

# SIMULAÇÃO APLICADA EM PROJETOS DE LINHAS DE MONTAGEM COM PALLETS RETORNÁVEIS<sup>1</sup>

Leonardo Chwif

Simulate Tecnologia de Simulação Ltda  
Travessa R, nº 400, sala 19, Prédio Cietec  
05508-900, São Paulo, SP  
www.simulate.com.br

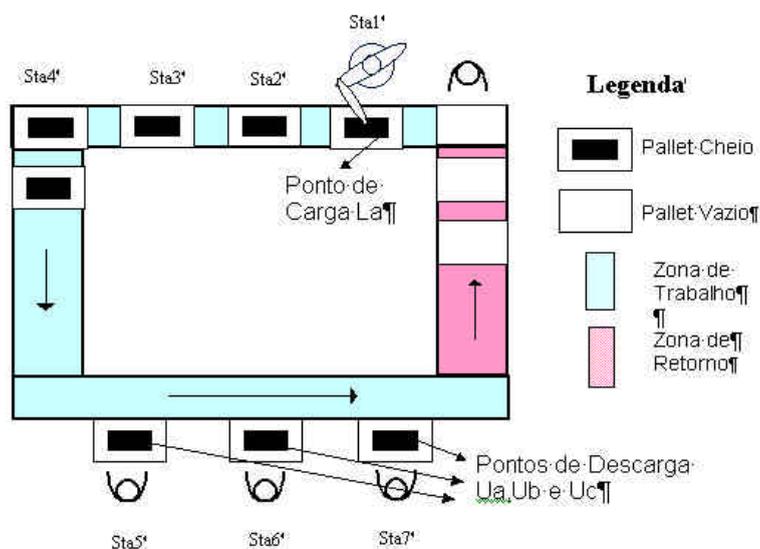
## Sinopse

As linhas de montagem com pallets retornáveis estão cada vez mais sendo utilizadas nos sistemas de manufatura devido sua flexibilidade e capacidade de automação de postos de trabalho. No entanto, o seu projeto, dependendo da configuração da mesma, pode ser crítico. Por exemplo, a determinação do número ideal de pallets nem sempre é possível através dos cálculos manuais. Este trabalho mostra como a simulação de eventos discretos pode ser uma ferramenta extremamente útil na validação de um projeto de linhas de montagem com pallets retornáveis. Este trabalho apresentará também alguns casos práticos desenvolvidos pelo autor onde a simulação conseguiu otimizar o desempenho do sistema bem como reduzir custos.

**Palavras-chave:** Simulação de Eventos Discretos, Projeto de Linhas de Montagem, Linhas com pallets retornáveis.

## 1. Introdução e Terminologia

As linhas de montagem com pallets retornáveis são importantes sistemas de manufatura adotados em várias indústrias. Uma de suas maiores vantagens é melhor controlar o fluxo de produtos e suas posições para realizar um transporte ou trabalho, pois na grande maioria das vezes estes sistemas possuem motorização independente em cada estação. Segundo [1] há várias configurações de linha de pallets retornáveis. A figura 1 ilustra uma linha de pallet retornáveis em forma de "O".



<sup>1</sup> Este trabalho foi apresentado no 11º CONAI 2004 - Congresso e Exposição Internacional de Automação.

figura 1 – Exemplo de uma linha de pallets retornáveis

Numa linha de pallets retornáveis temos nomenclaturas específicas como:

- **Zona de trabalho:** Zona em que o pallet conterà o produto a ser trabalhado. Compreende a extensão da linha entre o ponto de carga e o ponto de descarga
- **Zona de retorno:** Zona em que o pallet anda em vazio. Portanto vai do ponto de descarga até o ponto de carga
- **Ponto de Carga:** Ponto (ou pontos) onde é o pallet é carregado com o produto
- **Ponto de Descarga:** Ponto (ou pontos) onde o produto é descarregado do pallet

Estes principais conceitos estão também ilustrados na figura 1.

Uma das questões centrais no projeto de linhas de pallets retornáveis é a sua produtividade. Um dos fatores que mais influenciam a produtividade de uma linha é o número de pallets no sistema. Este ponto será melhor analisado em detalhe na próxima seção.

## 2. Quanto mais melhor?

Uma das questões centrais sobre o dimensionamento de linha de pallets retornáveis é a determinação do número ideal de pallets. Contrariamente ao senso comum, quanto mais pallets pode ser pior para o desempenho do sistema. De fato, de acordo com [2]: “A produtividade horária pode ser altamente sensível ao número de pallets em linhas de pallets retornáveis, e muitos pallets podem ser ainda mais ineficientes do que muitos poucos”. Falando generalizadamente a produtividade de um sistema de pallets retornáveis pelo número de pallets segue o gráfico mostrado pela figura 2.

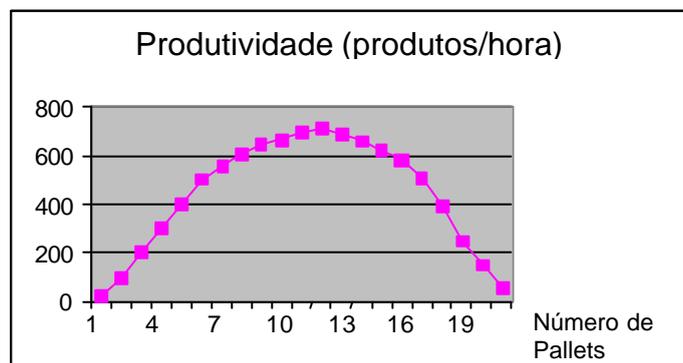


figura 2 – Gráfico que ilustra relação entre produtividade e número de pallets.

É claro que um número baixo de pallets no sistema leva a uma baixa produtividade. De fato, analisando este gráfico pode-se concluir que há um número ideal ou ótimo de pallets que deve ser utilizado no sistema e que irá maximizar a produtividade.

## 3. Determinando o Número ideal de Pallets

Se for contemplado linhas simples de pallets retornáveis em formato de “O”, o número ideal de pallets pode ser dado pela seguinte aproximação[1]:

$$P = l / (c * s) + m$$

Onde

- p é o número recomendado de pallets
- l é o comprimento do “O” em metros
- c é o tempo de ciclo
- s é a velocidade da esteira (m/s)
- m é o número de máquinas (não estações)

Esta fórmula, no entanto, é somente uma aproximação (não leva em conta todos os detalhes de um sistema de pallets retornáveis). No caso de uma linha mais complexa não há nenhuma “regra de bolo” como a citada para determinar a resposta, e a melhor forma de se fazer isto é através da simulação computacional.

Embora a simulação computacional<sup>2</sup> date da década de 50, onde era aplicada basicamente para fins militares, esta teve um crescimento muito grande nas duas últimas décadas expandindo-se para outras áreas como manufatura e serviços. A manufatura, depois da área militar, foi a primeira a adotar a simulação em grande escala (para alguns exemplos de aplicações de simulação em manufatura ver as referências básicas [4], [5], [6]). Não podemos negar que este grande desenvolvimento está muito ligado ao próprio desenvolvimento do hardware e software, fazendo-se com que a técnica de simulação seja cada vez mais difundida entre administradores, engenheiros e mesmo os leigos no assunto.

Para mostrar como a simulação é uma ferramenta altamente efetiva para esta aplicação, foi desenvolvido um modelo de um sistema de pallets retornáveis para uma indústria automobilística. Antes do estudo da simulação o número de pallets estipulado era 600. Em se fazendo a simulação, notou-se que somente cerca de 400 pallets eram realmente necessários. Neste caso portanto obteve-se uma economia de quase meio milhão de reais devido à redução do número de pallets. Na próxima seção apresentaremos alguns casos de projetos de linha de pallets retornáveis os quais também proporcionaram diversos ganhos.

#### **4. Exemplos de projetos de sistemas de linhas com pallets retornáveis.**

A seguir serão mostrados alguns projetos de linhas de pallets retornáveis realizados pelo autor e seus principais benefícios. Para garantir o sigilo dos projetos, os nomes dos produtos específicos e das empresas foram omitidos.

##### **4.1 Célula de Fabricação de Portas.**

Este exemplo foi apresentado em [7]. Este sistema consiste na fabricação de portas especiais para um determinado produto através de injeção de plástico. Só há operadores em dois tipos de estações, sendo que a maioria dos processos é realizada de forma automática, inclusive o de pintura (feito por um robô). Neste processo, os pallets ficam circulando entre as diversas estações (limpeza, pintura, pré-polimerização, polimerização, até a injeção final), ilustrados pela figura 5. A dúvida era quantos pallets utilizar ao todo e qual a melhor lógica de trabalho dos pallets: trabalhar com pallets dedicados (sempre trabalham em uma seqüência predefinida) ou pallets flexíveis (não há seqüência específica de qual molde vai para a próxima estação). Neste projeto, vários modelos de simulação foram montados e a conclusão que se chegou é que não compensa utilizar um número de pallets muito grande (o ideal foi 8) e não convém a utilização de pallets dedicados. Através destas recomendações e outras implementadas posteriormente, foi possível obter um ganho de produtividade da célula em 12%.

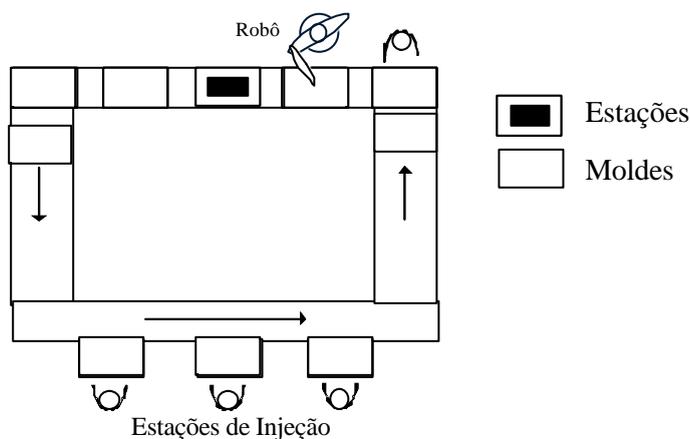


figura 3 – Layout da Célula de fabricação de Portas.

<sup>2</sup> Uma das definições mais completas sobre o termo “Simulação” na minha opinião é atribuído a Shannon(75) ([4]): “Processo de elaboração de um modelo de um sistema real (ou hipotético) e a condução de experimentos com a finalidade de entender o comportamento de um sistema ou avaliar sua operação”

## 4.2 Linha para montagem inicial de produto de linha branca

Este caso trata de uma linha de montagem de estrutura inicial de um produto de linha branca que irá alimentar uma linha de montagem principal. Como o layout da linha não é simples (vide figura 4) incluindo uma divisão de fluxos, decidiu-se utilizar a simulação para verificar se não há nenhum problemas com gargalos e determinar o número ideal de pallets.

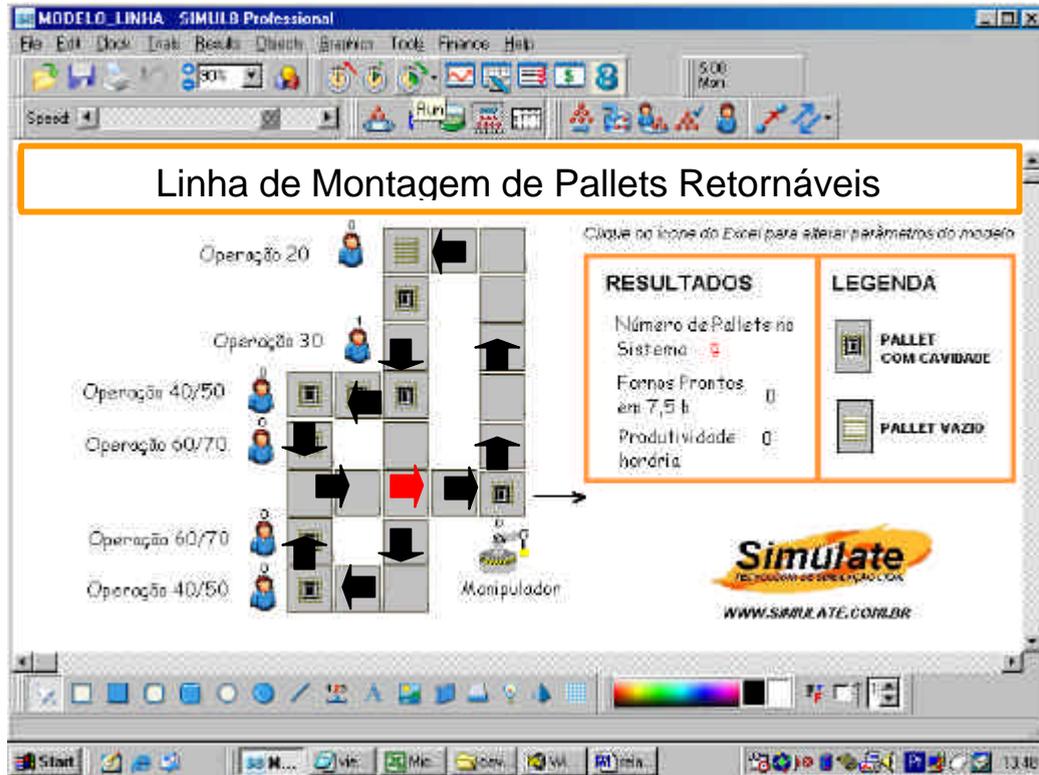


figura 4 – Linha de Montagem de Pallets Retornáveis para produto de Linha Branca

O estudo de simulação conseguiu determinar que para um número de pallets igual a nove a linha atinge produtividade máxima (cerca de 82 produtos/hora). É interessante notar neste caso que um número de pallets maior do que 9 não aumenta a produtividade e ainda um número de pallets maior ou igual a 12 causa travamento da linha pela configuração e lógica de operação no ponto de cruzamento dos dois fluxos (entrada e saída) – indicados na figura 4 por uma seta vermelha. No entanto se o limite for obedecido o ponto de cruzamento não é gargalo e a linha pode operar normalmente.

## 5. Considerações Finais

O presente trabalho procurou abordar como a Simulação de Eventos Discretos pode auxiliar no projeto de linhas de montagem com pallets retornáveis. Contrariamente ao senso comum, o projeto de uma linha deste tipo através de métodos convencionais (estimativas/cálculos manuais) pode levar a gastos excessivos de recursos financeiros ou mesmo levar a um reprojeção da linha, pois esta não funcionou conforme o previsto. Com a simulação pode-se efetuar avaliações prévias, verificando se o sistema irá operar adequadamente antes de colocá-lo em funcionamento.

Espera-se que este trabalho possa ter contribuído um pouco com a difusão desta tecnologia importantíssima nos projetos de sistemas com pallets retornáveis e fundamental para garantir a competitividade das empresas e o desenvolvimento tecnológico brasileiro.

## **Bibliografia**

- [1] GROOVER, M. P., "Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing", Prentice-Hall, 2001.
- [2] WILLIAMS, E.D.; GEVAERT, A. "Pallet Optimization and Throughput Estimation Via Simulation", In: Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference, p. 744-749, 1997.
- [3] [http://www.cae.wisc.edu/~ie642/content/Applications/3-AssemblySystems/3.Assembly systems.html](http://www.cae.wisc.edu/~ie642/content/Applications/3-AssemblySystems/3.Assembly%20systems.html)  
[acessado em 22/01/2004]
- [4] SHANNON, R.E; "Systems Simulation – The Art and Science", Prentice-Hall, 1975.
- [5] PIDD, M.; "Computer Simulation in Management Sciences", John Wiley and Sons, Chichester, 4th edition, 1998.
- [6] LAW, A.M.; KELTON, D. W. "Simulation Modeling & Analysis", McGraw-Hill, Inc, 1991.
- [7] CHWIF, L. "Utilizando Simulação de Eventos Discretos em Projetos de Sistemas Automatizados de Manufatura", CONAI – Congresso Internacional de Automação Industrial, 2002.

## **Biografia do Autor**

**LEONARDO CHWIF** se graduou em Engenharia Mecatrônica em 1992 pela Universidade de São Paulo e obteve seu mestrado em 1994 e seu doutorado em 1999 pela mesma Universidade. Ele trabalhou no CASM ("Centre for Applied Simulation Modelling"), na Universidade de Brunel (Reino Unido) como pesquisador visitante. Depois de graduação Leonardo trabalhou em várias empresas de grande porte como Mercedes-Benz e Multibrás Eletrodomésticos nas áreas de automação e simulação. Leonardo ainda é professor das disciplinas de graduação "Modelagem e Simulação de Eventos Discretos" e "Automação nos sistemas de Produção" da Escola de Engenharia Mauá e professor das disciplinas de pós-graduação "Modelagem e Simulação de Processos a eventos Discretos" na Escola de Engenharia Mauá e "Simulação e Automação" no PECE (Programa de Educação Continuada em Engenharia)/USP. Ele é sócio fundador da Simulate, uma empresa de consultoria em simulação localizada em São Paulo. Seu endereço eletrônico é <lchwif@simulate.com.br>.