

# APLICAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NA GESTÃO DO PROCESSO DE MONTAGEM DE CADEIRAS EM UMA INDÚSTRIA MOVELEIRA

*RESTRICTION THEORY PRINCIPLES APPLICATION AND COMPUTATIONAL SIMULATION IN THE CHAIN ASSEMBLY PROCESS MANAGEMENT IN THE FURNITURE INDUSTRY*

**Carla Cristiane de CAMARGO**

Engenharia de Produção – Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR  
carla\_c\_camargo@hotmail.com

**Genilso Gomes de PROENÇA**

PPGTCA – Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR  
genilsogp@gmail.com

**Carla Adriana Pizarro SCHMIDT**

PPGTCA – Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR  
carlaschmidt@utfpr.edu.br

**José Airton Azevedo dos SANTOS**

PPGTCA – Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR  
airton@utfpr.edu.br

Recebido em 02/2016 – Aprovado em 12/2016

## **Resumo**

Este trabalho teve como objetivo aplicar os princípios da teoria das restrições e técnicas de simulação computacional na gestão do processo de montagem de cadeiras em uma indústria moveleira. No presente estudo são apresentados aspectos conceituais da teoria das restrições e de simulação computacional. O modelo computacional do tipo dinâmico, discreto e estocástico foi implementado no software Arena®. Como parâmetro de comparação entre os dados obtidos a partir do sistema e gerados pelo modelo utilizou-se o cálculo do erro médio estimado. De modo geral, os resultados evidenciam que a aplicação em conjunto, dos princípios da teoria das restrições e técnicas de simulação, pode agilizar o tempo de montagem de cadeiras da indústria moveleira.

Palavras-chave: Arena®, Teoria das Restrições, Simulação, Indústria Moveleira.

### **Abstract**

*This study aimed to apply the principles of the theory of constraints and computational simulation techniques in the management of the assembly process of chairs in a furniture industry. In this study are presented conceptual aspects of the theory of constraints and computer simulation. The computational model dynamic, discrete and stochastic was implemented in Arena® software. As a comparison parameter between the data obtained from the system and generated by the model was used the estimated average error. Overall, the results suggest that application together, of the principles of the theory of constraints and simulation techniques, can speed up the assembly time of chairs of the furniture industry.*

**Keywords:** Arena®, Theory of Constraints, Simulation, Furniture Industry.

## **1 INTRODUÇÃO**

---

A indústria moveleira pode ser considerada uma das mais antigas do mundo. Derivada da produção artesanal, com a revolução industrial passou a utilizar máquinas e ferramentas visando obter economias de esforço e tempo. Os avanços proporcionados pela industrialização permitiram a padronização e os ganhos de economia de escala, de maneira que os móveis deixaram de ser produtos artesanais para se tornarem produtos manufaturados. Sendo assim, a indústria de móveis é classificada como uma indústria tradicional, com tecnologia de produção consolidada e amplamente difundida (FERREIRA, 2009).

No Brasil, a indústria moveleira encontra-se com mais intensidade nas regiões sul e sudeste, este setor teve um avanço significativo na década de 1990, quando foi feito um investimento para aquisição de equipamentos importados que favoreceram um aumento expressivo na produção e com isso também se teve uma padronização dos itens em nível internacional (COELHO; BERGER, 2004).

O método do gerenciamento de restrições é composto por um conjunto de princípios e conceitos idealizados pelo físico israelense Eliyahu Goldratt, nos anos 1980, conhecido como Teoria das Restrições (TOC – Theory of Constraints), um método novo de administração da produção. O sucesso de sua teoria em algumas empresas fez com que outras se interessassem em aprender a técnica. Assim Goldratt decidiu repassar o seu conhecimento e escreveu um livro contando sobre sua teoria, chamado de “The Goal” ou em português A Meta (GOLDRATT; JEFF, 1997).

Uma restrição não é boa nem má, ela existe e deve ser gerenciada (SATOR et al., 2014). De fato, o reconhecimento da existência de um fator limitante é uma excelente oportunidade para a melhoria, pois permite o foco na identificação e gerenciamento das restrições.

A TOC se concentra na utilização e aumento da capacidade do gargalo da produção, responsável pelos resultados de todo o sistema produtivo (ALVES et al., 2014). Nesse aspecto, a sua utilização serve de apoio para a determinação de cenários a serem criados no ambiente de simulação computacional, orientando à obtenção do resultado esperado.

A simulação de um modelo permite entender a dinâmica de um sistema assim como analisar e prever o efeito de mudanças que se introduzam no mesmo. É uma representação próxima da realidade, e será tanto mais real quanto mais características significativas do sistema seja capaz de representar. Por outro lado, o modelo deve ser simples, de forma que não se torne demasiado complexo para se construir, mas ao mesmo tempo o modelo deve ser o mais fiel possível ao sistema real (VOGEL et. al., 2013).

Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo aplicar os princípios da teoria das restrições e técnicas de simulação computacional na gestão do processo de montagem de cadeiras em uma indústria moveleira.

## 2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

### Tipo de Pesquisa

A metodologia utilizada neste estudo pode ser classificada quanto ao tipo de pesquisa, a população amostra, a coleta e a análise dos dados. A classificação quanto ao tipo de pesquisa pode ser subdividida de acordo com a natureza, sendo para este estudo aplicada, pois seus resultados são aplicados à resolução de problemas reais enfrentados pela empresa em estudo. Quanto aos objetivos é descritiva, pois tem como objetivo descrever as características de determinada população ou fenômeno. Quanto à forma de abordar o problema pode ser considerada quantitativa, pois os dados obtidos (cronometrados) no sistema real foram, em seguida, tratados estatisticamente. E de acordo com os procedimentos técnicos como modelagem e simulação, uma pesquisa operacional.

Como estratégia de pesquisa, utilizou-se o estudo de caso que, conforme Yin (2013), ideal em situações organizacionais reais em que o pesquisador não tem controle dos fenômenos.

### Caracterização da Empresa

Fundada em 1966 na região Oeste do Paraná, a empresa em estudo iniciou suas atividades voltadas para o beneficiamento, indústria, comércio, exportação e importação de madeiras nobres, sendo co-atuante na colonização e desenvolvimento da região oeste do Paraná.

Na década de 90, num movimento de expansão e adequação à nova realidade do mercado mundial, a empresa começa a produzir móveis, através de uma sofisticada e moderna linha de salas de jantar. Em poucos anos estendeu seu portfólio que apresenta atualmente cadeiras, poltronas e mesas.

A empresa atua fortemente em todas as regiões brasileiras, principalmente na região de Santa Catarina e São Paulo. Suas vendas ocorrem por intermédio de representantes e diretamente por clientes (BONATTO, 2013).

Atualmente, a venda de cadeiras de madeira é de grande importância no faturamento da indústria moveleira, aproximadamente 20% do faturamento total. A Figura 1 apresenta um tipo de cadeira produzida pela empresa.

Figura 1: Cadeira produzida pela empresa



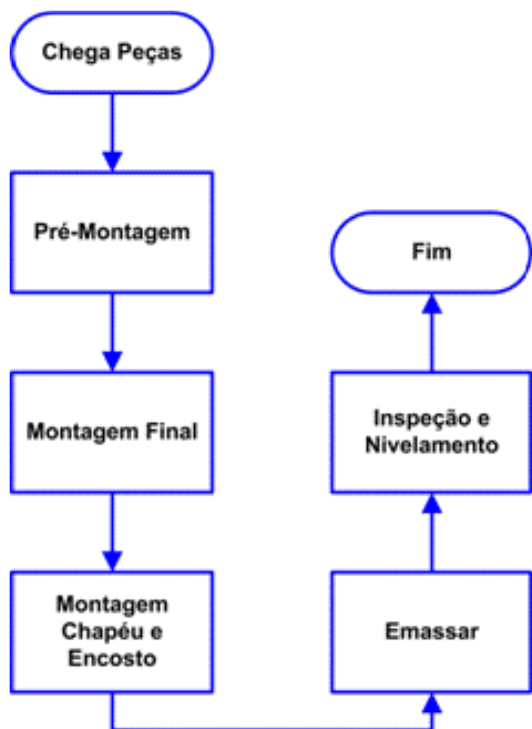
### Processo de Fabricação

O processo em estudo inicia com a chegada das peças na etapa de pré-montagem das estruturas traseira e dianteira. Nesta etapa os funcionários passam cola nas espigas e nos furos e fazem o encaixe das estruturas. Após o encaixe das estruturas as peças são prensadas, grampeadas e coladas na etapa de montagem final. Na sequência, o chapéu e a travessa (Encosto) são montados na etapa de montagem do chapéu e encosto. A seguir, as imperfeições são corrigidas, na etapa de emassar. Finalmente, são niveladas, em uma mesa de vidro, e inspecionadas na etapa de inspeção e nivelamento.

Atualmente, o setor de montagem de cadeiras, da indústria moveleira, conta com 4 funcionários.

Na Figura 2 apresenta-se o fluxograma do processo de montagem de cadeiras.

Figura 2: Fluxograma do processo



#### Coleta de Dados

A coleta de dados foi realizada de forma direta por observação das atividades que compõem o processo de montagem de cadeiras da indústria. No planejamento, da coleta de dados, concluiu-se que seria necessário determinar as seguintes variáveis: tempos da Pré-Montagem Traseira (PMT); tempos de Pré-Montagem Dianteira (PMD); tempos de Montagem Final (MF); tempos de Montagem do Chapéu (MC); tempos de Montagem do Encosto (MC); tempos de Emassar (EM) e tempos de Inspeccionar e Nivelar (ISP).

#### O Software Arena®

O Arena® é um ambiente gráfico integrado de simulação, que contém inúmeros recursos para modelagem, animação, análise estatística e análise de resultados. A plataforma de simulação Arena® possui as seguintes ferramentas (PRADO, 2010):

- i. Analisador de dados de entrada (*Input Analyzer*);
- ii. Analisador de resultados (*Output Analyzer*);
- iii. Analisador de processos (*Process Analyzer*).

Este software é composto por um conjunto de blocos (ou módulos) utilizados para se descrever uma aplicação real e que funcionam como comandos de uma linguagem de programação. Os elementos básicos da modelagem em Arena® são as entidades que representam as pessoas, objetos, transações, etc, que se movem ao longo do sistema; as estações de trabalho que demonstram onde será realizado algum serviço ou transformação, e por fim, o fluxo que representa os caminhos que a entidade irá percorrer ao longo de estações (VOGEL *et al.*, 2013). Observa-se que nesse trabalho foi utilizada a versão de treinamento do software Arena®.

Número de Replicações:

Neste trabalho, o número de replicações ( $n^*$ ) foi obtido através da Equação (1) (CHIFF; MEDINA, 2007):

$$n^* = n \times \left(\frac{h}{h^*}\right)^2$$

(1)

onde:

$n$ : número de replicações já realizadas;

$h$ : semi-intervalo de confiança já obtido;

$h^*$ : semi-intervalo de confiança desejado.

#### Tamanho da Amostra:

O tamanho de cada uma das amostras, cronometradas neste trabalho, foi obtida para um nível de confiança de 95%, através da Equação (2) (MORRÔCO, 2003):

$$n_A = \left( \frac{Z_{\alpha/2} \times S}{E} \right)^2$$

(2)

onde:

$n_A$ : número de indivíduos da amostra;

$Z_{\alpha/2}$ : valor crítico que corresponde ao grau de confiança desejado;

S: desvio padrão;

E: erro máximo estimado.

### Validação do Modelo

No processo de validação são comparados os resultados reais aos simulados. Este processo será realizado através do cálculo do erro médio estimado (Equação 3):

$$SE = \sqrt{\frac{(SR-MD)^2}{GLR}}$$

(3)

onde:

SE – erro médio estimado;

SR – valor obtido a partir do sistema real;

MD – média dos valores gerados pelo modelo;

GLR – grau de liberdade considerando o número de replicações do modelo.

Observa-se que quanto menor o erro médio estimado mais ajustados estão os resultados do modelo com os resultados reais.

### Teoria das Restrições

Atualmente, o administrador, para proteger os ganhos, precisa saber em que focar e como focar. O processo de focalização é uma metodologia que possibilita determinar como explorar os gargalos para obter melhorias no desempenho da organização. O processo de focalização contém 5 etapas (GOLDRATT; FOX, 1992):

1. Identificar a restrição do sistema;
2. Decidir como explorar a restrição;
3. Subordinar todos os recursos não restritivos as restrições;
4. Elevar a restrição;
5. Se a restrição se deslocar não permitir que a inércia se instale, retornar ao passo 1.

### 3 RESULTADOS E ANÁLISE

O conceito chave da TOC refere-se à restrição, ou seja, o fator que restringe a atuação do sistema como um todo. Segundo Alves *et al.* (2014) podem ser encontradas várias restrições, porém os esforços de melhoria devem ser concentrados na mais crítica. A restrição mais crítica, encontrada no sistema, foi o Tempo do Processo de Montagem. Com o tempo despendido atualmente (98,4 minutos) é impossível fabricar 3 lotes de cadeiras (90 cadeiras) em meio turno de trabalho (4 horas).

Depois de identificada a restrição todos os esforços foram direcionados para diminuir o Tempo do Processo de Montagem. Para avaliar as alternativas de redução deste tempo, elevar a restrição, utilizou-se de técnicas de Simulação Computacional.

### Distribuições de Probabilidades

Após identificada a restrição do sistema e definido a utilização de simulação para explorar a restrição, o passo seguinte foi determinar as distribuições teóricas de probabilidades que melhor representem o comportamento estocástico do sistema em estudo, através da ferramenta *Input Analyzer* do *Arena*®.

Como os *p-values* dos testes de aderência: teste Chi Square e do teste Kolmogorov-Smirnof foram maiores que o nível de significância adotado (0,1) (CHWIF; MEDINA, 2007), concluiu-se que as distribuições, apresentadas na Tabela 1, são as expressões que melhor se adaptaram aos dados coletados no sistema.

Tabela 1: Distribuições de probabilidade

| Itens | Distribuição          |
|-------|-----------------------|
| PMT   | TRIA(147,60.1,63) s   |
| PMD   | UNIF(108,199) s       |
| MF    | NORM(163,12.4) s      |
| ISP   | 9+WEIB(12.8,1.56) s   |
| MC    | 25+GAMMA(3.69,1.88) s |
| ME    | TRIA(47,54,7,81) s    |
| EM    | TRIA(50,90.2,184) s   |

### Simulação Computacional

Inicialmente, a validação, do modelo computacional (Figura 3), foi realizada por meio da técnica face a face onde o modelo foi executado para os funcionários da indústria moveleira que o consideraram correto (SARGENT, 2012). Na seqüência realizou-se uma comparação (Tabela 2) entre o tempo máximo obtido do

sistema real com o tempo máximo gerado pelo modelo para a variável Tempo do Processo de Montagem de um Lote de 30 Cadeiras (TPMLC). Nesta tabela apresenta-se o erro médio estimado (SE, em decimal).

Através da análise dos resultados da Tabela 2 pode-se concluir que o modelo computacional apresenta uma boa aproximação, em relação ao tempo do processo de montagem, com o sistema real.

Uma vez validado o modelo computacional pode-se passar, segundo o método de pesquisa, para etapa de análise. Nessa etapa o modelo computacional, agora denominado operacional, passa a trabalhar para o modelador com o intuito de responder aos objetivos do projeto de simulação.

Para a realização da análise do sistema em estudo, são propostos dois cenários com o objetivo de observar a resposta do sistema a partir de alterações no número de funcionários do processo de montagem de cadeiras. O indicador de desempenho utilizado para a análise é o variável Tempo do Processo de Montagem de um Lote de 30 Cadeiras (TPMLC)

- Cenário 1: Sistema atendido por 4 funcionários (Cenário Atual);

- Cenário 2: Sistema atendido por 5 funcionários.

Na Tabela 3 apresentam-se os resultados obtidos da simulação do sistema, para os dois cenários.

A partir dos dados apresentados na Tabela 3 pode-se observar que a utilização de 5 funcionários (3 utilizados nos processos de Pré-Montagem Traseira, Pré-Montagem Dianteira e Montagem Final e 2 nos processos de Montagem do Chapéu, Montagem do Encosto, Emassar e Inspeccionar e Nivelar) eleva a restrição do sistema. Permitindo assim, a fabricação de 90 cadeiras em meio turno de trabalho.

Figura 3: Modelo computacional

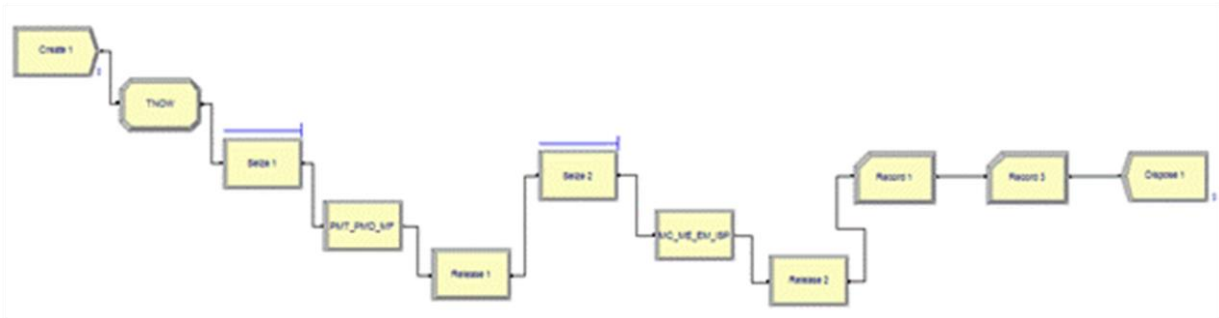


Tabela 2: Dados do sistema real e do modelo

| TPMLC (min)  |                      |      |
|--------------|----------------------|------|
| Sistema Real | Modelo Computacional | SE   |
| 98,4         | 97,8                 | 0,13 |

Tabela 3: Resultados de simulação dos cenários 1 e 2

| Cenário | TPMLC (min) |
|---------|-------------|
| 1       | 97,8        |
| 2       | 68,4        |

#### 4 CONCLUSÃO

Neste trabalho apresentou-se a metodologia utilizada na implementação de um modelo computacional usado para simular o processo de montagem de cadeiras em uma indústria moveleira da região oeste paranaense.

De acordo com os resultados das análises procedidas para a validação do modelo computacional, foi possível concluir que o mesmo pode ser aplicado para simular a dinâmica operacional do processo de montagem de cadeiras, principalmente na previsão da variável Tempo do Processo de Montagem de um Lote de Cadeiras (TPMLC).

Concluiu-se, para o período simulado, que a utilização de 5 funcionários, no sistema de montagem de cadeiras, reduz o tempo de montagem e permite a fabricação de 3 lotes em meio turno de trabalho.

Entretanto, para fins gerenciais, torna-se importante analisar a viabilidade de se investir capital para executar o melhor cenário encontrado neste trabalho. Deste modo, um trabalho futuro pode ser conduzido com o objetivo de avaliar se a receita gerada pela diminuição do tempo de montagem de cadeiras é maior que o investimento e gastos necessários para isto.

O assunto não se esgota, com a realização deste trabalho, devendo avançar, a partir do desenvolvimento de um estudo relativo ao comportamento da restrição no sistema. Segundo a teoria das restrições, uma vez que ocorre uma melhoria no gargalo, as restrições podem mudar de lugar no sistema.

## REFERÊNCIAS

---

ALVES, R.; SANTOS, J. A. A.; SCHMIDT, C. A. P. Aplicação dos princípios da teoria das restrições e de técnicas de simulação na gestão da dinâmica operacional de um pequeno restaurante: um estudo de caso. *Revista Espacios*, v. 35, p. 21, 2014.

BONATTO, F. Aplicação do mapa do fluxo de valor em uma indústria moveleira. Trabalho de Conclusão de Curso – UTFPR, 2013.

BAUMGARTNER, D. ; CAVALLI, D. ; SANTOS, J.A.A. ; SCHMIDT, C. A. P. Modelagem, simulação e otimização da dinâmica operacional do processo de embalagem e paletização de sachês de refresco em pó: um estudo de caso. *Espacios*, Caracas, v. 34, p.10, 2013.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. Modelagem e simulação de eventos discretos, teoria & aplicações. São Paulo: Brazilian Books, 2007.

COELHO, M. R. F.; BERGER, R. Competitividade das exportações brasileiras de móveis no mercado internacional: uma análise segundo a visão de desempenho. *Revista FAE*, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 51-65, 2004.

FERREIRA, J. B. et al. Relatório de acompanhamento setorial - indústria moveleira. Volume I, São Paulo: UNICAMP, 2009.

GOLDRATT, E. M; FOX, Robert E. A Corrida pela vantagem competitiva. São Paulo: Imam, 1992.

GOLDRATT, E. M.; JEFF, C. A Meta. São Paulo: Educator Editora, 1997.

MARRÔCO, J. Análise estatística de dados – com utilização do SPSS. Lisboa: Sílabo, 2007.

PRADO, D. Usando o ARENA em simulação. v.3, 4ed. Nova Lima: INDG - Tecnologia e Serviços LTDA, 2010.

SARGENT, R. G. Verification and validation of simulation models. *Journal of Simulation*, v. 7, p. 12-24. 2012.

SATOR, F. .; SANTOS, J. A. A.; SCHMIDT, C. A. P. Teoria das restrições e simulação aplicadas no gerenciamento de demanda de uma unidade de pronto atendimento. *Revista Espacios*, v. 35, p. 19, 2014.

YIN, R. K. Case study research, design and methods (applied social research methods). New York: SAGE Publications, 2013.