

## OTIMIZAÇÃO DO FLUXO DE VEÍCULOS PARA OPERAÇÕES DE CARGA E DESCARGA UTILIZANDO TECNOLOGIA DE SIMULAÇÃO\*

*Matheus Sousa Reis*<sup>2</sup>  
*Ruano Araujo*<sup>3</sup>  
*Fábio Yamada*<sup>4</sup>  
*Marcelo Fugihara*<sup>5</sup>

### Resumo

A evolução internacional do mercado de alumínio requer capacidade das empresas de atender uma demanda crescente e para isso se faz necessária uma gestão logística eficiente. O presente trabalho tem como objetivo avaliar o fluxo de veículos em uma fábrica de processamento de alumínio através da simulação dinâmica de processos e tecnologia de modelagem. Com isto, propõe-se avaliar a gestão de recursos (equipamentos e operadores), capacidade de estoques, fluxos internos e movimentações de carga na fábrica; assim, pode-se avaliar a necessidade de novos investimentos nestes quesitos. A análise envolve o cenário atual bem como a demanda futura projetada com o acréscimo de um modal logístico anexo à fábrica, que aumentará o fluxo de produtos na empresa. Em síntese, este artigo relaciona-se com os temas: logística, modelagem matemática de processos e melhorias em produtividade.

**Palavras-chave:** logística, simulação, modelo

### VEHICLE FLOW FOR INBOUND AND OUTBOUND OPERATIONS OPTIMIZATION USING SIMULATION TECHNOLOGY S

#### Abstract

The progress of aluminum international market requires companies the ability to serve a growing demand and thus an efficient logistic management. This article has the objective of evaluating the vehicle flow in an aluminum processing company through use of dynamic process simulation and modeling technology. Therefore, it has the proposition to evaluate resources management (equipment and workers), stock capacity, internal flows and cargo handling in the factory; thus, it can evaluate the needs for new investments in these areas. The analysis involves the actual scenario, as well as the future project demand with the addition of a logistic unit attached to the factory, which will increase product flow in the company. So, this article is related to the subjects: logistics, mathematical modeling of process and productivity improvements.

**Keywords:** logistics, simulation, model

<sup>1</sup> Consultor da Belge Engenharia, São Paulo - SP.

<sup>2</sup> Coordenador da Belge Engenharia, São Paulo - SP.

<sup>3</sup> Gerente da Belge Engenharia, São Paulo – SP.

<sup>4</sup> Diretor da Belge Engenharia, São Paulo – SP.

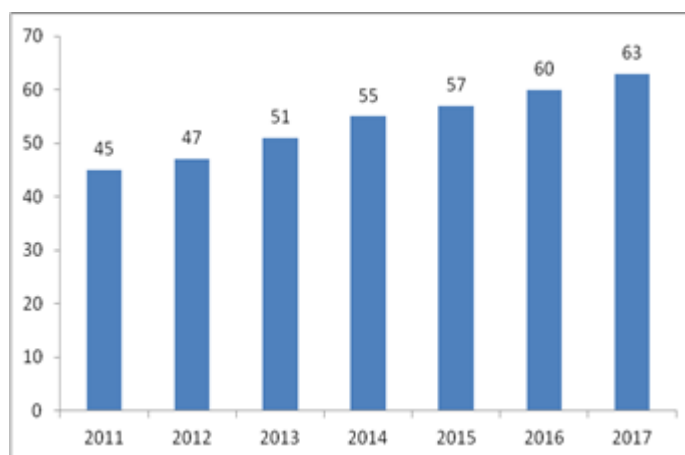
## 1 INTRODUÇÃO

Utilizado desde a Pérsia antiga, há quase 8000 mil anos, o alumínio é o metal mais abundante encontrado na crosta terrestre (terceiro elemento). É leve, bom condutor elétrico, resiste à corrosão e apresenta baixo ponto de fusão; além disso, pode ser reciclado infinitas vezes sem perder suas características físico-químicas, justificando assim sua ampla gama de aplicações. A indústria de alumínio possui grande papel na economia de qualquer nação. No Brasil, teve seu início em 1917, com a CPAA, embora só tenha se consolidado de fato a partir do governo Vargas. Construção civil, bens de consumo, automotiva; essas e tantas outras indústrias usufruem do metal produzido a partir do minério de bauxita.

O Brasil é o 11º maior produtor mundial de alumínio primário; 3º maior produtor mundial de alumina (matéria-prima para a produção de alumínio, obtida principalmente do processamento da bauxita), atrás apenas de Austrália e China; e possui a 3ª maior reserva mundial de bauxita, perdendo para Guiné e Austrália. A indústria de alumínio brasileira representa 1% do PIB total, com faturamento de 65 bilhões de reais. Emprega 415 mil pessoas direta ou indiretamente e representa aprox. 2% das exportações brasileiras (ABAL, 2017).

Isso permite conceber a relevância desse mercado na economia nacional. Diversas cidades e regiões existem e se desenvolverem exclusivamente dependentes da produção de alumínio, como o município que leva o nome do metal, Alumínio-SP.

A indústria brasileira é fortemente exportadora; nos próximos anos estima-se que haverá um aumento da demanda anual mundial a um CAGR de 4%, motivado pela construção civil e indústria automobilística na China; entretanto, projeta-se queda da oferta em torno de 7% da produção mundial, após sobreoferta com o aumento da produção chinesa entre 2011 e 2017 e subsequentes intervenções estatais para reduzi-la. Com isso, deverá ocorrer um aumento dos preços e as empresas que conseguirem aumentar sua produção poderão absorver a demanda excedente a bons preços.

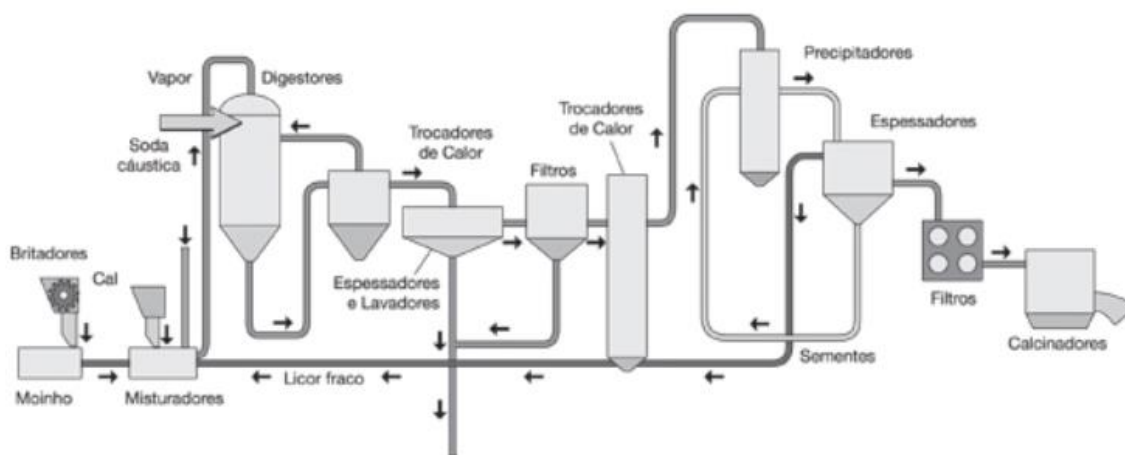


**Figura 1.** Demanda global de alumínio, em milhões de toneladas (Fontes: Bloomberg, JP Morgan)

## 2 DESENVOLVIMENTO

O alumínio é obtido a partir do refino e redução da bauxita, minério encontrado principalmente na Serra do Oriximiná, no estado do Pará, mas também em outras minas no estado e em Goiás e Minas Gerais. As reservas brasileiras apresentam ótima qualidade do minério.

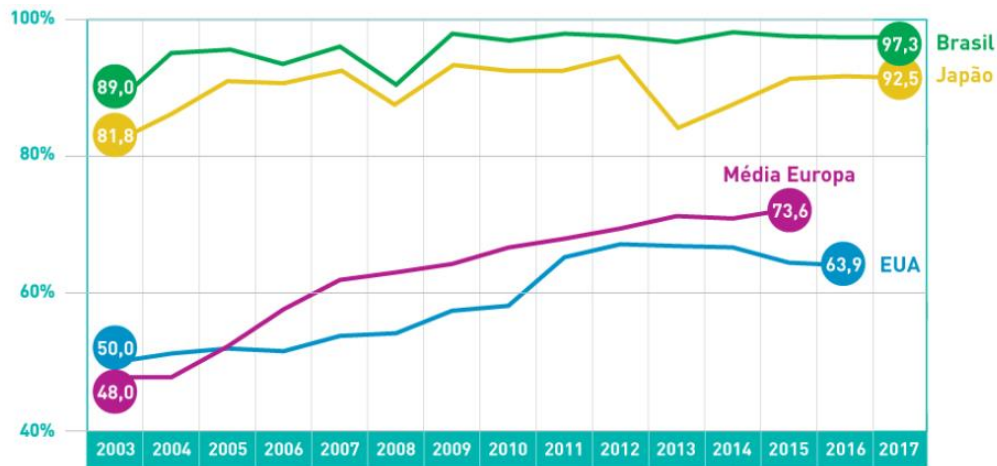
Da extração, a bauxita segue para o refino. De modo geral, ele ocorre nas seguintes etapas: moagem e dissolução da alumina em soda cáustica; filtração da alumina; cristalização; secagem, precipitação e calcinação dos cristais; e por fim, há a redução Hall-Héroult para transformação da alumina em alumínio. São necessárias duas toneladas de alumina para produzir uma tonelada de metal primário pela redução.



**Figura 2.** Fluxo para obtenção da alumina

Cabe ressaltar que esse é um processo cujo principal insumo é energia elétrica. Para cada tonelada de alumínio produzida, cerca de 15 MWh são consumidos [Silva, 2001], ou o equivalente ao consumo mensal de 100 famílias brasileiras. A indústria absorve aprox. 6% da produção nacional de energia elétrica. Isso gera uma pressão no setor de geração e distribuição elétricas, além de requerer atenção governamental quanto à gestão do recurso. Os custos de energia elétrica respondem por até 70% do custo de produção nacional de alumínio.

A produção de alumínio a partir do minério de bauxita é a chamada “produção primária” (em torno de 65% da produção total). Entretanto, dada a propriedade de reciclabilidade infinita do metal, há a chamada “produção secundária”, que se baseia na reciclagem de produtos descartados compostos de alumínio, como latas de bebidas (quase 50% do volume de sucata de alumínio recuperada anualmente), chapas e outros. Desde 2001, o Brasil é o campeão mundial em reciclagem de latas de alumínio. Em 2017, alcançou o índice de 97,3% de reciclagem.



**Figura 3.** Índices de reciclagem de embalagens no Brasil (fonte: ABAL)

A relação entre volume de sucata recuperada e consumo doméstico atingiu 48% em 2016, bem acima da média dos principais países consumidores do metal, 27%. O alto índice de reciclagem associado à produção primária a partir de hidroeletricidade faz com que o metal brasileiro possua uma pegada de carbono bem menor quando em comparação com outros concorrentes internacionais. Entre as vantagens da reciclagem, pode-se destacar a economia de energia (consumindo apenas 5% da energia elétrica gasta na produção primária), redução no descarte de resíduos sólidos, menor dispêndio de recursos naturais, geração de emprego e renda e redução de emissão de gases de efeito estufa.

## 2.1 Metodologia

O panorama mundial do mercado de alumínio abre espaço para absorção da demanda não atendida pelos chineses. Logo, a produtividade crescente e a gestão dos custos se prova crucial para o sucesso da empresa em atender a demanda internacional. A necessidade de técnicas e ferramentas que permitam a tomada rápida de decisões, ponderando os diversos fatores envolvidos de modo a permitir a melhor escolha, está cada vez mais presente. A simulação computacional se mostra ser uma alternativa eficaz no apoio à tomada de decisões e oportunidades de melhoria nos processos e gestão de recursos internos da empresa.

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 realizar testes de diferentes alternativas ('what if'), como destacam Law e Kelton (4).

Para cada situação, visualiza-se o funcionamento e comportamento dinâmico do sistema e, ao final, gera-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, ciclo produtivo etc.

Para Shannon (1), a simulação pode ser compreendida como a representação ou reprodução de um processo, fenômeno ou sistema relativamente complexo, geralmente para fins científicos, de observação, análise e predição. Outra definição que pode ser dada é de experiência ou ensaio realizado com o auxílio de modelos, relativos a processos concretos que não podem passar por experimentação direta. Simular, segundo Bateman (3), “é fazer parecer real aquilo que não é, ou seja, reproduzir, da forma mais aproximada da realidade, certos aspectos de uma situação ou processo”.

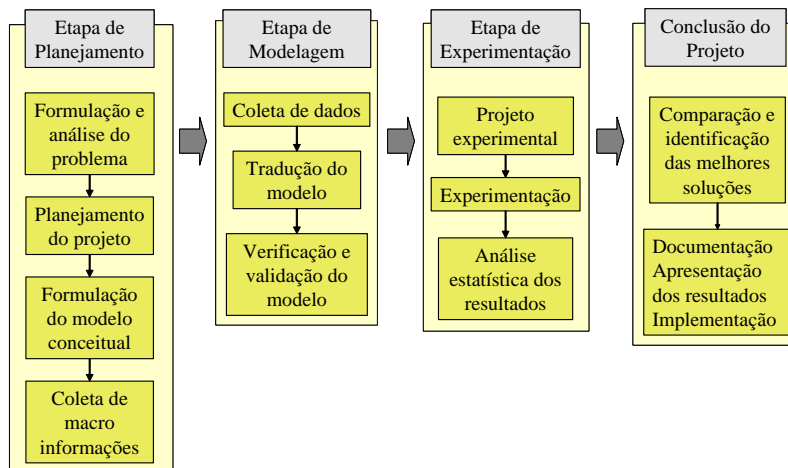
Como se observa, a simulação é um processo amplo, que compreende não somente a construção do modelo, mas também todo o método experimental que se segue, buscando, como mostram Gordon (2):

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

O conceito de simulação aqui apresentado, utilizando tecnologia do software de simulação ProModel, o qual se relaciona à realidade de programação e gestão de fluxo de veículos e as premissas que devem ser consideradas nesse tipo de projeto. Este conceito engloba o uso de planilhas de programação com os detalhamentos de diversos aspectos relacionados ao fluxo dos veículos na fábrica. Estes aspectos são modelados em forma de parâmetros, podendo ser alterados para a criação de cenários e a execução de testes. O detalhamento inclui:

- Tempos de microatividades nos processos de recebimento e expedição;
- Capacidades e parâmetros de recursos e processos;
- Perfis de chegadas dos veículos em *inbound* e *outbound*;
- Capacidades de estoques.

A metodologia utilizada na construção do modelo de simulação, segundo Freitas (5), é apresentada na Figura 4. Esta metodologia é interativa e cada atividade é definida e algumas vezes redefinida com esta interação, permitindo um maior detalhamento do estudo.



**Figura 4.** Passos na Formulação de um Estudo de Simulação

O planejamento inicial (definição de objetivos, levantamento de restrições e preparação das especificações da simulação) e a definição do sistema são importantes para se chegar a conclusões quanto aos processos mais significativos (que precisariam de mais detalhamento) e quanto às simplificações que deveriam ser realizadas.

Nas centenas de projetos envolvendo tecnologia de simulação que a Belge Consultoria desenvolveu nos últimos 20 anos, pode-se notar que estudos estáticos baseados em médias (normalmente feitos em MS Excel™) costumam equivocadamente linearizar os dimensionamentos e implicar em erros cruciais de tomada de decisão. Isso não ocorre ao se usar simulação dinâmica, que, embora envolva estudos maiores, produz resultados confiáveis e seguros.

Outro aspecto a se observar é que normalmente o *trade off* relativo a níveis de serviço em logística no qual prazos de entrega menores implicam em custos logísticos maiores (mais caminhões e equipes) nem sempre é verdade, pois, ao se adotar estas tecnologias mais avançadas, consegue-se muitas vezes níveis de serviços melhores com custos também menores. Pode-se citar como exemplo o case da Liquigás, disponível em <http://www.belge.com.br/indlog.php>.

## 2.2 Aplicação

O projeto em estudo trata da adequação logística de uma empresa de processamento de alumínio. O modelo desenvolvido será utilizado para analisar a capacidade de recebimento e expedição da fábrica, identificar gargalos, analisar filas, dimensionar de recursos e infraestrutura para atender a demanda atual e futura, bem como buscar alternativas para melhorar o nível de serviço e produtividade da operação. Também busca a adequação para atender uma demanda futura, devido abertura de unidade logística anexa à fábrica. Para preservar a segurança de dados do cliente, os números demonstrados abaixo são fictícios.

Este projeto tem seu escopo englobando as áreas de estacionamentos externos e internos, docas de recebimento e expedição, pontos de coleta e entrega



de retalhos de produção distribuídos pela fábrica, portarias, estoques, pátios e a futura área de operação logística. Ao total, foram estudados mais de 30 pontos.



**Figura 5.** Detalhe do processo de abastecimento da produção

O objetivo principal do projeto é compreender as necessidades futuras de investimento na área, servindo de base para a tomada de decisões. Planilhas eletrônicas (Figura 6) contêm os parâmetros do modelo e permitem a criação de cenários operacionais. Entre esses parâmetros encontram-se:

- Distribuições temporais probabilísticas de tempos de processos. Inicialmente modeladas a partir dos dados coletados na cronoanálise.
- Programação de chegadas e saídas de caminhões. Detalha a frequência de chegada, perfis temporais por tipo de caminhão (alterando capacidades, tempos e velocidades) e dados relativo a cada tipo de caminhão.
- Detalhamento dos fluxos internos, permitindo alterar facilmente rotas ou forçar entradas e saídas de certos tipos de caminhões por certos pontos;
- Relação dos recursos envolvidos no modelo. Neste projeto, estão envolvidas empilhadeiras, stakers, caminhões internos e operadores. Detalha quantidades, área de alocação, capacidades, velocidades e operadores por turno;
- Relação dos estoques, determinando suas capacidades e proporções de armazenagem. Permite alterar volumes de estoque, produtos ou matérias primas alocadas em cada um.
- Programação detalhada da produção para cada área. A fábrica possui unidades produtivas relacionadas, porém independentes. Aqui são relacionadas as ordens para cada uma delas, incluindo volume total, tempo de produção e recursos necessários. Muitos desses dados são preenchidos de maneira automatizada.
- Características do modal logístico a ser analisado no cenário futuro. Deve-se avaliar a quantidade e características das unidades transportadoras que passarão por aquele local, ocorrências, capacidades e demais dados relativos às unidades.

ID PM	Descrição do tempo	Processo	Unidade de medida	Turno A	Turno B	Turno C	Tempo máximo	Tempo mínimo
				Tempo	Tempo	Tempo		
1	Tempo pátio externo obrigatório (sem problemas fiscais, etc.)	Chegada de veículos	Minutos	T(0, 0.122, 22.4)	T(0, 2.43, 3.016)	T(0, 2.99, 2.201)	20.00	2.00
2	Tempo pátio externo obrigatório (com problemas fiscais, etc.)	Chegada de veículos	Minutos	T(240,100,2440)	T(240,100,2440)	T(240,100,2440)	2440,00	240,00
3	Tempo de balança	Chegada de veículos	Minutos	2+W(3.01, 2.62)	2+2.62*(2/((2./U(0.0	3+2.31*(2/((2./U(0.0	29.80	2.01
4	Tempo de Manobra (estacionamento) por tipo de veículo por local	Chegada de veículos	Minutos	0.93*(2/((2./U(0.01,0	0.94*(2/((2./U(0.01,0	(2/2.22)*-	3.33	0.28
5	Tempo de Manobra (doca) por tipo de veículo por local	Chegada de veículos	Minutos	2+G(4.81, 0.436)	2+G(4.81, 0.436)	2+G(4.81, 0.436)	6.01	2.01
6	Tempo de Manobra (doca) por tipo de veículo por local - 2 manobras	Chegada de veículos	Minutos	2+W(0.0169, 4.11)	2+W(0.0169, 4.11)	2+W(0.0169, 4.11)	42.83	2.20
7	Tempo de abrir caminhão veículo 1 - exceto container	Descarr./Carreg.	Minutos	T(2,8,6,23,28)	T(2,93,20,48,28,02)	T(2,93,20,48,28,02)	28.60	2.80
8	Tempo de fechar caminhão veículo 1 - exceto container	Descarr./Carreg.	Minutos	T(3.901,01,41,8,68)	T(3.901,01,41,8,68)	T(3.901,01,41,8,68)	8.69	3.00
9	Tempo de descarregar 1 unidade de movimentação de empilhadeira local X1 caminhão Y	Descarregamento	Minutos	(2/2.04)*-	ER(0,624, 21)	ER(0,624, 21)	1.01	0.33
10	Tempo para pega de 1 unidade de movimentação no piso (empilhadeira) por tipo de local	Descarregamento	Minutos	T(0.201,0,3,0.01)	T(0.201,0,3,0.01)	T(0.201,0,3,0.01)	0.01	0.20

Figura 6. Detalhe de uma planilha de entrada de dados: tempos de processos

Os resultados são analisados através de indicadores de desempenho escolhidos de forma a responder as questões de interesse do projeto. Os principais indicadores utilizados foram:

- Utilização dos recursos
- Ocupação dos estoques
- Tempo de permanência dos veículos na planta
- Filas
- Volume total recebido e expedido
- Tempos de ciclo para carga e descarga

Os indicadores de desempenho observados são analisados através de gráficos gerados automaticamente pela simulação (Figura 7) e através da exportação para planilhas eletrônicas de variáveis de interesse associadas aos KPIs (ou o próprio indicador) (Figura 8).

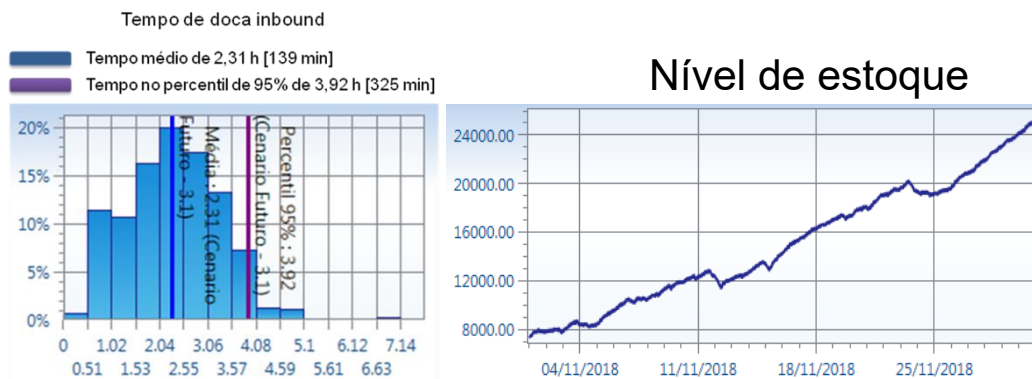


Figura 7. Gráficos de saída gerados pela simulação



	Descrição	Volume [t]	Aderência [%]	Qtd.	Aderência [%]
Inbound Rodoviário	Parâmetro de entrada	116093	103%	4608	100%
	Simulação	119792.4		4597.3	
Outbound Rodoviário	Parâmetro de entrada	124215	105%	4767	99%
	Simulação	130357.5		4703.8	
Inbound Adicional	Parâmetro de entrada	48922	100%	2184	100%
	Simulação	48834.24		2184	
Outbound Adicional	Parâmetro de entrada	45864	102%	2321	100%
	Simulação	46928.7		2320.5	
Produção CBS 1	Parâmetro de entrada	143126	96%	15192	100%
	Simulação	137259		15190	
Produção CBS 2	Parâmetro de entrada	8736	95%	2138	100%
	Simulação	8277.36		2134.9	

**Figura 8.** Planilha eletrônica de exportação de resultados: volumes e aderência do modelo

Com este conjunto de ferramentas de análise, além da própria visualização da simulação, pode-se estudar as correlações entre os níveis de atendimento (resultado da simulação) e os fatores que o influenciam (entradas da simulação), como a quantidade de recursos disponíveis e o volume expedido.

### 3 CONCLUSÃO

A partir da metodologia utilizada, pode-se verificar facilmente o impacto de mudanças sem necessidade de parar ou alterar a produção. A gestão logística é uma competência crucial nas empresas, e conseguir projetar alterações de maneira rápida e confiável se prova um diferencial que traz ganhos competitivos relevantes ou mesmo evita um investimento desnecessário, que poderia vir a comprometer a empresa no curto e médio prazo.

A abrangência desta metodologia viabiliza responder questões relativas a níveis de produção, tamanhos de estoques, gerenciamento de recursos; movimentação de materiais etc através da análise de indicadores de desempenho.

Em diversos projetos desenvolvidos pela Belge Consultoria no setor de logística das empresas siderúrgicas e metalúrgicas no país, foram verificados ganhos na produtividade logística como:

- Aumento de 33% na produtividade;
- Aumento de 36% na capacidade máxima de estoque de produto intermediário;
- Aumento de 10% na capacidade máxima de estoque de produto acabado;
- Redução do Tempo de Permanência de veículos em 33%;
- Redução de 11% na quantidade de empilhadeiras;
- Redução de até 10% na quantidade de quilômetros percorridos pelos recursos;

Para o estudo de caso em análise, foi possível concluir os investimentos necessários em equipamentos (bem como aqueles que a empresa inicialmente considerava, mas não se provaram compulsórios) e operadores para cada área visando atender a demanda futura. Assim, evitou-se um gasto de milhares de reais com aquisições de ativos e contratações de funcionários desnecessárias.

O estudo também permitiu fazer sugestões de melhorias de implantação rápida sem ou com baixo custo; bem como melhorias de implantação mais demorada, que possam requerer análises mais detalhadas ou com alto custo. No total, as sugestões de implantação rápida podem gerar um ganho potencial de 9% no giro de caminhões na fábrica.

## REFERÊNCIAS

- 1 [1] SHANNON, R. E. Systems Simulation: The Art and Science. Prentice-Hall. 1975
- 2 [2] GORDON, G. System Simulation, 2nd ed. Prentice-Hall.1978
- 3 [3] BATEMAN, R. E. System Improvement Using Simulation. Utah, PROMODEL CORPORATION. 1997
- 4 [4] LAW, Averril M. e KELTON, W. David. Simulation Modeling and Analysis, 3rd ed. MacGraw-Hill. 2000.
- 5 [5] FREITAS, Paulo. Introdução à modelagem e simulação de sistemas. 1ª Edição. Editora Visual Books, 2001.
- 6 [6] Silva, João Bosco. (2001). A indústria do alumínio e a crise de energia. Rem: Revista Escola de Minas, 54(2), 95-96.
- 7 [7] WEISS, J. M. G. A Competitividade da Indústria Brasileira de Alumínio: Avaliação e Perspectivas. RAE-Revista de Administração de Empresas, v. 32, n. 1, jan-mar, p.48-59, 1992.
- 8 [8] ABAL, Associação Brasileira do Alumínio. Disponível em <http://www.abal.org.br>.