

SIMULAÇÃO EM COMPUTADOR DO PÁTIO DE MATÉRIAS PRIMAS NA USINA PRESIDENTE VARGAS*

Gustavo Nucci Franco¹
Francini da Silva Moreira²
Danielle Maria do Nascimento³
Yelson Duboc do Natal⁴
Reginaldo Cabral Louredo⁵
Diogo Iost Ferreira⁶

Resumo

Assim como muitas empresas, a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) investiu em capacidade e precisa reduzir custos para enfrentar a lenta recuperação da economia brasileira. Este artigo apresenta uma ferramenta computacional desenvolvida para apoiar decisões de Engenharia e reduzir os riscos da empresa: o modelo do Pátio de Matérias Primas que simula as operações de recebimento, armazenagem e distribuição de insumos para abastecer a Redução. Esse modelo é capaz de prever o desempenho operacional diante cenários futuros e planejar os investimentos com confiabilidade para eliminar restrições e alcançar metas estratégicas.

Palavras-chave: siderurgia; minério; simulação em computador; eventos discretos

COMPUTER SIMULATION OF THE RAW MATERIALS YARD IN PRESIDENTE VARGAS SITE

Abstract

As other companies, Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) invested in capacity and needs to reduce costs to face the slow recovery of the Brazilian economy. This article presents a computational tool developed to support Engineering decisions and reduce company risks: the Raw Materials Yard model that simulates receiving, storing and distributing operations to feed Reduction. This model is able to predict the performance under future scenarios and plan investments with high reliability to eliminate constraints and reach strategic goals.

Keywords: steel making; ore; computer simulation; discrete-event

¹ Engenheiro mecânico e doutor pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e diretor da Franco Arbeit Engenharia, Campinas, SP, Brasil.

² Engenheira de produção pela Universidade Federal Fluminense (UFF) com MBA pela Fundação Getúlio Vargas (FGV) e engenheira especialista na CSN, Volta Redonda, RJ, Brasil.

³ Engenheira metalúrgica pela Universidade Federal Fluminense (UFF) com MBA pela Fundação Getúlio Vargas (FGV) e engenheira especialista na CSN, Volta Redonda, RJ, Brasil.

⁴ Engenheiro metalúrgico pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), mestre pela Cranfield University (UK) e professor na Universidade Federal Fluminense (UFF), Volta Redonda, RJ, Brasil.

⁵ Engenheiro ambiental pelo Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA) e engenheiro de produção na CSN, Volta Redonda, RJ, Brasil.

⁶ Administrador de empresas pela Faculdade Sul Fluminense (FASF) e técnico de desenvolvimento especialista na CSN, Volta Redonda, RJ, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Em 30 de janeiro de 1941, Getúlio Vargas assinou o Decreto-Lei que aprovava o plano de construção e exploração de uma usina siderúrgica nacional, e autorizava a promoção dos atos necessários para que assim nascesse a Companhia Siderúrgica Nacional. Localizada entre os dois maiores polos econômico do Brasil, a CSN trilhou o caminho do crescimento juntamente com a região de Volta Redonda.

No período entre a sua fundação e a década de 1980, a CSN concentrou seus esforços no aperfeiçoamento e na modernização da sua unidade em Volta Redonda, a então Usina Presidente Vargas – UPV.

Ainda na década de 1970, a empresa promoveu três grandes programas de expansão. O primeiro, concluído em 1974, levou sua capacidade anual para 1,7 milhões de toneladas de aço bruto com uma significativa expansão de sua linha de produtos. O segundo, em 1977, trouxe sua produção para o patamar de 2,5 milhões de toneladas. E foi em 1989 que o grande projeto de expansão foi concluído, o qual reorganizou a usina e a compatibilizou com os padrões de produção da época: a CSN alcançava, então, a marca de 4,6 milhões de toneladas de aço bruto produzido por ano. Privatizada em 1993, a usina se viabilizou como empresa comercial dentro da lógica da moderna economia.

Atualmente, todo setor siderúrgico passa pela lenta recuperação após a histórica crise de 2016. A retomada de produção da CSN aparece em seus resultados de 2017¹(**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). A gestão eficaz de recursos é um ponto importante no processo de retomada da produção.

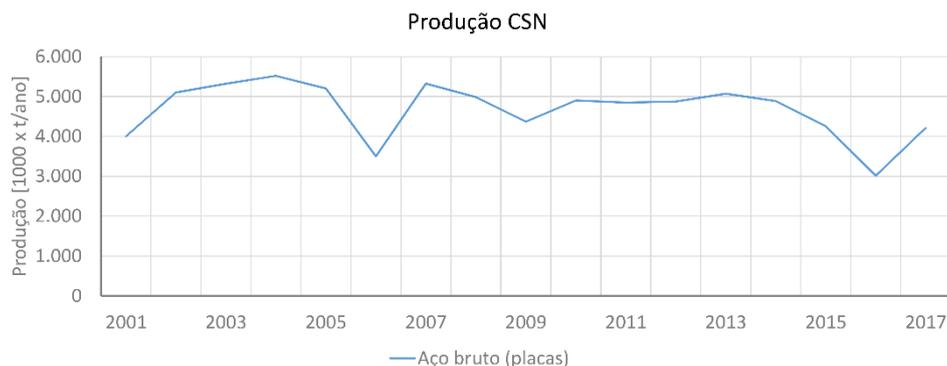


Figura 1 - Produção de aço bruto na CSN

Em atendimento às exigências de mercado, faz-se necessário ganhar ou manter vantagem competitiva, e para isso, tanto a modelagem matemática quanto a simulação aparecem como poderosas ferramentas de análise para tomada de decisão.

Este estudo, de extrema relevância para o setor siderúrgico, consiste em simular as projeções de consumo de matérias primas na CSN, identificando ações necessárias para adequação do sistema logístico de recebimento, abastecimento, movimentação interna e armazenagem de matérias primas.

Para que mudanças possam ser definidas de maneira mais ágil e baseadas em previsões mais confiáveis do desempenho futuro, a CSN segue a modernização contínua vista em toda sua história e busca cada vez mais o estado da arte em ferramentas de apoio à tomada de decisão. Apresenta-se neste trabalho um desses esforços: um simulador que auxilia a Engenharia na interpretação dos cenários futuros de consumo de matérias primas em termos de fluxo operacional e necessidade de investimento.

2 DESENVOLVIMENTO

O consumo de insumos numa siderúrgica para redução é questão estratégica que deve considerar fatores operacionais e, sobretudo, comerciais. Tomando o minério como exemplo, diferentes tipos de materiais, como pelotas, hematita sinterfeed e hematita de alto forno, possuem propriedades diversas que mudam o desempenho dos altos fornos. Além do desempenho da redução em si, cada estratégia impacta diretamente no recebimento, na armazenagem e na distribuição dos minérios, uma vez que o desempenho do conjunto de correias e a formação de pilhas muda conforme características de densidade e granulometria desses materiais. Prever como a operação do Pátio de Matérias Primas se comportará com a decisão estratégica tomada e planejar com antecedência as ações necessárias para minimizar seus efeitos negativos influencia diretamente os resultados da empresa.

Como a confiabilidade exigida pela CSN demanda tecnologia e esforços que garantam as respostas a suas questões, foi realizado o teste de alternativas por meio da Simulação em Computador. Simular significa reproduzir, representar ou imitar, com o auxílio de um sistema computacional, as características e a evolução de um sistema real. Banks define simular como submeter um modelo a repetidas observações, onde modelo é uma representação do mundo real com o objetivo de permitir a geração e análise de alternativas. Pidd² fala de uma definição mais ampla, associada a Ciência da Administração, onde um modelo tem o propósito de interpretar, mudar, gerir e controlar a realidade.

Neste trabalho, o objetivo da simulação é a consolidação de um melhor entendimento e/ou a identificação de melhorias no sistema de recebimento, armazenagem e distribuição de matérias primas da CSN. Essa mesma metodologia vem sendo empregada em análises que envolvem, sobretudo, a definição de investimentos financeiros para se obter com segurança um determinado resultado. Anthavale³ já apontava a utilização da simulação como uma ferramenta para determinar o lead time de produtos e apoiar decisões de inventário e produção. Franco et al.⁴ apresentam as perspectivas para aplicação de ferramentas de simulação em indústrias siderúrgicas. Rocha et al.^{5, 6} apresentam uma série de complexos modelos de simulação em computador desenvolvidos na mesma usina para que investimentos em logística interna pudessem ser melhor mensurados.

O Pátio de Matérias Primas da UPV (Figura 2) é um complexo sistema que começa com o recebimento de insumos principalmente em um virador de vagões e uma moega ferroviária. Podendo dividi-los em minério, redutores e fundentes, esses produtos são transferidos para as pistas do pátio de armazenagem através de um sistema de correias transportadoras até suas devidas pilhas. A medida que são demandados, esses insumos são recuperados e transportados pelo mesmo sistema até as *Stockhouses* dos altos fornos, onde são preparados para seu consumo.

O tratamento de problemas dessa natureza faz com que um elemento seja fundamental no problema de tomada de decisão: a análise de riscos. Quando uma decisão é tomada, há uma determinada probabilidade de que esta não produza o resultado esperado, o que implica numa perda em potencial. E é justamente com esse tipo de problema que a Simulação em Computador é capaz de lidar. Através de observações das variáveis de entrada mais significativas, determinando as funções aleatórias que descrevam seu comportamento, experimentos foram realizados para garantir que os resultados das medidas de desempenho estejam num intervalo de confiança satisfatório. Com isso, um número suficiente de alternativas foi testado ao final do projeto, levando-se ao alcance de um nível de confiabilidade elevado para a seleção das configurações mais adequadas.



Figura 2 - Pátio de Matérias Primas da Usina Presidente Vargas

2.1 Material e Método

Para melhor entender esse sistema, foi inicialmente realizado um extenso trabalho de modelagem conceitual, sendo os fluxos ferroviários levantados, mapeados e documentados. Além de apoiar o entendimento do problema em si, Law & McComas apontam a modelagem conceitual como uma importante ferramenta para a validação de modelos de simulação.

Parte dessa modelagem diz respeito aos fluxos operacionais, como mostrado na Figura 3. Além do Recebimento de Insumos, este projeto levantou informações sobre o Recebimento de Resíduos, Abastecimento das Máquinas de Sinterização, Peneiramento de Coque, Abastecimento dos Altos Fornos e Retirada de Finos.

Conhecer o balanço de massa do sistema, conforme ilustrado na Figura 4, ajuda na validação do modelo. Embora não se consiga trabalhar de forma balanceada no dia a dia real, entender esse equilíbrio entre recebimento, consumo e produção em cada etapa do processo é importante para a melhor compreensão dos problemas a serem tratados. Ainda, ao se comparar diferentes estratégias de consumo, como a substituição de diferentes tipos de minérios, ou mesmo testar novas alternativas operacionais, como a adição de novas rotas de transporte, pode ser interessante manter-se esse equilíbrio para que certas variáveis aleatórias não dificultem a análise dos resultados.

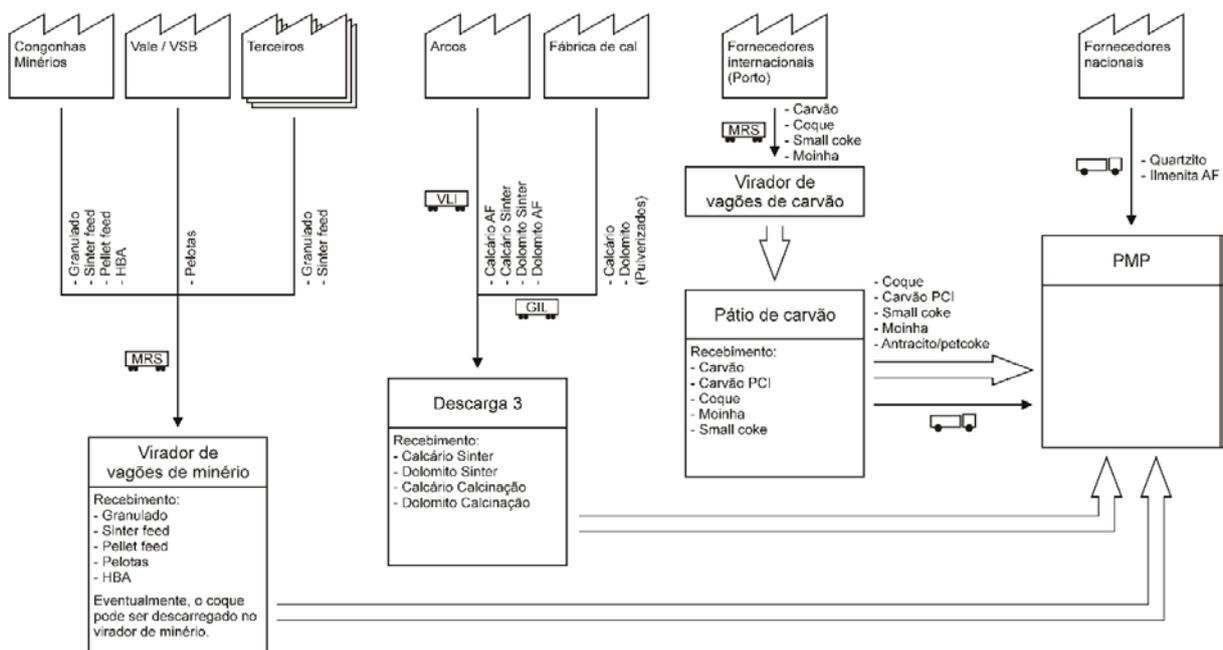


Figura 3 - Mapeamento do fluxo de recebimento de insumos

O elevado nível de incertezas contidas em alguns parâmetros de entrada do sistema sendo analisado, sobretudo pelo fato de que situações futuras estarão sendo representadas, leva a adoção de variáveis aleatórias para descrever esse comportamento estocástico. Assim, um extenso trabalho de tratamento estatístico de dados foi realizado.

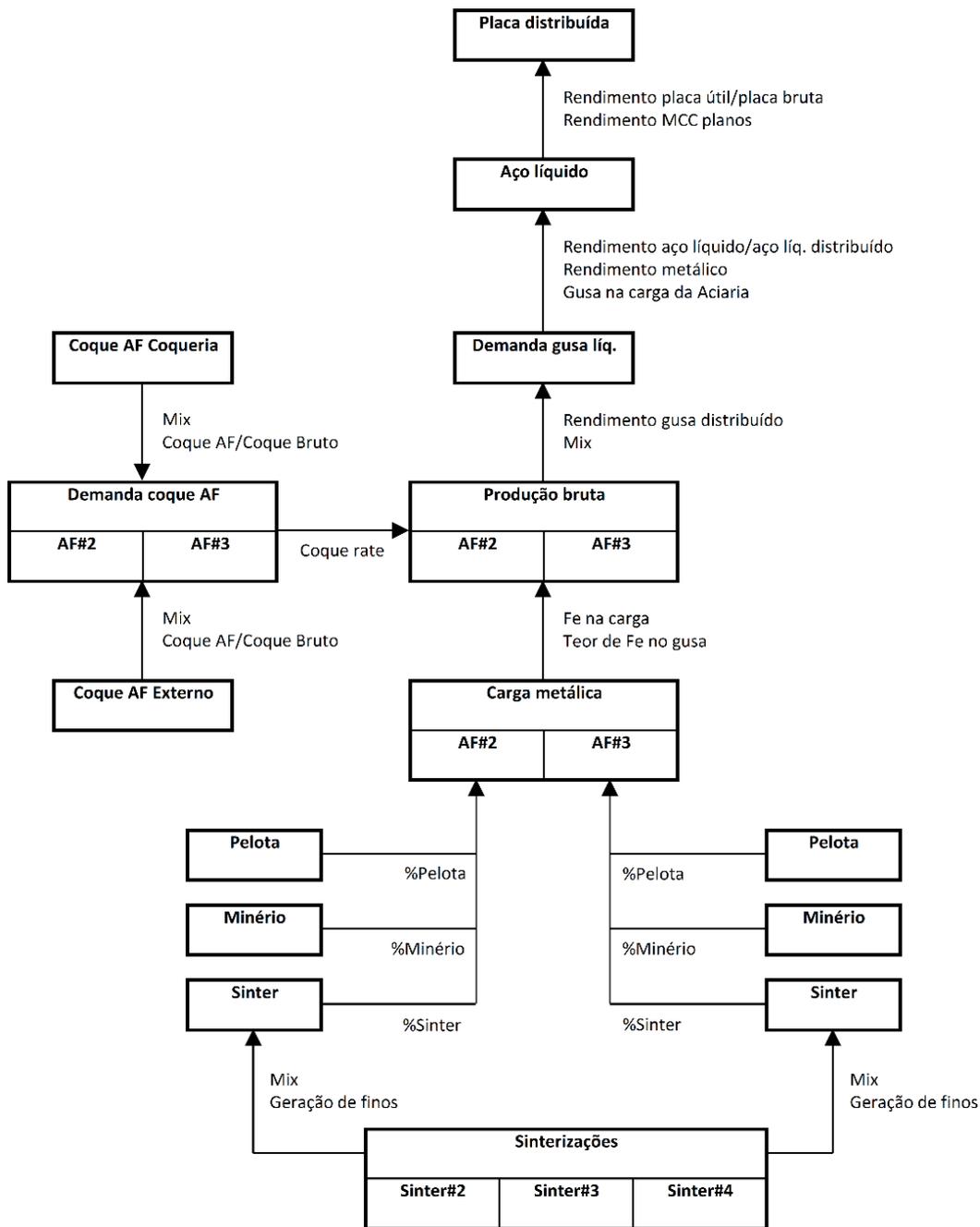


Figura 4 - Balanço de massa da produção de aço bruto na CSN

A ferramenta utilizada para o desenvolvimento do modelo computacional foi o Arena, da Rockwell Automation, líder mundial no mercado de Simulação em Computador, levando-se ao modelo representado pela Figura 5. Essa decisão se baseou, sobretudo, na robustez da ferramenta, a qual foi capaz de atender a necessidade de modularidade exigida em um projeto de grande porte como este.

Ao todo, foram modelados:

- 27 produtos
- 218 correias transportadoras
- 88 recursos adicionais como calhas e carros
- 36 pilhas de armazenagem
- 121 silos

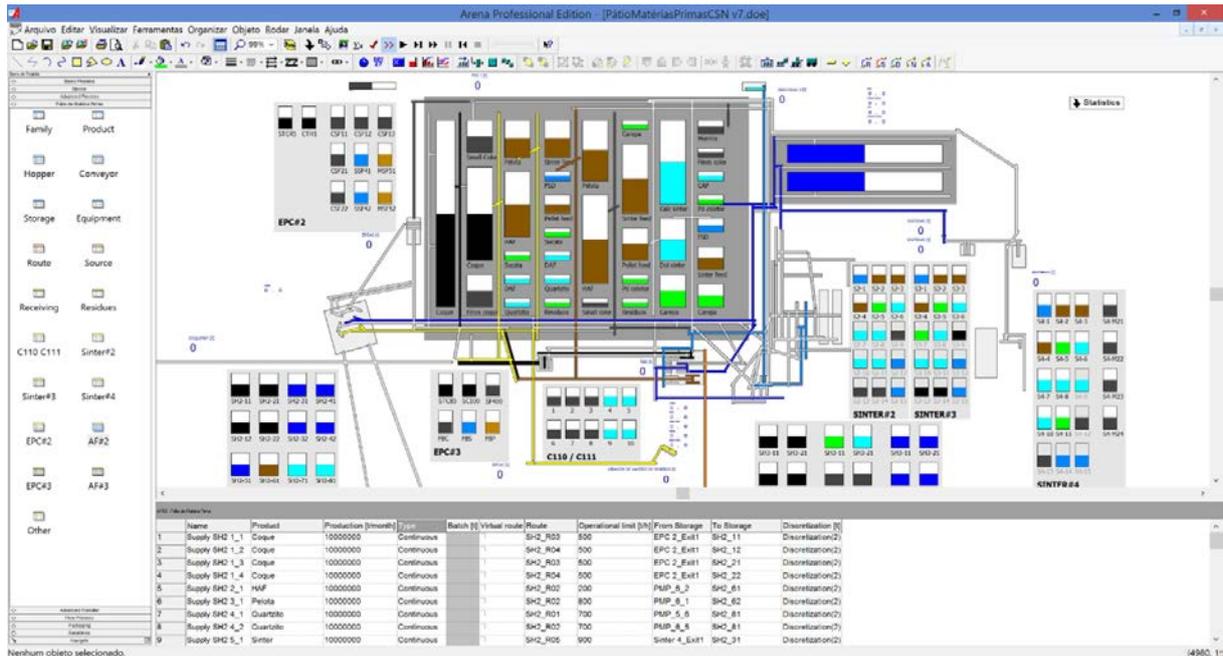


Figura 5 - Visão geral do modelo de simulação em computador

O projeto analisou diversas alternativas operacionais, tendo como base um cenário de referência que contou com 79 rotas (conjuntos de correias) que perfizeram 337 fluxos (e.g. abastecimento da Sinter#3 com sinterfeed do pátio para o silo 7).

Entre seus inúmeros recursos, o modelo é capaz de:

- Calcular dinamicamente a produtividade de cada recurso em função de suas especificações (e.g. largura e velocidade das correias transportadora) e das características do produto sendo transportado (e.g. densidade e umidade).
- Determinar automaticamente o tempo de preparação de rota sempre que há uma mudança de produto e ocorre a limpeza dos recursos.
- Estudar o processo de geração de finos em cada etapa e definir como esses devem ser armazenados, tratados e consumidos.
- Visualizar fluxo ocorrendo de maneira simultânea através da animação da operação simulada.

2.2 Resultados

O desenvolvimento do modelo passou por diversas etapas de validação juntamente com os colaboradores da CSN. Foi um processo de ajuste fino de diferentes parâmetros até se chegar a uma confiabilidade maior que 95% nos resultados. Uma das principais medidas de desempenho utilizadas para medir a aderência do modelo às operações reais foi o atendimento dos volumes programados para cada linha produtiva.

Um cenário base foi definido, sendo seus resultados utilizados como referência para diversas análises. Para cada cenário alternativo, foi calculado o período de simulação necessário para se obter um volume suficiente de dados que garanta a confiabilidade dos resultados (Figura 6).

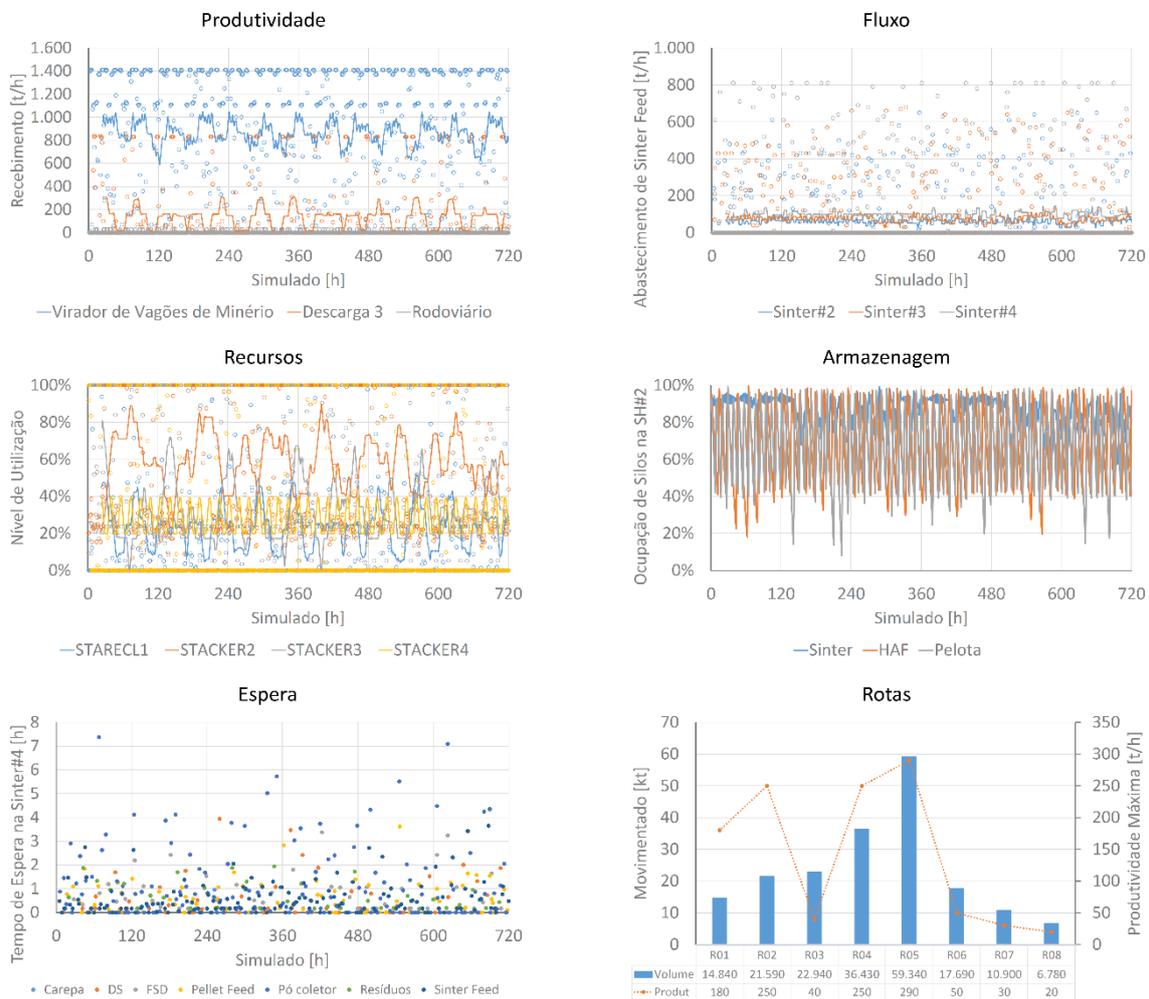


Figura 6 - Exemplos de resultados do modelo de simulação do Pátio de Matérias Primas

Além da animação, primeira resposta que muitos lembram ao se falar sobre simulação, o modelo fornece resultados quantitativos para:

- Produtividades: indica a produtividade de cada linha em cada hora simulada.
- Fluxos: indica a quantidade de produto movimentada por hora simulada em cada fluxo modelado.
- Recursos: indica o nível de utilização dos recursos ao longo de cada hora simulada.
- Criticidade: o modelo calcula a criticidade de cada recurso em função da quantidade de horas com utilização média superior a 90%.
- Armazenagem: indica a taxa de ocupação de cada pilha e silo em cada hora simulada.
- Espera: indica a espera de cada fluxo para conseguir realizar uma determinada rota.
- Rota: indica a ocupação de cada rota em função do volume movimentado e a produtividade alcançada.
- Aderência ao projeto: o modelo compara a produtividade efetiva de cada rota com suas capacidades de projeto.

2.3 Discussão

O modelo computacional desenvolvido foi validado e utilizado para realizar uma série de simulações de cenários futuros. De acordo com a classificação teórica da Simulação em Computador, o sistema analisado foi considerado não terminal, i.e. não possui condições iniciais fixadas para a qual esse retoma ou mesmo um evento definindo o fim natural da simulação.

Para cada configuração analisada, testes estatísticos foram aplicados para se garantir a confiabilidade dos resultados. Embora muitos resultados possam ser apresentados em períodos mais longos, o fato do cenário base ser efetivamente aplicado por curtos períodos, esta análise considerou um horizonte de 720 horas (30 dias).

Tanto as análises visuais como as de médias móveis mostraram um tempo transiente mínimo. Isso se deve ao extensivo estudo para se determinar o estado inicial ideal para as análises.

Como exemplo dessas análises, foram simulados os volumes futuros das linhas, deixando para o modelo a previsão de, por exemplo, quais recursos e rotas foram sobrecarregados diante diferentes cenários futuros, conforme ilustrado pela Figura 7.

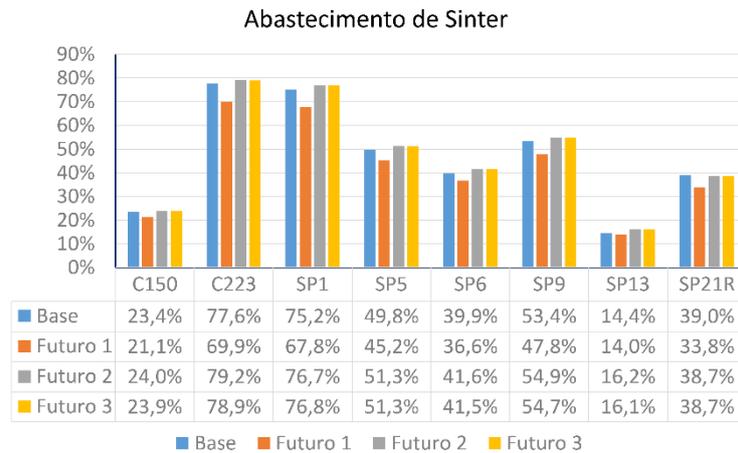


Figura 7 - Comparação da utilização de correias transportadoras em cenários futuros.

Outro resultado obtido nessa análise foi da ocupação dos silos. Ao se notar perdas de produtividade do Alto Forno durante o período simulado, pode-se concluir que o volume de determinados silos não garante a cobertura de seus materiais. Como exemplo hipotético, a figura 8 mostra que o tempo de espera das rotas de abastecimento aumentou e o volume dos silos de smallcoke foi insuficiente em determinados momentos.

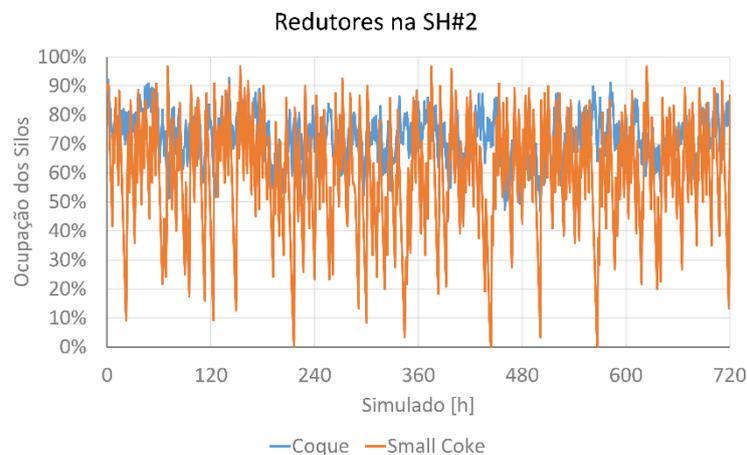


Figura 8 - Cobertura de redutores no AF#2 para o cenário futuro.

Além dessa análise dos cenários futuros, foram realizadas análises para fluxos alternativos de coque e hematita sinterfeed, diferentes mixes hematita de alto forno e pelota e o recebimento de coque através do Virador de Vagões de Minério, bem como o *revamp* deste equipamento para garantir maior confiabilidade na operação. Essas e outras análises realizadas exploram o potencial da metodologia adotada e demonstram a assertividade dos investimentos da CSN em ferramentas para apoiar suas decisões.

3 CONCLUSÃO

Ao pesquisar a história da CSN, encontra-se diversos momentos em que desafios foram superados, desde sua construção em um momento conturbado na relação dos países durante a Guerra, passando por seu crescimento nas décadas de 60 e 70, até a crise de 2016, pior momento do setor no Brasil em todos os tempos. Comum em todos esses momentos, a agilidade se mostrou fator importante: a empresa soube se adaptar de forma rápida às novas situações de mercado. E desde sua privatização, a CSN busca modernizar não apenas seus processos produtivos, mas também sua gestão.

Motivada por suas dúvidas diante cenários futuros de disponibilidade de insumos que representam um grande percentual de seus custos, a CSN investiu no desenvolvimento do simulador do Pátio de Matérias Primas. Com um intenso trabalho de validação, chegou-se a um modelo com a aderência necessária para traçar novos caminhos. Os resultados obtidos confirmam que ser essa a ferramenta adequada para identificação e avaliação de restrições, possibilitando testes de diversos cenários e configurações.

Do ponto de vista da Engenharia, e como esta fornece informações para as áreas estratégicas da empresa, a Simulação em Computador vem sendo utilizada cada vez mais pelos colaboradores da CSN. Essa ferramenta tem ajudado a prever como será a operação daqui alguns anos e indica antecipadamente as ações necessárias para que seus objetivos sejam alcançados. Utilizada para responder perguntas reais da operação, desde como o pátio se comportará em períodos de paradas programadas de equipamentos para manutenção ou quais serão os *revamps* necessários para a previsão futura de disponibilidade de alguns insumos, os testes virtuais foram fundamentais para determinar restrições e apoiar a Engenharia da CSN na busca de soluções efetivas.

Com resultados como estes, a empresa é capaz de planejar os investimentos necessários e enfrentar mudanças de cenários externos. A CSN se mantém ágil e garante suas vantagens competitivas. Projetos como estes são, assim, exemplos práticos de como a utilização dessa tecnologia pode trazer benefícios para empresa.

Agradecimentos

Aos representantes das diversas áreas envolvidas na CSN, os quais não mediram esforços em 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 busca e validação das soluções.

REFERÊNCIAS

- 1 CSN 2017, Resultados do ano de 2017 e Quarto Trimestre. São Paulo, 26 de março de 2018. Disponível em <http://ri.csn.com.br>. 2018.
- 2 PIDD, M. Computer Simulation in Management Science. Fifth edition. 332 pp. West Sussex, England: John Wiley & Sons. 2004.
- 3 ANTHAVALE, M. L. Manufacturing Lead Time Determination by GPSS Simulation. In: Second Conference on the Applications of Simulation, New York (NY), 2 – 4 Dec, 1968.

- 4 FRANCO, G. N.; BATOCCHIO, A.; MORAES, G. C. Novas Perspectivas para a Simulação em Computador de Processos Siderúrgicos. In: *59º Congresso Anual da ABM – Internacional*, 2004, São Paulo (SP), 19 a 22 de julho de 2004. Anais do 59º Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2004. p. 1097-1105.
- 5 ROCHA, A. M., WHEHAIBE, V. E. K., SILVA, P. V. B., FRANCO, G. N. Análise das Restrições de Escoamento de Produtos Laminados na Usina Presidente Vargas. In *31º Seminário de Logística da ABM*, Belo Horizonte (MG), 19 a 22 de junho de 2012.
- 6 ROCHA, A. M.; SILVA, P. V. B., ANDRADE, J. C. E., FRANCO, G. N., Modelo Computacional da Movimentação Ferroviária na Usina Presidente Vargas. In: *32º Seminário de Logística da ABM*, 2013, Volta Redonda (RJ), 18 a 21 de junho de 2013. Anais do 32º Seminário de Logística da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2013.
- 7 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.