertentes, a massa expedida ou o tempo de carregamento utilizado para realizar a expedição,

já que a produtividade é calculada pela razão entre a massa expedida dividida pelo tempo de carregamento.

Sendo assim, primeiramente analisou-se de forma concisa o indicador de produtividade, apresentando a média de cada ano, bem como a porcentagem de melhora ou piora do indicador em relação aos períodos estudados, conforme o gráfico da Figura 7.

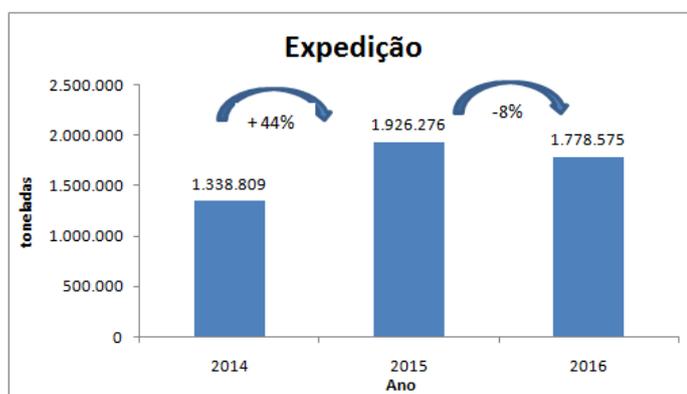
Figura 7 – Produtividade média de 2014 à 2016



A partir da Figura 7 observa-se que o indicador de produtividade teve uma crescente dentro do período analisado, aumentando 23% de 2014 para 2015 e mais 9% em 2016 quando comparado com o ano anterior. Foi realizado mais duas análises dos componentes deste indicador, a fim de determinar qual dessas parcelas mais contribuíram para esse indicador melhorar tão significativamente.

A Figura 8 apresenta a média da massa expedida entre o período de análise, bem como o percentual de aumento ou redução de um ano para o outro.

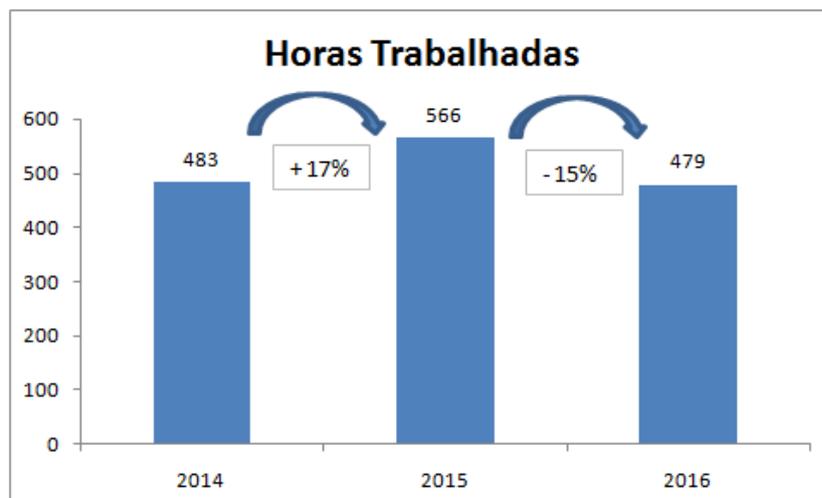
Figura 8 – Massa expedida de 2014 à 2016



Observa-se na Figura 8 que a média da massa expedida aumentou consideravelmente de 2014 para 2015 em 44%, e reduziu 8% em 2016, quando comparado ao ano anterior, diferente do indicador de produtividade, que mesmo com uma expedição menor, teve um aumento de 9% devido algumas manutenções corretivas e ao fato de alguns projetos em andamento na planta de produção que interferiram no desempenho do processo produtivo.

Já a Figura 9 apresenta a média das horas trabalhadas no período de análise, bem como o percentual de aumento ou de redução deste indicador entre os períodos comparados.

Figura 9 – Massa expedida de 2014 à 2016

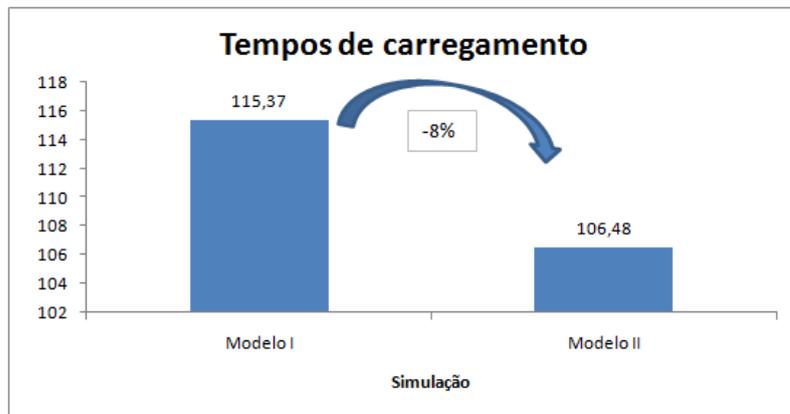


Observa-se na Figura 9 que o indicador de horas trabalhadas aumentou 17% em 2015, quando comparado com 2014, seguindo a curva de aumento de expedição, ou seja, na média, gastou-se mais horas para expedir mais produtos, é lógico, pois o sistema ainda não foi otimizado.

Observa-se ainda, que em 2016 houve redução neste indicador, de 15%, enquanto a massa expedida reduziu apenas 8% no mesmo período analisado, ou seja, entre 2015 e 2016 expediu-se 8% a menos, porém com um tempo 15% menor.

Comparando os tempos de processamento, ou seja, o tempo de carregamento simulado nos dois cenários, obteve-se a Figura 10.

Figura 10 – Tempos de carregamentos apurados nos cenários



Conforme apresentado na Figura 10, nota-se uma pequena diferença em % entre os resultados apurados nos relatórios da empresa estudada na Figura 5, tal diferença deve-se ao fato de que no modelo computacional não foi considerado todas as interferências que o processo pode sofrer.

Portanto, pode-se afirmar que a alteração no sequenciamento das máquinas deste processo, foi benéfica para o sistema, contribuindo para que o processo se tornasse mais rápido e mais produtivo, tal conclusão é respaldada pelos dados obtidos na simulação, onde o cenário 2 apresentou tempos de carregamento menores que o cenário 1.

## 5. Conclusão

O presente trabalho buscou verificar os resultados de produtividade com o auxílio de um modelo de simulação, ao alterar o sequenciamento em máquinas que realizam a expedição de uma mineradora localizada em Itabira-MG.

Para isto, descreveu-se sobre a fase de expedição ferroviária da empresa e simulou-se o mesmo com a alteração do sequenciamento das máquinas para posterior análise e comparação dos resultados.

Ao simular os dois cenários da fase de expedição, o primeiro conforme dados praticados em 2015, e o segundo modelo conforme dados praticados durante todos os sete primeiros meses de 2016, constatou-se que a fase de expedição possui tempos ociosos nos locais onde os carregamentos são realizados, denominados silos de carregamento.

Além disso, os dados apontaram que no cenário 2 os indicadores de produtividade foram alavancados devido a redução nos tempos de carregamento, fruto da melhor distribuição das

chegadas ao longo do dia, possibilitando a utilização das duas máquinas para executar cada carregamento.

Sendo assim, pesquisa contribuiu para comprovar que a simulação computacional é uma ferramenta que possibilita conhecer ou ter uma idéia das alterações nos sistemas e processos antes de realizar modificações significativas, ou investir recursos e alterar procedimentos.

## **REFERÊNCIAS**

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. *Modelagem e simulação de eventos discretos: Teoria e Aplicações*. 2. ed. São Paulo: Palas Atenas, 2007.

FREITAS FILHO, P. J. *Introdução à modelagem e simulação de sistemas com aplicações em arena*. 2. ed. Rio de Janeiro: Visual Books, 2008.

HARREL, C. R.; MOTT, J.R.A.; BATEMAN, R. E.; BOWDEN, R. G.; GOGG, T. J. *Simulação: Otimizando os sistemas*. 2. ed. São Paulo: IMAM, 2002.

METAL BULLETIN IRON ORE INDEX (MBOI). *MBOI Index 24 May 2016, The main indices remained effectively flat today*. Disponível em:

<http://www.mbironoreindex.com/Article/3556849/MBOI-Index-24-May-2016-The-main-indices-remained-effectively-flat-today.html>. Acesso em 29/05/2016.

MÜLLER, F. M.; DIAS, O. B; ARAUJO, O. C. B. *Algoritmo para o problema de sequenciamento em máquinas paralelas não-relacionadas*. Revista Produção, v. 12, n. 2, p. 7, 2002.

SCHOPPA, R. F. *A ferrovia é viável*. 1. ed. Rio de Janeiro. JMB, 1985

TORGA, Bruno Lopes M. *Simulação e otimização em sistemas puxados de manufatura*. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá:2007.