

# Simulação da dinâmica operacional de um processo industrial de abate de aves

## *Dynamic simulation of an industrial process of poultry slaughter*

Douglas Cezar EBERT<sup>1\*</sup>, Luís César da SILVA<sup>2</sup>, Marcio Antonio VILAS BOAS<sup>3</sup>

### Resumo

Este trabalho foi conduzido com o objetivo de implementar um modelo computacional empregando a linguagem de simulação EXTEND<sup>TM</sup> para: a) simular a dinâmica de atividades de um matadouro-frigorífico de aves; e b) conduzir experimentos de análise de sensibilidade. Para tanto, foi implementado um modelo dinâmico, estocástico e discreto. O sistema real modelado está localizado na região sudoeste do Paraná, onde são abatidas cerca de 500000 aves por dia, empregando três linhas de processamento operando em três turnos diários. Na validação do modelo foram coletados dados relativos a três turnos e comparadas as variáveis de saída obtidas a partir do sistema real e as geradas pelo modelo, as quais foram: i) tempo de processamento; ii) peso vivo total; iii) peso vivo aproveitado; iv) peso de subproduto; v) peso da produção total; vi) peso do frango inteiro; e vii) peso total dos cortes. O modelo implementado demonstrou ser aplicável, uma vez que os erros médios percentuais foram inferiores a 1,13%. O experimento de análise de sensibilidade conduzido, mediante as alterações das velocidades de processamento das linhas em 7000, 8000 e 9000 frangos h<sup>-1</sup>, apresentou os seguintes valores médios para a variável tempo de processamento: 8,69; 7,86 e 7,86 horas, respectivamente. Além disso, o experimento demonstrou que a velocidade de processamento de 9000 frangos h<sup>-1</sup> não implica na direta redução do tempo de processamento, pois a cadência de chegada das cargas pode ter ocasionado períodos de ociosidade do matadouro-frigorífico.

**Palavras-chave:** carne; matadouro; pesquisa operacional.

### Abstract

This work was carried out with the objective of developing a computational model using the simulation language EXTEND<sup>TM</sup> to simulate the dynamic of poultry slaughter industry and conduct sensitivity analysis experiments. Hence, a dynamic, stochastic, discrete model was developed. The modeled real system is located in the southwestern region of the *Paraná* State, Brazil, which has a daily slaughter capacity of 500000 poultry using three processing lines and operating in three daily schedules. To validate the model data from three schedules were collected and compared to the output variables from the real system generated by the model; those variables were: (i) processing time; (ii) gross weight; (iii) live weight; (iv) sub-product weight; (v) total production weight; (vi) whole slaughtered weight; and (vii) net weight. The model implemented proved to be efficient since the percentage of average errors was less than 1.13%. The sensitivity analysis carried out, with processing rates changed to 7000; 8000 and 9000 poultry per hour per line, showed the following processing time averages 8.69, 7.86 and 7.86 hours, respectively. In addition, the experiment demonstrated that the processing rate of 9000 poultry h<sup>-1</sup> does not imply directly a reduction of the processing time since the rate of poultry arriving at the slaughterhouse can be related to idle periods at poultry slaughter facility.

**Keywords:** meat; slaughter industry; operations researches.

## 1 Introdução

O setor agroindustrial avícola brasileiro é referência de organização no País, o que pode ser comprovado pela eficiência na conquista de mercado no exterior, como também pelas estratégias de diferenciação de produtos. Isto se deve à forma de gerenciamento de integração da cadeia produtiva avícola baseada no sistema de parcerias entre indústria, tecnólogos e produtores rurais (MELLO, 2001; PINOTTI; PAULILLO, 2007).

As exigências quanto à qualidade da carne nos aspectos físico-químicos, sanitários e nutricional são cada vez maiores quer no mercado internacional quer no nacional. Com o passar dos tempos, os consumidores tornaram-se mais cientes dos atributos de qualidade da carne e também dos preceitos de educação

alimentar. Essas exigências têm provocado mudanças que tiveram início com trabalhos de melhoramento genético e, atualmente, envolvem toda a cadeia produtiva, levando em conta quesitos desde a alimentação de alto padrão técnico e nutricional até as etapas da linha de abate. Deste modo, na atualidade é possível controlar a maior parte dos fatores que influenciam a qualidade da carne de frango nas diversas etapas da produção dentro da cadeia produtiva (KAUFFMAN; MARSH, 1987; NORTH CUTT; FOEGEDING; EDENS, 1994).

De acordo com os conceitos da área de pesquisa operacional (FERNANDES et al., 2007; SILVA, 2002; WINSTON, 1994) e com

Recebido para publicação em 25/9/2007

Aceito para publicação em 3/1/2009 (002855)

<sup>1</sup> União de Ensino do Sudoeste do Paraná – UNISEP, CEP 85660-000, Dois Vizinhos – PR, Brasil, E-mail: douglas.ebert@ibest.com.br

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, CEP 29500-000, Alegre – ES, Brasil, E-mail: silvaluisc@yahoo.com

<sup>3</sup> Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, CEP 85814-110, Cascavel – PR, Brasil, E-mail: vilasboas@unioeste.br

\*A quem a correspondência deve ser enviada

a forma de funcionamento dos matadouros-frigoríficos, estes podem ser visualizados como sistemas em que um conjunto de operações unitárias é realizado segundo uma lógica para a obtenção de carne e derivados a partir do abate de animais como: aves, suínos e bovinos (FERNANDES et al., 2007; PARDI et al., 1996; PARDI et al., 1996).

Considerando a complexidade operacional de um matadouro-frigorífico e a influência de diferentes fatores estocásticos, a técnica de modelagem e simulação apresenta-se como uma ferramenta ideal para estudos e avaliações deste tipo de sistema (FERNANDES et al., 2007).

Para modelar e simular um sistema real é necessário implementar um modelo matemático aplicado à simulação. Desse modo, podem ser empregadas linguagens de programação como FORTRAN, C e PASCAL; ou de simulação, exemplos, SLAM, ARENA, POWERSIM e EXTEND (SILVA, 2002; WINSTON, 1994).

Especificamente sobre EXTEND™, trata-se de uma linguagem de simulação tipo orientada objeto de grande apelo visual. Essa linguagem permite ao usuário: i) utilizar modelos implementados; ii) criar modelos a partir de blocos-padrão disponibilizados pelo *software*; iii) programar novos blocos ou modificar os códigos dos existentes; e iv) criar modelos discretos ou contínuos (RIVERA, 1997; WINSTON, 1994).

O emprego da técnica de simulação propicia: projetar e analisar sistemas industriais, prever resultados na execução de determinada ação, reduzir os riscos na tomada de decisão, identificar problemas antes de suas ocorrências, realizar análises de sensibilidade e reduzir custos, uma vez que é possível conduzir experimentos como análise de sensibilidade, comparação de cenários, simulação de Monte Carlo e otimização (RIVERA, 1997; WINSTON, 1994).

Quanto à classificação dos modelos de simulação, estes podem ser: a) estático ou dinâmico – modelos estáticos representam o estado do sistema para dado instante, enquanto os dinâmicos descrevem as alterações de estado do sistema em função do avanço da variável tempo; b) determinístico ou estocástico – os modelos determinísticos não empregam variáveis aleatórias diferentes dos estocásticos; e c) discreto ou contínuo – em modelos discretos o avanço da variável tempo está associado à ocorrência de eventos, enquanto em modelos contínuos os avanços são feitos em incrementos pré-definidos (FERNANDES et al., 2007; RIVERA, 1997; WINSTON, 1994).

Em virtude das potencialidades da técnica de simulação, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de implementar um modelo computacional para simular a dinâmica operacional do processo de abate de aves utilizando a linguagem de simulação EXTEND™ e proceder a experimentos de análise de sensibilidade ao alterar a velocidade de processamento das linhas de abate.

## 2 Material e métodos

O sistema real modelado está localizado na região sudoeste do Paraná, tem capacidade de abate próxima a 500000 aves por dia, opera diariamente em três turnos e produz principalmente frangos inteiros para o mercado internacional.

A infraestrutura desse matadouro-frigorífico é constituída de: i) setor de recepção, que conta com uma balança rodoviária e uma plataforma de descanso com capacidade de estacionamento de sete caminhões. Esse local é provido de ventiladores e umidificadores de tal forma a diminuir o estresse das aves, devido ao transporte; ii) setor de descarga, com capacidade de atender a três caminhões por vez; e iii) matadouro-frigorífico, que dispõe de três linhas de abate que podem operar com velocidades de processamento variando de 7000 a 9000 aves por hora.

Devido às características do sistema e ao objetivo de replicar a dinâmica operacional do sistema, optou-se por implementar um modelo tipificado como dinâmico, estocástico e discreto, sendo empregada a linguagem de simulação EXTEND™.

A implementação e validação do modelo envolveram a execução das seguintes fases: 1) caracterização do sistema real; 2) criação do modelo conceitual; 3) estruturação e verificação do modelo computacional; 4) obtenção de dados; e 5) validação do modelo. Executados esses passos, foi conduzida análise de sensibilidade mediante a alteração da velocidade de processamento de frangos por hora.

Na implementação do modelo conceitual foram priorizadas as movimentações de cargas de frangos vivos e produções em termos de unidades e peso. Para tanto, conforme representado na Figura 1, foram considerados: a) o plano de abate, que tem por principal parâmetro a quantidade de frangos a ser abatida por turno; b) o serviço de recepção, que se refere à pesagem e determinação do peso líquido da carga e ao peso médio de frangos; c) a retenção na plataforma de descanso; d) a operação de descarga; e e) a produção do matadouro.

Os dados necessários à implementação e validação do modelo foram obtidos a partir de planilhas de controle de processo da empresa. Os dados referem-se às informações que o usuário deve introduzir no modelo.

O modelo implementado no ambiente EXTEND™, versão 4.1.3C, é constituído de seis blocos, denominados: Plano de abate, Recepção, Plataforma de descanso, Descarga, Caminhões vazios e Matadouro. Estes blocos são interligados conforme a representação do modelo conceitual

O bloco plano de abate foi estruturado para a geração de eventos que correspondem à chegada de caminhões carregados ao matadouro-frigorífico. Para tanto, o usuário deverá informar: número de aves que serão abatidas por turno; número mínimo de frangos por caminhão; horários de início e paradas no turno; e distribuição que descreve o intervalo de tempo entre as chegadas dos caminhões; o número de aves por caminhões; e o peso vivo médio dos frangos.

O bloco recepção simula o funcionamento do setor de recepção e gera informações como o fluxo horário de caminhões, o número de caminhões recebidos, o número de aves recebidas e o peso vivo de frangos recebidos.

O bloco Plataforma de descanso reproduz durante a simulação o tempo de retenção dos caminhões para o descanso das aves. Os dados de entrada são o número máximo de caminhões que pode ser retido por vez e a distribuição que descreve o tempo de retenção para cada caminhão carregado.

Com relação ao bloco Descarga, esse foi modelado para descrever a operação de descarga. O usuário deverá informar: o número de caminhões a ser descarregado por vez e a distribuição que descreve o tempo de descarga por caminhão.

No que se refere ao bloco Caminhões vazios, esse contabiliza o número de caminhões descarregados. E por fim, o bloco Matadouro simula o funcionamento de três linhas de abate e, para cada uma, deve ser informado: velocidade de processamento, frangos  $h^{-1}$ ; percentagem de aves condenadas; percentagem de aves destinadas à seção de corte; percentagem de subprodutos; e distribuição percentual para os cortes – frango nove partes, peito, pernas, asas, miúdos, pezinhos, pertences e especiais.

Na execução dos procedimentos de validação, foram: i) determinados intervalos de confiança, considerando a distribuição “t” ao nível de probabilidade de 99%, Equações 1 e 2; e ii) calculados o erro médio estimado, Equação 3.

$$LS = \bar{X} + \frac{t_{\alpha/2, n-1} \cdot s(x)}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

$$LI = \bar{X} - \frac{t_{\alpha/2, n-1} \cdot s(x)}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

em que:

LS = limite superior do intervalo de confiança;

LI = limite inferior do intervalo de confiança;

$\bar{X}$  = média calculada a partir dos dados obtidos do sistema real ou gerados pelo modelo;

n = número de observações;

$t_{\alpha/2, n-1}$  = representa um valor da distribuição t para n-1 graus de liberdade em nível de probabilidade de  $\alpha/2$ ; e

$s(x)$  = desvio padrão.

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

em que:

SE = erro médio estimado;

SR = valor obtido a partir do sistema real;

MD = valor gerado pelo modelo; e

GLR = grau de liberdade do número de replicações do modelo.

As variáveis comparadas na validação do modelo, considerando os dados obtidos a partir do sistema real e os gerados pelo modelo, relativos a três turnos, foram: i) tempo de processamento; ii) peso vivo total; iii) peso vivo aproveitado; iv) peso de subproduto; v) peso da produção total; vi) peso de frango inteiro; e vii) peso total dos cortes. Os dados gerados pelo modelo são relativos a cinco replicações.

Uma vez que o modelo foi validado, foram realizadas experimentações tipo análise de sensibilidade. O parâmetro alterado foi velocidade de processamento, adotando-se os seguintes valores alterados: 7000, 8000 e 9000 frangos por hora em cada uma das três linhas de abate. O impacto dessas alterações foi avaliado para a variável de saída tempo de processamento. Foi escolhida essa variável pelo fato de ser diretamente impactada pela velocidade de processamento e sua influência sobre as demais variáveis de saída. Em cada situação experimental foram procedidas cinco replicações.

### 3 Resultados e discussão

Para proceder à validação foram utilizados dados de três turnos identificados como 1, 2 e 3. Durante esses turnos foram recebidas para abate as seguintes quantidades de aves: 174.239, 166.870 e 144.021, respectivamente.

Nas Tabelas 1, 2 e 3 estão apresentados os valores obtidos no sistema real e os gerados pelo modelo para as seguintes variáveis empregadas nos procedimentos de validação.

Ao proceder à análise das Tabelas 1, 2 e 3, conclui-se que o modelo presta-se aos objetivos propostos, pois, ao serem realizadas cinco rodadas, os intervalos de confiança contêm os valores obtidos do sistema real e os erros médios estimados são baixos, como também os valores percentuais dos erros médios. Estes foram determinados pela razão percentual entre o erro médio estimado e o valor obtido do sistema real.

Por exemplo, para a variável peso vivo total, considerando-se o turno 1, Tabela 1, o valor obtido no sistema real foi 241.954,24 kg, enquanto o intervalo de confiança para os dados gerados pelo

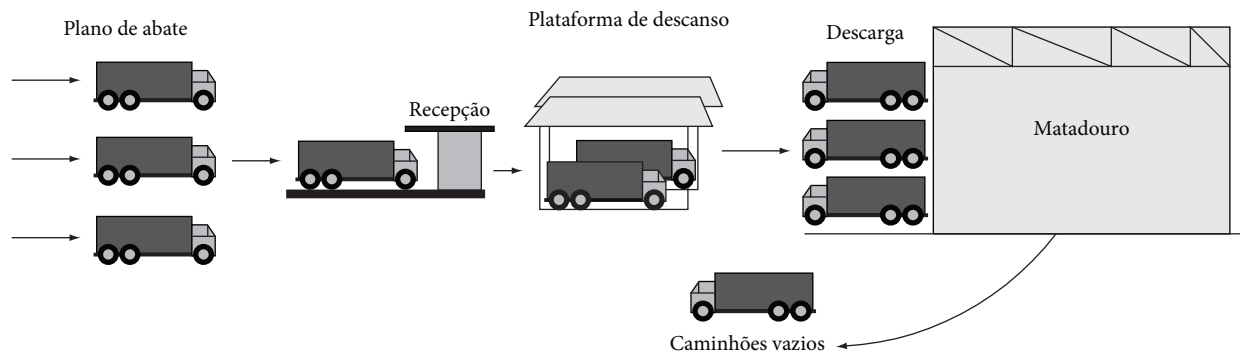


Figura 1. Modelo conceitual de um matadouro-frigorífico de frangos.

modelo abrange valores de 236.462,81 a 249.950,39 kg. Estes têm variação de 2,78% em relação ao valor obtido do sistema. Tal eficiência de previsão do modelo pode também ser constatada ao serem analisados os erros médios estimados. Para o caso em questão, foi calculado um erro médio estimado de 626,18 kg, o que corresponde a 0,26% do valor obtido do sistema real.

Semelhantes ponderações podem ser conduzidas para os três turnos e para as diferentes variáveis, uma vez que o maior valor percentual do erro foi 1,13% (Tabela 3) para estimar o tempo de processamento.

### 3.1 Análise de sensibilidade

O experimento de análise de sensibilidade empregando o modelo ao serem modificadas as velocidades de processamento das linhas de processamento em 7000, 8000 e 9000 frangos por hora, levou à determinação dos seguintes intervalos de confiança em nível de probabilidade de 99% para a variável tempo de processamento:  $8,69 \pm 0,63$ ;  $7,86 \pm 0,94$ ; e  $7,86 \pm 1,83$  horas, respectivamente. Melhor visualização destes intervalos de confiança é representada na Figura 2.

Conforme pode ser observado na Figura 2, à medida que é aumentada a velocidade de processamento do matadouro, menor é o tempo de processamento. No entanto, à medida que isso ocorre, maiores são as amplitudes dos intervalos de confiança, o que denota a instabilidade do processo de produção. Por exemplo, para a velocidade de processamento de 9000 frangos h<sup>-1</sup> é observada maior dispersão. Isso pode ser atribuído aos períodos de ociosidade do matadouro em razão da falta de frangos a abater, o que decorre em razão da aleatoriedade da variável espaço de tempo entre as chegadas. Portanto, para que isso não ocorra o planejamento do carregamento deve ser readequado de tal forma a diminuir o intervalo de tempo entre as chegadas de caminhões, que atualmente apresenta média de 17,2 minutos e máximo de 70,0 minutos. Portanto, de acordo com o experimento de análise de sensibilidade realizado, a velocidade de processamento adequada é 8000 frangos h<sup>-1</sup> em cada uma das linhas, o que corresponde para o sistema real modelado o processamento de 24000 frangos por hora. Isto se deve ao menor valor e variabilidade do tempo de processamento, consequentemente maior eficiência no uso da estrutura, equipamentos e mão de obra associados às operações de abate.

**Tabela 1.** Valores obtidos do sistema real e gerados pelo modelo ao ser simulado o turno 1.

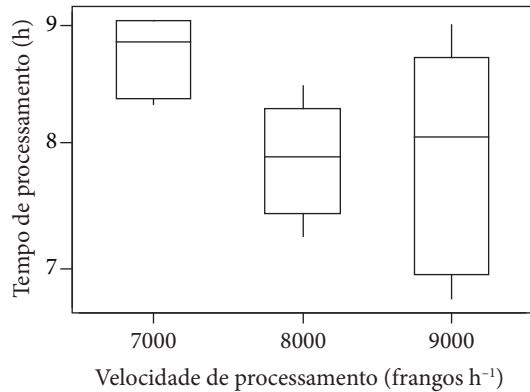
Variáveis	Valores do sistema real	Intervalos de confiança para os valores gerados pelo modelo	Erro médio estimado	Valor percentual do erro médio (%)
Tempo de processamento (horas)	7,10	$7,21 \pm 0,99$	0,05	0,74
Peso vivo total (kg)	241.954,24	$243.206,60 \pm 6.743,79$	626,18	0,26
Peso vivo aproveitado (kg)	243.846,00	$242.112,17 \pm 6.713,44$	866,91	0,36
Peso subproduto (kg)	53.874,00	$53.991,01 \pm 1.497,09$	58,50	0,11
Peso da total produção (kg)	186.830,00	$188.121,15 \pm 5.216,34$	645,57	0,35
Peso de frango inteiro (kg)	162.123,00	$161.784,20 \pm 4.486,06$	169,40	0,10
Peso total dos cortes (kg)	26.133,00	$26.336,96 \pm 730,29$	101,98	0,39

**Tabela 2.** Valores obtidos do sistema real e gerados pelo modelo ao ser simulado o turno 2.

Variáveis	Valores do sistema real	Intervalos de confiança para os valores gerados pelo modelo	Erro médio estimado	Valor percentual do erro médio (%)
Tempo de processamento (horas)	7,50	$7,51 \pm 0,35$	0,005	0,06
Peso vivo total (kg)	234.721,62	$231.859,12 \pm 5.564,04$	1431,24	0,61
Peso vivo aproveitado (kg)	231.233,00	$230.815,76 \pm 5.538,99$	208,62	0,09
Peso subproduto (kg)	52.121,00	$51.471,91 \pm 1.235,19$	324,54	0,62
Peso da total produção (kg)	181.245,00	$179.343,85 \pm 4.303,80$	950,57	0,52
Peso de frango inteiro (kg)	153.879,00	$154.235,71 \pm 3.701,27$	178,35	0,12
Peso total dos cortes (kg)	25.122,00	$25.108,13 \pm 602,53$	6,93	0,03

**Tabela 3.** Valores obtidos do sistema real e gerados pelo modelo ao ser simulado o turno 3.

Variáveis	Valores do sistema real	Intervalos de confiança para os valores gerados pelo modelo	Erro médio estimado	Valor percentual do erro médio (%)
Tempo de processamento (h)	6,15	$6,29 \pm 0,38$	0,07	1,13
Peso vivo total (kg)	201.686,58	$199.518,84 \pm 6.524,86$	1083,87	0,54
Peso vivo aproveitado (kg)	201.172,00	$198.640,95 \pm 6.496,14$	1265,52	0,63
Peso subproduto (kg)	44.321,00	$44.296,93 \pm 1.448,63$	12,03	0,03
Peso da total produção (kg)	156.787,00	$154.344,02 \pm 5.047,50$	1221,48	0,78
Peso de frango inteiro (kg)	134.565,00	$132.735,85 \pm 4.340,85$	914,57	0,68
Peso total dos cortes (kg)	21.980,00	$21.608,15 \pm 706,65$	185,92	0,85



**Figura 2.** Gráfico *boxplot* para a variável tempo de processamento ao serem alteradas as velocidades de processamento.

#### 4 Conclusões

O modelo implementado apresenta as seguintes restrições: 1) simula um turno por vez; e 2) o matadouro deve ter no máximo três linhas de processamento.

De acordo com os resultados das análises realizadas para sua validação, conclui-se que o modelo é aplicável para simular a dinâmica operacional de linhas industriais de abate de frangos, especificamente na previsão das seguintes variáveis: i) tempo de processamento; ii) peso vivo total; iii) peso vivo aproveitado; iv) peso de subproduto; v) peso da produção total; vi) peso do frango inteiro; e vii) peso total de cortes.

Por meio do experimento de análise de sensibilidade conduzido, foi demonstrado que a condição ótima de funcionamento do matadouro é a de 24000 abates de frangos por hora. Quantidade menor causa aumento do tempo de processamento, enquanto

número maior faz o sistema operar com instabilidade, gerando ora período de ociosidade, ora de alta eficiência.

#### Referências bibliográficas

- FERNANDES, C. A. et al. Simulação da dinâmica operacional de uma linha industrial de abate de suínos. *Ciência Tecnologia de Alimentos*, v. 26, n. 1, 2006.
- PARDI, M. C. et al. *Ciência Higiene e Tecnologia da Carne*. Goiânia: Editora da UFG, 1996. V. 1.
- PARDI, M. C. et al. *Ciência Higiene e Tecnologia da Carne*. Goiânia: Editora da UFG, 1996. V. 2.
- KAUFFMAN, R. G.; MARSH, B. B. Quality characteristics of muscle as a food. In: PRICE, J. F.; SCHWEIGERT, B. S. (Eds.). *The science of meat and meat products*. Westport: Food & Nutrition Press, Inc., 1987.
- LAW, A. M.; KELTON, W. D. *Simulation modeling & analysis*. New York: McGraw Hill Inc., 1991.
- MELLO, A. J. R. *A dinâmica inovativa na indústria de frangos na década de 90*. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- NORTHCUTT, J. K.; FOEGEDING, E. A.; EDENS, F. W. Water-holding properties of thermally preconditioned chicken breast and leg meat. *Poultry Science*, v. 73, n. 2, p. 308-316, 1994.
- PINOTTI, R. N.; PAULILLO, L. F. O. A estruturação da rede de empresas processadoras de aves no Estado de Santa Catarina: governança contratual e dependência de recursos. *Gestão & Produção*, v. 13, n. 1, 2006.
- RIVERA, J. Modeling With EXTEND. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 1997, Atlanta, Georgia. *Proceedings...* New York: Association of Computer, 1997. p. 674-676.
- SILVA, L. C. *Stochastic simulation of the dynamic behavior of grain storage facilities*. 2002. 104 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- WINSTON, W. L. *Operations research: applications and algorithms*. Belmont: Wadsworth Publishing Company, 1994. p. 1183-1225.