

UMA ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DE LOTES CARREGADOS DE MINÉRIO DE FERRO FERROVIA-PORTO: UMA ABORDAGEM POR SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS

Rowena Maria Teixeira Vieira

Universidade Federal do Espírito Santo - UFES
Av. Fernando Ferrari, 514 – CT VI, sala 204, 29060-970 - Vitória – ES, Brasil
rowenavi@gmail.com

Marta Monteiro da Costa Cruz

Universidade Federal do Espírito Santo - UFES
Av. Fernando Ferrari, 514 – CT VI, sala 204, 29060-970 - Vitória – ES, Brasil
mcruznpd@gmail.com

RESUMO

Dado o cenário atual de incertezas relacionado ao preço do minério de ferro, grandes empresas de mineração têm buscado em suas atividades a excelência operacional, mantendo sua produção em escala, porém com custos bem mais reduzidos. Para isso, é necessário que a cadeia produtiva revise suas operações atuais e, sobretudo, seu planejamento, dentre elas a parte relacionada ao transporte ferroviário. Desta forma, foi proposto desenvolver um modelo de simulação discreta simplificado de um pátio ferroviário de descarga de minério de ferro por rota de destino (Ferrovia-Porto), com o objetivo de auxiliar nas análises de distribuição de lotes carregados de minério de ferro em nível tático. Foi utilizado o software ARENA para implementação do modelo de simulação, no qual foi possível avaliar os níveis de utilização dos recursos disponíveis (locomotivas, viradores de vagão e rotas) e a capacidade de descarga de minério de ferro da Estrada de Ferro Vitória a Minas.

PALAVRAS CHAVE. Simulação, Transporte Ferroviário, Minério de Ferro.

Área principal: SIM – Simulação, L&T – Logística e Transportes, MP – Modelos Probabilísticos.

ABSTRACT

Given the current scenario of uncertainty related to the price of iron ore, major mining companies have sought in their activities to operational excellence, maintaining its production scale, but with much lower costs. Therefore, it is necessary the supply chain review your current operations and, above all, their planning, among them the part related to rail transport. Thus, it was proposed to develop a model of simplified discrete simulation of a rail yard iron ore with destination route (Railroad-Port), with the objective of assisting in the distribution analysis of lots loaded with iron ore in tactical level. It was used the ARENA software to implement the simulation model, which it was possible to evaluate the level of use of available resources (locomotives, car dumpers and routes) and the iron ore discharge capacity in Railroad Vitoria a Minas.

KEYWORDS. Simulation, Railroad Transport, Iron Ore.

Main area: SIM – Simulation, L&T – Logistics and Transport, MP – Probabilistic Models.

1. Introdução

As empresas cada vez mais buscam a produtividade em suas instalações visando se tornarem mais competitivas no mercado em atuam. No mercado de commodities, como por exemplo, o minério de ferro vem sofrendo com as fortes quedas de preços no mercado mundial, que se iniciaram em meados de 2014 e perduram até os dias atuais, como é possível observar na Figura 1. Para se manterem neste mercado atualmente tão turbulento, é fundamental que essas empresas se readéquem aos novos patamares de preço, reduzindo custos na sua cadeia de produção e transporte (Mina, Ferrovia e Porto) e sendo assim mais produtivas.



Figura 1 - Histórico do preço do minério de ferro (62% Fe).
 Fonte: INDEX MUNDI, (2016).

Foi constatado pelo Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM) que a produção mineral brasileira atingiu no ano de 2015 o equivalente a US\$ 26 bilhões, havendo um decréscimo significativo em relação aos anos anteriores, conforme mostra a Figura 2 [IBRAM 2016]. Essa redução de produção é reflexo da redução nos preços internacionais das commodities minerais e da queda da atividade mineral no país e no mundo. Ainda de acordo com o IBRAM, o minério de ferro é o principal produto nas exportações minerais do Brasil (representatividade de 63%) e desde 2009 o Brasil perdeu a posição de líder mundial para a Austrália, o que torna o cenário ainda mais desafiador e competitivo.

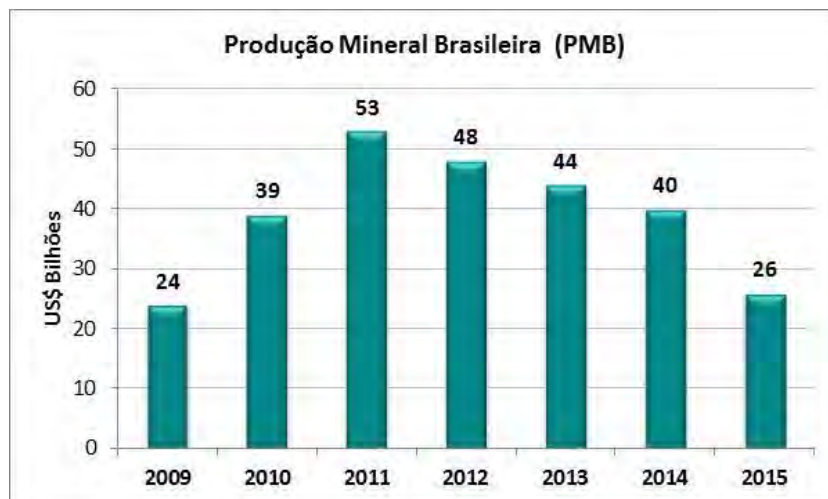


Figura 2 - Evolução da Produção Mineral Brasileira (PMB).
 Fonte: IBRAM, (2016).

Frente a esse cenário mundial, é fundamental que as empresas tenham uma melhor previsibilidade em seus negócios, sobretudo nas áreas operacionais onde as capacidades de produção e transporte ditam a produtividade das mesmas ou mesmo limitam um aumento de produção. Revisar os planejamentos realizados pela empresa e as estratégias adotadas se fazem necessárias, e ter ferramentas que auxiliem nas tomadas de decisões são essenciais.

As ferramentas disponíveis que podem auxiliar nas reavaliações necessárias, vão desde ferramentas de simulação computacional, encontradas em Banks et al. (2005), até mesmo ferramentas de Pesquisa Operacional (PO), abordado em Ragsdale (2009). Através de simulações computacionais é possível prever possíveis limitações de capacidades, gargalos operacionais ou mesmo oportunidades de ganho. Ou mesmo a busca pelo melhor cenário que tenha o menor custo envolvido, é possível através de algoritmos de otimização, como, por exemplo, os softwares CPLEX, LINDO Systems Inc., GAMS, entre outros.

Os trabalhos de Campos (2009), Campos et al. (2010) e Barros (2010) utilizam PO para determinar qual seria a melhor distribuição de trens carregados e vazios de minério de ferro numa ferrovia, considerando os pontos de carregamento e de descarga do produto, mas sempre considerando a visão do ativo na avaliação de produtividade. Já os trabalhos de Carneiro (2008) e Meireles (2010) optam por criar modelos de simulação para avaliar as capacidades de transporte de minério de ferro de uma ferrovia na visão integrada do sistema (Mina, Ferrovia, Porto), e tendo como parâmetro a circulação e estadia do vagão. Porém nenhum destes abordou a destinação da carga após a etapa de descarga, que depende da disponibilidade do virador de vagões e se o mesmo possui uma rota de destino disponível. Estes são dois pontos relevantes que devem ser avaliados quando se busca melhorar a produtividade da cadeia e dos ativos envolvidos no transporte de carga.

Por isso, buscou-se na literatura metodologias e aplicações que estivessem relacionados também à roteamento de cargas. Porém, a maior parte dos estudos é voltada para aplicações em rodovia (como o trabalho de Rodrigues e Cruz (2013) e Silva e Cruz (2014)) ou aplicações específicas para carga geral, que ficam distantes da realidade da cadeia de transporte do minério de ferro, mas que não deixam de ser um referencial para o tema. Assim, foi verificado que essa lacuna nas pesquisas relacionadas à modelagem matemática no transporte de minério de ferro seria uma oportunidade para criar uma extensão do planejamento e da distribuição de carga por rota de destino.

Como exemplo prático, buscou-se uma ferrovia conhecida, a Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM), que faz o transporte de minério de ferro a partir de várias minas no estado de Minas Gerais, até o Porto de Tubarão, em Vitória-ES, para fazer o estudo de caso do problema proposto.

Desta forma, o objetivo principal do presente trabalho é desenvolver uma ferramenta de auxílio no planejamento tático ferroviário, para análise de cenários na distribuição de lotes carregados de minério de ferro da EFVM por rota de transferência do Porto de Tubarão.

2. Revisão da Literatura

2.1. Sistemas de Transporte

Sistemas de transporte são organizações complexas compostas por grandes quantidades de recursos humanos e materiais. Além disso, suporta a maioria das atividades econômicas e sociais, e o intercâmbio de cargas e pessoas. O transporte é responsável por todo e qualquer atividade econômica, sem ele, não há desenvolvimento em uma cidade, região ou país. Segundo Cranic e Laporte (1997), a sua complexidade é tão grande que possui vários níveis de decisão, os investimentos são de alto valor, e na maioria dos casos requerem longos prazos para sua implantação. No transporte de carga, mais especificamente, o processo que o compõe deve se adaptar as constantes mudanças políticas, sociais e econômicas que o mundo de hoje vem passando. Por isso, são necessários métodos, e ferramentas precisas e eficientes para ajudar a melhorar as análises de planejamento e os processos de tomada de decisão.

Ainda segundo Cranic e Laporte (1997) e Marinov et al. (2013), a gestão de transporte pode ser dividida em três níveis de planejamento, dependendo do nível de decisão a ser tomada:

Estratégico: caracteriza-se por ser de longo prazo, e por isso envolve os altos níveis de gestão e investimentos de longo prazo. As decisões estratégicas vão determinar o desenvolvimento futuro da entidade empresa e determinar como será emoldurada a operação de um sistema de transporte. Exemplos típicos deste nível de planejamento são a escolha de localização de determinada facilidade (centros de distribuição e terminais multimodais), aquisição de ativos (pás mecânicas, guindastes, vagões e locomotivas), licenciamento ambiental, etc. A preparação antecipada por parte da entidade envolvida é necessária, pois o requisito para se atingir um nível de produção maior ou mesmo uma redução de custo significativa, demandam altos investimentos e mudanças estruturais significativas que muitas vezes são realizadas com prazos mais estendidos.

Tático: este nível de planejamento visa um horizonte de médio prazo, e se caracteriza por propor a utilização eficiente e racional dos recursos envolvidos. Possui um nível de detalhamento operacional maior que o nível estratégico, pois os dados e premissas utilizados já se tornar mais palpáveis e próximos da realidade que se propõe. Exemplos para este nível de planejamento: alocação de recursos (determinação dos locais onde os mesmos serão utilizados), frequência média de transporte, rota de transporte, definição da disponibilidade dos ativos, taxa de utilização dos ativos, projetos de sinalização e controle de tráfego, etc. Estas tarefas podem ser consequência das diretrizes do planejamento estratégico ou podem ser oriundas de decisões baseadas em problemas operacionais.

Operacional: ocorre num nível de curto e curtíssimo prazo e é realizado pela gestão local em ambiente altamente dinâmico. O fator tempo é preponderante nas análises, pois as aplicações ou ações a serem tomadas são imediatistas e se sobrepõem ao horizonte de planejamento. Devido ao seu foco de curto prazo, é importante que haja dados detalhados sobre o objeto de estudo. Pode ocorrer a repetição das tarefas definidas no planejamento tático, porém com nível de detalhe mais aprofundado. Exemplos para este caso são a escala de mão-de-obra, programação de manutenções, programação de expedição de carga, configuração do uso de faixas de tráfego, etc.

2.2. Modelagem Matemática

De forma geral, os sistemas são representados por modelos. O modelo é uma representação simplificada de um sistema para facilitar a análise e/ou projeto do mesmo e assim podendo tirar conclusões úteis do. De acordo com Kawamoto (2002), no desenvolvimento de um modelo, deve-se considerar as informações obtidas da realidade através de observações e/ou medidas.

A principal vantagem de se utilizar modelos é que eles permitem experimentação e/ou estudos de situações que ainda não ocorreram ou que não podem ser experimentadas na vida real [Ragsdale 2009]. Por exemplo, os efeitos de se utilizar uma linha férrea a mais numa ferrovia singela não pode ser medida se ela ainda não existe, mas podem ser calculados e/ou mesmo simulados.

Para os usuários de modelos de um sistema, o mais relevante é confrontar a realidade com os dados obtidos via modelagem. No entanto, para que este confronto seja eficaz é necessário que exista algum critério de medida ou de comparação da adequação do modelo à realidade. Isso é possível desde que os objetivos estejam bem definidos em termos operacionais (premissas, indicadores, resultados de desempenho, dados estatísticos, etc), permitindo assim, uma verificação adequada dos resultados. Embora o modelo seja uma representação simplificada da realidade, ele é útil desde que seja válido [Ragsdale 2009].

Segundo Lopes (2008), uma característica fundamental da utilização dos modelos é a de resumir o funcionamento de um sistema num adequado número de variáveis que permita sua apreensão pelo intelecto humano. E ainda complementa que para a construção e utilização de modelos na previsão e explicação de fenômenos com significativa precisão, é necessário uma cuidadosa seleção das variáveis mais significativas que possam descrever o comportamento geral

do sistema. Apesar da necessidade de um grande número de variáveis e ou parâmetros para prever um fenômeno com exatidão, geralmente, uma menor quantidade de variáveis tem a capacidade de explicar grande parte dele. Assim, o ponto de partida do processo de modelagem consiste em identificar as variáveis pertinentes ao sistema e as relações entre elas.

É citado por Hillier e Lieberman (2013) que o modelo matemático de um problema de negócios é representado por expressões e equações matemáticas que descrevem a essência do problema de forma mais concisa, tornando a estrutura geral do problema mais compreensível e revelando importantes relacionamentos de causa-efeito.

A metodologia de PO é a mais desenvolvida para a solução de problemas que podem ser representados por modelos matemáticos. O modelo mais apropriado para um dado contexto depende de fatores como, natureza matemática das relações entre variáveis, objetivos, nível de controle sobre as variáveis e de incertezas associadas ao ambiente.

É possível subdividir os modelos matemáticos em dois grandes grupos: de otimização e de simulação. Os modelos de otimização são estruturados para obtenção de uma solução ótima, segundo alguns critérios estabelecidos, que servirá como referência para uma decisão. Essa alternativa é resultado do processamento das informações por algoritmos. Já os modelos de simulação propõem uma representação da realidade com o objetivo de analisar diversas alternativas antes da implementação real de qualquer uma delas. Essa flexibilidade permite criar possíveis ambientes futuros e testar alternativas, ou seja, o critério de escolha da melhor alternativa não está fixado na estrutura do modelo.

2.3. Simulação

A simulação é uma das técnicas de PO que através de um modelo descreve um processo ou um sistema, e usualmente inclui parâmetros que permitem que o modelo seja ajustável de forma a representar diferentes configurações. É utilizada para analisar sistemas que são complexos demais para serem atacados via métodos analíticos, como cálculo, probabilidade e estatística ou teoria das filas [Goldsmann 2007]. Pode ajudar a identificar problemas, gargalos e deficiências de um projeto antes de se construir ou modificar um sistema, permitindo a comparação de muitas alternativas de modelos e regras de funcionamento. A simulação pode ser vista como uma metodologia experimental e aplicada, em que é necessário o uso de uma abordagem sistêmica, pois se busca analisar o desempenho total do sistema, e não apenas de suas partes [Lopes 2008].

Muitos autores descrevem de forma semelhante os passos que devem ser percorridos na modelagem e simulação de um projeto, conforme exposto na Figura 3.

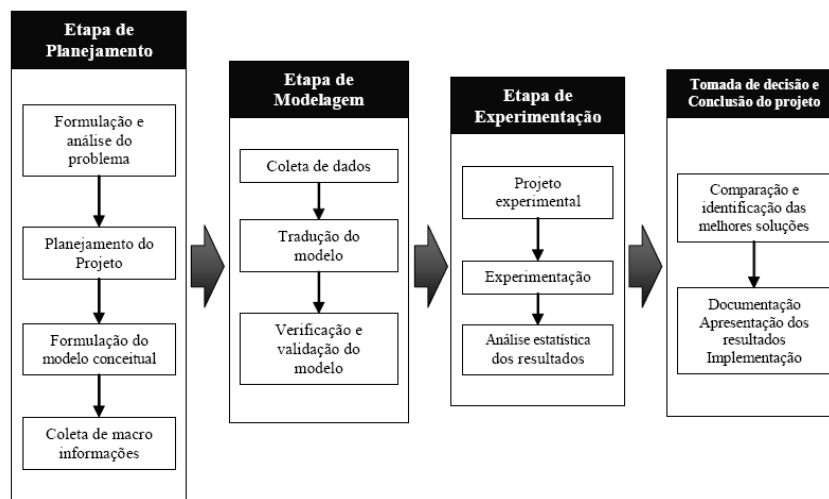


Figura 3: Etapas do processo de modelagem e simulação
 Fonte: Freitas Filho (2008).

2.4. Trabalhos Relacionados

Foram levantados diversos trabalhos relacionados ao tema proposto e foi feita uma seleção dos mais relevantes, que estão listados na Tabela 1 de acordo o objetivo proposto, a aplicação do trabalho e o software utilizado.

Tabela 1 – Resumo dos principais trabalhos pesquisados.

Referência	Título	Objetivo	Aplicação	Software
Assad (1979)	Models for rail transportation	Revisão sobre modelos analíticos (teoria de filas, otimização e simulação).	Ferrovias em geral	Não aplicável
Cranic e Laporte (1997)	Planning models for freight transportation	Apresentação dos níveis de decisão de planejamento (estratégico, tático e operacional).	Ferrovias em geral	Não aplicável
Carneiro (2008)	Simulação do Circuito de Minério do Terminal Ferroviário de Ponta da Madeira (TFPM)	Avaliação de cenários por simulação em terminal ferroviário.	Pátio ferrov. (Brasil)	ARENA
Meireles (2010)	Modelagem e simulação da malha ferroviária em circuito fechado da Estrada de Ferro Vitória a Minas	Desenvolver um modelo de simulação dinâmica em circuito fechado para a cadeia logística do minério de ferro.	Ferrovia (Brasil)	ARENA
Barros (2010)	Modelo de otimização para distribuição horária de lotes de vagões GDE para carregamento de minério de ferro	Identificar a melhor distribuição horária de vagões vazios de minério de ferro para carregamento.	Ferrovia (Brasil)	What'sBest
Campos et al. (2010)	Modelo integrado de apoio ao planejamento da rede de serviços no transporte ferroviário de cargas: aplicação para transporte de minério de ferro	Minimizar o custo logístico embutido no material rodante e no consumo de combustível.	Ferrovia (Brasil)	What'sBest
Marinov e Viegas (2011)	A mesoscopic simulation modelling methodology for analyzing and evaluating freight train operations in a rail network	Modelagem em simulação para estudar os processos operacionais de uma ferrovia.	Ferrovia (Portugal)	SIMUL8
Marinov et al. (2011)	A steady state analysis for yard performances	Análise operacional de pátio ferroviário através de teoria de filas.	Pátio ferrov. (Portugal)	Não aplicável
Marinov et al. (2013)	Railway operations, time-tabling and control	Revisão sobre níveis de decisão e sistemas de apoio no controle de tráfego ferroviário.	Ferrovia (Europa)	RailSys, Open Track, ARENA e SIMUL8
Woronuk e Marinov (2013)	Simulation modelling to analyse the current level of utilisation of sections along a rail route	Avaliação dos níveis de utilização de corredores ferroviários por simulação.	Ferrovia (Espanha)	ARENA
Nguyen et al. (2013)	A tabu search for Time-dependent Multi-zone Multi-trip Vehicle Routing Problem with Time Windows	Uso de meta-heurística em problemas de roteamento de veículos com janela de tempo.	Transporte em geral	Não aplicável
Dorda e Teichmann (2013)	Modelling of freight trains classification using queueing system subject to breakdowns	Modelagem e simulação do processo de classificação de vagões	Pátio ferrov. (Rep. Tcheca)	CPN Tools
Silva e Cruz (2014)	Uma revisão de literatura sobre problemas de reabastecimento de veículos transportadores de cargas	Revisão de modelos de otimização para reabastecimento de veículos transportadores de cargas.	Rodovia (Brasil)	Não aplicável
Marinov et al. (2014)	Analysis of rail yard and terminal performances	Apresentação e análise de desempenho de pátios e terminais ferroviários.	Pátio e terminal ferrov.	Não aplicável
Ahuja et al. (2014)	Network Models in Railroad Planning and Scheduling	Revisão dos problemas de planejamento em ferrovias e soluções factíveis de implementação.	Ferrovia (EUA)	CEPLEX
Faria e Cruz (2015)	Simulation modelling of Vitória-Minas closed-loop rail network	Simulação do circuito fechado de uma rede logística de minério de ferro.	Ferrovia (Brasil)	ARENA
Lopes et al. (2015)	Logística da soja brasileira para exportação: modelo de otimização orientado para minimização de custos logísticos	Minimização global dos custos das rotas para exportação de soja.	Multimodal	EXCEL

3. Estudo de Caso

Para construção do modelo foi utilizado como referência a Estrada de Ferro Vitória a Minas e o Porto de Tubarão no Brasil, por onde são transportadas cerca de 112 milhões de toneladas de minério de ferro por ano [ANTT 2015].

A ferrovia em questão possui pontos de carregamento espalhados geograficamente, com capacidades estáticas de carregamento bem definidas. Após carregamento do minério de ferro em vagões do tipo GDE nos pontos de carga, são formados trens (em lotes de 84 vagões ou múltiplos) com esta carga, e os mesmos percorrem a ferrovia até chegarem ao pátio ferroviário de descarga do Porto de Tubarão. Na Figura 4 há uma ilustração deste fluxo.

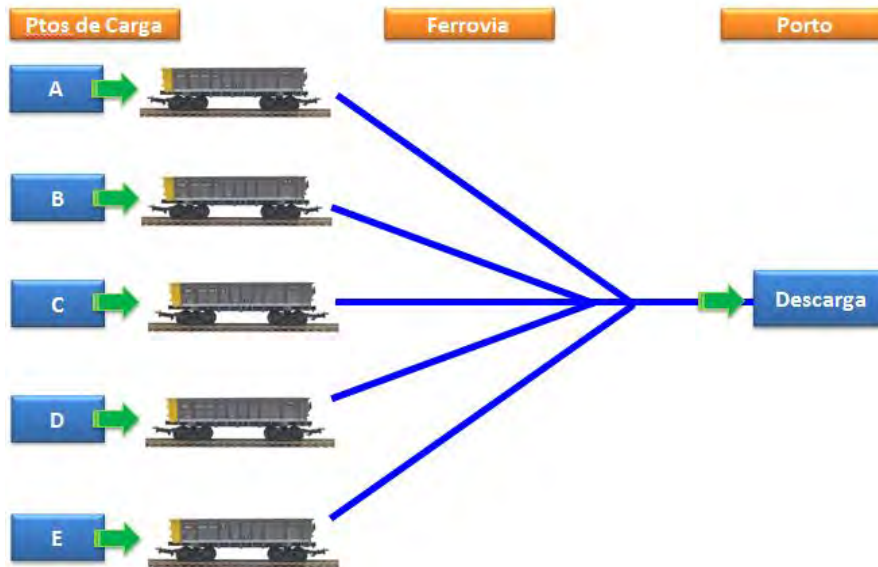


Figura 4 - Fluxo do minério de ferro desde o ponto de carga, passando pela Estrada de Ferro Vitória a Minas, até o Porto de Tubarão.

Chegando ao pátio de descarga, o trem é desmembrado na Torre B e os lotes são direcionados (com o auxílio de locomotivas de manobras) as linhas que antecedem os cinco viradores de vagões. Cada virador de vagão possui um conjunto de rota associada, e esta também possui um pátio de estocagem associada no porto, como mostra o exemplo da Figura 5.

A destinação dos lotes para o virador e para as rotas é feita via planejamento. Porém, muitas vezes a chegada de trens no pátio de descarga é concentrada, seja pela proximidade entre os trens, seja pelo modelo do trem (trens de 168 vagões ou 252 vagões), podendo sobrecarregar um virador e/ou uma rota específica. Nesta situação, pode-se ultrapassar a capacidade de determinada rota, e como consequências, pode-se ter o aumento do ciclo do vagão no pátio e a limitação do volume a ser descarregado, seja por virador, seja por rota.

As variáveis utilizadas e observadas no modelo de simulação foram baseadas, principalmente, no artigo de [Marinov e Viegas 2009], e foram divididas em independentes e dependentes, como é mostrado a seguir:

Variáveis independentes:

- ✓ Tempo médio entre chegadas de trens;
- ✓ Percentual de trens com 168 vagões e 252 vagões;
- ✓ Tempo de manobra.

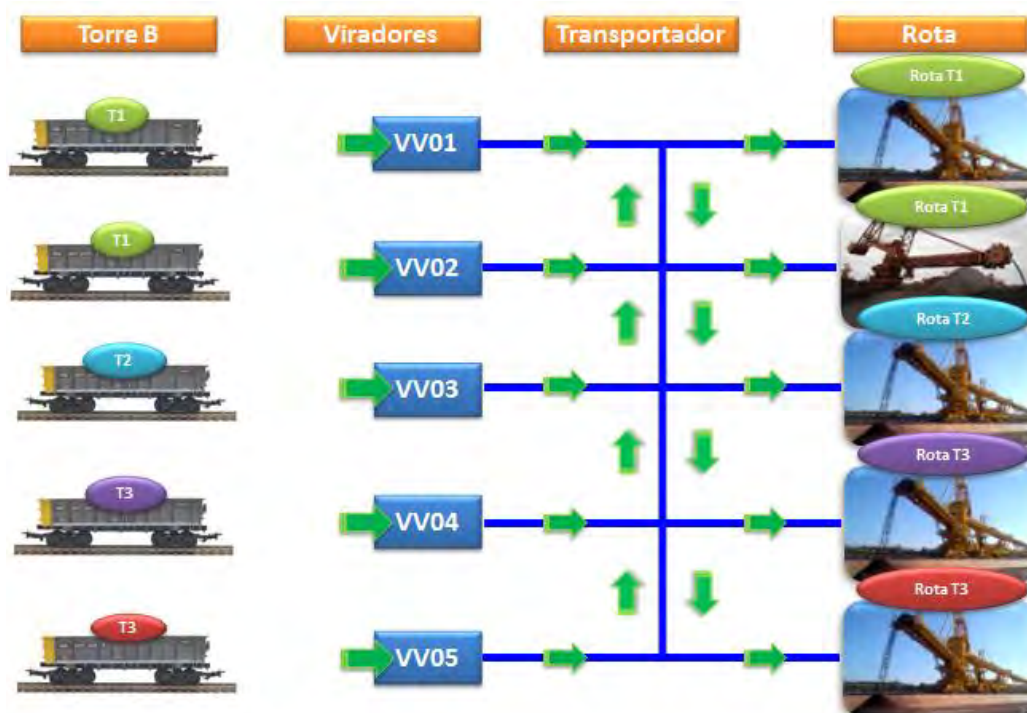


Figura 5 - Exemplo de chegada de lotes no pátio de Tubarão para descarga por rota.

Variáveis dependentes:

- ✓ Número de trens;
- ✓ Quantidade de lotes descarregados por rota;
- ✓ Quantidade total de lotes descarregados;
- ✓ Fila média para manobra de locomotivas;
- ✓ Fila média para as rotas;
- ✓ Percentual de Utilização das locomotivas;
- ✓ Percentual de Utilização dos viradores;
- ✓ Percentual de Utilização das rotas;
- ✓ Tempo médio de permanência dos lotes para descarga.

O modelo foi simulado no software ARENA versão 14.0 *Student*. Foi adotado um número máximo de 50 replicações, com tempo de aquecimento de 1.400 min (1 dia) e tempo total de simulação equivalente a 10.080 min (7 dias), que descontando o tempo de aquecimento, chega-se a 8.640 min (6 dias). Foi escolhida esta configuração para que não seja extrapolada a quantidade máxima de entidades que a versão utilizada limita.

4. Resultados e Discussões

Para validação do modelo simplificado proposto, foi realizado um comparativo dos resultados de simulação com os valores reais adotados. Na Tabela 2 tem-se este comparativo. Foi possível verificar que os resultados estão muito próximos dos dados reais, e cuja variação para todos os itens avaliados estão abaixo de 5%.

Já para avaliação da capacidade de descarga do modelo de simulação foram criados 3 cenários. A seguir, será mostrado um comparativo dos cenários levantados, e serão feitos comentários e observações a seu respeito.

Tabela 2 - Comparativo dos dados reais com os resultados do modelo.

Variáveis	Modelo Real	Modelo Simulação	Variação (%)
Tempo médio entre chegadas de trens (min)	68,9	70,1	1,7
Nº de trens/dia	20,9	20,6	1,4
Trens 168 (%)	50,0	48,4	3,2
Nº total lotes/dia descarregados	48,8	49,0	0,4

Na Tabela 3 são apresentados os comparativos dos 3 cenários. O Cenário 1 considera que o percentual de trens 168 é igual a 50%, como vem ocorrendo na atualidade. Porém, foram selecionados outros 2 cenários (Cenário 2 e 3) para verificar se uma redução na quantidade de trens menores (trens de 168 vagões) e o aumento no de trens maiores (trens de 252 vagões), visando a circulação de trens mais econômicos e redução de custos operacionais, seria tecnicamente possível.

Assim, o Cenário 2 testou a chegada de 35% de trens 168 e o Cenário 3 testou a chegada de 20% de trens 168.

Tabela 1 - Resultados parciais das variáveis analisadas variando o % de trens com 168 vagões.

Variáveis	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Tempo médio entre chegadas de trens (min)	70,1	68,5	68,7
Nº de trens/dia	20,6	21,1	21,1
Fila média manobra Normal (lotes / min)	0,9 / 29,7	1,1 / 35,3	1,4 / 41,3
Fila média manobra Inicial (lotes / min)	0,2 / 26,4	0,3 / 31,3	0,3 / 36,7
Fila média Rota T1/T2 (lotes / min)	15,5 / 38,0	22,5 / 38,7	31,4 / 39,1
Fila média Rota T3 (lotes / min)	1,4 / 61,7	1,9 / 64,7	2,9 / 67,1
Nº lotes/dia descarregados Rota T1	17,7	17,9	18,0
Nº lotes/dia descarregados Rota T2	17,5	17,8	18,0
Nº lotes/dia descarregados Rota T3	13,8	14,9	15,5
Nº total lotes/dia descarregados	49,0	50,6	51,5
Tempo médio de permanência do lote (min)	534,0	660,9	835,1

É possível verificar pela Tabela 3 que o número médio de lotes descarregados aumenta de 49,0 no Cenário 1 para 51,5 no Cenário 2. Pode parecer um aumento insignificante, porém, em volume descarregado seria o mesmo que sair de um patamar de 112,0 Mt/ano para 117,7 Mt/ano, um aumento de 5,1%.

O número de trens/dia que chegam e o número médio de lotes descarregados para as Rotas T1 e T2 não variam muito, mostrando já estarem no limite de capacidade. Já em relação à média de lotes descarregados pela Rota T3 (rota que atende as usinas de pelletização), observa-se um aumento interessante nos valores, no Cenário 1 a quantidade de lotes descarregados ficou em 13,8 lotes/dia, no Cenário 2 ficou em 14,9 lotes/dia e no Cenário 3 ficou com 15,5 lotes/dia. Este resultado mostra que a Rota T3 ainda pode ser melhor explorada caso haja demanda para ela.

Apesar do Cenário 3 mostrar ter potencial para ser o cenário ideal, observou-se que a fila média para as rotas do porto (T1/T2) e o tempo de permanência aumentaram muito do Cenário 1 para o Cenário 3. Operacionalmente, é possível absorver até 22 lotes na Torre B e, por isso, os cenários 2 e 3 não poderiam ser aplicados.

Em relação à utilização dos recursos, foi montado um comparativo do percentual de utilização para cada um dos recursos do modelo, referente aos Cenários 1, 2 e 3, conforme é sugerido no artigo de [Marinov e Viegas 2009]. As Figuras 6 e 7 ilustram este comparativo.

As grandes alterações observadas do Cenário 1 para os Cenários 2 e 3 estão relacionadas aos aumentos nas utilizações da Locomotiva 2, que faz o desmembramento dos lotes, do Virador e da Rota T3. Estes aumentos ocorrem devido à redução no número de manobras de lotes de 168 vagões, possibilitando aumentar a recepção de maior número de trens, e também devido à maior disponibilidade da Rota T3, já que as demais já estão no limite de utilização.

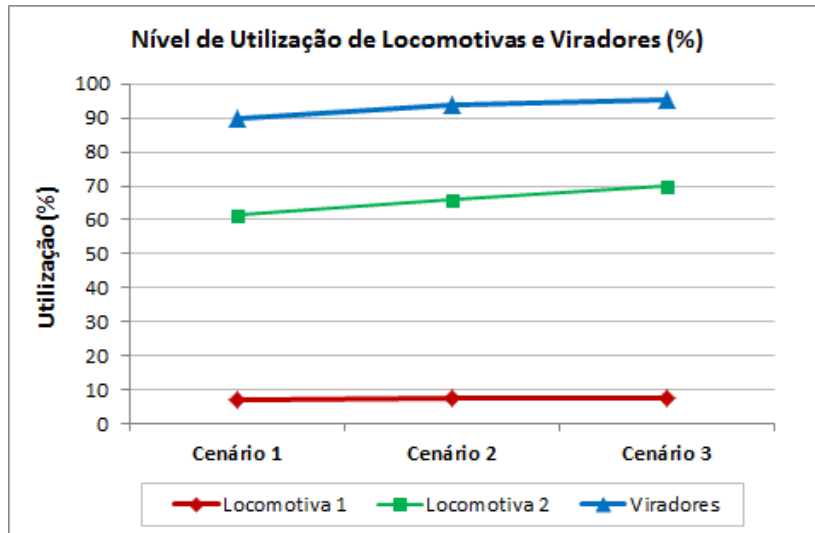


Figura 6 - Utilização de locomotivas e viradores para os Cenários 1, 2 e 3.

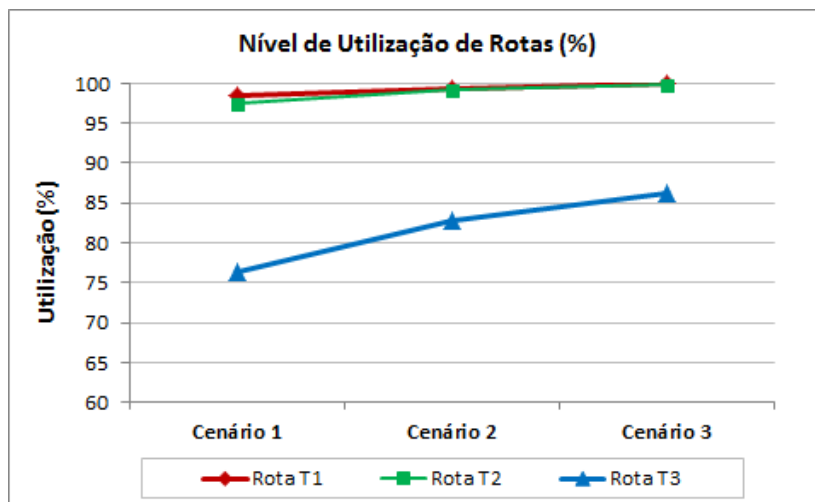


Figura 7 - Utilização de rotas para os Cenários 1, 2 e 3.

O Cenário 1 cuja capacidade de descarga é de 49,0 lotes/dia (17,7 lotes/dia na Rota T1, 17,5 lotes/dia na Rota T2 e 13,8 lotes/dia na Rota T3), é o mais atrativo, pois não ultrapassa os limites operacionais atuais do pátio de Tubarão. Os demais cenários se mostram atrativos no caso de se ter a possibilidade de investimentos no pátio (ampliação), porém nos dias atuais em que se busca a produtividade dos ativos, este não seria uma opção a ser escolhida.

5. Conclusão

Se antes a prioridade do setor produtivo era entregar a mercadoria no menor tempo possível, agora com a demanda desacelerada e margens reduzidas, o que importa é diminuir as despesas e garantir a rentabilidade. Porém situações como esta se tornam oportunidades para aliar tecnologia e inovação em busca de melhores resultados, como é o caso atual do transporte de

minério de ferro na EFVM, onde se tem buscado a redução de custos através da melhora de produtividade na cadeia do minério de ferro.

Desta forma, foi possível desenvolver um modelo de simulação discreta simplificado de um pátio ferroviário de descarga de minério de ferro por rota de destino (Ferrovia-Porto), para auxílio nas análises de distribuição de lotes carregados de minério de ferro em nível tático.

Dentre os resultados preliminares já obtidos, observou-se que para situações em que o número de trens maiores (mais econômicos) aumente na chegada do pátio de descarga, este pode se tornar um gargalo operacional. Tendo em vista que as rotas principais de descarga já estão com nível de utilização bem elevada, deve-se buscar alternativas para aumentar a utilização da rota que ainda possui certa ociosidade e/ou aumentar a capacidade de recebimento do pátio de recepção, alternativas estas que dependem de investimento.

Como sugestão para trabalhos futuros, poderia-se melhorar o modelo já desenvolvido aplicando todas as regras de restrições que envolvam viradores e rotas de transferência, e rotular os lotes carregados por ponto de carregamento considerando as capacidades de expedição de cada um.

Referências

- Ahuja, R. K.; Cunha, C. B.; Sahin, G. (2014). Network Models in Railroad Planning and Scheduling. *INFORMS Tutorials in Operations Research*, p. 54-101.
- ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres (2015). <http://www.antt.gov.br/>. Acessado: 2015-11-28.
- Assad, A. A. (1979). Models for rail transportation. *Transportation Research Part A*, v. 14 A, p. 205-220.
- Banks, J.; Carson II, J.S.; Nelson, B.L. (2005). Discrete-event system simulation. 4. ed. Upper Saddle River, N.J.: Pearson Prentice Hall.
- Barros, A. L. M. (2010). Modelo de otimização para distribuição horária de lotes de vagões ferroviários GDE para carregamento de minério de ferro. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Civil) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Transportes, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.
- Campos, L. B. (2009). Modelo de otimização para o planejamento da rede de serviços no transporte ferroviário de cargas. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Civil) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Transportes, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.
- Campos, L. B.; Cruz, M. M. C.; Pompermayer, F. M. (2010). Modelo integrado de apoio ao planejamento da rede de serviços no transporte ferroviário de cargas: aplicação para transporte de minério de ferro. *TRANSPORTES*, v. 18, n. 2, p. 62-71.
- Carneiro, F. M. (2008). Simulação do Circuito de Minério do Terminal Ferroviário de Ponta da Madeira (TFPM). Monografia – Especialização em Transporte Ferroviário de Carga, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.
- Dorda, M; Teichmann, D. (2013). Modelling os freight trains classification using queueing system subject to breakdowns. *Mathematical Problems in Engineering*, v. 2013, p. 1-11.
- Faria, C. H. F.; Cruz, M. M. C. (2015). Simulation modelling of Vitória-Minas closed-loop rail network. *Transport Problems*, v. 10, p. 126-139.
- Freitas Filho, P. J. (2008). Introdução à modelagem e simulação de sistemas com aplicações em Arena. 2. ed. Florianópolis: Visual Books.
- Cranic, T. G.; Laporte, G. (1997). Planning models for freight transportation. *European Journal of Operational Research*, v. 97, p. 409-438.
- Goldman, D. (2007). Introduction to simulation. *Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference*, Washington, p. 26-37.
- Hillier, F. S.; Lieberman, G. J. (2013). Introdução à pesquisa operacional. 9. ed. Porto Alegre.

- IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração (2016). <http://www.ibram.org.br/>. Acessado: 2016-03-10.
- INDEX MUNDI (2016). <http://www.indexmundi.com/pt>. Acessado: 2016-03-07.
- Ragsdale, C. T. (2009). Modelagem e análise de decisão. São Paulo: Cengage Learning.
- Kawamot, E. (2002). Análise de sistemas de transporte. 2. ed., São Paulo.
- Lopes, H. S.; Ferreira, R. C; Lima R. S. (2015). Logística da soja brasileira para exportação: modelo de otimização orientado para minimização de custos logísticos. *XXIX Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da ANPET*, Ouro Preto, p. 1003-1014.
- Lopes, H. S. (2008). Modelagem e simulação como ferramentas ao diagnóstico operacional de sistemas: estudo aplicado ao transporte de minério de ferro na hidrovía do araguaia-tocantins. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Marinov, M.; Di Giovani, L.; Bellisai, G.; Clevermann, J.; Mastellou, A.; Victoria, D.; Deleva, L. (2014). Analysis of rail yard and terminal performances. *Revista de Literatura dos Transportes*, v. 8, n.2, p.178-200.
- Marinov, M.; Moertimer, P.; Zunder, T.; Islam, D. M. Z. (2011) A steady state analysis for yard performances. *Revista de Literatura dos Transportes*, v. 5, n.1, p.33-49.
- Marinov, M.; Sahin, I.; Ricci, S.; Vasic-Franklin, G. (2013). Railway operations, time-tabling and control. *Research in Transportation Economics*, v. 41, p. 59-75.
- Marinov, M.; Viegas, J. (2011). A mesoscopic simulation modelling methodology for analyzing and evaluating freight train operations in a rail network. *Simulation Modelling Practice and Theory*, v. 19, p. 516-539.
- Marinov, M.; Viegas, J. (2009). A simulation modelling methodology for evaluating flat-shunted yard operations. *Simulation Modelling Practice and Theory*, v. 17 n. 6, p. 1106-1129.
- Meireles, R. P. L. (2010). Modelagem e simulação da malha ferroviária em circuito fechado da Estrada de Ferro Vitória a Minas. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Civil) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Transportes, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.
- Nguyen, P. K.; Cranic, G. T.; ToulouseE, M. (2013). A tabu search for Time-dependent Multi-zone Multi-trip Vehicle Routing Problem with Time Windows. *European Journal of Operational Research*, v. 231 p. 43–56.
- Ragsdale, C. T. (2009). Modelagem e análise de decisão. São Paulo: Cengage Learning.
- Silva, H. L. F.; Cruz M. M. C. (2014). Uma revisão de literatura sobre problemas de reabastecimento de veículos transportadores de cargas. *XXVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes – ANPET*, Curitiba.
- Woroniuk, c.; Marinov, M. (2013). Simulation modelling to analyse the current level of utilisation of sections along a rail route. *Journal of Transport Literarutue*, v. 7, n. 2, p. 235-252.