

SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE PORTOS DE MINÉRIO, INSUMOS E PRODUTOS SIDERÚRGICOS¹

Bernard Patrick Maximilien Dias Laporte²

Marcelo Koiti Fugihara³

Michel de Norman et d'Audenhove⁴

Resumo

Este trabalho irá investigar aplicações práticas e resultados alcançados em projetos de simulação de portos de siderurgia e mineração realizados no Brasil. Será conceituada a tecnologia de simulação aplicada a processos logísticos e demonstrado que esta tecnologia pode ser utilizada para avaliar todos os componentes da operação portuária de minério, insumos e produtos siderúrgicos, e quais são os dados de entrada e indicadores de desempenho comumente utilizados nos modelos de simulação para o teste comparativo de cenários. Serão apresentados casos práticos de aplicação da tecnologia na análise comparativa de investimentos em infra-estrutura portuária. A partir desses casos práticos, será possível afirmar que a tecnologia permite, em prazos aceitáveis, modelar cenários levando em consideração a dinâmica complexa da operação portuária, obtendo informações essenciais sobre níveis de desempenho. Se devidamente realizada, uma análise de simulação pode produzir resultados muito superiores aos alcançados por meio de cálculos em planilhas eletrônicas.

Palavras-chave: Investimento; Modelagem; Mineração; simulação de processos.

SIMULATION AND OPTIMIZATION OF ORE, INPUTS AND STEEL PRODUCTS

Abstract

This paper will investigate practical applications and its results achieved in steel and mining ports simulations projects in Brazil. Will be conceptualized simulation technology applied to logistics. It will be demonstrated it can be used to assess all components of ore, raw material and steel products port operations and which inputs data and KPIs are commonly used in modeling simulation to compare tests between scenarios. It will be shown applied case studies of this technology in comparative investment analysis in port infrastructure. From this applied studies cases, will be possible assert that this technology allows, in acceptable terms, to model scenarios considering the port operation complex dynamic, obtaining essential informations about performance levels. If properly performed, a simulation analysis can deliver superior results to those achieved through calculations in spreadsheet.

Keywords: Port investment ; Modeling ; Mining ; Process simulation.

¹ Contribuição técnica ao 30º Seminário de Logística – Suprimentos, PCP, Transportes, 15 a 17 de junho de 2011, Vitória, ES, Brasil.

² Engenheiro Consultor da Belge Engenharia – blaporte@belge.com.br, São Paulo – SP.

³ Diretor Técnico da Belge Engenharia – mfugihara@belge.com.br, São Paulo - SP.

⁴ Sócio - Diretor da Belge Engenharia – michel@belge.com.br, Rio de Janeiro - RJ.

1 INTRODUÇÃO

A melhoria na competitividade de uma organização pode ser impulsionada por uma série de fatores, tais como: a melhoria do processo, o aumento da produtividade, o aumento da qualidade e a redução dos custos. Para que esses fatores possam ser alcançados de forma global na empresa, alguns paradigmas entre os *trade-offs* de vendas, produção e logística precisam ser quebrados. A busca pela melhoria desses fatores gera uma demanda por estudos de novas metodologias, abordagens e ferramentas, capazes de fornecer aos gestores, informações claras e precisas que possibilitem a tomada de decisão. Neste contexto, a simulação computacional através do Promodel⁽¹⁾ se mostra uma técnica bastante eficaz na busca de respostas relativas à comparação de diferentes cenários.

Para cada situação, ou cenário, visualiza-se o funcionamento e comportamento dinâmico do sistema e, ao final, geram-se relatórios para que se possa analisar seu desempenho. Este desempenho pode ser medido através da identificação de gargalos, do nível de ocupação de equipamentos, transportadores e recursos humanos, além do monitoramento de variáveis de interesse como: estoques, ciclos produtivos e afins.

O objetivo deste artigo é apresentar como a tecnologia de simulação aplicada a processos portuários utilizando o arsenal de ferramentas do PortoSim⁽²⁾ em conjunto com o ProModel e *know how* de mais de 15 anos da Belge Engenharia tem contribuído como ferramentas de identificação e superação dos contrastes nos processos portuários e como algumas siderúrgicas e mineradoras brasileiras têm conseguido, através dessas ferramentas, reunirem os diferentes elementos da logística portuária, testá-los e otimizá-los, quebrando paradigmas entre os 'trade-offs' do sistema.

O surgimento de ferramentas cada vez mais acessíveis, tanto em preços quanto em facilidade de uso, tem feito com que a simulação de processos, venha cada vez mais, se popularizando e trazendo importantes resultados em diversas empresas brasileiras, entre as quais as siderúrgicas e de mineração.

2. O QUE É SIMULAÇÃO DE PROCESSOS

A Simulação de processos é uma forma de experimentar, através de um modelo, um sistema real, determinando-se como este sistema responderá a modificações que lhe são propostas. Em outras palavras: reproduz-se no computador um sistema real, para que seja possível através deste modelo, realizar testes de diferentes alternativas (*what if*), como destacam Law e Kelton.⁽³⁾

Este sistema pode ser definido como uma combinação de elementos que interagem para cumprir um objetivo específico. Um grupo de operadores, carregando um conjunto de caminhões de uma rede de transporte, constitui um exemplo simples de sistema logístico.

A simulação é um processo amplo, que compreende não somente a construção do modelo, mas também todo o método experimental que se segue, buscando, como mostra Gordon:⁽⁴⁾

- descrever o comportamento do sistema;

- construir teorias e hipóteses considerando observações efetuadas;
- usar o modelo para prever o comportamento futuro, isto é, os efeitos produzidos por alterações no sistema ou nos métodos empregados em sua operação.

Para cada modelo, é possível criar uma série de cenários nos quais haja interesse em avaliar mudanças nestes elementos, e, através dos relatórios gerados pelo simulador, é possível verificar o desempenho do sistema, identificando questões como: quais são os gargalos; como está a ocupação de equipamentos, transportadores e pessoas; como variaram algumas variáveis de interesse como: estoques, ciclo produtivo; entre outras.

A grande vantagem da simulação é que nesta metodologia, uma vez que o modelo está pronto, é possível avaliar múltiplos cenários sem sentir o impacto das mudanças, que ocorreriam caso fosse tentado cada uma das alternativas no sistema real. Isto tudo de maneira muito rápida, pois é possível simular muitos anos do modelo em poucas horas reais.

3 APLICAÇÕES EM PORTOS

As possibilidades de aplicação da simulação, como já comentadas, são imensas, e um dos setores onde mais se consolidou o uso da simulação é em portos.⁽⁵⁾ No presente artigo o foco será o de portos de minérios, insumos e produtos siderúrgicos. A fim de ilustrar a amplitude de aplicações dentro do setor portuário, serão apresentadas algumas aplicações desenvolvidas pelos autores deste artigo durante o desenvolvimento de projetos de consultoria. Cada aplicação ilustra diferentes áreas do processo portuário nos quais a simulação tem sido aplicada com resultados importantes.

3.1 SIMCAP – Sistema de Simulação da Capacidade do Porto de Minério de Ferro da Vale em São Luís / MA

O SIMCAP⁽⁶⁾ foi desenvolvido pela Belge na VALE para a simulação da capacidade do Porto de Ponta da Madeira em São Luís – MA. O modelo de simulação, feito em ProModel com a ferramenta PortoSim desse porto é utilizado para dimensionar a capacidade de movimentação de minério de ferro, planejar os recursos necessários (ferrovia, empilhadeiras, recuperadoras, viradores de vagões, pátios de estocagem, píeres, carregadores de navio etc.) para um aumento de demanda. Através de um modelo computacional, foram modelados todos os processos envolvidos desde o recebimento do minério, através de vagões, até o seu embarque em navios. São testadas diferentes taxas de produtividade, manutenções, capacidade e quantidade de equipamentos, dentre outros, facilitando a criação de cenários de aumento de demanda. Será apresentado o modelo desenvolvido, a sua operação (simulação) e a obtenção de resultados. Simulando-se o sistema, a partir de uma combinação de parâmetros (previsão de vendas, quantidade e produtividade dos equipamentos, aumentando a disponibilidade dos recursos, etc.) obtemos qual a capacidade de recebimento, estocagem e expedição de minério no terminal para diferentes demandas: 70 Mt/ano (situação atual), 90 Mt/ano e 130 Mt/ano.

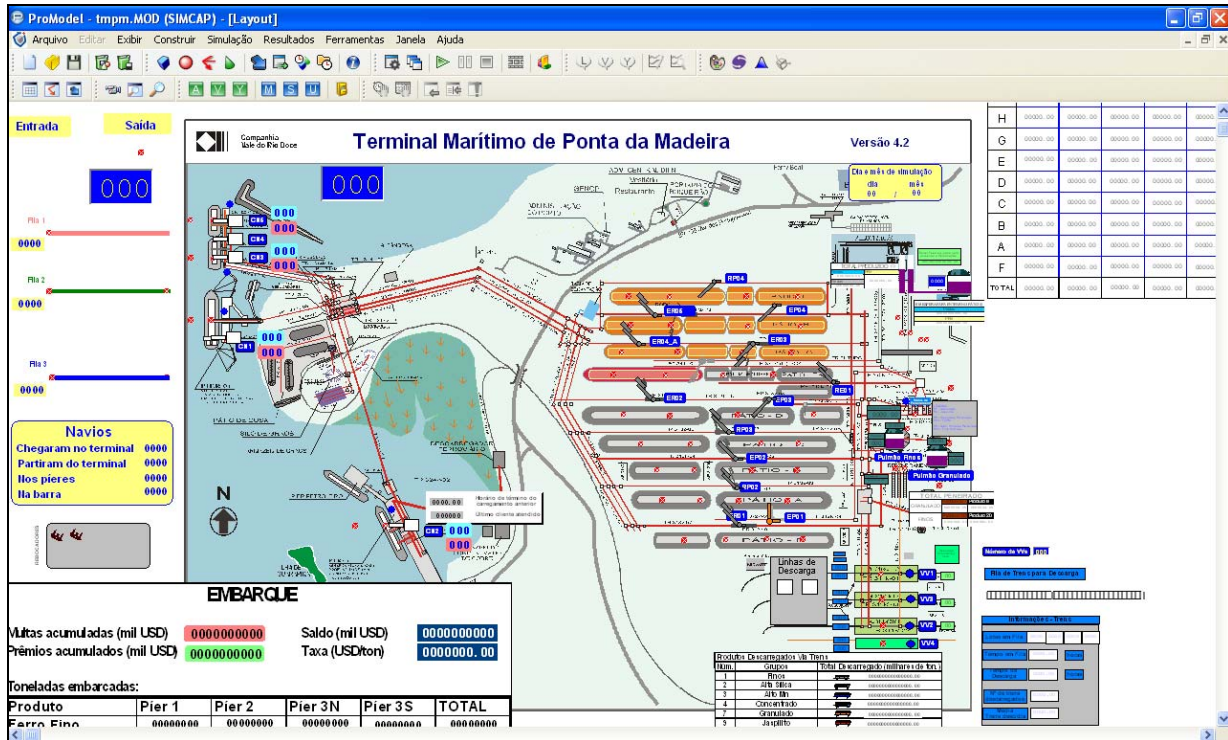


Figura 1: Visão geral do modelo.

O sistema é composto por três módulos:

- Gerador da fila de navios
 - baseado na previsão de vendas, o sistema gera uma fila de navios probabilística para o período que será simulado
- Gerador da fila de trens
 - baseado na fila de navios, o sistema gera as chegadas dos trens no terminal
- Modelo Completo
 - Trade-offs: Demanda (ships) X Insumos (trains)
 - regras de decisão
 - embarque, descarga, pátios, pelotização, peneiramento, etc

Esses três módulos são integrados de acordo com a arquitetura abaixo:

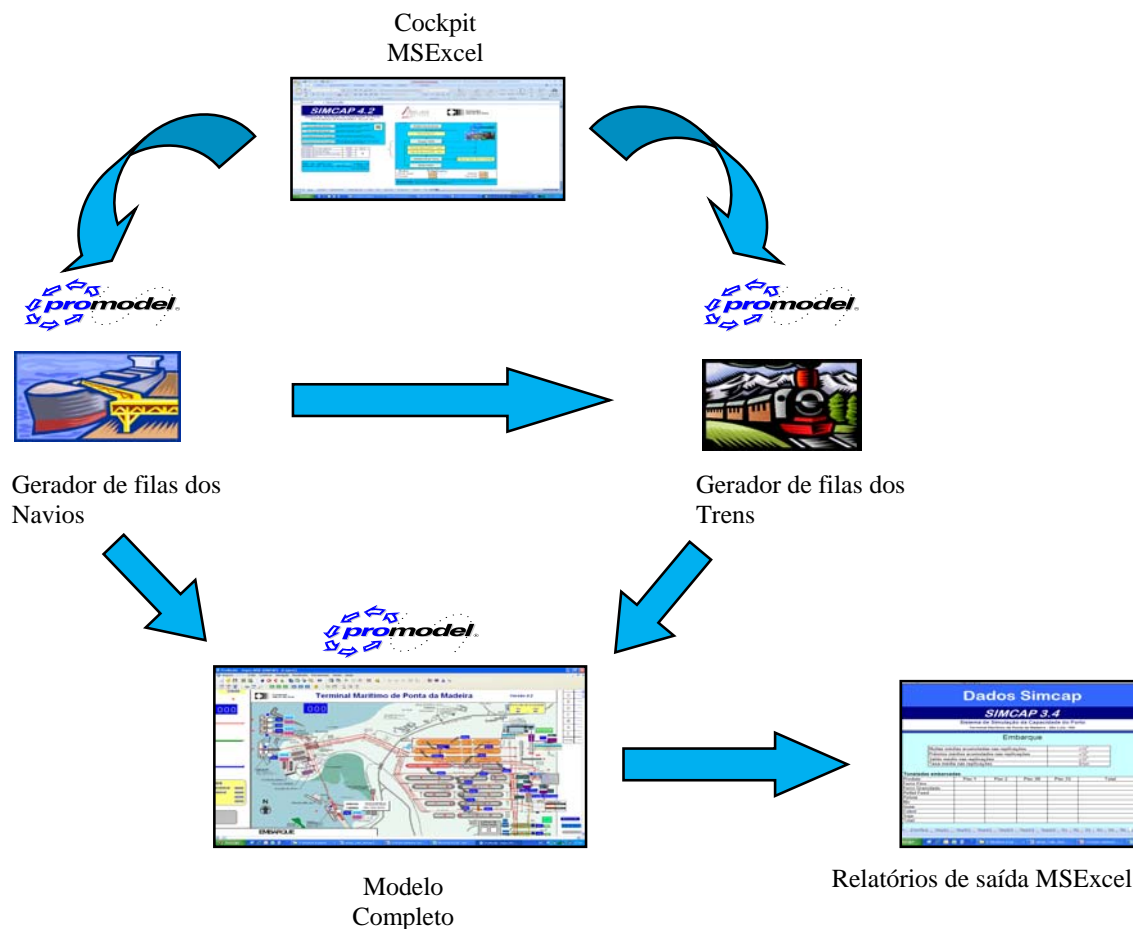


Figura 2. Arquitetura do Simcap

O sistema é composto por diversos arquivos, dentre eles vale destacar o Cockpit. Nesse módulo a Vale pode configurar os novos cenários de simulação. Ex: previsão de vendas, clientes, produtos, capacidade dos equipamentos (carregador dos navios, virador de vagões, empilhadeiras, recuperadoras), restrições da ferrovia, capacidade da área de armazenagem, ativar novos equipamentos (empilhadeiras, recuperadoras, rebocador, carregador de navio etc).

Resultados e aplicações:

- adequação da capacidade do porto para demandas futuras crescentes;
- identificação dos gargalos;
- avaliar onde são necessários os investimentos para ampliação do terminal; e
- ferramenta de apoio ao planejamento estratégico.

Após rodar um determinado cenário, o Simcap mostra os resultados de cada simulação em um relatório gerencial.



- Alguns Resultados:
- ✓ Demurrage
 - ✓ Filas de navios
 - ✓ Taxas comerciais
 - ✓ Fila de trens
 - ✓ utilização dos recursos
 - ✓ Estados dos locais
 - ✓ Volumes embarcados



Figura 3. Relatórios

Dessa forma, a tecnologia de simulação se tornou um importante aliado ao planejamento deste terminal, ajudando a VALE a responder questões como:

- O que é necessário fazer para atender a demanda?
- Como minimizar custos e aumentar a produtividade?
- Quais os investimentos necessários?
- Quais são os gargalos?
- O que acontece no porto em diversos cenários?

3.2 Simulação da Operação do Porto de Barra de Coqueiros – Votorantim Internacional

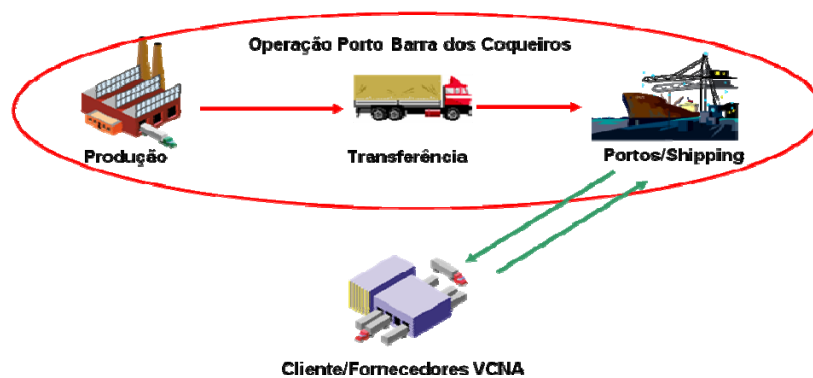
Trata-se da modelagem e simulação matemática dos processos logísticos relacionados ao ciclo de exportação de cimento e/ou clinker e importação de coque pelo porto de Barra dos Coqueiros⁽⁷⁾ que viabilizará a gestão eficiente dos embarques contratados em COAs e com possibilidade de simulações futuras para navios em Time Charter, além da identificação de gargalos na operação.

O projeto foi executado em três meses com apoio da Belge Consultoria através do programa ProModel. Foram designados pontos focais na Votorantim Cimentos e Internacional, no intuito de obter o melhor desenho da operação e de aprimorar a utilização do simulador (Industrial, Logística, *Trading* e *Shipping*).

Os pontos focais deram suporte ao desenho dos fluxos de fábrica, demanda, transferência, portos, shipping, definição de regras operacionais para cada operação, obtenção de taxas (transferência, expedição, silo, armazenagem), dados determinísticos e informações adicionais pertinentes as operações, além de validarem os resultados finais obtidos através dos cenários propostos.

O modelo possui em sua lógica, os módulos de Produção (Fábrica), Transferência (Logística) e Portos (*Shipping/Trading*). Para cada um dos módulos, a parametrização

foi feita de acordo com a operação real, contendo taxas, tempos e regras que deverão trazer resultados coerentes com a realidade.



Cliente/Fornecedores VCNA

Figura 4: Macro fluxo do modelo.

O Porto de Barra de Coqueiros localiza-se em Sergipe e foi construído em parceria com o Governo do estado e a Petrobrás. Com a troca da vigência do direito de administração do porto, a empresa teria maior participação e partir de 2012. Sua operação é baseada em granéis sólidos, sendo eles: coque, cimento, uréia, trigo e fertilizantes.



Figura 5: Porto Barra dos Coqueiros.

Estudos históricos e projeções demonstravam que a participação da Votorantim Internacional no porto atingiria um patamar de aproximadamente 80% da movimentação do porto e com isso, para os próximos anos, a demanda superaria a capacidade em mais de 200%.

Este projeto abordava outros módulos além do porto, como o Módulo Fábrica e o Módulo Transferência. O primeiro faz o consumo dos produtos para gear o fluxo no porto. Já o segundo faz o transporte desses produtos do porto à fábrica e vice-versa. Para uma análise completa do processo portuário, esses dois processos adjacentes foram necessários, porém o foco do projeto foi na área portuária. A seguir, uma visão geral esquemática do todo o modelo de simulação.

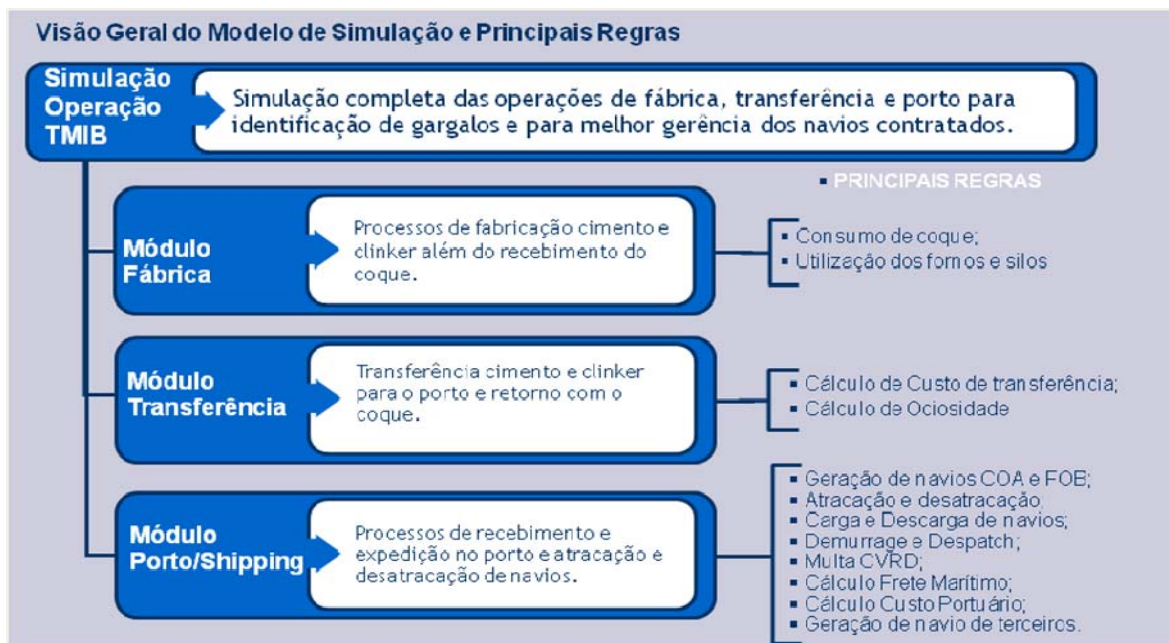


Figura 6: Visão geral do Modelo de Simulação.

O Porto de Barra dos Coqueiros teve todos os seus equipamentos modelados, de acordo com as informações existentes e regras de utilização previamente definidas com os envolvidos na operação.

O ressuprimento (reabastecimento) dos silos no porto ocorre utilizando a premissa de manter o estoque cheio. Assim, se houver espaço em um silo de cimento com o mesmo produto do próximo embarque, este silo começará a receber o produto da próxima carga.

Conclusões:

- Há uma alta taxa de ocupação do berço, entre 62% e 67%. Sendo assim, o Porto de Barra dos Coqueiros perde eficiência, considerando que um porto deixa de ser eficiente quando ultrapassa 50% sua ocupação do berço.
- A alta taxa de ocupação do berço reflete diretamente na fila média obtida que foi de 2,1 dias
- A demurrage estimada foi de R\$ 1.989.519, com um atendimento de 96% da programação de navios.
- Há uma tendência de não carregamento dos dois últimos embarques programados em 2007 em virtude do alto índice ocupação do berço e pranchas de carregamento/descarregamento.

3.3 Recebimento e Movimentação de Matérias-primas

Uma grande empresa siderúrgica entrou em operação recentemente no Rio de Janeiro. Durante a sua construção foi desenvolvido um modelo de simulação para auxílio na tomada de decisão nas operações de recebimento e abastecimento dos

pátios de matérias primas, e avaliar capacidades de transporte, gargalos operacionais, assim como restrições e opções de movimentação.

Uma das grandes preocupações dessa empresa, no tocante as operações de recebimento e abastecimento de material, é o de garantir a produção contínua de ferro gusa e seus insumos como coque e sinter. Hoje, sem uma ferramenta que consiga visualizar todas as interações das rotas de transporte, é relativamente difícil produzir a 100% da capacidade sem o risco de faltar insumos ou silos para a estocagem de materiais.

A utilização dos equipamentos dos pátios para o empilhamento e recuperação também é outro ponto de difícil mensuração e pode impedir o recebimento ou o abastecimento de materiais.

O tempo de permanência de navios no porto, seja trazendo carvão ou coque para os pátios, ou retirando produtos siderúrgicos, deve ser no menor tempo possível a fim de se evitar pagamentos de multas. O desembarque de carvão ou coque através de correias depende de vários fatores: disponibilidade das correias e dos equipamentos nos pátios; área livre nos pátios; entre outros. Como normalmente a quantidade de material a ser desembarcado é relativamente grande, não podemos disponibilizar as correias e os equipamentos necessários durante todo o descarregamento de um porão do navio, por exemplo. É preciso haver intervalos para que essas correias e equipamentos possam atender a outras solicitações que sejam mais prioritárias e que não possuam alternativas de uso de outros recursos.

Neste projeto, que foi conduzido através do emprego da tecnologia de modelagem e simulação do software ProModel®, foi desenvolvido uma ferramenta (modelo) para avaliar o impacto que diferentes cenários teriam sobre as rotas (conjunto de correias) e equipamentos para as operações de recebimento e abastecimento. O modelo representa a rede de transporte dessa empresa, de tal forma a permitir uma simulação semelhante das operações praticadas. Além disso, podemos modificar as características de cada componente, como por exemplo: taxa de produção, taxa de consumo, quantidade de recebimentos, níveis de estoque nos pátios, níveis de estoque nos silos, etc., e também verificar o reflexo que isso causaria nas operações citadas. Em suma, temos muita flexibilidade na criação de cenários e, com os resultados obtidos nessas simulações, atuar nos pontos críticos (gargalos, falta de recursos, ociosidades, etc.) que podem surgir.

A aplicação da simulação nas áreas de recebimento de materiais será ilustrada através da apresentação de um projeto de simulação da capacidade de um pátio de matérias primas. Projeto este que permite a verificação de eventuais faltas de insumos para consumo em função da chegada programada de navios e de trens, e da demanda dos setores consumidores (coqueria, sinterização e altos-fornos), conforme a Figura 7.

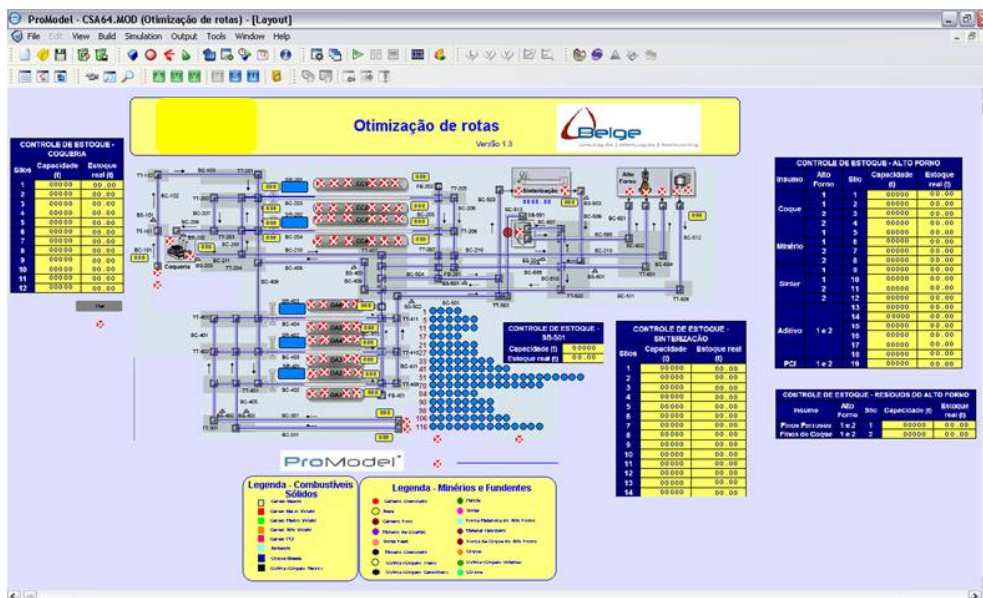


Figura 7: Pátio de Matérias Primas.

O modelo de parâmetros físicos do modelo inclui, entre outros:

- produtos, em número variável;
 - silos, em número variável, diferentes capacidades e estoque mínimos;
 - pátios de estocagem, em número variável e diferentes capacidades;
 - *stackers/reclaimers*, em número variável;
 - rotas de transporte, em número fixo e capacidades variáveis;
 - coqueria, em número fixo e taxas de produção e consumo variáveis;
 - sinterização, em número fixo e taxas de produção e consumo variáveis;
 - alto forno, em número fixo e taxas de produção e consumo variáveis.
- O modelo de parâmetros lógicos do modelo inclui, entre outros:
- tempo de simulação;
 - relações de interferência entre rotas;
 - relação de prioridade entre rotas;
 - destino de armazenagem após o recebimento do material;
 - paradas de manutenção.

Os indicadores resultantes da simulação definidos durante o projeto são os seguintes:

- utilização de recursos (*stackers/reclaimers*);
- variação de estoques dos silos;
- variáveis que indicam as quantidades excedentes da produção de sinter e resíduos, que não conseguem ser absorvidas pelos silos ou pátios;
- distribuição de chegadas de materiais ao longo do tempo;
- gráfico de Gantt da utilização das rotas (utilização x horário) (Figura 8).

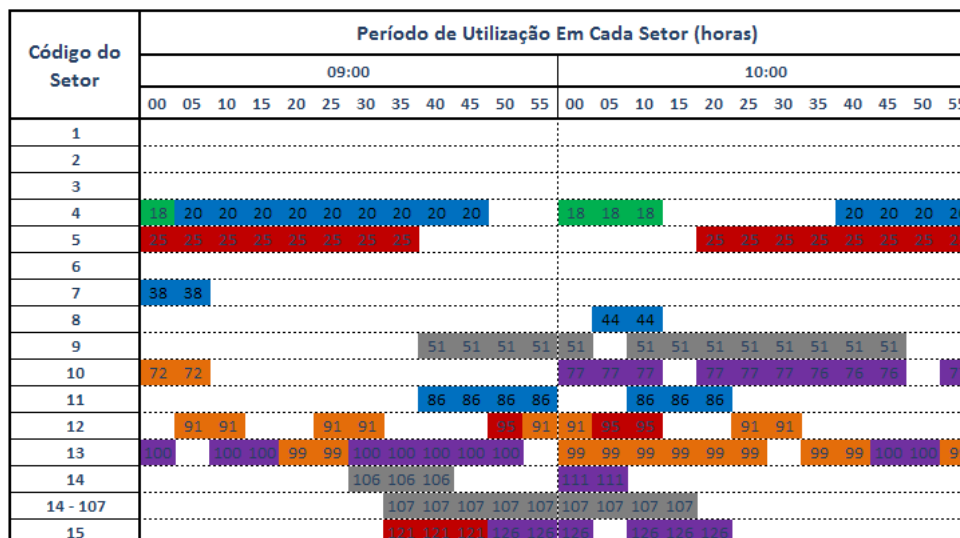


Figura 8: Gráfico de Gantt da utilização das rotas.

A planta dos pátios possui hoje:

- quatro faixas para estocagem de carvão;
- seis faixas para estocagem de minério de ferro, fundentes e aditivos;
- uma coqueria;
- uma sinterização;
- dois altos-fornos;
- um virador de vagões;
- um píer;
- diversas correias e torres de transferência, conforme planta acima;
- cinco máquinas stacker/reclaimer, sendo duas nos pátios de carvão e três nos pátios de minério de ferro;
- silos na coqueria (12 para insumos com produção contínua de coque), na sinterização (14 para insumos, com produção contínua de sínter; 1 para armazenagem e abastecimento de sínter) e nos altos-fornos (19 insumos; 2 para saída de resíduos).

4 OBSERVAÇÕES FINAIS

A simulação torna-se fundamental e completamente aplicável em praticamente qualquer tomada de decisão nos projetos logísticos, sendo eles portuários ou não, de forma que auxilia as empresas a superar contrastes em toda sua cadeia de suprimentos, como foi mostrado nestes diversos casos apresentados. Ferramentas como planilhas eletrônicas e diagramas de fluxos são extremamente limitadas quando utilizadas isoladamente, gerando grandes dificuldades na obtenção de informações em tempo hábil para a tomada de decisões. Esta dificuldade e falta de agilidade na tomada de decisão pode derrubar uma empresa frente ao mercado cada vez mais competitivo.

A preocupação quanto à viabilidade prática desta tecnologia é compreensiva por se tratar de uma tecnologia ainda inovadora no país. Cabe aqui ressaltar alguns pontos:

- Um projeto de simulação deve se adequar ao objetivo ao qual se propõe. Devem ser priorizados os projetos que em focam os maiores problemas presentes na empresa, e que tem maior potencial de gerar ganhos financeiros. O nível de detalhe do modelo deve se adequar aos objetivos.⁽⁸⁾ Ou seja: em certos casos um modelo mais macro já permite observar as variáveis de interesse, e seu maior detalhamento seria um desperdício de esforço. Em outros casos pode valer à pena investir num nível de detalhamento maior, devido aos valores envolvidos.
- Convém certificar-se em que categoria se enquadra o software, pois existem ainda no mercado fornecedores comercializando gerações de software já ultrapassadas. No Brasil já há ferramentas de 4a. Geração a preços bastante acessíveis, inclusive traduzidos para o português, o que permite que já se inicie o uso de simulação com ferramentas bem amadurecidas, amigáveis e customizadas.

REFERÊNCIAS

- 1 ENGENHARIA, Belge. ProModel. Produtos. Disponível em: <http://www.belge.com.br/promodel.php>. Acesso em 31 mar. 2011
- 2 ENGENHARIA, Belge, PotoSim. Produtos. Disponível em: <http://www.belge.com.br/portosim.php>. Acesso em 31 mar. 2011
- 3 LAW, A. M. e KELTON, W. D. Simulation Modeling and Analysis, 3rd ed. MacGraw-Hill. 2000.
- 4 GORDON, G. System Simulation, 2nd ed. Prentice-Hall.1978
- 5 Innovation, anais das 8 Conferências Internacionais de Tecnologia de Simulação ocorridas de 1999 a 2011. <http://www.belge.com.br/congressos.php>
- 6 ENGENHARIA, Belge, Case Vale. Cases. Disponível em: http://www.belge.com.br/IndLog_vale_Port.php. Acesso em 31 mar. 2011
- 7 ENGENHARIA, Belge, Case Votorantim Internacional. Cases. Disponível em: http://www.belge.com.br/IndLog_votorantim2_Port.php. Acesso em 31 mar. 2011
- 8 HARRELL, C. R; BATEMAN, R. E.; GOGG, T. J.; MOTT, J.R.A.; System Improvement Using Simulation (PROMODEL Co, IST-Integrated Systems Technonoly Inc., JMI Consulting Group).