

# UTILIZANDO SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS EM PROJETOS DE SISTEMAS AUTOMATIZADOS DE MANUFATURA

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

Qualquer projeto de sistemas de eventos discretos (como os sistemas automatizados de manufatura) podem e devem ser simulados para que se consiga determinar as melhores condições de operação e detectar erros de projeto antes que o sistema seja implantado com estes erros. Todavia, muitos projetistas destes sistemas desconhecem esta poderosa tecnologia e ainda utilizam técnicas tradicionais de desenvolvimento. Este trabalho visa abordar de uma forma introdutória os principais tópicos da simulação aplicados a projetos de sistemas automatizados de manufatura. Ele se inicia abordando os conceitos básicos de simulação e mostrando as diversas ferramentas utilizadas na análise de sistemas automatizados. A seguir será demonstrando alguns projetos práticos de simulação de sistemas automatizados desenvolvidos pelo autor, que proporcionaram economias substanciais. Ainda será abordado o tópico "simulação e emulação", mostrando como a simulação pode ser utilizada para testar diversas lógicas de controladores e PLC's antes mesmo de testar sua lógica com o sistema real. Por fim, procurar-se-á concluir o trabalho apontando as principais vantagens obtidas pela utilização da simulação em projeto de sistemas automatizados de manufatura.

**Palavras-chave:** Simulação de Eventos Discretos, Projeto de Sistemas Automatizados, Emulação.

## 1. Introdução

Embora a simulação computacional<sup>1</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 um pequeno exemplo de aplicações de simulação em manufatura ver as referências básicas [2], [3], [4]). 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.

Além do aspecto do desenvolvimento tecnológico dos computadores, há outras razões para este aumento de popularidade da simulação. A primeira é que os modelos de simulação quando comparados com as planilhas ou outras formas de se tirar conclusões sobre um sistema, fornece resultados mais precisos e mais realísticos. Além disto, a simulação é uma ferramenta extremamente poderosa na avaliação de sistemas complexos (com grande número de variáveis e interações entre estas). Outra vantagem da simulação é que esta é capaz de modelar o aspecto dinâmico aleatório dos sistemas. Em suma a simulação pode lidar com sistemas de alta complexidade, com o aspecto dinâmico dos sistemas (variáveis, parâmetros, estado variando ao longo do tempo) e com o aspecto aleatório ou estocástico

---

<sup>1</sup> Um das definições mais completas sobre o termo "Simulação" na minha opinião é atribuído a Shannon(75) ([1]): "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"

dos sistemas (os fenômenos não são constantes e sim podem seguir distribuições de probabidades, como exemplo de quebras de máquinas – estas quebram sempre em intervalos constantes ?)

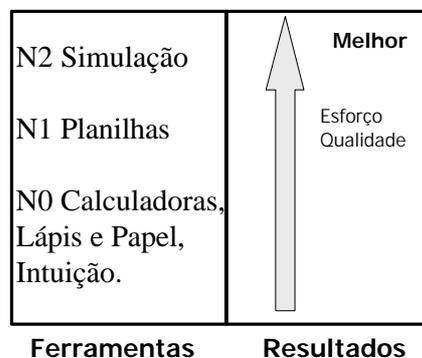
O trinômio Complexidade, Aleatoriedade e Dinâmica é fortemente característico dos sistemas de manufatura. Como “subclasse”, os sistemas de manufatura automatizados “herdam” todas estas características dos sistemas de manufatura. Para complicar ainda mais, adicione um ponto extremamente delicado dos sistemas de manufatura automatizados: o alto custo dos equipamentos. Desta maneira, a ferramenta de análise que melhor se casa com a natureza dos sistemas de manufatura automatizados é sem sombra de dúvida a simulação, e isto é o que será demonstrado nas próximas seções. Não é a toa que algumas corporações só aprova investimentos em sistemas automatizados somente se os respectivos sistemas forem previamente simulados.

Além das vantagens descritas, tomando como ponto de vista da simulação como ferramenta de análise de sistemas, simulação ainda é uma excelente ferramenta para promover melhor entendimento do sistema: A animação gráfica que ela possui pode facilitar o entendimento do sistema e melhorar a comunicação entre as pessoas envolvidas no projeto. Segundo a visão de [6] “a finalidade da simulação não são números e sim a inspiração”.

O presente trabalho está organizado da seguinte forma: na próxima seção demonstrar-se-á algumas ferramentas existentes para a análise de projetos de automação de manufatura, observando suas vantagens e desvantagens. Na seção 3, mostrar-se-á alguns exemplos de como a simulação auxiliou projetos de automação, trazendo ganhos claros. A seção 4 abordará um tópico muito atual relacionado a simulação em tempo real e finalmente a seção 5 fará os comentários finais e concluirá o trabalho.

## **2. Ferramentas de Análise de Projetos de Automação**

Para o dimensionamento e análise de Projetos de Automação, poderíamos utilizar a escala de ferramentas dispostas na figura 1. No nível 0 temos as ferramentas ainda bastante utilizadas: calculadoras e por incrível que pareça a “Intuição”. Embora a intuição não possa ser considerada como uma “ferramenta formal” de análise de projetos, pela pressão do tempo ela é utilizada.



*figura 1 – Escala das Ferramentas de Análise Utilizadas em Projetos de Automação*

Muitos se utilizam das famosas planilhas Excel (nível 1). O grande problema das planilhas e dos cálculos manuais é que estes são estáticos e determinísticos. São estáticos pois não levam em conta o tempo de uma maneira direta e determinísticos porque só trabalham com variáveis determinísticas (quase sempre a média) dos sistemas.

Um exemplo interessante para demonstrar a diferença entre o cálculo determinístico e uma simulação está no famoso problema do reparador de máquinas (figura 2). Assim considere um sistema com 8 máquinas CNC totalmente automáticas uma única pessoa para repará-las quando há algum problema de quebra. O tempo médio entre quebras de uma máquina é de 200 horas e o tempo médio de reparo é de 20 horas. A pergunta é qual o número máximo de máquinas paradas simultaneamente ?

Se supormos tempos determinísticos, e nos basearmos na média dos tempos entre quebras e reparos, vamos fazer a seguinte raciocínio: Supondo que inicialmente todas as máquinas estão quebradas, como o reparador demora 20 horas para consertar cada máquina e são 8 máquinas ao todo, ao fim de  $20 \times 8 = 160$  horas ele consertou todas as máquinas. Daí somente no instante  $t=220$  horas a

primeira máquina irá quebrar novamente (200 horas após o primeiro concerto), a segunda em  $t=240$  e assim sucessivamente. Logo teríamos apenas 1 máquina parada por vez e no máximo 1.

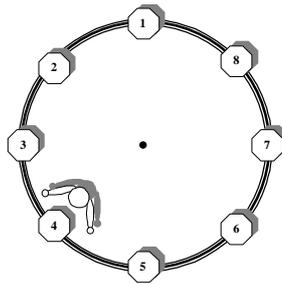


figura 2 – Exemplo do Problema do Reparador de Máquinas

No entanto a realidade é bem diferente. Tanto os tempos entre quebras como os tempos de concerto não são constantes. Algumas vezes eles seguem uma distribuição denominada distribuição exponencial. A figura 3 ilustra o perfil desta distribuição para uma exponencial com média de 200 horas. Neste caso irá-se supor que uma máquina quebre segundo uma distribuição exponencial com média de 200 horas (a média é 200 horas mas uma máquina pode tanto quebrar daqui a 30 horas como daqui a 300 horas) e que o reparador demore também 20 horas em média também segundo uma distribuição exponencial. Para este último caso, ao elaborar um modelo de simulação, chegar-se-á a conclusão que o número máximo de máquinas paradas simultaneamente pode chegar a até 5 (em 99,9 % do tempo) !!!!

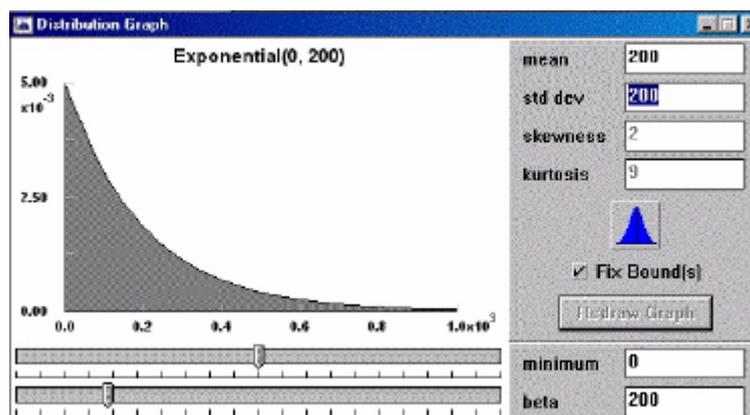


figura 3 – Exemplo de Distribuição Exponencial com média 200 horas  
(O eixo X representa o tempo em Horas e o Eixo Y sua probabilidade de ocorrência).

Este ponto tão discrepante ocorre pois na realidade tudo varia, e os sistemas automatizados não estão livres da aleatoriedade. Em suma tanto as ferramentas do nível 0 como o nível 1 não levam em conta o caráter dinâmico e aleatório dos sistemas automatizados, podendo-se gerar resultados completamente fora da realidade.

### **3. Exemplos de projetos de sistemas automatizados utilizando a simulação.**

A título de exemplificação de como a simulação pode ser aplicada na análise de sistemas automatizados segue abaixo alguns casos de projetos realizados pelo autor. Isto é uma ínfima amostra do que a simulação pode fazer em projetos de automação. Dezenas de casos deste tipo são reportados nos anais do "Winter Simulation Conference". Quem tiver interesse de acessar artigos "on-line" deste congresso o "link" é: <http://www.informs-cs.org/wscpapers.html> (contém artigos publicados nos anais de 1997 a 2001). Para garantir o sigilo dos projetos, os nomes dos produtos específicos e das empresas foram omitidos.

### 3.1 Linha de Testes Automáticos.

Neste exemplo o objetivo da simulação era determinar a melhor configuração de uma linha de testes automáticos (fase final da produção) para um determinado produto de utilização residencial. Neste caso só há intervenção humana na colocação da alimentação elétrica e hidráulica do produto e acompanhamento dos testes automáticos. O interessante deste projeto é que a configuração inicial pelos cálculos manuais atendiam plenamente os requisitos de produção (produtividade horária) o que não foi verificado pela simulação, devendo aumentar o número de estações de teste de 5 para 6 estações. Como pode ser visto pela figura 4, foram simuladas várias configurações e a que deu melhor resultado foi a configuração 5. O grande ganho em se fazer a simulação foi alertar para a compra de mais uma estação e diminuir um operador do processo. Agora suponha que o projeto inicial fosse implantado com 5 estações. Veja que neste caso, haveria um custo adicional de inserir mais uma estação, custo que foi evitado pela utilização da simulação.

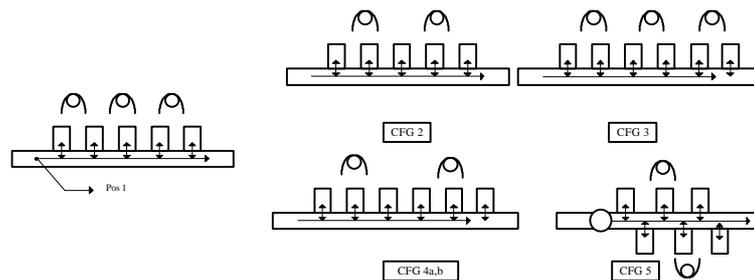


figura 4 - Diversas configurações para a linha de teste.

### 3.2 Célula de Fabricação de Portas.

Neste segundo exemplo, têm-se um sistema bem mais complexo do que o do primeiro caso. 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. Os moldes ficam circulando entre as diversas estações (limpeza, pintura, pré-prolimerização, polimerização, até a injeção final). A figura 5 ilustra melhor esta descrição. A dúvida era quantos moldes utilizar ao todo e qual a melhor lógica de trabalho dos moldes: trabalhar com moldes dedicados (sempre trabalham em uma seqüência pre-definida) ou moldes 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 moldes muito grande (o ideal foi 8) e não convém a utilização de moldes dedicados. Através destas recomendações e outras implementadas posteriormente, foi possível obter um ganho de produtividade da célula em 12%.

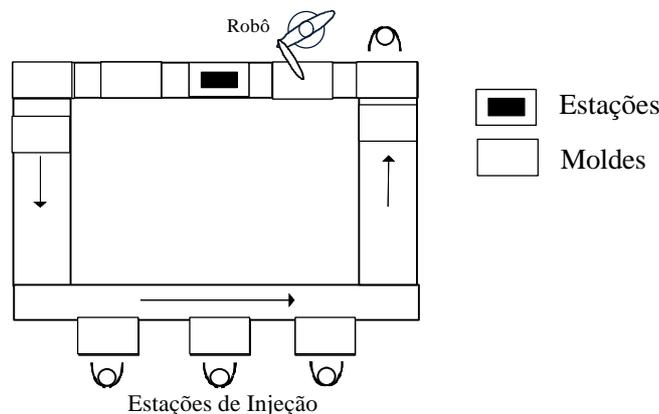


figura 5 – Layout da Célula de fabricação de Portas.

### 3.3 Sistema de Alimentação Automático de Prensas.

Este sistema ilustra muito bem os pontos discutidos na seção 2. Deseja-se determinar o número de carrinhos automáticos para a alimentação de bobinas metálicas de três prensas. A alimentação deve iniciar-se assim que uma das prensas terminar de produzir um determinado lote de peças. A condição

principal é a de que deverá haver um carrinho disponível para a alimentação das prensas, pois uma espera pelo carrinho de alimentação poderá gerar perdas de produção. Este sistema está mostrado pela figura 6.

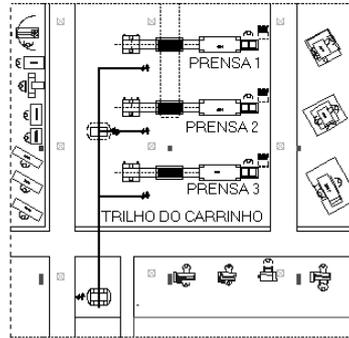


figura 6 – Layout do Sistema de Alimentação Automática de Prensas

Se não fizer nenhum cálculo, qual o número de carrinhos necessários? A idéia aparentemente é simples: Ora, para não haver perdas de produção, o carrinho deve estar sempre disponível quando a prensa solicitar. Se por exemplo houver um só carrinho e este estiver alimentando a prensa 1, se a prensa 2 solicitar a troca de bobina ela terá que esperar o carrinho e isto gerará uma ociosidade e conseqüentemente perdas de produção. Logo, como são 3 prensas deverão haver 3 carrinhos (um para cada prensa). No entanto, utilizando uma planilha Excel e tentando colocar os tempos de confecção de cada lote (montando uma espécie de carta de “Gantt”, pode-se chegar a conclusão que somente dois carrinhos são necessários, pois nunca haverá 3 prensas trocando bobinas simultaneamente (considerando os tempos determinísticos). Fazendo o modelo de simulação, tomando os tempos de processo aleatórios (seguindo certas distribuições) o resultado do Excel ainda foi confirmado, com uma surpreendente conclusão: ao utilizar somente 1 carrinho haverá sobreposição. Mas esta sobreposição gera uma perda de produção desprezível, e portanto pode-se adotar para este projeto somente 1 carrinho. Isto representa uma economia em torno de 130.000,00 dólares em relação a primeira alternativa (três carrinhos) devido ao próprio custo dos carrinhos e do sistema de controle adicional.

#### **4. Simulação e Emulação**

Até aqui discutimos como a simulação pode auxiliar no projeto de sistemas automatizados para a parte da operação. Seria possível também testar lógicas ou estratégias de controle de PLC’s em tempo real antes de se implantar o controle na própria planta? A resposta é sim e o meio pelo qual isto é feito denomina-se Emulação ou Simulação em Tempo Real. Segundo [5] a Emulação é o “casamento” de duas disciplinas: Simulação e Projeto do Sistema de Controle.

A idéia básica da emulação é fazer com que o sistema de controle seja conectado a um modelo de simulação que representa um sistema real e não ao próprio sistema. Este conceito pode ser visto pela figura 7.

As maiores vantagens da emulação seriam:

- (1) Diminuição de riscos de acidentes: isto porque se houver qualquer problema com a Lógica de controle, será detectado na emulação, evitando problemas ou danos materiais.
- (2) Diminuição de problemas que poderão ocorrer no campo: Como antes de testar a lógica de controle em campo, a lógica é testada “no laboratório”, a possibilidade de ainda se encontrar erros de lógica é minimizada
- (3) Testes Extensivos: Com a simulação, uma ampla gama de situações podem ser geradas para testar a lógica de controle, tornando-a mais ‘robusta’, pois esta pode funcionar tanto para situações comuns como situações incomuns mas que podem ocorrer.
- (4) O custo de cada rodada de simulação / “set-ups” no modelo de simulação é desprezível: Uma vez que o modelo de simulação foi construído e customizado, o custo

/ tempo de montar novas configurações é mínimo (basta algumas manipulações no teclado). Na prática para se testar a lógica em uma nova configuração do sistema poderia gerar custos pois têm-se todo tempo e custos de “set-ups” reais.

Por ser ainda um assunto relativamente recente e extremamente caro devido a todo o hardware e software de conexão em tempo real (Placas de Aquisição de dados, Interface de Rede) mais a construção do modelo completo da planta no simulador, as aplicações ainda são bastante restrita. Em [6] podemos observar uma aplicação de emulação para um sistema de entrega de materiais (sistema do tipo “pick and pack”).

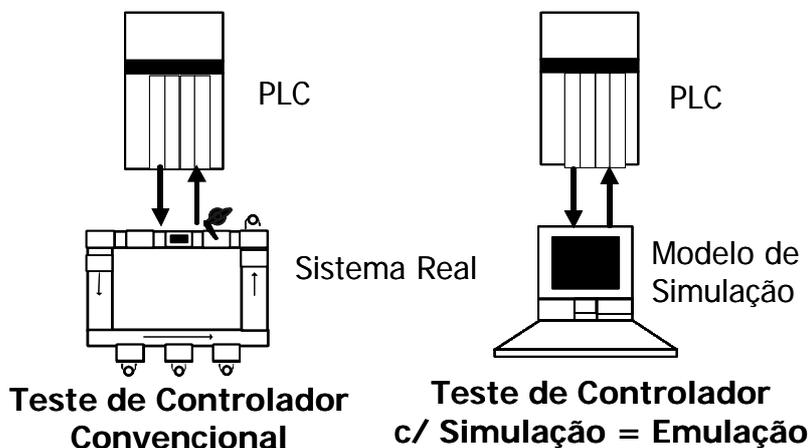


figura 7 – Conceito Básico de Emulação

## **5. Conclusões**

O presente trabalho procurou abordar de forma introdutória e didática as principais vantagens de se utilizar a simulação de eventos discretos como principal ferramenta na análise da operação de sistemas automatizados de manufatura.

Em suma, as principais vantagens de se utilizar a simulação em projetos de sistemas automatizados de manufatura são:

- (1) Procurar obter a melhor configuração do sistema sem interferência com sistema real;
- (2) Minimizar os custos de Investimentos em Equipamentos de Automação;
- (3) A simulação irá mostrar realmente como o sistema real iria operar e não como achamos que ele opera [4];
- (4) A simulação irá funcionar como ferramenta de comunicação e promoverá um melhor entendimento sobre o sistema em análise;
- (5) As lógicas de controle podem ser testadas sem a presença do sistema real (planta) no caso da emulação.

Embora esta tecnologia seja amplamente aplicada nos países da Europa e EUA, embora já tenhamos alguns casos reportados, ainda a utilização da simulação no Brasil está muito restrita a algumas empresas. Isto ao meu ver não é causado pelos custos da simulação, que são desprezíveis em relação às melhorias e benefícios que estas podem reverter. Isto é causado pelo desconhecimento da tecnologia e muitas vezes pelo paradigma de que as técnicas estáticas conseguem chegar num nível de realismo grande.

Espero que este trabalho possa ter contribuído um pouco com a difusão desta tecnologia importantíssima nos projetos de sistemas automatizados de manufatura e fundamental para garantir a competitividade das empresas e o desenvolvimento tecnológico brasileiro.

## **Bibliografia**

- [1] SHANNON, R.E; “Systems Simulation – The Art and Science”, Prentice-Hall, 1975.
- [2] PIDD, M.; “Computer Simulation in Management Sciences”, John Wiley and Sons, Chichester, 4th edition, 1998.
- [3] LAW, A.M.; KELTON, D. W. “Simulation Modeling & Analysis”, McGraw-Hill, Inc, 1991.
- [4] BANKS, J; CARSON, J. “Discrete-Event Systems Simulation”, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1984.
- [5] SCHEISS, C.; “EMULATION: DEBUG IT IN THE LAB – NOT ON THE FLOOR”, In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, p. 1463-1465, 2001.
- [6] LE BARON, T.; THOMPSON, K. “Emulation of a Material Delivery System”, In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, p. 1055-1060, 2001.

## **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>.