

SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DA DINÂMICA OPERACIONAL DE UM PROCESSO DE PINTURA DE CADEIRAS EM UMA INDÚSTRIA MOVELEIRA

José Airton A. dos Santos (Docente – UTFPR: airton@utfpr.edu.br)
Michell Eduardo Dallabrida (Discente – UTFPR: dallabridam@hotmail.com)
Carla Adriana Pizarro Schmidt (Docente – UTFPR: carlaschmidt@utfpr.edu.br)
Carlos Aparecido Fernandes (Docente – UTFPR: carlosfernandes@utfpr.edu.br)

Resumo: Este trabalho tem como objetivo analisar a dinâmica operacional do processo de pintura de cadeiras em uma indústria moveleira localizada na região oeste paranaense. Tem também como objetivo dimensionar, através da associação dos conceitos de simulação e otimização, a linha de pintura para um acréscimo de 50% na produção de cadeiras. A simulação e a otimização foram executadas utilizando o pacote de simulação Arena®, 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. A aplicação destas técnicas resultaram na otimização do número de funcionários do setor de pintura da indústria moveleira.

Palavras-chave: Arena®; indústria moveleira; simulação; otimização.

SIMULATION AND OPTIMIZATION OF THE OPERATIONAL DYNAMIC OF AN PROCESS OF PAINT OF CHAIRS ON A FURNITURE INDUSTRY

Abstract: This work aims to analyze of the operational dynamics of an process of paint of chairs on a industry furniture located in west region of Paraná. Also aims to dimension, through of combining the concepts of simulation and optimization, the paint line for an increase of 50% in the production of chairs. The simulation and the optimization were performed using the Arena® simulation package, which includes the optimization software OptQuest. The methodology used was the modeling through computer simulation of quantitative character and it is characterized as participative. The application of these techniques resulted in the optimization of the number of employees of the paint sector of the furniture industry.

Keywords: Arena®; furniture industry; simulation; optimization.

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).

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. Mesmo em setores onde o desenvolvimento atingiu a maturidade organizacional há a necessidade de aperfeiçoamento contínuo de seus métodos e processos produtivos.

As empresas de pequeno e médio porte, predominantes no setor moveleiro, 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. A simulação é uma ferramenta de análise que apresenta grande relevância para o processo de tomada de decisão por gerar resultados e informações confiáveis. A simulação permite que os problemas sejam analisados sem interferir no sistema real. Isto contribui com o processo de tomada de decisão na medida em que a simulação faz com que soluções sejam encontradas de forma rápida e econômica quando comparadas com situações em que o sistema real é alterado (BANKS, 1998).

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 (CHIFF; MEDINA, 2007). 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 (PRADO, 2010).

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivos: (a) 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 e (b) dimensionar o número de funcionários, através da associação dos conceitos de simulação e otimização, para a linha de pintura, considerando um acréscimo de 50% na produção de cadeiras.

Neste trabalho será utilizado como ferramenta computacional o software Arena®, da Rockwell Software Corporation, por ser um dos softwares de simulação discreta mais utilizado no mundo empresarial e acadêmico.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada neste estudo pode ser classificada quanto ao tipo de pesquisa, a população amostra, a coleta e a análise dos dados (GIL, 2002). A classificação, quanto ao tipo de pesquisa, pode ser subdividida de acordo com a natureza, sendo esta aplicada, quanto aos objetivos sendo descritiva, quanto à forma de abordar o problema, pode ser considerada quantitativa, pois os dados obtidos (cronometrados) no sistema real foram, em seguida, tratados estatisticamente.

Como estratégia de pesquisa, foi utilizado o estudo de caso que, conforme Yin (2001), é 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 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 atualmente 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).

Descrição do processo Produtivo:

O processo 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 7 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.

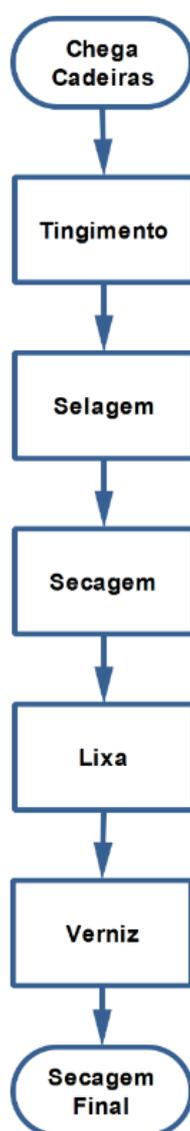


Figura 1 – Fluxograma do processo.
Fonte – O Autor, 2014.

Cadeiras:

Definiu-se pelo estudo de simulação, no processo de pintura de cadeiras, devido a importância deste produto no faturamento da empresa. Em 2012/2013 as vendas de cadeiras representaram aproximadamente 20% do faturamento total da empresa. Na Figura 2 apresenta-se a cadeira produzida na empresa.



Figura 2 – Cadeira produzida pela empresa.
Fonte – BONATO, 2013.

A Coleta de 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, obtidos da coleta, foram analisados com a ferramenta *Input analyzer* (analisador de dados de entrada) do software Arena®. Segundo Prado (2010) 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*.

Número de Replicações:

Segundo FREITAS FILHO (2008), de uma maneira geral, a coleta de dados para a composição de uma amostra a partir da simulação de um modelo pode ser realizada de duas formas:

1. Fazer uso das observações individuais dentro de cada replicação. Por exemplo, pode-se simular o processo e utilizar o tempo que cada peça esperou na fila do processo de selagem para realizar uma estimativa do tempo médio de espera na fila. Neste caso, o tamanho da amostra será igual à quantidade de cadeiras que passaram pela fila ao longo do período simulado.

2. A segunda maneira de gerar a amostra é realizar n simulações (replicações). Assim, cada replicação gera um elemento para a amostra. Uma vez que estamos lidando com um sistema terminal no qual as condições iniciais e o período de simulação são fixos, a melhor maneira de garantir que os valores da amostra sejam estatisticamente independentes é obtê-los a partir de replicações independentes.

Neste trabalho, o número de replicações (n^*) foi obtido através da Eq. (1):

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

onde:

n : número de replicações já realizadas;

h : semi-intervalo de confiança já obtido; e

h^* : semi-intervalo de confiança desejado.

Validação do Modelo:

Segundo Sargent (1998), o processo de validação do sistema é uma etapa fundamental, pois é ele que determina se o modelo proposto detém precisão suficiente para representar o sistema real. Desta forma se o modelo não é uma aproximação bastante próxima do sistema real, todas as conclusões derivadas deste estarão susceptíveis a erros e poderão resultar em decisões incorretas. Sendo assim a validação pode e deve ser feita para todos os modelos, independentemente do sistema modelado (LAW; KELTON, 2000).

Na execução do procedimento de validação, para o sistema em estudo, utilizou-se o erro médio estimado (Eq. 2) (MONTGOMERY, 2005):

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

onde:

SE – erro médio estimado;

SR – valor obtido a partir do sistema real;

MD – média dos valores gerados pelo modelo; e

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

Tamanho da Amostra:

O tamanho de cada uma das seis amostras, cronometradas neste trabalho, foi obtida, para um nível de confiança de 95%, através da Eq. (3) (MARROCO, 2003):

$$n_A = \left(\frac{Z_{\alpha/2} \times S}{E} \right)^2 \quad (3)$$

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.

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.

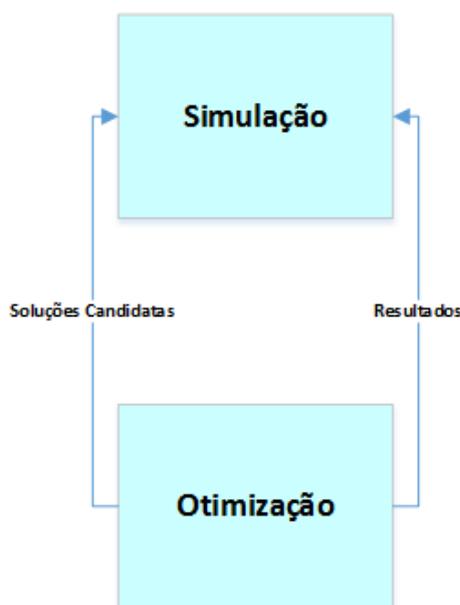


Figura 3 – Otimização em simulação.
Fonte – FU, 2002.

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: número de replicações, precisão e critério de parada (SILVA, 2005).

Na sequência apresenta-se os elementos de um modelo de otimização:

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.

Restrições

As restrições definem as relações entre controles e/ou respostas. Por exemplo, uma restrição poderia ser a limitação do tempo de simulação em 8 horas.

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 11. A Tabela 1 apresenta os dados coletados no processo de pintura de cadeiras.

Tabela 1 – Análise dos dados.

Parâmetro analisado	TTCD (s)	TTCP (s)	TFT (s)	TSL (s)	TL (s)	TV (s)
Pontos	30	30	30	30	30	30
Mínimo	24,06	47,31	35,1	102,00	243,40	55,86
Máximo	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
Coef. de Variação (%)	9,22	10,25	16,45	6,31	16,74	17,90

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 realizar a análise exploratória, os dados foram plotados em forma de *boxplots* (Figura 4), para uma análise preliminar do comportamento das observações. A seguir, aplicou-se uma técnica de identificação de *outliers* (valores fora da normalidade) (CHIFF; MEDINA, 2007).

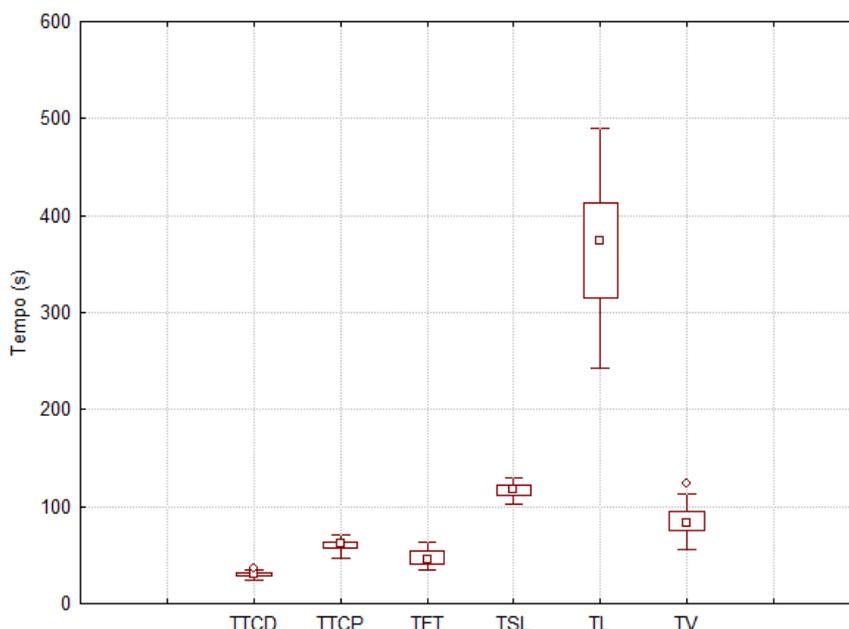


Figura 4 – Boxplots.

Após a utilização da técnica de identificação dos *outliers*, o passo seguinte foi à análise de correlação entre os dados, ou seja, verificar se há dependência entre os valores. Na Figura 5 é apresentado, como exemplo, os tempos do processo de lixa. Nesta figura pode-se observar que não há correlação entre as observações das amostras.

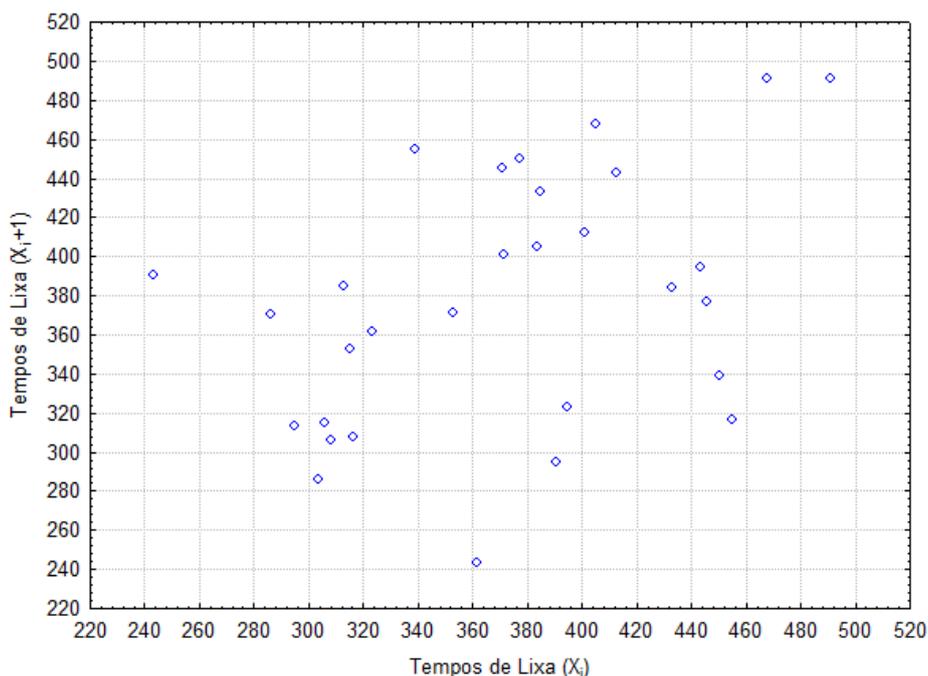


Figura 5 – Análise de dispersão – TL.

Após a realização da análise de correlação, 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 no sistema.

Tabela 2 – Distribuições de probabilidades.

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

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 computacional (Figura 6) para a variável Tempo do Processo de Pintura de um Lote de Cadeiras (TPLC) (80 cadeiras). Na Tabela 2 apresenta-se o erro médio estimado (SE, em decimal).

Tabela 3 – Dados do sistema real e do modelo.

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

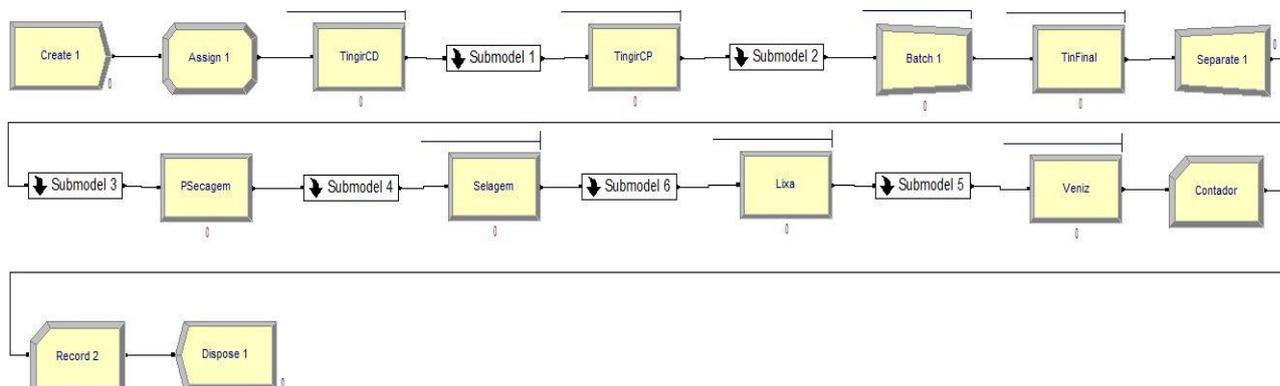


Figura 6 – Modelo computacional.
Fonte – O Autor, 2014.

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 pintura, com o sistema

real. Observa-se que 4 replicações foram realizadas para assegurar um bom intervalo de confiança e relevância nos resultados.

Simulação:

Com o modelo de simulação verificado e validado passou-se a fase de análise de cenários. Em reunião realizada com os tomadores de decisão da empresa, ficou definido o interesse em avaliar o efeito da variação do número de funcionários do setor de lixa sobre tempo de pintura do lote. Portanto, simulou-se três cenários para este setor:

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 Tabela 4 apresentam-se os resultados obtidos de simulação para o tempo de processo de pintura de um lote de cadeiras (80 peças).

Tabela 4 – Resultados obtidos de simulação.

Cenários	Lixadores	Tempo de Processo (h)
Cenário 1	2	10,102
Cenário 2	4	8,154
Cenário 3	6	7,503

Pode-se observar dos dados apresentados da Tabela 4, 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.

Otimização – Optquest:

Depois de analisar a situação atual da empresa dimensionou-se, em termos de número de funcionários, a linha de pintura para um aumento de 50% na produção de cadeiras (120 peças). O problema foi definido, por meio do software 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 Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados obtidos do Optquest.

Simulação	Valor Objetivo	Lixadores	Op1	Op2	Op3
2	10	4	2	2	2
6	11	5	2	2	2
13	11	6	2	2	1
4	12	6	2	2	2

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 envernizamento (Op3).

4. CONCLUSÕES

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 esta 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*. New York: John Wiley & Sons, 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.

FERNANDES, C. A.; SILVA, C. S.; PEREIRA, J. O. YAMAGUCHI, M. M. Simulação da Dinâmica Operacional de uma Linha Industrial de Abate de Suínos. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 26, p. 166-70. 2006.

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

FREITAS FILHO, P. J. *Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em Arena*. Florianópolis: Visual Books, 2008.

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

GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2002.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. *Simulation modeling and analysis*. New York: McGraw- Hill, 2000.

MARIN, T.; TOMI, G. F. C. Modelagem de dados de entrada para simulação estocástica del lavra. *Revista Escola de Minas*, v. 60, p. 559-62. 2010.

MONTGOMERY, D. C. *Design and Analysis of Experiments*. New York: Wiley, 2005.

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

PRADO, D. *Usando o ARENA em simulação*. Nova Lima: INDG - Tecnologia e Serviços LTDA, 2010.

PIMENTEL GOMES, F. *Curso de estatística experimental*. Piracicaba: Degaspari, Piracicaba, 2000.

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

Silva, W. A. *Otimização de parâmetros da gestão baseada em atividades aplicada em uma célula de manufatura*. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2005.

YIN, R. K. *Estudo de caso: planejamento e métodos*. Porto Alegre: Bookman, 2001.