

ESTUDO ESTRATÉGICO DE DIMENSIONAMENTO DA INFRA-ESTRUTURA DO PÁTIO FERROVIÁRIO DE TUBARÃO ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO

Marcelo Moretti Fioroni

Prof. Dr. Rui Carlos Botter

Universidade de São Paulo – USP

Escola Politécnica

Departamento de Engenharia Naval e Oceânica

Fabiano Mezadre Pompermayer

Companhia Vale do Rio Doce – CVRD

Luiz Augusto G. Franzese

Paragon Tecnologia

RESUMO

Este artigo apresenta as motivações e o processo de desenvolvimento de um sistema de simulação para estudo estratégico do Pátio Ferroviário de Tubarão, localizado em Vitória-ES. São apresentados aqui o nível de abstração adotado e a estrutura do sistema. São apresentados também o modelo resultante e sua interface de entrada e saída de dados, bem como alguns experimentos proporcionados pela ferramenta. Seguem-se alguns resultados obtidos e argumentação quanto à importância deste tipo de estudo no Brasil.

ABSTRACT

This paper presents the motivation and the process of development of a strategic simulation system study concerning the Pátio de Tubarão rail yard, located in Vitória-ES-Brazil. It is described the level of abstraction used and system structure. The model and data transfer interface are presented, as well as some experiments provided by that tool. Following, some results and arguments to use this kind of study in Brazil.

1. INTRODUÇÃO

A Vale do Rio Doce é uma das maiores companhias mineradoras de ferro do mundo. A logística de movimentação dos produtos representa ponto primordial em seus processos, e é objeto de especial atenção pelas equipes que buscam otimizar e aperfeiçoar o desempenho da empresa.

Parte essencial do sistema logístico da companhia, o Pátio Ferroviário de Tubarão é responsável por receber todo o material proveniente dos pontos de extração no interior de Minas Gerais, e que chegam pela Estrada de Ferro Vitória Minas (EFVM), a qual já foi, também, objeto de estudos (Franzese *et. al.*, 2003). O pátio também recebe composições de carga geral, que apesar de não estarem ligadas diretamente à atividade principal da companhia, representam importância crescente em sua estratégia de diversificação dos serviços e aproveitamento ótimo de sua infra-estrutura.

A relevância deste pátio para sua atividade principal, aliada ao fato de que ele também recebe outros tipos de produtos, constitui forte motivação para estudos envolvendo suas operações. O presente estudo teve por objetivo analisar estrategicamente a utilização dos recursos disponíveis no pátio, sob diferentes níveis de carga e padrão de atividades. Foram observados principalmente as frotas de locomotivas e os diversos equipamentos de carga ou descarga de vagões, tanto para carga geral como minério de ferro.

Alguns cenários de expansão do pátio também foram incluídos no estudo, permitindo avaliar a implantação de novas linhas e equipamentos, ou o uso de diferentes políticas de movimentação ou formação.

Pelas características do estudo, com foco estratégico e tendo o tempo como sua principal variável, decidiu-se pelo uso de uma ferramenta de simulação de eventos discretos, com a construção de um modelo representativo do sistema, com a opção de sua reutilização em estudos futuros. Esta técnica foi considerada ideal para o estudo, por apresentar os resultados desejados com precisão satisfatória e ser voltada principalmente para estudos estratégicos.

2. PÁTIO FERROVIÁRIO DE TUBARÃO

O Pátio Ferroviário de Tubarão, objeto da análise aqui apresentada, realiza operações ferroviárias de separação, consolidação, classificação, manutenção, carga e descarga de diversos tipos de vagão. Estas operações servem de apoio às operações dos terminais portuários de minério de ferro, carvão, produtos agrícolas e contêineres, localizados em suas proximidades. Neste pátio também é realizada a recepção e a formação de diversos tipos de trens com origem e destino no interior do país, operados pela estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM).

As operações do pátio são basicamente divididas em operações de minério de ferro, que será denotado MFE, e operações de carga geral, CG. Há uma certa separação física entre a infraestrutura utilizada por cada grupo de operações, mas não é total. O exemplo mais claro deste compartilhamento de infra-estrutura é a oficina de vagões. A Figura 1 a seguir apresenta o layout esquemático do pátio, onde podemos destacar a chamada “pêra do minério”, compreendida pelo grande conjunto de linhas na parte central e na parte inferior do desenho. O conjunto de linhas na parte superior do desenho representa a área dedicada principalmente à carga geral.

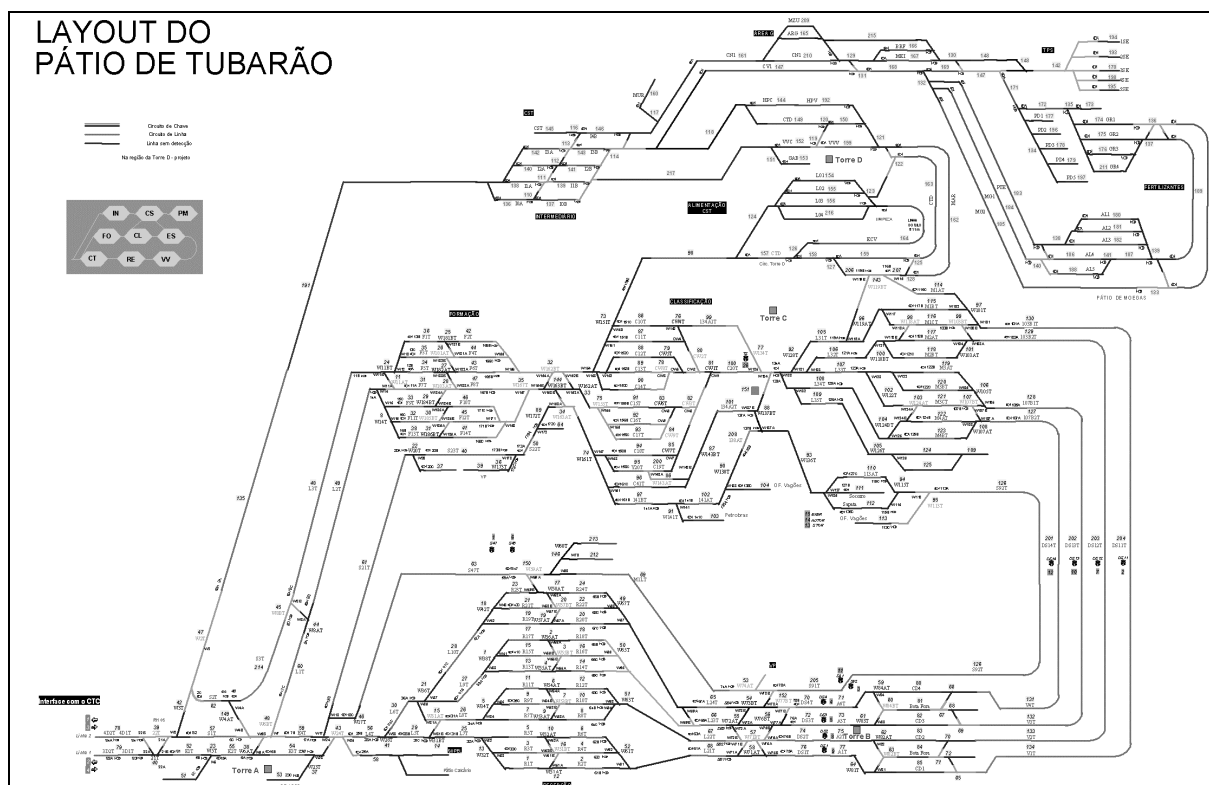


Figura 1: Layout esquemático do Pátio Ferroviário de Tubarão.

As operações MFE compreendem, basicamente, recepção dos trens carregados oriundos da EFVM, separação dos lotes de vagões, descarga, separação de vagões para manutenção, e formação e despacho de trens para a EFVM. Assim que os trens chegam no pátio, eles são estacionados e suas locomotivas retiradas. Eles são formados com dois a quatro lotes de 80 vagões, cada lote contendo um único tipo de minério. Cada lote é, então, levado para a descarga ou fica aguardando por estar fora da sequência programada para descarga. A descarga é feita em um dos quatro *Cardumpers*. Qualquer tipo de minério pode ser descarregado em qualquer *cardumper*, assim o lote a ser descarregado segue para o *cardumper* que estiver ocioso. Todo *cardumper* sofre uma manutenção programada, ficando indisponível para operação cerca de oito horas/semana.

Após a descarga os lotes de vagões MFE são retirados dos *cardumpers* por uma locomotiva, que os leva para o *hump-yard*, onde é feita a separação dos vagões destinados à manutenção, e criados novos lotes para retornar às minas de minério. Neste *hump-yard* não é necessária a locomotiva, onde os vagões são classificados por um processo que usa a gravidade como força motora. Os vagões que não precisam de manutenção são acumulados até o número de 80, quando são retirados por uma locomotiva e anexados a um trem de retorno às minas. Também podem ser carregados com carvão mineral, ao invés de simplesmente seguirem vazios. A Figura 2 a seguir apresenta uma fotografia aérea abrangendo desde os viradores de vagão (*cardumpers*) até o *hump-yard*.

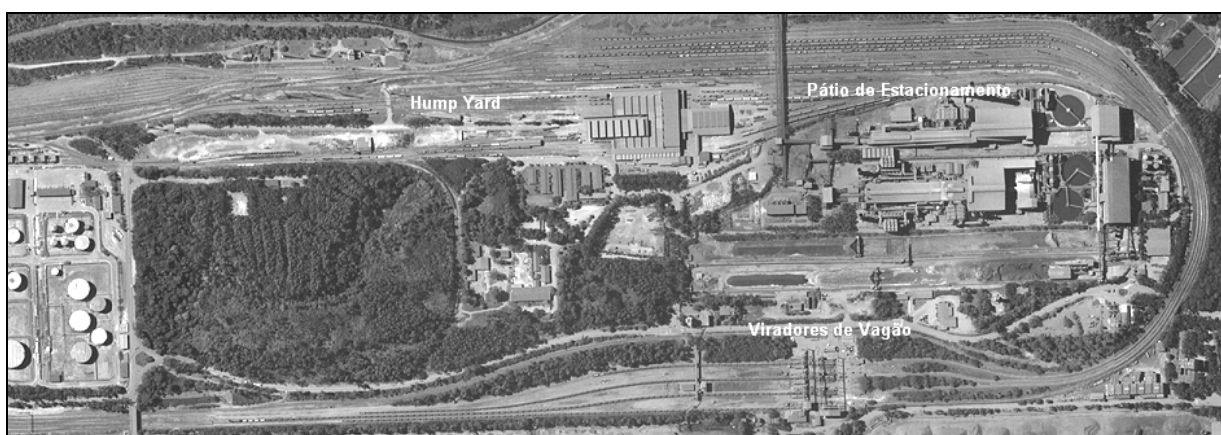


Figura 2: Fotografia aérea mostrando parte do ciclo dos vagões MFE.

As operações CG, carga geral, seguem um padrão semelhante ao do minério, mas com uma variedade bem maior de cargas e uma menor especialização dos equipamentos ferroviários. Os trens CG chegam ao pátio através da EFVM com vagões de diversas origens. Podem ter tamanhos variados, bem como podem ter um só ou vários tipos de vagões. Assim que chegam, os trens devem ser desmembrados em lotes de cada tipo de carga, vagão e terminal ao qual o lote será destinado. Quanto maior o número de cargas em um trem, maior o número de manobras necessárias para separar os lotes distintos. Essa classificação é feita com locomotivas, na chamada “manobra plana”.

Depois de separados, cada lote aguarda em uma linha de estacionamento para ser levado por uma locomotiva ao respectivo terminal, uns para carga, outros para descarga. Os que são

descarregados podem ser redirecionados para o carregamento de outro produto, em outro terminal. Isto ocorre, por exemplo, com vagões que descarregam soja e são recarregados com fertilizantes, bem como os que descarregam ferro gusa e carregam coque. Após a operação de descarga, faz-se uma inspeção nos vagões, determinando os que devem seguir para manutenção. Os vagões que retornam, vazios ou carregados, são encaminhados a uma parte do pátio onde são formados tanto os trens MFE quanto os trens CG. A infra-estrutura usada é compartilhada, mas os vagões MFE não são misturados aos vagões CG. Os trens CG são formados de acordo com o destino dos vagões, podendo levar um ou vários tipos de vagão.

3. ESTUDO ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS

Segundo Kelton *et. al.* (2003), a Simulação de Processos por computador já existe há duas décadas, mas só nos últimos anos vem sendo difundida mais amplamente tanto no meio acadêmico quanto empresarial, graças ao avanço significativo nos sistemas computacionais e à popularização do computador.

Por “simulação”, entende-se uma imitação de parte da realidade em uma escala menor, sujeita às mesmas leis físicas e operacionais que o sistema real, com a finalidade de testar alternativas e estudar seu comportamento. Tal imitação é denominada “modelo”. A Simulação Computacional transporta esse conceito para o campo da informática, tornando o computador um ambiente experimental virtual, onde se pode testar protótipos e obter informações detalhadas sobre seu comportamento de forma extremamente cômoda e barata.

A Simulação de Eventos Discretos por Computador é uma ramificação da Simulação Computacional, que permite estudar o comportamento e o relacionamento entre diversos componentes de um sistema, considerando o fluxo de informações ou de elementos físicos dentro dele. Trata-se de uma ferramenta poderosa na análise de sistemas muito complexos, já que o computador fica encarregado de monitorar todas as variáveis, alterar os estados e comportamentos conforme programado e gerar estatísticas de todo o experimento. O seu uso é possível graças à disponibilidade de ambientes computacionais voltados para a simulação, como por exemplo, o software ARENA (Bapat & Sturrock, 2003), o qual foi adotado para a realização do presente estudo.

Estudos de simulação na área ferroviária não são novidade, visto que o emprego desta técnica dá grande segurança no apoio a decisões de investimento, os quais são normalmente vultosos. Em grandes empresas norte americanas (Lewellen & Tumay, 1998) ou européias (Hooghiemstra & Teunisse, 1998), onde o modal ferroviário tem grande peso na grade de transportes dos países, este tipo de estudo recebe grande atenção. O Brasil ainda carece de estudos do tipo, bem como de uma melhor infra-estrutura ferroviária.

Apesar de menos frequentes, há também estudos específicos de pátios ferroviários através de simulação, como o realizado por Dalal & Jensen (2001), ou o descrito por Breitnecker & Kralicek (1997). Entretanto, tais estudos são realizados com alto nível de abstração, visto que as atividades dos pátios são demasiado operacionais e necessitam de criterioso estudo de processos para determinar sua rotina de trabalho.

Este estudo difere dos demais desenvolvimentos, pela complexidade do sistema e nível de detalhe alcançado. Além da chegada de composições exclusivamente de minério de ferro,

foram elaborados 10 padrões diferentes de composições de Carga Geral, cada qual com sua formação típica e probabilidade de chegada. Da mesma forma, a formação e despacho possui 10 padrões de formação, que devem ser consistentes com os padrões de chegada.

Os recursos do pátio, em determinados setores, atendem tanto ao ciclo de minério quanto ao de carga geral, exigindo seu estudo combinado.

Todas as principais linhas de interligação entre os pátios foram modeladas como recursos do sistema, de forma que o modelo trata a movimentação de composições da mesma forma que se dá no centro de controle operacional da empresa. Ao mover uma composição, todo o trecho a ser percorrido é ocupado e bloqueado antecipadamente, só sendo liberado no final do percurso.

O modelo de simulação do Pátio de Tubarão foi concebido com um nível de abstração tal que permitisse estudos de cunho estratégico, fazendo simplificações nas atividades operacionais em alguns pontos, e ignorando outros menos relevantes. Algumas premissas adotadas foram:

- Cada linha suporta apenas uma composição, e é considerada ocupada assim que um vagão é posicionado nela;
- As locomotivas são recursos do sistema, que são ocupadas e depois liberadas. Na maioria dos casos, não é considerado o seu tempo de movimentação para reposicionamento quanto não tracionando vagões (denominada “escoteira” nos termos da operação ferroviária);
- A operação de manobras para retirada de vagões do meio da composição, que normalmente exigem várias movimentações da locomotiva e usam dois ou mais pátios, foi simplificada considerando apenas o seu tempo de atividade e ocupação da linha onde se encontra a composição;
- Nos pátios, uma das linhas sempre fica liberada para permitir a passagem de composições. Essa linha varia conforme a operação. O modelo considera que a capacidade do pátio é a real menos uma linha, de forma que sua ocupação se dá de forma semelhante à realidade.

Para facilitar a operação do sistema e agilizar a realização dos experimentos, foi desenvolvida uma interface de entrada de dados e leitura de resultados, que interage com o modelo trocando informações. Tal interface foi desenvolvida em MS Excel, por ser uma ferramenta que conta com ampla base de usuários, sendo familiar para a maioria das pessoas envolvidas no projeto. Algumas imagens da interface estão apresentadas na Figura 3 a seguir.



Figura 3: Interface de entrada e saída do modelo de simulação

Graças aos recursos da ferramenta utilizada, o modelo conta também com uma representação animada das atividades realizadas durante a simulação. Esta representação permite visualizar de forma geral que atividades estão em andamento, quantas composições permanecem em espera nos diversos pátios, quantas locomotivas estão ocupadas naquele momento, entre outras informações úteis. Esta animação foi construída sobre o próprio desenho do pátio, por ser uma imagem familiar a todos os operadores do sistema, sendo inclusive a adotada no próprio centro de controle operacional do pátio. Partes desta animação estão apresentadas na figura 4 a seguir:

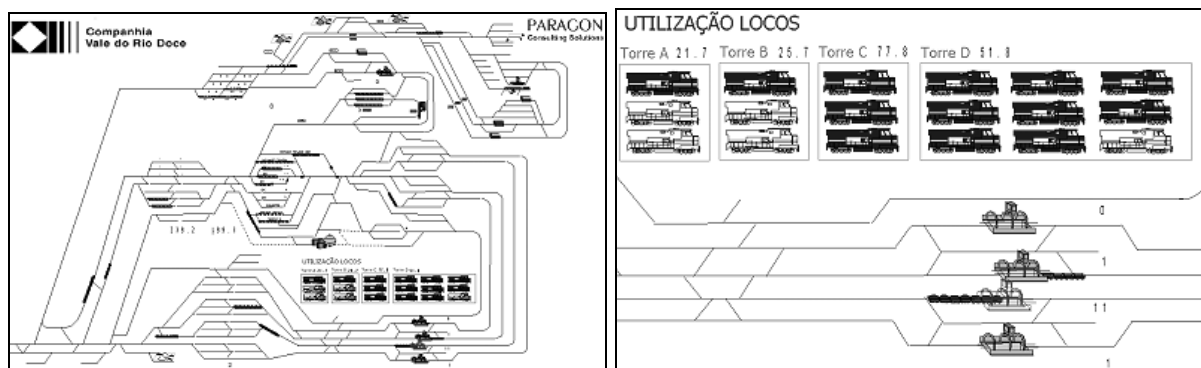


Figura 4: Representação animada do modelo

4. UTILIZAÇÃO DO MODELO

Diversas análises podem ser feitas com o modelo de simulação do Pátio de Tubarão. A forma mais comum de utilização de um modelo como este é na avaliação de uma nova instalação no pátio. Esta nova instalação tanto pode ser consumidora dos recursos já existentes no pátio, como um novo terminal de carga e descarga, quanto pode ampliar a capacidade dos recursos existentes, como novas linhas de estacionamento de vagões.

Neste sentido, o modelo desenvolvido permite avaliar diversas alterações da infra-estrutura ferroviária existente no pátio. Como exemplo, cita-se a ampliação do pátio de estacionamento de vagões de carga geral, a duplicação da linha de interligação entre o pátio de formação de trens e o de carga geral, e a alteração das linhas de um terminal para operar em pêra, entre outras. Foi avaliada a redução possível dos tempos de movimentação dos vagões dentro do Pátio de Tubarão com e sem as alterações propostas, estimando a redução dos custos operacionais. Também foi examinado o aumento da capacidade de movimentação após as

alterações. Outra forma de avaliação seria a simulação de vários procedimentos operacionais para as novas instalações.

Outra aplicação prevista para o modelo é a sua utilização na análise de alterações das chegadas e saídas dos trens de minério de ferro e de carga geral. Para os trens de minério, serão avaliados possíveis impactos do aumento do tamanho do trem. Para carga geral, será examinada a ocupação dos recursos do pátio, bem como o tempo de operação dos vagões, se o perfil de cargas e o tamanho dos trens forem alterados. Um trem com um grande número de vagões de um mesmo produto permite manobras mais rápidas. No entanto, este lote grande de um mesmo produto levará mais tempo para descarregar, ocupando por mais tempo as linhas do terminal de descarga e as dos pátios de estacionamento.

Além das utilizações acima descritas, o modelo também será usado na avaliação de novas regras de operação dentro do pátio. Por exemplo, pretende-se avaliar o direcionamento de alguns tipos de trem de carga geral para um pátio normalmente utilizado para minério de ferro, devido a sua proximidade com os terminais de alguns produtos da carga geral. Ao invés de manobrar o trem no pátio de carga geral e trazer os vagões para os terminais próximos ao pátio de minério, poder-se-ia manobrar o trem diretamente neste pátio, reduzindo o tempo de movimentação dos vagões. Entretanto, tal operação pode ocupar demasiadamente o pátio de minério, provocando filas de trens de minério.

Enfim, diversas análises sobre a movimentação ferroviária, chegada e formação de trens, operações de carga e descarga, e alterações da infra-estrutura do pátio podem ser feitas com o modelo.

5. CONCLUSÕES

O desenvolvimento do sistema de simulação foi de grande importância nos estudos de dimensionamento do pátio e avaliação de novos investimentos. Os resultados obtidos pelo modelo em uma situação típica existente foram semelhantes aos indicadores reais do sistema, fato que deu maior confiança nas respostas obtidas.

Os estudos realizados até o momento com o sistema mostraram uma grande sensibilidade ao tempo de atividade do *hump-yard*, assim como da frota de locomotivas da Torre C, que fazem a movimentação de vagões já descarregados para o *hump-yard*.

Além de analisar alterações da infra-estrutura do pátio, o estudo pode servir de base para avaliar táticas operacionais propostas por outras áreas da ferrovia, mas que podem produzir impactos no pátio em análise. Um exemplo disso é utilização de trens mais longos que os atuais, que são mais eficientes do ponto de vista consumo de combustível, mas provocam uma maior utilização dos recursos dos pátios de carga e descarga. Algumas análises realizadas com o modelo até poderiam ser feitas com experimentos no próprio pátio, porém poderiam causar perdas de produção inaceitáveis.

Os resultados obtidos mostram que este tipo de estudo é eficiente e importante, e se enquadra perfeitamente no ambiente logístico brasileiro, carente de investimentos em infra-estrutura ferroviária e a mercê do modal rodoviário. Visto ser um país carente de recursos, é imperativo

que os escassos recursos disponíveis sejam aplicados adequadamente e com segurança. Tais requisitos podem ser atendidos através de estudos de simulação como o aqui apresentado.

Apesar do tempo dispensado por diversos técnicos no desenvolvimento desta ferramenta, o que pode ser considerado contra-produtivo para uma empresa privada, os ganhos na produtividade do pátio e na correta aplicação dos recursos financeiros em investimentos de infra-estrutura indicam que tais ferramentas de análise são cruciais para o bom desempenho das empresas brasileiras.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Companhia Vale do Rio Doce por permitir a apresentação das imagens do sistema e o uso de dados reais neste artigo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bapat, V.; Sturrock, D. T. (2003) – The Arena Product Family: Enterprise Modeling Solutions. Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference v.1, p.210-217. New Orleans, EUA, dec. 2003.
- Breitnecker, F.; Kralicek, P. (1997) – *Planning of Railroad Management by Means of Discrete Simulation*. EUROSIM – Simulation News Europe, n.19, p.32.
- Dalal, M. A.; Jensen, L. P. (2001) – Simulation Modeling at Union Pacific Railroad. Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference, p.1048-1055.
- Franzese, L. A. G.; Fioroni, M. M.; Botter, R. C. (2003) – Railroad Simulator on Closed Loop. Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference v.1, p.1602-1606. New Orleans, EUA, dec. 2003.
- Hooghiemstra, J. S.; Teunisse, M. J. G. (1998) – The use of Simulation in the Planning of the Dutch Railway Services. Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference, v.1 p.1139-1145. Washington DC, EUA.
- Kelton, D. W., Sadowski, R. P., Sadowski, D. A. (2003) - Simulation With Arena. McGraw Hill. New York.
- Lewellen, M.; Tumay, K. (1998) – Network Simulation of a Major Railroad. Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference, v.1 p.1135-1138. Washington DC, EUA.

Marcelo Moretti Fioroni (marcelo.fioroni@poli.usp.br)

Prof. Dr. Rui Carlos Botter (rcbotter@usp.br)

Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo

Av. Prof. Mello Moraes, 2231- Cid.Universitária - São Paulo, SP, Brasil - CEP 05356-000

Fabiano Mezadre Pompermayer (fabiano.pompermayer@cvrld.com.br)

Companhia Vale do Rio Doce – CVRD

Rua Sapucaí, 383 - 6º andar – Belo Horizonte, MG, Brasil – CEP 30150-904

Luiz Augusto G. Franzese (augusto@paragon.com.br)

Paragon Tecnologia

Rua Clodomiro Amazonas, 1435 – 5º andar – V.Olímpia – São Paulo, SP, Brasil – CEP 04537-012