

APLICAÇÃO DE UM MODELO COMPUTACIONAL NA SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE PINTURA DE UMA INDÚSTRIA DE IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS

Airton Azevedo dos Santos, UTFPR, E-mail: airton@utfpr.edu.br
Milton Soares, UTFPR, E-mail: miltonsoares@utfpr.edu.br
Paulo S. Naumann, UTFPR, E-mail: paulo_lombriga@hotmail.com

Resumo: A simulação busca importar a realidade para um modelo computacional, onde pode-se estudar seu comportamento, sob diversas condições, sem riscos físicos e/ou grandes custos envolvidos. Dessa forma, ela se torna uma técnica útil para melhorar a produtividade dos sistemas, otimizando os processos. Este trabalho teve como objetivo implementar um modelo computacional para simular a dinâmica operacional do processo de pintura de uma indústria de implementos agrícolas. O modelo do tipo dinâmico, discreto e estocástico foi implementado no software de simulação Arena®. Como parâmetro de comparação entre os dados obtidos a partir do sistema e gerados pelo modelo foi selecionada a variável NPP (Número de Peças Pintadas durante um turno de trabalho). Os resultados de simulação demonstraram que a utilização de mais dois funcionários no setor de pintura é mais vantajosa, em relação ao atual número de funcionários, tanto do ponto de vista do número de peças pintadas quanto da utilização dos funcionários nas estações de trabalho.

Palavras-chave: Arena®; modelo de simulação; implementos agrícolas.

APPLICATION OF A COMPUTATIONAL MODEL TO SIMULATE THE PROCESS OF PAINTING OF A AGRICULTURAL IMPLEMENT INDUSTRY

Abstract: The simulation seeks to import the reality to a computational model, where it is possible to study its behavior, under several conditions, without involving physical risks and/or high costs. Thus, the system simulation becomes a useful and powerful technique to improve the productivity of systems, optimizing processes. This study aimed to implement a computational model to simulate the painting process operational dynamics of an Agricultural Implements industry. The stochastic, discrete and dynamics model was implemented in the Arena® simulation software. As a comparison parameter among the data obtained from the system and generated by the model, the NPP variable (Number of Pieces Painted during a work shift) was chosen. The simulation results showed that, at the painting sector, the use of two more employees is more advantageous in relation to the employee current number, as well by the number painted pieces point of view as of the utilization of employees in the workstations.

Keywords: Arena ®; simulation model; agricultural implements.

1. INTRODUÇÃO

O setor de máquinas e implementos agrícolas se destacou no Brasil a partir da Segunda Guerra Mundial, com crescimento surpreendente até meados da década de 1970. Desse período até a metade da década de 1980, o setor entrou numa forte crise, declinando drasticamente e levando à falência muitas empresas nacionais. Na década de 1990, em virtude da política econômica implantada pelo governo Collor, este foi um dos segmentos industriais mais afetados. A adoção de juros de mercado para o financiamento da produção agrícola e as frustrações ocorridas nesta década, causadas, sobretudo, pela forte concorrência externa, somada a problemas estruturais como o difícil escoamento da produção, levou o setor de máquinas e implementos agrícolas a uma situação bastante desfavorável (PASQUAL; PEDROSO, 2007). Nos últimos anos, em razão das boas safras e melhores preços dos principais produtos agrícolas, a produção aumentou e a competitividade reapareceu.

A qualidade do atendimento tem sido, hoje, motivo de preocupação na área industrial, uma vez que os clientes estão cada vez mais exigentes, querendo um melhor atendimento, bons preços, resultando numa concorrência cada dia mais acirrada.

Na área de implementos agrícolas, trabalha-se cada vez mais com entregas mais frequentes e tempos de produção mais reduzidos. Assim, é preciso que o processo de pintura seja organizado de modo que as perdas sejam mínimas. Para obter este resultado, diversas técnicas, ferramentas e instrumentos são disponibilizados aos dirigentes desses processos, muitos deles envolvem a tecnologia de gestão da informação. No entanto, qualquer processo de mudança precisa ser precedido de uma avaliação técnica que avalie as vantagens ou problemas que poderão decorrer. Muitas dessas avaliações são realizadas mediante o uso de softwares de simulação (PRADO, 2010).

Segundo Banks (1998), simulação é uma técnica de solução de um problema pela análise de um modelo que descreve o comportamento de um sistema usando um computador digital. 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 (RYAN; HEAVEY, 2006).

Inicialmente, os sistemas de simulação foram desenvolvidos sobre linguagens de programação de propósito geral, tais como: Fortran, Basic, Pascal, etc. Porém, isso exigia um grande esforço para construção de modelos, além de profissionais com conhecimentos profundos de programação de computadores. Diante dessa dificuldade é que começaram a surgir linguagens de programação dedicadas à simulação que superassem essa barreira. É o caso, por exemplo, das linguagens Gpss, Siman, Slam, Simscript, etc. Tais linguagens eram, na verdade, bibliotecas formadas por conjuntos de macro comandos das linguagens de propósito gerais. Alguns dos simuladores da geração seguinte foram desenvolvidos sobre a plataforma dessas linguagens. Como exemplo tem-se o software Arena®, implementado na linguagem Siman (LAW; KELTON, 2000).

Dentre os pacotes de simuladores pesquisados, para realizar a simulação do processo de pintura, optou-se por utilizar, neste trabalho, o software Arena® da Rockwell Software Corporation por ser um dos softwares de simulação discreta mais utilizado no mundo empresarial e acadêmico (CHIWF; MEDINA, 2007).

Diante do exposto, este trabalho teve por objetivo implementar um modelo computacional para analisar a dinâmica operacional do processo de pintura de uma indústria de implementos agrícolas.

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. Desta forma serão apresentados os passos seguidos para realização do trabalho.

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.

A empresa, objeto deste estudo, é uma indústria de semeadoras. As semeadoras, popularmente denominadas de “plantadeiras” caracterizam-se por distribuir sementes espaçadas a distâncias supostamente homogêneas no sulco da semeadura. Estas máquinas trabalham com culturas de sementes graúdas como, milho, soja feijão, desde que distanciadas em média a mais de 4 cm entre elas no sulco ou linha de semeadura.

Para a definição do sistema e determinação dos objetivos do trabalho, várias visitas foram feitas ao Setor de Pintura da indústria para entender suas reais dificuldades. Durante estas visitas identificou-se que o “gargalo” do processo de pintura é o tempo de permanência no sistema das peças do semeador, denominadas de Linha de Semente (Figura 1). Observou-se que o tempo de pintura de um lote dessas peças ultrapassa um turno de trabalho (8 horas). Aproximadamente 1/3 dessas peças ficam para ser pintadas no outro turno de trabalho, atrasando o processo de pintura de outras peças da semeadora.



Figura 1 – Linha de semente da semeadora
Fonte – O Autor, 2013.

O Fluxograma do processo de pintura da indústria de implementos agrícolas é apresentado na Figura 2.



Figura 2 – Fluxograma do sistema.
Fonte – O Autor, 2013.

As peças (Linhas de Semente) chegam a Estação de Lixa em lotes com 30 peças. Nesta estação as peças passam inicialmente por um processo de lixação sendo depois imersas em um tanque com ácido. A seguir, as peças são retiradas do tanque, lavadas e colocadas a secar por 30 minutos. Na sequência, são penduradas, na Estação de Pintura, em ganchos e pintadas em grupo de três peças. Finalmente, são colocadas para secar durante 24 horas.

O Setor de Pintura da Indústria de Implementos Agrícolas conta com três funcionários, sendo dois na Estação de Lixa e um na estação de pintura. O trabalho é feito em um único turno de 8 horas de jornada de trabalho. Os funcionários do Setor de Pintura trabalham das 7:30 às 17:00 horas, com 1 hora e 30 minutos de intervalo para almoço e dois intervalos de 15 minutos para o lanche. Observa-se que um dos funcionários da Estação de Lixa atende também o processo de pendura das peças na Estação de Pintura.

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 (KELTON; SADOWSKI, 1998):

- 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 (FERNANDES *et al.*, 2006).

A etapa de construção do modelo conceitual foi feita em parceria com o gerente de produção da indústria de implementos agrícolas e com os funcionários diretamente ligados ao Setor de Pintura. Durante esse processo, concluiu-se que seria necessário coletar as seguintes variáveis: Tempos de Lixação (TL); Tempos de Imersão no Tanque de Ácido (TITA); Tempos de Lavagem (TLG); Tempo de Secagem (TS=30 minutos); Tempos de Pendura das peças (TPP) e Tempos de Pintura das Peças (TEP). Alguns desses dados 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 com o software Arena®, e os resultados analisados nas ferramentas *Output Analyzer* e *Process Analyzer*.

Na Figura 3 apresenta-se o modelo computacional, implementado neste trabalho, para simular o processo de pintura de um lote de peças (Linhas de Semente) da indústria de implementos agrícolas.

Setor de Pintura - Indústria de Implementos Agrícolas

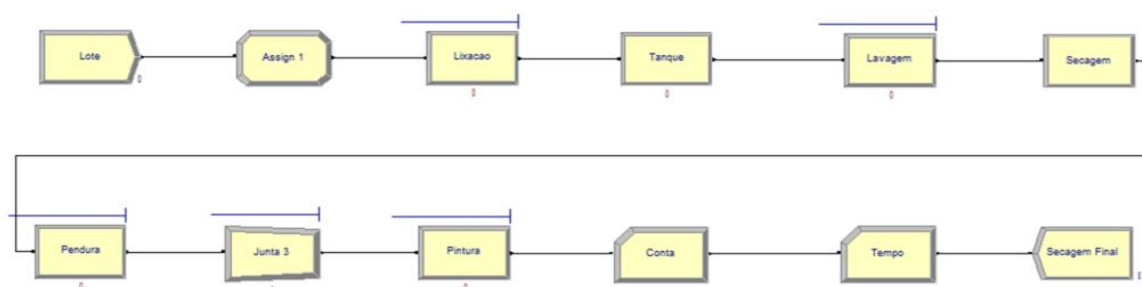


Figura 3 – Modelo computacional.
Fonte – O Autor, 2013.

A simulação do processo de pintura, por meio do software Arena®, inicia com a chegada das peças (entidades), no modelo, através do módulo CREATE, passando pelo módulo ASSIGN onde foi definido um atributo para o tempo de chegada das peças (TNOW). A seguir, as peças são enviadas aos módulos PROCESS (Lixação, Tanque, Secagem e Pendura) onde são lixadas, imersas em um tanque de ácido, colocadas para secar por 30 minutos e penduradas em ganchos. Na sequência, no módulo BATCH, as peças são juntadas em três peças e enviadas para pintura no módulo PROCESS (Pintura).

Os tempos médios de permanência das peças no sistema e o número de peças produzidas são coletados através do módulo RECORD (Conta e Tempo). No Módulo DISPOSE (Secagem Final) as peças saem do sistema.

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 da Seção de Lixa para realizar uma estimativa do tempo médio de espera na fila. Neste caso, o tamanho da amostra será igual à quantidade de peças 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), a validação do modelo computacional é definida como a determinação de que o comportamento do modelo simulado detém precisão suficiente para representar o modelo real para a aplicabilidade a qual se destina. 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 cinco amostras, cronometradas neste trabalho, foi obtida, para um nível de confiança de 95%, através da Eq. (3) (MORROCO, 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.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi realizada uma avaliação descritiva completa dos dados coletados na indústria de implementos agrícolas no software Statística® versão 10. A Tabela 1 apresenta, como exemplo, os dados coletados no processo de lavagem das peças (TLG).

Tabela 1 – Análise dos dados – TLG.

Parâmetro analisado	TLG
Pontos	30
Média	310,6 s
Mediana	331 s
Mínimo	167 s
Máximo	441 s
1 Quartil (Q ¹)	183 s
3 Quartil (Q ³)	225 s
Desvio Padrão	105,5 s
Coeficiente de Variação	33,95 %

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.

Tratamento de dados:

Inicialmente, os dados foram plotados em forma de *boxplot* (Figura 4) para uma análise preliminar do comportamento das observações. A seguir, aplicou-se a técnica de identificação de *outliers* (valores fora da normalidade) apresentada na Tabela 2 (MORROCO, 2003). As razões mais comuns para o surgimento desses valores são os erros na coleta de dados ou eventos raros e inesperados. Os *outliers* considerados como extremos só foram descartados, das amostras, depois de uma análise criteriosa de suas causas. Os valores julgados como possíveis de ocorrer foram mantidos nas amostras.

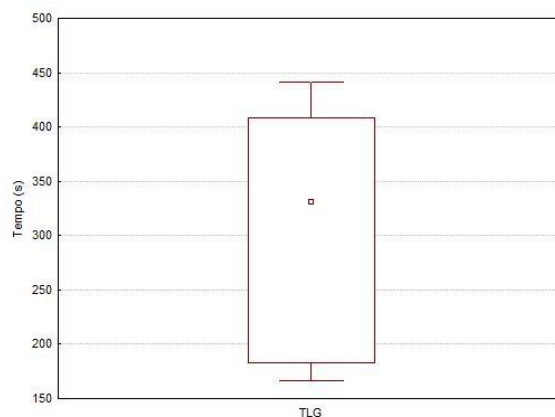


Figura 4 – *Boxplot* – TLG.

Fonte – O Autor, 2013.

Tabela 2 – Identificação de outliers.

<i>Outliers</i>
$A=Q^3-Q^1$
Valor $< Q^1-1,5A$ - <i>Outlier Moderado</i>
Valor $> Q^3+1,5A$ - <i>Outlier Moderado</i>
Valor $< Q^1-3,0A$ - <i>Outlier Extremo</i>
Valor $> Q^3+3,0A$ - <i>Outlier Extremo</i>

Onde Q^1 e Q^3 são, respectivamente, os valores do primeiro e terceiro quartis, assim a amplitude entre inter-quartil “A” é calculada pela diferença: $A=Q^3-Q^1$.

Após a análise dos dados cronometrados no sistema, através de técnicas estatísticas (MARIN; TOMI, 2010), 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* do teste de aderência (K-S: Kolmogorov-Smirnof) é maior que o nível de significância adotado (0,1) (CHIWF; MEDINA, 2007), concluiu-se que as distribuições, apresentadas na Tabela 3, são as expressões que melhor se adaptaram aos dados coletados no sistema.

Tabela 3 - Distribuição de probabilidades.

Itens	Distribuição	K-S
TEL	UNIF(10,30)	<i>p-value=0,794</i>
TITA	UNIF(10,17)	<i>p-value=0,429</i>
TLG	$167+274*BETA(0.482,0.534)$	<i>p-value=0,375</i>
TP	$250+LOGN(3.45,1.3)$	<i>p-value=0,523</i>
TEP	$2910+LOGN(5.63,0.912)$	<i>p-value=0,718</i>

Validação do Modelo Implementado:

Inicialmente, a validação, do modelo computacional, foi realizada por meio da técnica face a face onde o modelo foi executado para os funcionários do Setor de Pintura que o consideraram correto. Na sequência realizou-se uma comparação (Tabela 4) entre a média obtida do sistema real com a média gerada pelo modelo para a variável Número de Peças Pintadas (NPP) em um turno de trabalho. Nesta tabela apresenta-se, também, o erro médio estimado (SE, em decimal).

Tabela 4 - Dados do sistema real e do modelo.

Número de Peças Pintadas NPP		
Sistema Real	Modelo Computacional	SE
20 ± 2	$19,5\pm 1$	0,09

Através da análise dos resultados da Tabela 3 pode-se concluir que o modelo computacional apresenta uma boa aproximação, em relação ao número de peças pintadas em um turno de trabalho (8 horas), com o sistema real.

Simulação:

Uma vez validado o modelo computacional pode-se passar, segundo o método de pesquisa, para a 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 quatro cenários com o objetivo de observar a resposta do sistema a partir de alterações no número de funcionários do Setor de Pintura. Os indicadores de desempenho utilizados para a análise são: o grau de utilização dos funcionários nas estações de trabalho e o número de peças pintadas.

- Cenário 1: Sistema constituído por 2 lixadores e 1 pintor (Cenário Atual);
- Cenário 2: Sistema constituído por 3 lixadores e 1 pintor;
- Cenário 3: Sistema constituído por 2 lixadores e 2 pintores;
- Cenário 4: Sistema constituído por 3 lixadores e 2 pintores.

Na Tabela 5 apresentam-se os resultados obtidos da simulação do sistema, para os quatro cenários. Observa-se que os resultados foram obtidos após 30 replicações. Este número de replicações foi definido com nível de confiança de 95% utilizando a ferramenta *Output Analyzer* do Arena®.

Tabela 5 - Resultados de simulação dos cenários 1, 2, 3 e 4.

Cenário	Lixadores	Pintores	Ulix	Upin	Peças	Tempo no Sistema
1	2	1	97%	78,60%	21	267,6 min
2	3	1	66,50%	83,40%	21	256,3 min
3	2	2	96,90%	45,50%	21	263,2 min
4	3	2	66,50%	55,50%	30	237 min

Ulix : Utilização dos Lixadores - Upin: Utilização dos pintores

A partir dos dados apresentados na Tabela 5 pode-se observar, que o melhor cenário simulado é o cenário 4, porque todo o lote (30 peças) foi pintado em um turno de trabalho. O tempo médio de permanência das peças no sistema diminuiu, aproximadamente 30 minutos, em relação ao cenário atual. Constatou-se, também para este cenário, uma redução no grau de utilização dos funcionários das Estações de Lixa (97% para 66,5%) e de Pintura (78,6% para 55,5%).

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 uma indústria de implementos agrícolas.

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 das peças (Linhas de Semente), principalmente na previsão da variável NPP (Número de Peças Pintadas).

Concluiu-se, também, que com a utilização de mais dois funcionários (um na Estação de Lixa e outro na Estação de Pintura), conseguiu-se pintar, em um turno de trabalho, todo o lote de peças. Liberando o setor para pintura de outras peças da semeadora. Outro resultado importante foi à redução do grau de utilização dos funcionários da Seção de Lixa.

Cabe ressaltar que o trabalho desenvolvido não analisou a viabilidade econômica envolvida na contratação de mais dois funcionários, dessa forma um trabalho futuro poderia vir a explorar essa lacuna.

A aplicação da simulação computacional gerou um conhecimento adicional à cerca do processo para todos os envolvidos e possibilitou, também, a identificação de oportunidades de melhorar o processo de pintura da indústria de implementos agrícolas.

REFERÊNCIAS

BANKS, J. *Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications, and Practice*. New York: John Wiley & Sons, 1998.

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.

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

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

KELTON, W. D.; SADOWSKI, R. *Simulation with arena*. New York: McGraw-Hill, 1998.

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.

MORROCO, 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.

PASQUAL, C. A.; PEDROZO, E. A. Características do negócio no setor de máquinas agrícolas. *RAE*, v. 6. 2007.

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

RYAN, J.; HEAVEY, C. Process modeling for simulation. *Computers in Industry*. v. 57, p. 437-50. 2006.

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

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