

REDIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE SUPRIMENTOS UTILIZANDO SIMULAÇÃO¹

Prof. Dr. Rui Carlos Botter
Prof. André Bergsten Mendes
Eng. Ricardo Ferreira de Souza

RESUMO

O fenômeno da globalização da economia mundial torna necessário o empenho das empresas brasileiras em racionalizar os seus custos, notadamente os custos logísticos referentes a armazenagem, transporte e distribuição de produtos.

A Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, em parceria com algumas empresas tem desenvolvido pesquisas na área do planejamento e projeto de sistemas logísticos e intermodais de transporte, visando selecionar a integração modal mais econômica, a localização e o dimensionamento de centros de distribuição e armazenagem, conjuntamente com o dimensionamento racional da frota de veículos.

Entre as técnicas utilizadas nestas pesquisas, destaca-se a simulação probabilística para modelar os sistemas integrados de transporte, pois estes representam melhor o comportamento dos sistemas reais, em geral aleatórios, considerando-se todas as variáveis envolvidas no processo, e ainda possibilitando uma análise de sensibilidade mais precisa.

O trabalho apresenta a modelagem de um sistema de transporte de produtos a granel desde as fábricas produtoras até as empresas consumidoras. O modelo faz o redimensionamento da distribuição de um suprimento, que é uma das principais matérias prima para a produção de cerveja. Esta matéria prima é produzida e armazenada em três fábricas localizadas, uma em São Paulo, outra no Sul e a terceira no Nordeste do país, e é distribuída para dezessete empresas em diversos pontos do território nacional. O modelo analisa conjuntamente a produção e estoque nas fábricas, o transporte deste suprimento, e o estoque e consumo nas empresas finais.

PALAVRAS CHAVES: Simulação, Transportes, Armazenagem, Suprimentos

¹ XVIII SEMINÁRIO DE LOGÍSTICA DE SUPRIMENTOS E TRANSPORTES
PNV/EPUSP - Área de Transportes e Logística do Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da Escola Politécnica da USP
Av. Prof. Mello Moraes, 2231, São Paulo, S. P., CEP 05508-900. Tel. 011-818.53.40, Fax. 011-818.57.17,
rcbotter@usp.br, andbergs@usp.br, ricfsou@usp.br

1 - INTRODUÇÃO

O suprimento em análise é a principal matéria prima para a produção de um produto alimentício; e é produzido e armazenado a granel em 3 fábricas localizadas, uma no Estado de São Paulo, outra no Sul e a terceira no Nordeste do país. Foram consideradas 18 empresas que recebem este suprimento em diversos pontos do território nacional.

Este estudo surgiu da necessidade da empresa fornecedora da matéria prima reduzir de forma global os seus custos. Ao se tentar reduzir a conta total de fretes, a empresa de transporte alegou não estar havendo um aproveitamento racional dos equipamentos, o que implicava em uma grande quantidade de veículos à disposição da fábrica.

O planejamento das entregas deste suprimento não era, de maneira geral, controlado adequadamente, onde os níveis dos tanques deste suprimento junto as empresas consumidoras e os caminhões que porventura estivessem em viagem para abastecê-las, não eram suficientemente monitorados. Esse planejamento, desacoplado do setor de operações de transportes, não tratava a frota de caminhões e as possíveis rotas de distribuição dentro de um ambiente global, interdependente e interconectado.

Por esse motivo, pedidos eram feitos sem um critério bem definido, visando basicamente resolver o problema de estoque individual de uma empresa, que podiam provocar filas de caminhões junto a origem (uma das 3 fábricas) para carregar, bem como fila de caminhões junto às empresas consumidoras para descarregar, por falta de espaço de tancagem deste suprimento e conseqüentemente o aproveitamento da capacidade de transporte da frota era reduzido.

Este trabalho teve como objetivos:

- a-) analisar conjuntamente a produção e estoques nas fábricas, o transporte deste suprimento e o estoque e consumo nas empresas finais;
- b-) propor novos procedimentos de sequenciamento e horários para atender as empresas, de forma a padronizar e regularizar o esquema de transporte do produto;
- c-) testar os novos procedimentos (item b) através de um modelo de simulação que considere o sistema de distribuição segundo as premissas do item a;
- d-) buscar o redimensionamento da frota para atender a demanda de suprimento, segundo os novos procedimentos a serem definidos, indicando o “ganho de eficiência” introduzido pelo novo sistema.

2 - DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DESTE SUPRIMENTO

O sistema de distribuição é constituído basicamente de 3 subsistemas operacionais: Garagens, Fábricas e Empresas Consumidoras.

No primeiro subsistema - Garagens, os caminhões graneleiros são servidos de facilidades como limpeza e manutenção se necessária e esperam para serem alocados a viagens. Existem 3 garagens, cada uma localizada próxima a cada uma das 3 fábricas que produzem o suprimento.

No segundo subsistema - Fábricas, cada caminhão já designado para uma viagem, se desloca para lá, saindo em geral de uma garagem. Nesse subsistema o caminhão pode esperar em fila, após a qual ele é pesado na entrada, o suprimento é carregado e analisado, e a documentação é preparada.

No terceiro subsistema - Empresas, cada caminhão chega, espera em fila se for o caso, é pesado, a carga é analisada e depois descarregada. O motorista também avisa a transportadora do momento que vai iniciar o retorno até a garagem, ou eventualmente se deslocar direto para a fábrica, ou até mesmo para outra garagem diferente daquela que iniciou a viagem.

Os trajetos garagem-fábrica, fábrica-empresa e empresa-garagem são considerados para esse trabalho elementos que impõem aos caminhões um gasto de tempo ditado por distribuições probabilísticas que dependem de cada origem e cada destino. Eventuais trechos urbanos congestionados estarão “representados” nas distribuições de tempo acima mencionados uma vez que estão incluídos na coleta desses tempos.

Como estabelecido nos objetivos do trabalho, a produção das fábricas e o consumo das empresas são importantes informações que ditam a oferta e a demanda dos produtos e portanto condicionam o tamanho da frota. Para efeito desse trabalho deve-se conhecer as taxas de produção e consumo para um determinado período, os níveis máximos dos tanques nas fábricas e empresas, os níveis de estoques considerados mínimos de segurança. Mais de uma fábrica pode abastecer uma empresa.

Os procedimentos de início de viagens longas e as paradas para descanso do motorista nessas mesmas viagens estão considerados na massa de dados acima mencionada.

3 - COLETA E ANÁLISE DOS DADOS NECESSÁRIOS PARA A MODELAGEM

Foram necessários os seguintes dados, subdivididos nas seguintes classes:

a-) Veículos

- Capacidades;
- Tamanho da frota disponível;
- Distribuição da frota por garagem/pátio.

b-) Garagem/pátio

- Tempo de preparação do caminhão para nova viagem, incluindo limpeza, troca do motorista, etc.

c-) Fábricas do Suprimento

- Tempo de carregamento após alocar o bico de carregamento;

- Tempo de espera para carregar ou tráfego nas fábricas de outros tipos de caminhões fazendo outras operações;
- Capacidade de estocagem do suprimento;
- Taxas de produção, de preferência as taxas de enchimento dos tanque, e sua distribuição sazonal ao longo do ano;
- Intervalos entre ocorrências de paralisações de produção, manutenção e outros eventos que interrompam o sistema de distribuição

d-) Empresas Consumidoras

- Tempo de descarregamento após alocar o bico de descarregamento;
- Tempo de espera para descarregar ou tráfego nas empresas de outros tipos de caminhões fazendo outras operações;
- Capacidade de estocagem e níveis críticos de estocagem;
- Taxas de consumo do suprimento, e sua distribuição sazonal ao longo do ano;
- Intervalos entre ocorrências de paralisações de consumo do suprimento e outros eventos que interrompam o consumo.

e-) Rotas

- Tempo de percurso em cada rota, carregado e vazio, e por tipo de caminhão;
- Procedimentos de início de viagem, tais como não inicia viagem ao anoitecer, ou viaja 12 horas e para 12 horas, etc..

Todos os dados operacionais foram planilhados e analisados, objetivando-se determinar as distribuições de probabilidade que representem cada segmento. Por exemplo, os tempos de viagem entre cada fábrica e empresa consumidora atendida por aquela origem, foram planilhados.

Os dados inconsistentes nas planilhas de dados foram desconsiderados. Para desconsiderar dados de cada uma das operações, foi feita uma análise inicial que retirou os valores zero das colunas; em seguida a massa de dados restante passou por uma análise denominada “BOX-PLOT” contida no pacote estatístico “MINITAB”, onde foram retirados valores muito distantes da média e que representam erros de preenchimento dos documentos ou valores incomuns, chamados de “outliers”, que não representam o processo real.

Finalmente, a análise de aderência sobre os dados operacionais foi efetuada, procurando verificar qual a distribuição que melhor representa os dados de cada um dos intervalos de tempo e peso líquido da carga.

Para se fazer o teste de aderência, toma-se cada uma das colunas de dados, importa-se no módulo “INPUT” do programa ARENA, que faz o teste de aderência usando os métodos de “qui-Quadrado e Kolmogorov-Smirnov”. Como saída o programa ARENA fornece a curva aderida e a distribuição de frequência.

Após ter-se realizado os testes de aderência verificou-se que as curvas aderidas apresentavam problemas em representar o sistema real; face a esses problemas optou-se por utilizar os histogramas de probabilidade acumulada para representar, na simulação, os dados analisados. Tais informações também foram fornecidas pelo módulo INPUT do ARENA.

4 - ESPECIFICAÇÃO DOS INTERVALOS REGULARES PARA ENTREGA DO SUPRIMENTO

A nova programação de caminhões para o transporte deste suprimento entre as fábricas e empresas foi inicialmente estabelecida com base nos dados estatísticos sobre:

- estoques e produção de todas as fábricas;
- transporte;
- estoques e consumo de todas as empresas em conjunto.

Buscou-se com isso :

- elaborar um procedimento para geração da programação regular dos caminhões que deverão abastecer as empresas de tal forma que os estoques não caiam abaixo de valores críticos a serem estabelecidos;
- verificar entre os diversos roteiros e horários possíveis e viáveis, aqueles que melhor ocupam a frota veículos.

O resultado dessa etapa foi um novo esquema de distribuição, com horários e datas de atendimento as empresas que, face aos dados estatísticos utilizados, atendem uma demanda de suprimento num período pré-determinado.

Cabe ressaltar que esse novo esquema de distribuição ainda não leva em conta as aleatoriedades dos processos de carga, descarga e transportes do produto, bem como as aleatoriedades existentes no processo de produção e consumo, que podem interromper os processos produtivos, causando oscilações de estoques nas fábricas e empresas. Esse efeito será medido no modelo de simulação do sistema.

5 - O MODELO DE SIMULAÇÃO PARA O SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE SUPRIMENTO

Para prever os efeitos das aleatoriedades impostas pelo carregamento, descarregamento, transporte e outras operações do sistema de distribuição, foi elaborado um modelo de simulação que permite o teste desses novos esquemas de distribuição, além de uma análise de sensibilidade entre os principais parâmetros do sistema e a visualização, através da animação, do sistema operando.

Para a modelagem do sistema de distribuição foram definidos vários elementos, de acordo com o ambiente ARENA, que incorporam as variáveis e parâmetros apresentados na seção 3 e outros necessários para a codificação da modelagem. Os elementos são das seguintes categorias:

“VARIABLES” - são variáveis globais acessíveis por todas as entidades (embarcações ou sinais de componentes contínuos) do sistema;

“ATTRIBUTES” - são variáveis intrínsecas a cada entidade do sistema;

“LEVELS” - são variáveis que representam níveis instantâneos de tanques do caminhões, fábricas e empresas;

“RATES” - são variáveis que representam as taxas aleatórias de bombeamento;

“EXPRESSIONS” - são expressões algébricas que combinam as outras variáveis do sistema;

“RESOURCES”- são postos de atendimento, no presente modelo denominados garagens, bicos de carregamento e descarregamento, que as entidades ocupam por determinado período de tempo, simulando a operação física do sistema real;

“QUEUES”- são filas de entidades a espera para ocupar um “RESOURCE”;

“STATIONS” - são blocos que fixam pontos gráficos para representar a localização dos postos de atendimento durante a animação da simulação;

“TALLIES” - são variáveis-contadoras especiais que tabulam intervalos de tempo da passagem de entidades entre dois pontos do modelo de simulação, permitindo obter estatísticas, como por exemplo, do tempo de ciclo de caminhões que trafegam entre uma garagem, fábrica e empresas;

“SET” - são conjuntos com definições de “stations, queues, tallies, resources”;

5.1 - A Lógica de Codificação

O modelo de simulação representa a descrição física e operacional mostrado na seção 2, e engloba num só modelo todas as fábricas, seus estoques, as rotas possíveis (mesmo entre fábricas que raramente atendem algumas empresas) e o interrelacionamento de abastecimento entre fábricas e empresas para atender a demanda de suprimento.

A unidade de tempo escolhida para o processamento da simulação é o minuto, sendo que internamente serão feitas as conversões necessárias. Com o minuto como unidade de tempo ganha-se precisão na modelagem de alguns aspectos operacionais do problema.

São consideradas como entidades desse sistema de distribuição, os caminhões e sinais associados aos processos de carregamento e descarregamento de tancagens nas fábricas e empresas.

O sistema a ser simulado contém submodelos discretos, contínuos e mistos, devendo ser dado o tratamento apropriado para cada um deles.

Os submodelos discretos são aqueles representados pelas viagens dos caminhões entre fábrica e empresas, onde instantes discretos de tempo, associados às distribuições probabilísticas de tempo de viagem, definem os eventos de saída dos veículos dos pátios, entrada nas fábricas, carregamento, viagem até as empresas, descarregamento e viagem de retorno.

Os submodelos contínuos são aqueles associados ao carregamento e alívio da tancagem respectivamente junto as fábricas e junto às empresas. O controle dessas operações se dá através de entidades/sinais, que representam intervalos de tempo do processo contínuo de operação dos tanques.

Os submodelos mistos são aqueles associados às operações conjuntas dos veículos nas fábricas, quando estão carregando e às operações de descarregamento do suprimento junto às empresas.

Assim, cada submodelo pode ser codificado, utilizando-se o programa ARENA, que através de uma interface gráfica permite a visualização dos comandos conectados uns aos outros, formando um tipo de diagrama de blocos de comandos. Obviamente, os operandos dos comandos não são visíveis, mas podem ser analisados ou modificados, editando-se qualquer bloco de comando.

O modelo de simulação controla, entre outras variáveis, os níveis dos tanques, a demanda de suprimento entregue às empresas, indicando se ocorreu violação de estoque de segurança, para uma determinada programação de caminhões e composição da frota propostos.

5.2 - Animação do Modelo

Com relação a animação do sistema de distribuição do suprimento, são visualizadas as rotas, as operações e filas nas fábricas, empresas e pátios da transportadora e os níveis dos tanques nas fábricas e empresas.

Um quadro junto a tela de animação de cada fábrica indica:

- o número de caminhões nas garagens;
- o número de caminhões nas filas junto as fábricas;
- o número de caminhões junto as empresas;
- a quantidade de caminhões a caminho de cada empresa;
- a quantidade de pedidos de suprimento ainda não atendidos para cada empresa;
- a quantidade de suprimento entregue em cada empresa;
- o tempo médio de espera do pedidos de suprimento não atendidos para cada fábrica;
- o tempo médio para alocar um caminhão disponível na garagem da transportadora para uma nova viagem.

Os dois últimos tempos acima mencionados são úteis para dimensionamento da frota de veículos em cada garagem.

6 - RESULTADOS

Com a utilização deste modelo de simulação, onde pode-se testar o efeito de uma entrega regular de suprimento aos centros consumidores, foi possível reduzir a frota total de veículos de 45 para 28 caminhões, reduzindo substancialmente a conta de fretes total. Este

redimensionamento foi feito através de um processo iterativo, comparando-se os tempos para alocação dos veículos na garagem (tempo de espera dos veículos devido ao excesso de frota) com os tempos de atraso dos pedidos (tempo de espera para um pedido ser alocado a um veículo disponível na garagem).

Outros ganhos importantes foram a avaliação de investimento em aumentar a capacidade de estoque em alguns centros consumidores em função do impacto da redução da frota de veículos.

7) CONCLUSÃO

A técnica de simulação probabilística é uma ferramenta eficiente para a modelagem e resolução de sistemas complexos, que permite captar as interações existentes entre os diversos subsistemas, além de possibilitar reproduzir fenômenos aleatórios.

Não se trata de uma técnica otimizante, mas através da simulação de diversos cenários pode-se chegar a soluções próximas da ótima.

Ressalta-se a extrema importância da etapa de coleta e análise dos dados, que determina a qualidade dos dados de saída do modelo.

8) BIBLIOGRAFIA

Botter, D.A.; Paula, G. A.; Leite, J. G.; and Cordani, L. K. 1996. Noções de Estatística com Apoio Computacional. Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo, S.P.

Cochran, J. K. and Lin, L. 1989. "Application of Computer Simulation to Freight Transport Systems." *Journal of Operational Research Society*, Vol. 40 No. 5: 433~441.

Darzentas, J. and Spyrou T. 1996. "Ferry Traffic in the Aegean Island: A Simulation Study." *Journal of Operational Research Society*, Vol. 47 No. 2: 203~216.

Eom, S. B.; Lee, S. M.; Kim, E. B. and Somarajan, C. 1998. "A Survey of Decision Support System Applications (1988-1994)." *Journal of Operational Research Society*, Vol. 49 No. 2: 109~120.

Harrington, T. C.; Lambert, D. M. and Sterling, J. U. 1992. "Simulation de Financial Impact of Marketing and Logistics Decisions." *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* Vol 22 No.7: 3-12.

Knepell, P. L. and Arango, D. C. 1993. *Simulation Validation: A Confidence Assessment Methodology*. IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, C.A.

Nersesian, R. L. and Swartz, G. B. 1996. *Computer Simulation in Logistics: With Visual Basic Application*. Quorum Books, Westport, C.T.

Pedgen, C. D.; Shannon, R. E. and Sadowski, R. P. 1995. *Introduction to Simulation Using SIMAN*. McGraw Hill, New York, N.Y.

REDESIGN OF A SUPPLY DISTRIBUTION SYSTEM USING SIMULATION

Prof. Dr. Rui Carlos Botter
Prof. André Bergsten Mendes
Eng. Ricardo Ferreira de Souza

ABSTRACT

Due to the increasing process of economical globalization and due to the need for Brazilian enterprises be competitive in the foreign markets, many have been engaged in reducing their costs, specially concerning transportation, warehousing and distribution.

The Polytechnic School of the University of São Paulo, working together with Brazilian enterprises has developed many researches in the planning and design of intermodal logistics transportation systems, aiming at finding the most economical transportation mode, the localization and the design of warehouses and to assess the optimal design of transportation fleet.

Among the techniques applied in these researches stands the probabilistic simulation used to model integrated transportation systems, since it represents in a better way the behavior of the real-world system, which is a random one, and considers all the variables involved and enables a better sensitivity analysis.

The paper presents the modeling of a bulk transportation supply system that conveys one of the main raw materials used in the beer production. The model helps to redesign this system which is characterized by three production plants, one in the State of São Paulo, one in the north-east region and other in the south region of Brazil. The consumption plants are scattered mainly along the Brazilian shore and well concentrated in the State of São Paulo. This model analyses the production rates and the tank levels in the production plants, and also the transportation system, the tank levels and consumption rates in the consumption plants.

KEY WORDS: Simulation , Transportation, Storage, Supply