



ANÁLISE DE RESTRIÇÕES NO ESCOAMENTO DE SEMIACABADOS E PRODUTOS NA USINA PRESIDENTE VARGAS¹

Alexandre Moreira Rocha²

Victor Eduardo Kruschewsky Whehaibe³

Paulo Vítor Bianchini Silva⁴

Gustavo Nucci Franco⁵

Resumo

A estratégia da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) envolve alternativas de investimentos nas linhas produtivas da Usina Presidente Vargas (UPV), fazendo-se necessário estudar potenciais restrições de armazenagem, movimentação e transporte de semiacabados e produtos siderúrgicos. Para isso foi desenvolvido um estudo do sistema logístico, utilizando como ferramenta a simulação de eventos discretos, buscando identificar e quantificar as restrições e definir propostas de melhorias viáveis para a realização com sucesso do fluxo de materiais em determinados cenários futuros. O estudo teve como etapas um extenso trabalho de mapeamento de processos, construção e validação do modelo computacional, simulação de alternativas e análises de cenários. Para a construção do modelo computacional foi utilizado o software Arena da Rockwell Automation. No final, foram propostas de solução foram testadas e validadas através do modelo desenvolvido.

Palavras-chave: Movimentação; Transporte; Armazenagem; Modelo computacional.

RESTRICTIONS ANALYSIS OF THE SEMI FINISHED AND FINISHED PRODUCTS FLOW IN PRESIDENT VARGAS PLANT

Abstract

Evaluations of production lines investments are part of CSN strategy and due to this, analysis of potential bottlenecks for storage, handling and transportation of steel products and semi-finished are required. For that purpose was developed a study of the logistics system where a discrete event simulation tool was applied, in order to identify and quantify the constraints, as well as to define solution proposals to guarantee the appropriate material flow in future scenarios. The study was structured in phases, which are process mapping, development and validation of computational modeling, simulation run and analysis of scenarios. The computer model was developed in the Arena software of Rockwell Automation. As a result, solution proposals were tested and validated by this model.

Key-words: Handling; Transport; Storage; Computational modeling.

¹ Contribuição técnica ao 31º Seminário de Logística – Suprimentos, PCP, Transportes, 19 a 22 de junho de 2012, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Eng. Mecânico, Gerente de Operação de Transporte Interno da Companhia Siderúrgica Nacional

³ Eng. Produção, Pós graduado em Administração de Empresas. Eng. Especialista da Companhia Siderúrgica Nacional.

⁴ Eng. Produção. Eng. Transporte da Companhia Siderúrgica Nacional.

⁵ Doutor. em Engenharia Mecânica. Eng. da Franco Arbeit Engenharia.



31º Seminário de Logística

Suprimentos - PCP - Transportes

1 INTRODUÇÃO

A estratégia da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) envolve alternativas de investimentos nas linhas produtivas da Usina Presidente Vargas (UPV), aumentando, assim, a sua capacidade produtiva. No entanto, a avaliação da armazenagem, manuseio e transporte de semiacabados e produtos siderúrgicos são fundamentais para essas decisões de investimentos. Parte de uma série de ações planejadas pela Diretoria Executiva de Produção, este projeto estudou o sistema logístico de escoamento, com foco nas linhas de decapagem ácida, laminação a frio e outras linhas de acabamento.

Tendo como objetivo principal a identificação e quantificação de restrições e a definição de propostas de melhorias viáveis para a realização com sucesso do fluxo de materiais em cenários futuros, o estudo realizou um extenso trabalho de mapeamento de processos, construção e validação de um modelo computacional, simulação de alternativas e análise de cenários. Ponto fundamental para seu sucesso, o projeto contou não apenas com a participação da equipe de logística interna, a qual conduziu o projeto, mas também de todas as unidades envolvidas.

A área foco do estudo possui um sistema de escoamento complexo, com elevado grau de interferência, dada a interrelação de diversas variáveis e suas respectivas aleatoriedades. Não obstante a essa complexidade, foram também adicionadas outras áreas ao escopo do estudo de forma que se obtivesse a seqüência completa de laminação, acabamento, armazenagem e expedição da planta para que se obtivesse, não só a entrega do estudo, mas também uma ferramenta abrangente para uso posterior. Assim, o estudo envolveu todas as áreas de armazenagem e recursos de movimentação das máquinas de lingotamento contínuo, laminador de tiras à quente, os laminadores à frio, linhas de tratamentos térmicos e mecânicos, linhas de revestidos (zincagem e estanhamento), entrepostos de expedição e transporte ferroviário.

O escopo abordado pelo estudo classifica o modelo desenvolvido como sendo de grande porte, o que levou à necessidade de uma abordagem apropriada para garantir sua exequibilidade. Ao final, foram analisados:

- 40 linhas de produção;
- 69 áreas de armazenagem;
- 30 entrepostos;
- 136 fluxos de produtos;
- 94 pontes rolantes;
- 35 km de linhas férreas.

Em virtude do cenário exposto acima, a equipe técnica da área de logística interna da CSN optou por utilizar ferramentas de Simulação de Eventos Discretos, que não poderiam ser representados e estudados de maneira estática (e.g. planilhas eletrônicas). Segundo Banks e Carson,⁽¹⁾ a simulação é uma ferramenta apropriada quando o desenvolvimento de um modelo analítico é muito difícil ou mesmo impossível, tais como em sistemas complexos e cuja aleatoriedade é importante.

Harrell e Tunay⁽²⁾ apontam que a Simulação em Computador passou a ter maior importância a partir da década de 1950 com sua utilização como ferramenta de planejamento de estratégias militares, o que foi logo seguido pela indústria aeroespacial que também começou a utilizá-la. No entanto, foi apenas nas últimas duas décadas do



31º Seminário de Logística

Suprimentos - PCP - Transportes

século XX que a simulação começou a ganhar mercado de forma expressiva, até chegar a sua popularidade atual.

Franzese, Fioroni e Botter,⁽³⁾ apresentam aspectos e resultados da simulação de um sistema de transporte ferroviário de carvão através da Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM), pertencente a Vale. Com esse, foi possível determinar o tamanho de composições, o impacto de mudanças na configuração física das linhas e a influência de quebras e acidentes no desempenho da malha como um todo.

Lima et al.⁽⁴⁾ divulgam a experiência da ArcelorMittal Tubarão na utilização de modelos de Simulação em Computador para analisar o pátio de placas do laminador de tiras a quente diante de um cenário de aumento de capacidade produtiva. Ponto até então restritivo, as regras de operação desse pátio foram analisadas e alteradas, bem como novos investimentos foram virtualmente testados e validados via ferramenta computacional. Modelo singular dada à necessidade de se tratar a programação das máquinas de lingotamento contínuo, o problema de formação de chances de laminação e a complexa operação do pátio (e.g. formação de pilhas que minimizem as movimentações), esse trabalho representa um marco no cenário nacional por desenvolver em linguagem Java um simulador de eventos discretos.

A Simulação em Computador é uma representação idealizada do sistema estudado, mas, para se chegar a esse modelo computacional adequado, houve um trabalho exaustivo de entendimento e mapeamento das operações e processos envolvidos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Ao se trabalhar com escopos extensos, com um número elevado não apenas de elementos físicos, mas também de responsáveis pela operação do sistema em si, deve-se dar uma atenção especial à abordagem adotada. Isso parte da seleção da metodologia adequada, com diretrizes, técnicas e procedimentos muito bem estabelecidos para garantir um trabalho sistemático e robusto.

Essa visão sistêmica do problema é o que auxilia a compreensão das partes de um sistema e suas relações dinâmicas. Franco⁽⁵⁾ aponta que um sistema é um grupo de partes interdependentes ou temporárias. As partes são genericamente sistemas por si só e são compostas por outras partes, assim como sistemas são genericamente partes de outros sistemas. Segundo Iarozinski Neto e Leite,⁽⁶⁾ a abordagem sistêmica busca compreender, conceber e modelar os fenômenos o mais próximo possível da realidade, respeitando-lhes as características próprias e o contexto no qual estão inseridos.

Modelos são partes integrantes da vida cotidiana. Quando um apartamento em construção é avaliado, o negócio se torna mais atrativo quando sua maquete, modelo em escala de como o prédio deverá ser, agrada aos olhos do potencial comprador. Similarmente, modelos desempenham um papel importante no mundo científico e empresarial, como pode ser ilustrado através de modelos de átomos e de estruturas genéticas, equações diferenciais para previsão de populações e gráficos e diagramas organizacionais.

Basicamente, este projeto abordou a utilização de dois tipos de modelos:

- *Modelos conceituais*: representações de operações e processos para se criar uma abstração do funcionamento do sistema. Nessa modelagem, materiais, informações e documentos são utilizados por recursos, gerando um fluxo de como as atividades são executadas.

31º Seminário de Logística

Suprimentos - PCP - Transportes

- *Modelos computacionais*: tradução dos modelos conceituais em linguagem computacional para sua posterior simulação.

2.1 Mapeamento e Detalhamento das Operações

O entendimento do problema partiu de visitas às áreas em estudo, realizando entrevistas com os colaboradores e observações das operações envolvidas. Além de uma descrição textual das principais características do sistema, o principal resultado foi sua modelagem conceitual, levando a mapas que descrevem o fluxo de atividades pelo sistema estudado.

Basicamente, dois níveis de modelos conceituais foram desenvolvidos:

- mapeamento dos fluxos de materiais; e
- detalhamento das operações em cada entreposto e no sistema de transporte.

Um exemplo de mapa de fluxo desenvolvido pode ser observado na Figura 1.

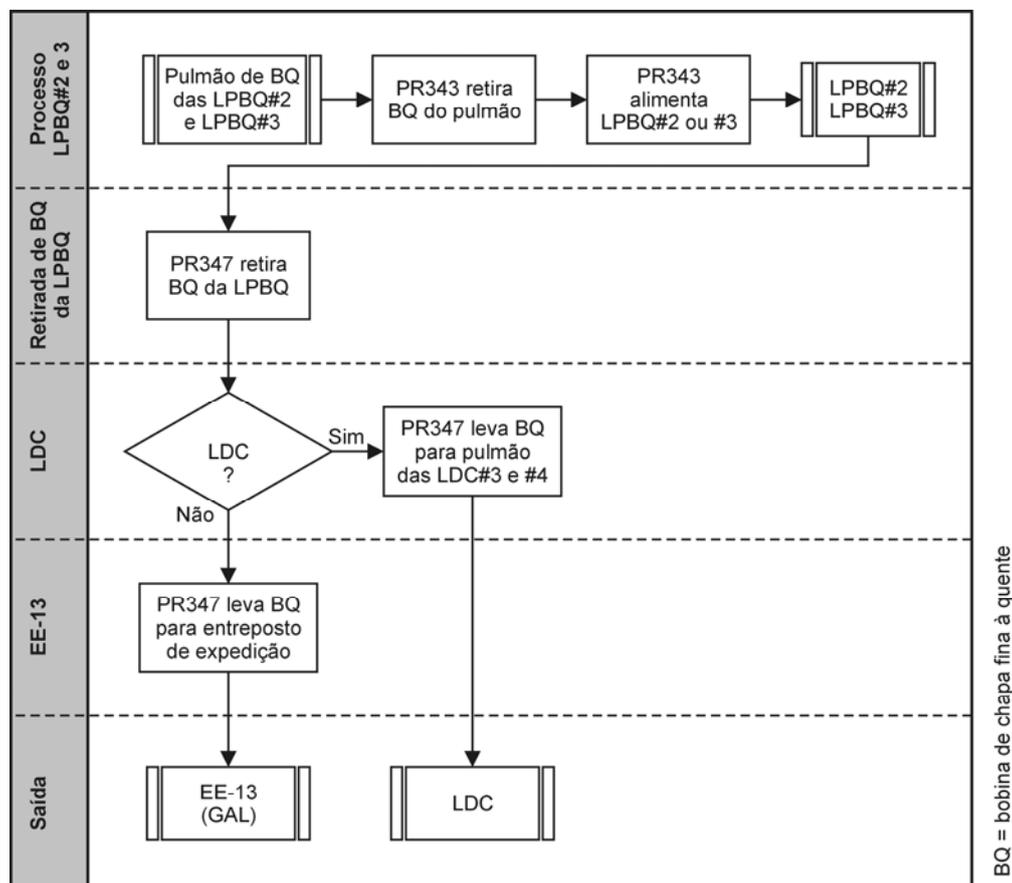


Figura 1: Exemplo de mapa de fluxo de processo.

Ao utilizar conceitos de Modelagem de Processos de Negócio, Bandara, Gable e Rosemann,⁽⁷⁾ dizem que a modelagem conceitual garante o correto entendimento de como operações e processos são executados. Ferramentas visuais de clara



31º Seminário de Logística

Suprimentos - PCP - Transportes

interpretação, os mapas desenvolvidos foram apresentados e validados junto aos responsáveis por cada área envolvida no projeto.

Esses modelos serviram, ainda, para apoiar a identificação preliminar de pontos críticos, uma vez que descrevem relações que evidenciam eventuais problemas.

Para aumentar a confiabilidade dos dados coletados, foi realizado um extenso trabalho de coleta de dados *in loco*. Plantas foram confrontadas com o ambiente físico e parâmetros operacionais dos diversos recursos envolvidos foram coletados através de cronoanálise. Para esse trabalho, a equipe de executores do projeto contou com a participação de profissionais da Célere Intralogística, empresa especializada em movimentação interna.

2.2 Simulação em Computador

Turing⁽⁸⁾ utilizou o termo “simulação” para descrever o que ocorre quando computadores digitais executam o que hoje chamamos de programas: a transição entre estados. Mas, Banks⁽⁹⁾ diz que uma vez definido que um modelo é uma aproximação do mundo real, pode-se simplesmente dizer que simular significa submeter esse modelo a repetidas observações. E quando esse modelo é uma representação do sistema real através de uma linguagem computacional, chega-se a simulação em computador.

Jones⁽¹⁰⁾ discorre que o fluxo de tempo em um modelo de simulação pode ser administrado de diferentes maneiras, o que depende da natureza do sistema modelado. A simulação contínua é utilizada quando as mudanças de estado ocorrem continuamente no tempo, como no resfriamento de uma bobina laminada a quente. No entanto, é impossível se obter uma variação contínua em variáveis de computadores digitais, devendo-se para isso utilizar uma discretização pequena o suficiente para se tornar imperceptível.

A Simulação de Eventos Discretos é utilizada para modelar sistemas que mudam de estado em pontos discretos no tempo, tal qual no acionamento de uma máquina como uma linha de laminação. Dessa maneira, essa se torna a abordagem mais adequada para simular sistemas produtivos, como desenvolvido neste projeto.

Os modelos conceituais desenvolvidos foram então traduzidos para uma linguagem computacional de simulação. Neste projeto, foi utilizada o Arena, ambiente integrado para simulação de eventos discretos através de uma interface gráfica, o qual é produzido pela Rockwell Automation e representado no Brasil pela Paragon Tecnologia. Por se tratar de um modelo de grande porte, buscou-se a maior modularidade possível através da utilização de *templates* (recurso desse software que permite a criação de módulos especializados).

Ponto importante antes de se iniciar qualquer modelagem, a escolha do nível de detalhamento adequado para o escopo é fundamental para o sucesso de um projeto de simulação. Uma vez definido “o que modelar”, deve-se responder à pergunta: “como modelar?”. Trata-se da profundidade do modelo, ou seja, a quantidade de detalhes a serem considerados.

Dada a natureza do sistema modelado, optou-se por um modelo tático, embora apoiado por operações como a movimentação de pontes rolantes.

Ainda, foi adotado o conceito de fluxo puxado na modelagem da logística nos entrepostos da CSN. As esteiras de entrada das linhas funcionam como verdadeiros *kanbans*, sinalizando para a movimentação de uma bobina no momento em que essa é



31º Seminário de Logística

Suprimentos - PCP - Transportes

necessária. O mesmo acontece no fluxo entre os pulmões das linhas, onde o pulmão de saída de uma somente consegue enviar uma bobina para o pulmão de alimentação da linha seguinte se este tiver espaço.

Como resultado dessa etapa obteve-se um modelo representativo e ajustado do atual cenário de produção, transporte e armazenagem de produtos semiacabados e acabados da UPV, tornando-se esse uma ferramenta de apoio a decisão e entendimentos de problemas. A tela do software Arena com uma vista do modelo de simulação desenvolvido neste projeto pode ser vista na Figura 2.

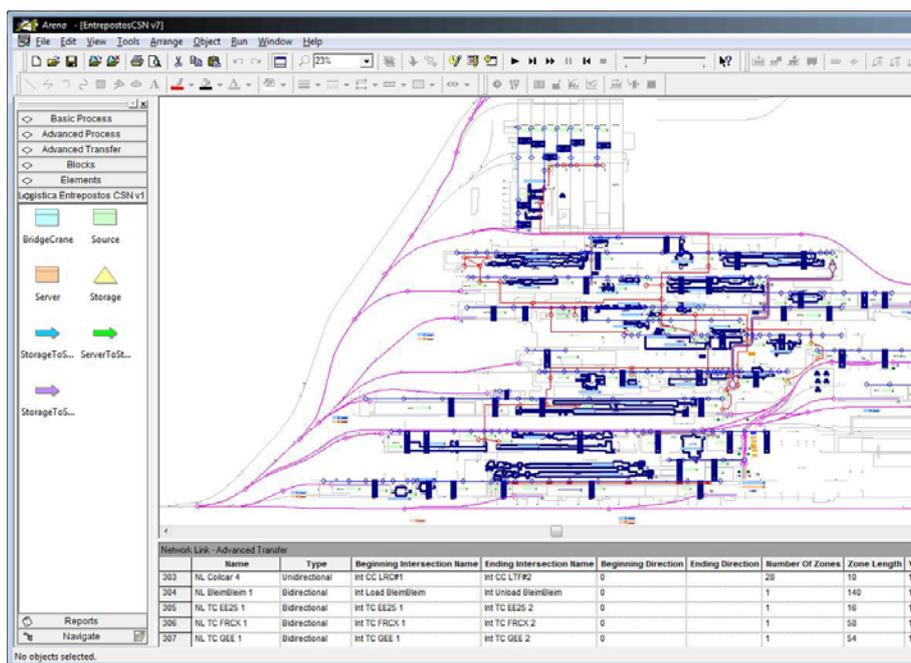


Figura 2: O modelo de simulação desenvolvido.

2.3 Análise de Cenários

A partir do modelo de simulação computacional desenvolvido, foi possível realizar testes de diferentes cenários com o objetivo de analisar o comportamento do sistema de transporte e armazenagem.

Foi realizado teste com os números atuais de produção e verificou que o modelo desenvolvido está aderente a realidade, foi possível também observar possíveis gargalos caso alguma interferência ou aumento de produção ocorra.

Levando em consideração o possível aumento da produção de laminados, foi realizado teste com os novos números de produção. Através desse teste foi possível observar que a atual configuração da UPV não irá atender a nova produção por existir gargalos que impedem a nova meta.

2.4 Propostas de Melhorias e Testes de Alternativas

A partir da identificação dos gargalos, a equipe de execução do projeto propôs melhorias que foram levadas para discussão com as áreas envolvidas em um



31º Seminário de Logística

Suprimentos - PCP - Transportes

Workshop Executivo liderado pela própria Diretoria Executiva de Produção. Esse também teve como objetivo o levantamento de novas propostas para serem testadas e analisadas no modelo de simulação computacional.

Munidos de novas alternativas, o próximo passo foi analisá-las com o objetivo de identificar a melhor solução, novamente o modelo computacional desenvolvido foi utilizado. Foram criados diversos cenários contemplando as alternativas, após análises de todos foi possível identificar as melhores.

Como última etapa do estudo, foram apresentados os resultados obtidos com as análises, bem como as sugestões de investimentos que se adequam ao possível aumento de produção de laminados da UPV.

3 RESULTADOS

A partir dos testes realizados com a possível demanda futura de produção foram encontradas restrições no objeto estudo do projeto.

Um exemplo desse comportamento restritivo é a operação do pátio de saída de produtos das linhas de decapagem ácida, local de elevada interferência entre as pontes rolantes e cuja capacidade de movimentação se mostrou aquém da demanda futura, sendo um potencial gargalo do sistema. O nível de utilização desses recursos pode ser observado na Figura 3.

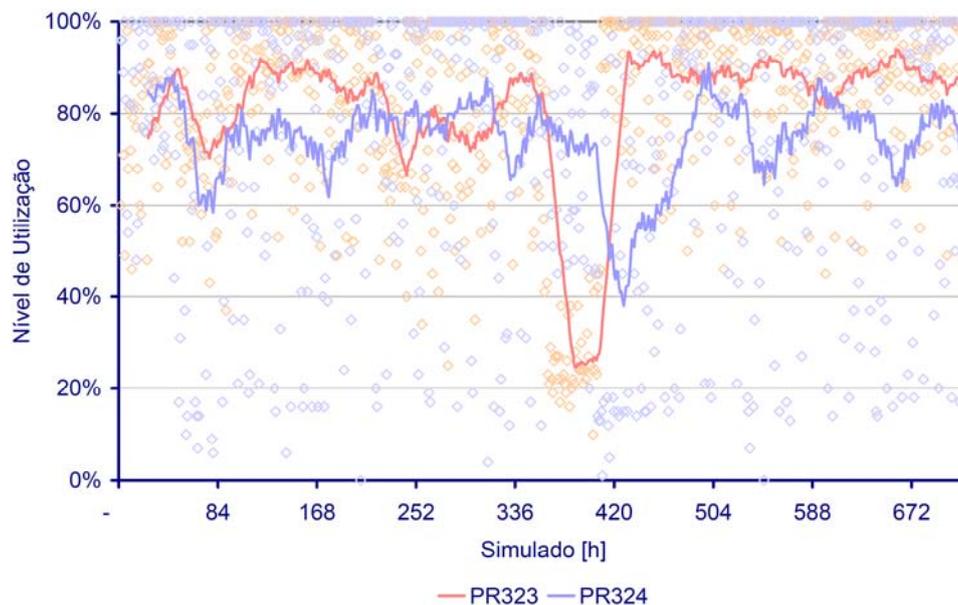


Figura 3: Nível de utilização das pontes rolantes das linhas de decapagem ácida simulado no cenário futuro.

Além das linhas contínuas que indicam o nível de ocupação médio dos recursos ao longo das últimas 24 horas, os valores horários são apontados no gráfico através de cada marcador. Essa análise pontual é importante, pois os valores médios nem sempre representam a realidade da operação. Embora o nível de ocupação médio dos recursos tenha ficado em 81,2% e 74,7%, podem ser observados longos períodos onde o excesso de tarefas levou a horas contínuas de ocupação plena.



31º Seminário de Logística

Suprimentos - PCP - Transportes

Uma consequência direta da falta de capacidade de movimentação das pontes rolantes, sobretudo nesses momentos em que os recursos estão sobrecarregados, é que a retirada de bobinas na saída das linhas fica prejudicada e, ao encher uma dessas esteiras, há a parada do equipamento e uma perda de produção. A Figura 4 mostra exatamente essa consequência, sendo simulada, para uma programação de produção futura, uma divergência total de 18,7% no alcance das metas futuras de produção.



Figura 4: Divergência (produzido – programado) nas linhas de decapagem ácida simulada no cenário futuro.

Outro problema identificado foi a falta de capacidade em carregar vagões com bobinas para os laminadores à frio das linhas de folhas metálicas e para venda direta. Com um tempo de ciclo de carregamento maior, consequência do atendimento da ponte rolante de carregamento (PR324), o fluxo de bobinas para as demais naves foi abaixo da demanda virtualmente programada.

Além dessa restrição descrita no pátio da decapagem, outras também foram evidenciadas pela simulação e, ao serem apresentados seus resultados para os responsáveis pelas áreas envolvidas no projeto através do Workshop Executivo, houve uma reação coletiva na busca de soluções alternativas. Essas soluções foram implementadas no modelo e testadas para que fosse possível prever seus benefícios.

Especificamente para a restrição de fluxo de bobinas no pátio da decapagem, entre as diversas soluções apontadas, destaca-se aqui: (1) extensão da esteira de saída da linha 3 até o pátio de BQD e (2) aquisição de uma nova ponte rolante. A primeira solução gerou o desempenho esperado, reduzindo as movimentações dos recursos e garantindo o fluxo necessário, tanto na saída das linhas de decapagem quanto na transferência para as linhas seguintes (Figura 5). O nível de ocupação médio das duas pontes rolantes desse pátio teve uma redução expressiva de 44,9 p.p. Já a instalação de uma nova ponte rolante não atingiu o resultado esperado: o aumento das interferências dos recursos limitou o fluxo e não eliminou a restrição.

31º Seminário de Logística

Suprimentos - PCP - Transportes

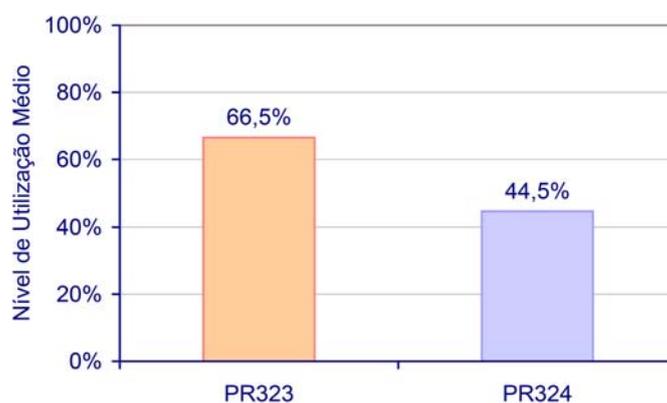
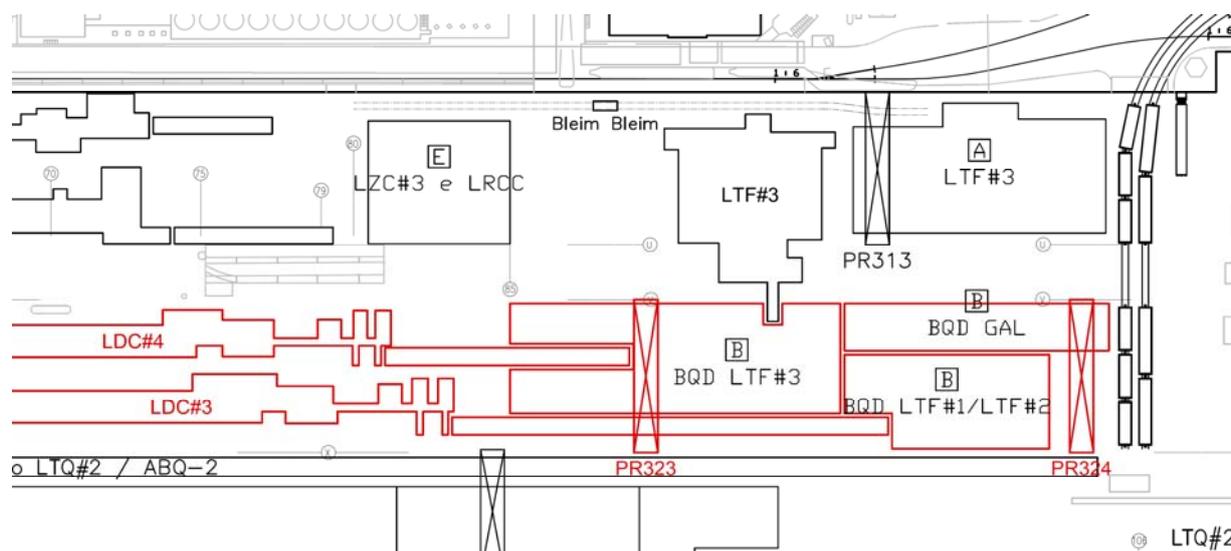


Figura 5: Efeito da extensão da esteira da linha de decapagem ácida.

Embora esse não deva ser o resultado mais importante de um projeto de simulação, uma vez obtidos os resultados quantitativos que fundamentaram as decisões de investimento, atenção especial foi dada à animação das simulações realizadas (Figura 6). Observando-se a evolução do modelo ao longo do tempo, foi possível acompanhar a operação dos principais pontos do sistema (e.g. níveis de produção e estoques correspondentes), o que também ajudou na identificação de situações restritivas e outros pontos críticos que demandaram atenção.

Ainda, a animação auxiliou na validação do modelo, provendo meios de se acompanhar cada operação em tempo de simulação. Ao observar a animação, seja na velocidade real ou acelerada, os responsáveis pelas áreas do projeto podem encontrar eventuais divergências no modelo com maior facilidade, o que aumenta a confiabilidade nos resultados.

31º Seminário de Logística

Suprimentos - PCP - Transportes

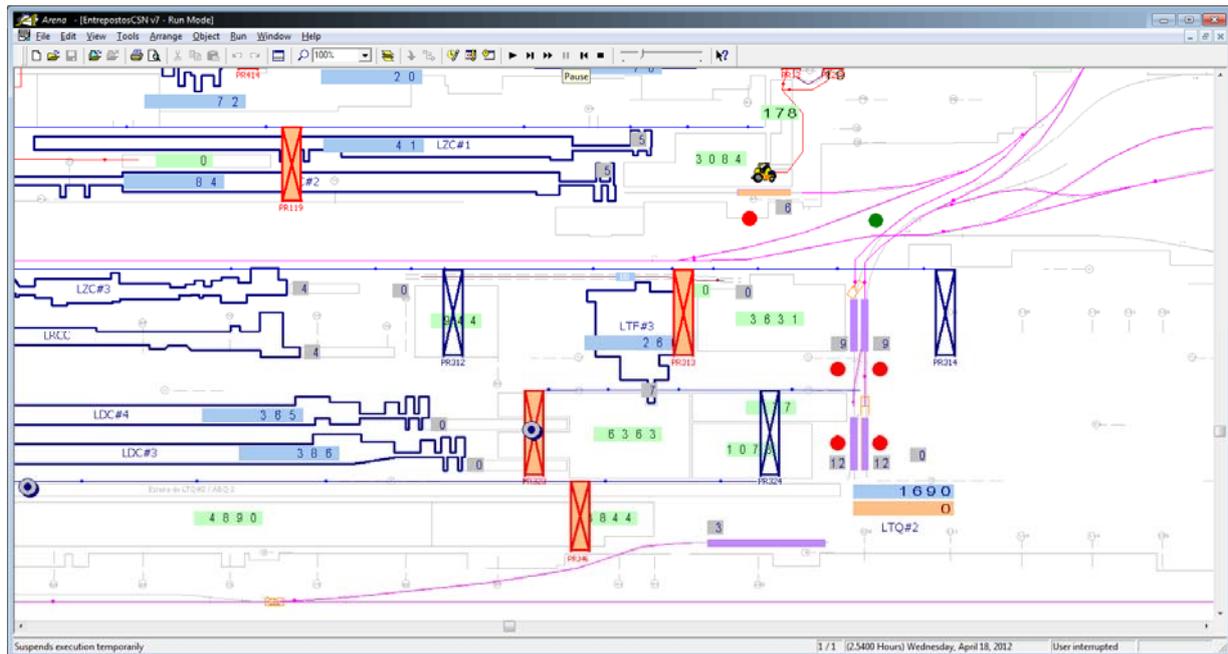


Figura 6: Vista da animação do modelo de simulação.

4 DISCUSSÃO

Este projeto identificou as restrições na logística de movimentação interna de produtos siderúrgicos semiacabados e acabados, as quais impedem a CSN de alcançar melhores marcas produtivas.

Para se chegar a esse objetivo, atenção foi dada à metodologia, lembrando sempre a extensão do escopo abordado. As operações de cada gerência envolvida foram mapeadas, apresentadas e validadas pelas áreas, garantindo o correto entendimento de como é o sistema real. Diante do que foi observado e com a experiência da equipe executora do projeto, melhorias preliminares puderam ser sugeridas. O modelo de simulação em computador foi, então, desenvolvido a partir de uma representação clara e confiável. A estratégia modular adotada foi outro ponto de destaque no projeto, tornando sua modelagem factível.

Enquanto um dos principais resultados obtidos, destaca-se o próprio mapa com o fluxo detalhado dos produtos semiacabados e acabados. Não apenas o modelo conceitual como também a planta geral desenvolvida se tornam uma importante ferramenta de comunicação a ser utilizada pela CSN em trabalhos futuros.

Distinto também foi o comprometimento dos responsáveis pelas diferentes áreas que se esforçaram na busca de soluções através do Workshop Executivo.

Além do exemplo do pátio da decapagem aqui apresentado, outras restrições foram levantadas e analisadas, destacando-se:

- A maior demanda da decapagem faz com que o fluxo de bobinas no pátio do laminador de tiras a quente seja crítico, mesmo que o cenário futuro apresente menos movimentações, dada a não necessidade de se levar bobinas para as linhas de preparação;



31º Seminário de Logística

Suprimentos - PCP - Transportes

- O fluxo de vagões com bobinas decapadas pela área conhecida como Praça do LTF até as linhas de folhas metálicas é restringida pela maior interferência com as linhas férreas de carregamento de bobinas do laminador de tiras à frio para as linhas de zincagem;
- A movimentação de bobinas para a alimentação das linhas de zincagem é restringida pela ocupação excessiva da única ponte rolante que atente seu pátio.

5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, a simulação de eventos discretos apresentou-se como uma ferramenta adequada para identificação e avaliação de restrições, possibilitando testes de diversos cenários e configurações.

O objetivo do estudo foi alcançado, dado que as restrições foram identificadas e quantificadas, assim como foi possível testar e validar as soluções alternativas.

Como benefício adicional, o modelo desenvolvido servirá como ferramenta de apoio para testes de outros cenários, diferentes daqueles já estudados.

Agradecimentos

À Diretoria Executiva de Produção da CSN, que participou ativamente das discussões e validação de alternativas.

Aos representantes das áreas envolvidas, que não mediram esforços para fornecer detalhes de suas áreas e subsidiar as análises do estudo.

Ao representante da Franco Arbeit Engenharia, que efetivamente compreendeu os processos estudados e contribuiu na construção e validação das soluções, com destacada dedicação.

REFERÊNCIAS

- 1 BANKS, J.; CARSON. J.S. Discrete Event System Simulation. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1984.
- 2 HARRELL, C.; TUMAY, K. Simulation Made Easy – A manager's guide. Norcross, Georgia: Engineering & Management Press. 1995.
- 3 FRANZESE, L. A. G.; FIORONI, M. M.; BOTTER, R. C. Railroad Simulator On Closed Loop. In: 2003 Winter Simulation Conference, 2003, New Orleans. Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference, 2003.
- 4 LIMA, J S; SIMÕES, J A; MOREIRA, A. C.; ZORZANELLI, L. R.; BARROS, R. S. F.; PERIN FILHO, C.; dos SANTOS, V.; FRANCO, G. N. Estratégia de Operação do Pátio de Placas do LTQ na ArcelorMittal Tubarão. In: 44º Seminário de Laminação - Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 2007, Campos do Jordão (SP). Anais do 44º Seminário de Laminação - Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 2007.
- 5 FRANCO, G.N. Aplicação de Sistemas Holônicos à Manufatura Inteligente. (Tese de Doutorado) Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas (SP), 2002.
- 6 IAROZINSKI NETO, A.; LEITE, M.S. A abordagem sistêmica na pesquisa em Engenharia de Produção. Produção, v.20, n.1, jan/mar 2010, p. 1-14.



31º Seminário de Logística

Suprimentos - PCP - Transportes

- 7 BANDARA, W.; GABLE, G. G.; ROSEMAN, M. Factors and Measures of Business Process Modeling: Model Building Through a Multiple Case Study. *European Journal of Information Systems*, 14(4), p. 347-360, 2005.
- 8 TURING, A.M. Computing Machinery and Intelligence. *Mind – the Journal of the Mind Association*. v.59, n.236, p. 433-460, 1950.
- 9 BANKS, M.C. What Is Modeling and Simulation? In: *Principles of Modeling and Simulation: a multidisciplinary approach*. p 3-23. Edited by J.A. Sokolowski & C.M. Banks. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. 2009.
- 10 JONES, D.W. Implementations of Time, *Proceedings of the 18th Winter Simulation Conference*, 1986.