

Simulação e otimização da dinâmica operacional do processo de pintura de cadeiras em uma indústria moveleira

Edward Seabra Júnior (Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR) seabra.edward@gmail.com
Carla Adriana Pizarro Schmidt (Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR) cs910@yahoo.com.br
José Airton A. dos Santos (Universidade Tecnológica Federal do Paraná–UTFPR) airton@utfpr.edu.br
Michell Eduardo Dallabrida (Centro Universitário Dinâmicas das Cataratas - UDC) dallabridam@hotmail.com
Camila Cielo (Universidade Tecnológica Federal do Paraná–UTFPR) camila_cielo@outlook.com

Resumo:

Este trabalho tem como objetivo analisar a dinâmica operacional do processo de pintura de uma indústria moveleira localizada na região oeste do estado da Paraná. Objetiva-se também através da associação dos conceitos de simulação e otimização dimensionar a linha de pintura da indústria para um acréscimo de 50% na produção de cadeiras. A simulação e a otimização foram executadas utilizando o pacote de simulação Arena®, o que inclui o software de otimização Optquest. A metodologia utilizada é a de modelagem através de simulação computacional, de caráter quantitativo e é caracterizada como participativa. O método de abordagem se mostrou efetivo para simular a dinâmica operacional do processo de pintura na indústria. A aplicação destas técnicas em conjunto resultaram na otimização do número de funcionários do setor de pintura da indústria moveleira.

Palavras chave: Arena®, Modelagem, Produção.

Simulation and optimization of dynamic operating process of painting on a chair furniture industry

Abstract

This work aims to analyze the operational dynamics of a painting furniture industry located in western Paraná region. The purpose is also through the association of the concepts of simulation and optimization to scale the line painting industry for an increase of 50% in the production of chairs. The simulation and optimization were performed using the Arena® simulation package, which includes optimization software OptQuest. The methodology used is that of modeling through computer simulation of quantitative trait and is characterized as participatory. The application of these techniques together resulted in the optimization of the number of employees of the paint sector of the furniture industry.

Key-words: Arena®, Modeling, Production.

1. Introdução

A indústria moveleira pode ser considerada uma das mais antigas do mundo, sendo 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 (LOUREIRO, 2011).

A elevada competitividade do setor moveleiro é uma das principais razões para que as mesmas busquem formas estratégicas baseadas na organização da produção para sobreviver no mercado atual, altamente competitivo. A indústria de móveis caracteriza-se pelo agrupamento de diversos processos de produção, envolvendo diferentes matérias-primas e uma diversidade de produtos finais,

Os sistemas de administração da produção, independente da lógica que utilizem, para atingirem seus objetivos e cumprirem seu papel de suporte na organização devem ser capazes de prestar suporte e fornecer ferramentas aos tomadores de decisões (CORRÊA et al., 1997).

As empresas de pequeno porte, geralmente não possuem ferramentas que auxiliem na gestão da tomada de decisão no âmbito produtivo, sendo as decisões muitas vezes tomadas pelo conhecimento heurístico dos seus proprietários. Uma decisão errada por parte destes pode acarretar em perdas financeiras, comprometer a imagem da empresa perante seus clientes/fornecedores, gerar desperdício e retrabalho.

Uma alternativa para ajudar na tomada de decisão são as ferramentas de simulação. As ferramentas de simulação adéquam o funcionamento de um sistema qualquer a possíveis variações em seus elementos constituintes ou em suas condições normais de operação. A simulação gera informações bastante precisas, levando à avaliação de vários cenários, permitindo, sobretudo, decisões satisfatórias. Com ela, o gestor, através de um modelo computacional, imita o modelo real do fluxo de produção, com informações sobre recursos e tempos da produção. Com uma modelagem adequada do sistema, obtêm-se resultados rápidos e relativamente precisos sobre número de unidades produzidas, tamanho das filas de espera, taxa de utilização dos recursos, tempo de fluxo, dentre outros (BANKS, 1998).

O termo Simulation with Optimization originou-se da combinação entre as técnicas de simulação e otimização (CHWIF & MEDINA, 2007). Estes autores também afirmam que Simulação com Otimização é uma otimização onde o desempenho é a saída do modelo de simulação.

A otimização é o processo de tentar diferentes combinações de valores para variáveis que podem ser controladas, buscando aquela que provê a saída mais desejada de um modelo de simulação. Existem atualmente vários softwares que permitem a realização da otimização a partir de uma simulação. Dentre eles, pode-se citar: AutoStat, OptQuest, OPTIMIZ, SimRunner® e WITNESS Optimizier, que fazem parte de pacotes comerciais onde também está incluso o módulo de simulação (CHWIF & MEDINA, 2007).

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo analisar por meio de técnicas de simulação e otimização a dinâmica operacional do processo de pintura de cadeiras em uma pequena empresa da região oeste do Paraná. Será utilizado como ferramenta computacional o software Arena®, da Rockwell Software Corporation, por ser um dos softwares de simulação discreta mais utilizada no mundo empresarial e acadêmico.

2. Material e métodos

2.1. Descrição do local de estudo

Fundada em 1966 na região Oeste do Paraná, a empresa em estudo iniciou suas atividades

voltada para o beneficiamento, indústria, comércio, exportação e importação de madeiras nobres, sendo co-atuante na colonização e desenvolvimento da região oeste do Paraná.

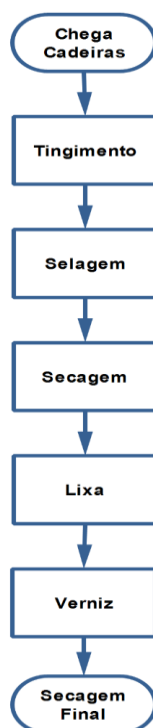
Na década de 90, num movimento de expansão e adequação à nova realidade do mercado mundial, a empresa começa a produzir móveis, através de uma sofisticada e moderna linha de salas de jantar. Em poucos anos estendeu seu portfólio que apresenta cadeiras, poltronas e mesas.

Hoje 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).

2.2. Descrição do processo analisado

O processo em estudo inicia com a chegada das cadeiras na zona limpa da indústria, no processo de tingimento. Neste processo, as cadeiras são tingidas através de uma pistola manual. Depois de tingidas as cadeiras passam pelo processo de selagem. Neste processo recebem um selador, também através de pistola manual. Na sequência as cadeiras passam pelos processos de secagem e lixação. Na lixação são realizadas somente ações corretivas. Finalmente, as cadeiras passam pelos processos de aplicação de verniz e secagem. O verniz é aplicado com o objetivo de dar proteção e resistência ao produto.

Atualmente, o setor de pintura conta com 5 funcionários: 4 no setor de lixa, 1 no setor de tingimento, 1 no setor de selagem e 1 no setor de aplicação de verniz. Na Figura 1 apresenta-se o fluxograma do processo de pintura de cadeiras.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Figura 1 - Fluxograma do processo de produção na indústria analisada

Em 2012/2013 as vendas de cadeiras representaram aproximadamente 20% do faturamento

total da empresa. Uma ilustração do modelo de cadeira produzido pela empresa é apresentada na Figura 2.



Fonte: BONATO (2013).

Figura 2 - Modelo de cadeira produzido pela Empresa

Definiu-se o estudo de simulação, no processo de pintura de cadeiras, devido a importância deste produto no faturamento da empresa

2.3. Obtenção dos dados

A coleta de dados é uma parte fundamental do processo de simulação, pois um insucesso nesta etapa compromete todo o trabalho. Por isso, neste trabalho, foi dada atenção especial a esta etapa.

A coleta de dados foi realizada de forma direta por observação das atividades que compõem o processo de pintura de cadeiras da indústria. No planejamento, da coleta de dados, concluiu-se que seria necessário determinar as seguintes variáveis: Tempos de Tingimento da Cadeira Deitada (TTCD); Tempos de Tingimento da Cadeira de Pé (TTCP); Tempos de Finalização do Tingimento (TFT); Tempo de Secagem (30 minutos); Tempos de Selagem (TSL); Tempos de Lixa (TL) e Tempos de Verniz (TV).

Os dados foram analisados com a ferramenta Input analyzer (analisador de dados de entrada) do software Arena®. Segundo Prado (2009), esta ferramenta permite analisar dados reais do funcionamento do processo e escolher a melhor distribuição estatística que se aplica a eles.

A simulação da dinâmica operacional do processo de pintura foi realizada no software Arena®, e os resultados analisados nas ferramentas Output Analyzer e Process Analyzer.

Neste trabalho, o número de replicações (n^*) foi obtido a partir da Equação (1) (CHWIF & MEDINA, 2007):

$$n^* = n \times \left(\frac{h}{h^*} \right)^2 \quad (1)$$

Sendo que: n é o número de replicações já realizadas; h o semi-intervalo de confiança já obtido; h^* o semi-intervalo de confiança desejado.

2.4. Representatividade de amostra

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

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

onde: n_A é o número de indivíduos da amostra; $Z_{\alpha/2}$ o valor crítico que corresponde ao grau de confiança desejado; S o desvio padrão e E o 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)):

$$SE = \sqrt{\frac{(SR - MD)^2}{GLR}} \quad (3)$$

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 os erros médios estimado, mais ajustados estarão os resultados do modelo com os resultados reais.

2.5. Otimização

Para Fu (2002), na interação entre simulação e otimização, a última deve ser vista como uma ferramenta complementar à simulação. Neste processo, a otimização fornece as variáveis de uma possível solução (inputs) à simulação; esta, após todo o processo de simulação, fornece respostas (outputs) para a situação proposta, que retornam à otimização.

A otimização gera novas variáveis, utilizando técnicas específicas, que serão novamente testadas pela simulação. Este ciclo (Figura 3) é repetido até sua parada, definida de acordo com o método de otimização utilizado.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Figura 3 - Otimização em Simulação

A combinação entre simulação e otimização faz com que as respostas sejam mais eficientes, possibilitando uma melhor tomada de decisão.

Geralmente as metodologias de otimização em simulação partem de um modelo já existente e validado. O primeiro passo é a definição das variáveis de decisão, ou seja, as variáveis que afetam a função objetivo do problema. Em seguida se define a função objetivo, que pode ser de maximização ou minimização, cujo resultado será avaliado pelos algoritmos de otimização na busca de um valor ótimo. O passo seguinte é a definição das restrições do problema seguido pela configuração de alguns parâmetros, como o número de replicações, precisão e critério de parada (SILVA, 2005).

2.6. Elementos de modelo de otimização

2.6.1. Controles

Controles são variáveis ou recursos no modelo sobre os quais tem-se controle, tais como, por exemplo, número de funcionários em um determinado setor da empresa. Controles são selecionados dos recursos e variáveis definidas no modelo Arena. O modelo de otimização é formulado em termos do controle selecionado. Os valores de controle são mudados antes de cada simulação, isto é feito para encontrar os melhores valores dentro do limite de tempo estipulado.

2.6.2. Restrições

As restrições definem as relações entre controles e/ou respostas. Por exemplo, uma restrição poderia ser que o tempo de simulação não pode-se ultrapassar oito horas.

2.6.3. Objetivo

Cada modelo de otimização tem uma função objetivo que matematicamente representa as metas do modelo, o objetivo é maximizar ou minimizar essa quantidade. O OptQuest trabalha para encontrar o valor ótimo do objetivo por selecionando e encontrando diferentes valores para os controles.

3. Resultados e discussão

Inicialmente, foi realizada uma avaliação descritiva completa dos dados coletados no software Statistica® versão 10. Os dados coletados para processo de pintura de cadeiras são apresentados na Tabela 1.

Parâmetro analisado	TTCD (s)	TTCP (s)	TFT (s)	TSL (s)	TL (s)	TV (s)
Pontos	30	30	30	30	30	30
Mín.	24,06	47,31	35,1	102,00	243,40	55,86
Máx.	36,37	70,46	63,00	129,91	490,75	123,74
Média	30,15	60,38	48,78	116,46	371,36	86,02
Mediana	29,64	61,51	47,38	118,01	374,23	83,3
Moda	29,31	63,00	44,46	118,55	308,86	76,57
Desvio Padrão	2,78	6,19	8,05	7,35	62,16	15,39
CV (%)	9,22	10,25	16,45	6,31	16,74	17,90

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Tabela 1 - Análise de dados do processo de pintura de cadeiras

Observa-se através dos dados apresentados na Tabela 1, que a variável TL (Tempos de Lixa) apresentou a maior mediana e a maior média entre os dados coletados no processo de pintura de cadeiras. Já os coeficientes de variação para as seis variáveis coletadas foram 9,22%, 10,25%, 16,45%, 32,61%, 6,31%, 16,74% e 17,90%. Segundo Pimentel Gomez (2000), nos experimentos de campo, se o coeficiente de variação for inferior a 10% tem-se um coeficiente de variação baixo, de 10 a 20% médio, de 20 a 30% alto e acima de 30% muito alto.

Após a realização da análise descritiva, o passo seguinte foi determinar as curvas de distribuição teórica 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-Smirnov são maiores que o nível de significância adotado (0,1) (CHWIF & MEDINA, 2007), concluiu-se que as distribuições, apresentadas na Tabela 2, são as expressões que melhor se adaptaram aos dados coletados.

Itens	Distribuição	Chi Square	Kolmogorov-Smirnov
TTCD	24+WEIB(6.81,2.15)	p-value=0,343	p-value=0,5
TTCP	TRIA(47,64,72.5)	p-value=0,88	p-value=0,467
TFT	UNIF(35.1,63)	p-value=0,717	p-value=0,664
TSL	TRIA(101,118,132)	p-value=0,63	p-value=0,971
TL	243+WEIB(141,1.92)	p-value=0,276	p-value=0,669
TV	55+WEIB(34.9,2.07)	p-value=0,221	p-value=0,648

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Tabela 2 - Distribuições de probabilidade.

3.1. Validação do modelo

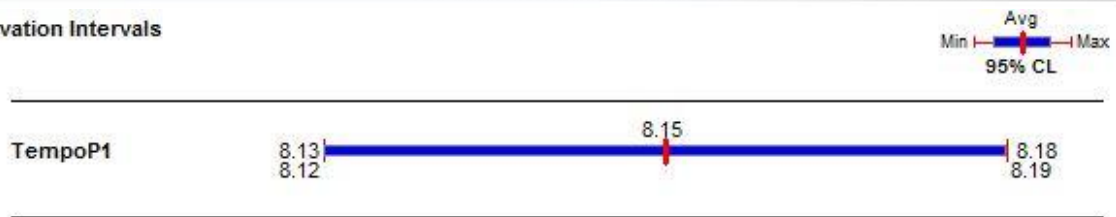
Inicialmente, a validação do modelo computacional foi realizada por meio da técnica face a face, onde o modelo foi executado para os funcionários da indústria moveleira que o consideraram correto (SARGENT, 1998). Na sequência realizou-se uma comparação (Tabela 3) entre a média obtida do sistema real com a média gerada pelo modelo (Figura 4) para a variável “Tempo do processo de pintura” de um lote de cadeiras (TPLC) (80 cadeiras). Nesta tabela apresenta-se o erro médio estimado (SE, em decimal).

Tempo de Pintura – TPLC (h)		
Sistema Real	Modelo Computacional	SE
7,5	8,15±0,0332	0,325

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Tabela 3 - Dados do sistema real e do modelo

Observation Intervals



Classical C.I. Intervals Summary

IDENTIFIER	AVERAGE	STANDARD DEVIATION	0.950 C.I. HALF-WIDTH	MINIMUM VALUE	MAXIMUM VALUE	NUMBER OF OBS.
TempoP1	8.15	0.0208	0.0332	8.13	8.18	4

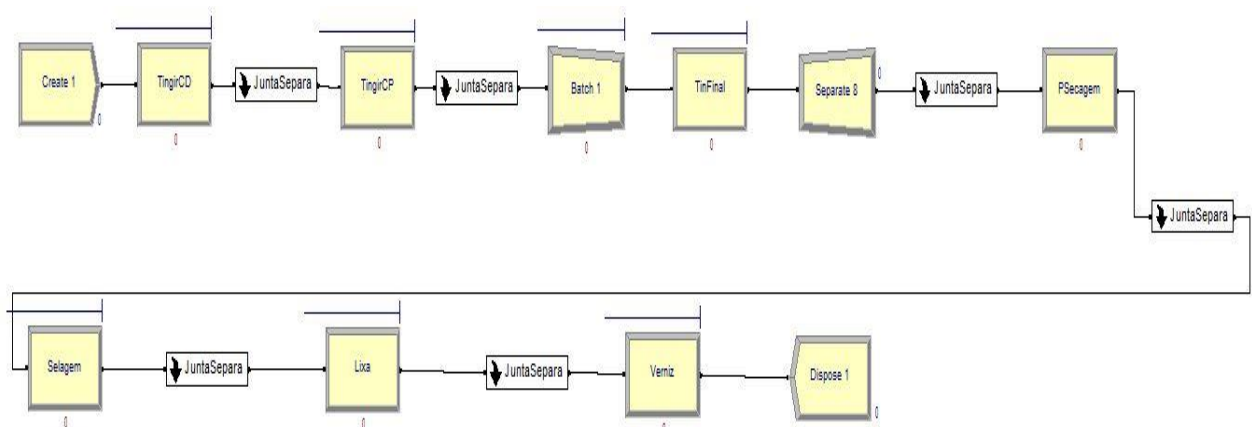
Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Figura 4 - Intervalo de confiança - TPLC.

Através da análise dos resultados da Tabela 3 pode-se concluir que o modelo computacional apresenta uma boa aproximação, em relação ao tempo do processo de pintura, com o sistema real.

3.2. Simulação

Na Figura 5 apresenta-se o modelo computacional do processo de pintura.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Figura 5 - Modelo computacional.

Inicialmente, com o objetivo analisar o número de funcionários do setor de lixa foram simulados, por meio do software Arena®, três cenários: Cenário 1: Processo de Lixa com 6 lixadores; Cenário 2: Processo de Lixa com 4 lixadores (Cenário atual); Cenário 3: Processo de Lixa com 2 lixadores.

Na Figura 6 apresentam-se os resultados obtidos de simulação para o tempo de processo, em horas, de pintura de 1 lote de cadeiras (80 peças).

	Scenario Properties				Control	Response
	S	Name	Program File	Reps	Lixadores	TempoProcesso
1		Cenário 1	3 : Model3 (6	4	2.0000	10.102
2		Cenário 2	3 : Model3 (6	4	4.0000	8.154
3		Cenário 3	3 : Model3 (6	4	6.0000	7.503

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Figura 6 - Resultados obtidos de simulação.

Pode-se observar dos dados apresentados da Figura 6, que o tempo do processo atual (cenário 2) está dentro do objetivo da empresa que é pintar 80 cadeiras durante um turno de trabalho. Pode-se, notar que a inclusão de mais dois lixadores no processo traz um pequeno ganho de tempo, aproximadamente 39 minutos. Isto deve-se ao gargalo criado no processo de envernizamento das cadeiras. Portanto, tornando este cenário economicamente inviável para a empresa.

3.3. Otimização - Optquest

Depois de analisar a situação atual da empresa dimensionou-se, a linha de pintura, para um aumento de 50% na produção de cadeiras (120 peças). O problema foi definido, por meio do Optquest da seguinte forma:

Função Objetivo: Minimizar o número de funcionários do setor para pintar 120 cadeiras em um turno de trabalho.

Restrição: Tempo de Processo $\leq$ 8 horas.

Variáveis de controle:

Número de funcionários no processo de tingimento. Mínimo = 1; Máximo = 2.

Número de funcionários no processo de selagem. Mínimo = 1; Máximo = 2.

Número de funcionários no processo de envernizamento: Mínimo = 1; Máximo = 2.

Número de funcionários no processo de lixa. Mínimo = 2; Máximo = 6.

O Optquest realizou 40 simulações, com 4 replicações cada, para encontrar a melhor solução segundo as opções e os parâmetros definidos. Os resultados para função objetivo, Número de Funcionários do Setor de Pintura, é apresentado na Figura 7.

Best Solutions Optimal solution found.

Select	Simulation	Objective Value	Status	Lixadores	Op1	Op2	Op3
☒	2	10,000000	Feasible	4	2	2	2
☐	6	11,000000	Feasible	5	2	2	2
☐	13	11,000000	Feasible	6	2	2	1
☐	4	12,000000	Feasible	6	2	2	2
☐	25	10,000000	Infeasible	5	2	2	1
☐	30	11,000000	Infeasible	6	1	2	2
☐	24	9,000000	Infeasible	4	2	2	1
☐	14	11,000000	Infeasible	6	2	1	2
☐	19	9,000000	Infeasible	3	2	2	2
☐	34	10,000000	Infeasible	5	1	2	2

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Figura 7 - Resultados obtidos do Optquest

O melhor resultado obtido, por meio do Optquest, foi na simulação 2 com a utilização de 10 funcionários para pintar 120 cadeiras num turno de trabalho. Sendo 4 no setor de Lixa (Lixadores), 2 no setor de tingimento (Op1), 2 no setor de selagem (Op2) e 2 no setor de vernizamento (Op3).

4. Considerações finais

Neste trabalho apresentou-se a metodologia utilizada na implementação do modelo computacional usado para simular a dinâmica operacional do processo de pintura 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 pintura de cadeiras, principalmente na previsão da variável Tempo do Processo de pintura de um lote de cadeiras (TPLC).

Conclui-se, através dos resultados obtidos de simulação, que o número de funcionários do setor de pintura está bem dimensionado para pintar um lote de 80 cadeiras, durante um turno de trabalho.

Concluiu-se, também, que para um aumento de 50% na produção (120 cadeiras) seria necessário, para pintura do lote em um turno de trabalho, a contratação de 3 funcionários para o setor de pintura da indústria moveleira.

Deve-se destacar ainda que o potencial de uso da simulação é inexplorado em diversos contextos brasileiros, principalmente, em pequenas e médias empresas e que estudos deste tipo contribuem para a aproximação entre a universidade e as empresas, promovendo o crescimento das pequenas empresas da região.

Referências

- BANKS, J.** Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications and Practice. John Wiley& Sons. New York, 1998.
- BONATTO, F.** Aplicação do mapa do fluxo de valor em uma indústria moveleira. Trabalho de Conclusão de Curso – UTFPR, 2013.
- CHWIF, L.; MEDINA, A. C.** Modelagem e simulação de eventos discretos, teoria & aplicações. São Paulo: Brazilian Books, 2007.



VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Ponta Grossa, PR, Brasil, 05 a 07 de dezembro de 2018

CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N.; CAON, M.: Planejamento, Programação e Controle da Produção: MRP II / ERP. Ed. Atlas, São Paulo, 1997.

FU, M. C. Optimization for Simulation: Theory vs. Practice. Journal on Computing, v. 14, n 3, 2002.

LOUREIRO A. B. Planejamento do arranjo físico em uma indústria moveleira. UFES, 2011.

MARROCO, J. Análise estatística de dados – com utilização do SPSS. Lisboa: Sílabo, 2003.

PIMENTEL, GOMES F. Curso de Estatística Experimental. 14.ed. Piracicaba: Degaspari, 2000. 477p PIVA, R. D.. Dossiê técnico Processo de fabricação de móveis sob encomenda / Centro Tecnológico do Mobiliário, SENAI-RS, 2006.

PRADO, D. -Usando o Arena em simulações. Darci Santos de Prado – Belo Horizonte (MG). INDG Tecnologia e Serviços Ltda. – 2010.

SARGENT, R. G. Verification and validation of simulation models. In: WINTER THE SIMULATION CONFERENCE, 1998, Proceedings... Washington: WSC, p. 20-8, 1998.

SILVA, E. L. da, MENEZES, E. M. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. 4. ed. Florianópolis: UFSC, 2005. 138p.