

SIMULAÇÃO DA DINÂMICA OPERACIONAL DE UMA LINHA INDUSTRIAL DE ABATE DE SUÍNOS¹

Carlos Aparecido FERNANDES², Luís César da SILVA³, Joaquim Odilon PEREIRA⁴,
Margarida Masami YAMAGUCHI⁵

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo implementar um modelo computacional para simular a dinâmica operacional de uma linha industrial de abate de suínos. O sistema real modelado pertence à empresa Frigorífico Frimesa, sediada no município de Medianeira (PR). O modelo implementado é tipo dinâmico, discreto e estocástico. Este simula 34 operações unitárias e foi estruturado com o uso da linguagem de simulação EXTENDTM. Para validação do modelo foram coletados dados relativos a cinco dias de operação, em que foram abatidos 1.346, 1.630, 1.360, 1.585 e 1.550 suínos, respectivamente. Como parâmetros de comparação entre os dados obtidos a partir do sistema e gerados pelo modelo foram selecionadas as seguintes variáveis: (i) tempo de duração da operação; (ii) tempo de deslocamento da insensibilização até a depiladeira; (iii) tempo deslocamento da insensibilização até a câmara fria; (iv) número de carcaças re-inspecionadas; e (v) número final de carcaças. Na validação do modelo, foi constatado que, para a variável tempo de duração da operação por meio do teste Tukey a 1% de significância, não foram detectadas diferenças estatísticas entre os valores obtidos do sistema real e os gerados pelo modelo. Considerando-se esta e outras análises, foi concluído que o modelo aplica-se à finalidade para a qual foi implementado. Sendo assim, foram realizadas duas análises de sensibilidade. Na primeira, ao alterar o número de suínos a abater de 1 mil para 2 mil, foi determinado que os tempos de duração da operação variariam de 6,20 a 10,10 h, respectivamente. Para a segunda, ao abater 1.340 suínos e alterar a velocidade das nórias de 300 para 600 animais por hora, o tempo de duração da operação passou de 8,10 para 7,40 h, respectivamente.

Palavras-chave: suínos, abate, simulação.

SUMMARY

DYNAMIC OPERACIONAL SIMULATION OF AN INDUSTRIAL SLAUGHTERLINE FOR SWINE. This work was carried out with the objective to implement a computational model for simulating the dynamics of an industrial slaughtering for swine. Modeled real system belongs the Frimesa enterprise, located in Medianeira city, Paraná State, Brazil. Implemented model was classified as: dynamic, discrete and stochastic, and simulates thirty-four unity operations. For model implementation it was employed the simulation language EXTENDTM. Model validation was carried out comparing data related to five operational shifts, when it was slaughtered 1,346, 1,630, 1,360, 1,585 and 1,550 pigs, respectively. As contrasting parameters between data gotten from real system and generated by model, it was selected the following variables: (i) spent operational time; (ii) spent time from stunning area to scrap machine, (iii) spent time from stunning area to cold storage chamber; (iv) number of re-inspected carcasses; and (v) final number of edible slaughtered swine. At model validation was evidenced that for spent operational time averages, according to Tukey's test, at the significance level of 1%, it was not detected statistical differences between real system and generated simulation model data. According to this and other analyses, lead to the conclusion that model and system outcomes were in good agreement. Furthering, two sensitivity were carried out. In the first it was modified the number of swine to be slaughtered from 1,000 to 2,000. It was observed that spent operational time increase from 6.20 to 10.20 h. At the second, it was simulated the slaughter of 1,340 pigs, and was varied processing rates from 300 to 600 pigs per hour, at this situation operational times decreased from 8.10 to 7.40 h, respectively

Keywords: swine, slaughter, simulation.

1 - INTRODUÇÃO

A consolidação da suinocultura tem apresentado-se como uma das atividades mais importantes no fornecimento de proteína animal para a alimentação humana. Neste con-

texto, especificamente, a suinocultura brasileira tem sido aprimorada para a produção intensiva, com a busca de economias de escala e a especialização na produção [9].

De acordo com os conceitos da área de pesquisa operacional [3, 7, 8] e com a forma funcional de uma unidade abatedouro-frigorífico, esta pode ser visualizada como um sistema 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 [4, 5].

Tendo em vista a complexidade do sistema unidade abatedouro-frigorífico e a influência de deferentes fatores aleatórios, a técnica de simulação apresenta-se como uma das ferramentas ideais para o estudo e avaliação deste tipo de sistema.

Para o emprego da simulação é necessária a implementação de um modelo, para tanto poderão ser utilizados: (i) linguagens de programação, exemplo: FORTRAN, C e Visual Basic; (ii) linguagens de simulação, exemplo: SLAMTM, ARENATM e EXTENDTM; ou (iii) pacotes aplicativos - @RISKTM, LINDOTM [3, 7, 8].

¹Recebido para publicação em 6/6/2005. Aceito para publicação em 23/1/2006 (001536)

²Bacharel em Desenho Industrial, mestre em Engenharia Agrícola, área de Engenharia de Sistemas Agroindustriais - Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste) e professor de Eletromecânica da unidade de Medianeira do Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná (Cefet-PR). E-mail:fernandes@md.cefet.pr.br

³Engenheiro agrícola, doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (UFV) & Kansas State University e professor visitante do programa de mestrado em Engenharia Agrícola da Unioeste

⁴Engenheiro agrícola, doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual Paulista (Unesp-Botucatu); pós-doutorado pelo Institut National de la Recherche Agronomique (Inra), França, e professor do programa de mestrado em Engenharia Agrícola da Unioeste

⁵Farmacêutica e bioquímica, doutora em Ciência de Alimentos pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e professora da unidade de Medianeira do Cefet-PR

*A quem a correspondência deve ser enviada

Quanto ao EXTEND™, trata-se de uma linguagem de simulação do tipo orientada objeto, que pode ser aplicada na estruturação de modelos discretos, assim como em modelos contínuos. Os modelos são implementados utilizando blocos que estão armazenados em bibliotecas específicas. E estes podem estar programados para simular um processo, fazer cálculos, enviar informações e gerar [2, 6, 7].

Segundo SILVA [7], o emprego da técnica de simulação propicia: (a) projetar e analisar sistemas industriais; (b) prever resultados na execução de determinada ação; (c) reduzir os riscos na tomada de decisão; (d) identificar problemas antes de suas ocorrências; (e) eliminar procedimentos em arranjos industriais que não agregam valor à produção; (f) realizar análises de sensibilidade; (g) reduzir custos com o emprego de recursos (mão-de-obra, energia, água e estrutura física); e (h) revelar a integridade e viabilidade de determinado projeto em termos técnicos e econômicos.

Deste modo, devido às potencialidades da técnica de simulação, este trabalho foi conduzido com o objetivo de implementar um modelo computacional aplicado à simulação das operações unitárias que integram o fluxo-grama operacional de uma linha industrial dedicada ao abate de suínos.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

Foi estruturado um modelo computacional para simular a dinâmica operacional do sistema real de uma linha de abate de suínos. O sistema real modelado pertence ao Frigorífico Frimesa, localizado na cidade de Medianeira, Estado do Paraná.

O modelo é classificado como dinâmico, estocástico e discreto. E foi implementado com o uso da linguagem de simulação EXTEND™. Pelo fato de o modelo ser dinâmico, significa que é possível simular as alterações dos valores das variáveis que descrevem o estado do sistema ao longo tempo. Por ser estocástico, significa a consideração de influências dos fatores que comportam como variáveis aleatórias. E como discreto, implica que o avanço da variável tempo no modelo de simulação é realizado em incrementos, que estão associados à ocorrência de eventos. Estes correspondem às movimentações dos suínos abatidos nas 34 operações unitárias executadas na linha de abate.

Para a implementação e validação do modelo foram executadas as seguintes fases: (i) caracterização do sistema real; (ii) criação do modelo conceitual a partir do fluxograma operacional; (iii) estruturação e verificação do modelo computacional; (iv) obtenção de dados; e (v) validação do modelo. Executados estes passos, foram conduzidos dois experimentos tipo análise de sensibilidade.

A coleta de dados foi procedida para seis dias de operação, quando em média são abatidos 1,4 mil suínos diariamente. Cada dia deu origem a um conjunto de dados que se refere ao tempo de execução de cada uma das 34 operações unitárias, velocidades das nórias e informações que referem à produção do tipo: número de animais abati-

dos, número de carcaças obtidas e o número de carcaças re-inspecionadas e refugadas. Um dos conjuntos de dados foi utilizado para os procedimentos de desenvolvimento e verificação do modelo. Os demais foram empregados para os procedimentos de validação.

Na execução dos procedimentos de validação foram: (i) determinados os intervalos de confiança por meio da distribuição "t", a 99% de significância, (Equações 1 e 2); (ii) realizadas as comparações de médias por meio do teste de Tukey, a 1% de significância; e (iii) calculados os erros médios estimados, 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} = calculada a partir dos dados obtidos do sistema real ou gerados pelo modelo.

n = Número de observações.

$t_{\alpha/2, n-1}$ = valor da distribuição t para n-1 graus de liberdade a $\alpha/2$ probabilidade.

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.

GLR = grau de liberdade do modelo

As variáveis contrastadas nos procedimentos de validação foram: (i) tempo de duração da operação; (ii) tempo de deslocamento da insensibilização até a depiladeira; (iii) tempo deslocamento da insensibilização até a câmara fria; (iv) número de carcaças re-inspecionadas; e (v) número final de carcaças.

Após a validação do modelo, foram procedidas duas experimentações do tipo análise de sensibilidade. A primeira envolveu comparações de impactos sobre a operação do sistema ao ser abatido 1 mil, 1,2 mil, 1,4 mil, 1,6 mil, 1,8 mil e 2 mil suínos por dia, respectivamente, para um fluxo de 400 suínos por hora. Para a segunda experimentação, ao ser planejado o abate de 1,4 mil suínos por dia, foi simulado o funcionamento do sistema para fluxos de 300, 400, 500 e 600 suínos abatidos por hora. Em cada situação experimental foram procedidas cinco rodadas.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na *Tabela 1*, são apresentados os valores obtidos a partir do sistema real e os gerados pelo modelo de simulação para as variáveis: (i) tempo de duração da operação; (ii) tempo de deslocamento da insensibilização até a depiladeira; (iii) tempo deslocamento da insensibilização até a câmara fria; (iv) número de carcaças re-inspecionadas; e (v) número final de carcaças.

A maioria dos valores apresentados na *Tabela 1* é a média aritmética seguida de valor delta, que define os limites superior e inferior do intervalo de confiança definido ao nível de confiança de 99%. Valores em que não são definidos intervalos de confiança tratam de valores únicos.

Na *Tabela 2*, são apresentados os erros médios estimados ao comparar os valores obtidos a partir do sistema real com as médias geradas pelo modelo. O maior valor detectado para a variável tempo de duração da operação ocorreu no dia 17, sendo este igual a 0,63 h (42 min). Neste dia, foram realizados 1,63 mil abates, e o tempo de duração da operação foi igual a 9,25 h. Para esta situação os valores reportados pelo modelo simulado corresponderam a $8,00 \pm 0,00$ h. No entanto, ao serem analisadas as informações relativas aos dias 23 e 30, em que foram abatidos 1.585 e 1,55 mil suínos, respectivamente, pode ser observado que erros médios estimados foram 0,10 e 0,00 h, respectivamente.

Conforme a *Tabela 1*, nos dias 16, 23 e 30 foram abatidos 1,63 mil, 1.585 e 1,55 mil suínos, respectivamente. Operacionalmente, estes números podem ser considerados semelhantes, uma vez que a maior diferença calculada foi 85. Conforme a *Tabela 2*, para estes três dias o maior

erro médio estimado foi 0,10 hora, ou seja, 6 min. Isto operacionalmente é perfeitamente aceitável.

Para as demais variáveis, os erros médios estimados também são aceitáveis ao ser procedida análise semelhante à realizada para a variável tempo de duração da operação. Ao ser aplicado o teste de Tukey, a 1% de significância, na comparação das médias obtidas a partir do sistema real e as geradas pelo modelo de simulação, isto para as cinco variáveis comparadas, não foram constatadas diferenças estatísticas.

Considerando as discussões apresentadas, pode-se afirmar que o modelo computacional implementado aplica-se à previsão das variáveis destacadas nas *Tabelas 1* e *2*, sendo observadas as seguintes situações para as variáveis: (i) tempo de duração de operação - os dados reais apresentaram coeficiente de variação - CV de 8,87%, com variação de 7,20 até 9,25 h, e os simulados tiveram CV igual a 6,63% e variaram de 7,10 a 8,30 h; (ii) tempo de deslocamento da insensibilização até a depiladeira - os dados reais apresentaram CV de 4,41%, com variação de 15,60 a 16,98 min, enquanto os simulados tiveram CV igual a 12,22%, com variação de 14,26 a 13,44 min; e (iii) tempo de deslocamento da insensibilização até a câmara fria - os dados reais apresentaram CV de 2,89%, com variação de 28,07 a 30,15 min e os simulados tiveram CV igual a 6,74% e variaram de 26,48 a 31,31 min.

3.1 - Análises de sensibilidade

Na *Tabela 3*, são apresentados resultados da análise de sensibilidade, em que foram alterados os números de suínos a abater e considerados os parâmetros do sistema real levantados para o dia 16 de março. Os intervalos de

TABELA 1 – Dados do sistema real (SR) e gerados pelo modelo de simulação (MD)

Nº	Dia	Número de suínos a abater	Tempo de duração da operação (h)		Tempo de deslocamento da insensibilização até a depiladeira (min)		Tempo de deslocamento da insensibilização até a câmara fria (min)		Número de carcaças re-inspecionadas		Número final de carcaças	
			SR	MD	SR	MD	SR	MD	SR	MD	SR	MD
1	16 mar. 2005	1.346	7,20	7,30±0,00	14,26±1,19	15,60±0,43	28,35±3,77	29,62±0,50	1,00	1,0±1,88	1.345	1.345±1,88
2	17 mar. 2005	1.630	9,25	8,00±0,00	13,09±0,12	13,09±0,12	29,03±2,37	26,48±0,14	3,00	1,60±2,59	1.627	1.628±2,59
3	18 mar. 2005	1.360	8,25	7,10±0,00	14,35±0,35	13,65±0,46	28,39±2,98	28,65±0,30	4,00	3,40±3,71	1.356	1.357±3,71
4	23 mar 2005	1.585	8,10	8,30±0,00	13,17±2,00	17,18±0,10	30,15±0,42	31,31±0,20	3,00	0,60±1,02	1.582	1.584±1,02
5	30 mar 2005	1.550	8,20	8,00±0,00	13,44±1,04	16,98±0,30	28,07±2,98	31,12±0,40	3,00	1,20±2,54	1.547	1.549±2,54

TABELA 2 – Erro médio estimado

Nº	Data	Tempo de duração da operação (h)	Tempo de deslocamento da insensibilização até a depiladeira (min)	Tempo de deslocamento da insensibilização até a câmara fria (min)	Número de carcaças re-inspecionadas	Número final de carcaças
1	16 mar 2005	0,05	0,67	0,63	0,40	0,40
2	17 mar 2005	0,63	0,52	1,28	0,70	0,70
3	18 mar 2005	0,58	0,35	0,13	0,30	0,30
4	23 mar 2005	0,10	2,00	0,42	0,30	0,30
5	30 mar 2005	0,00	1,77	1,52	0,90	0,90

confiança foram determinados por meio da distribuição “t”, a 99% de significância.

Conforme pode ser observado na *Tabela 3* e constatado na *Figura 1*, ao ser aumentado o número de animais a abater, esta variável impacta linearmente os valores das variáveis: (i) tempo de duração da operação; (ii) tempo de deslocamento da insensibilização até a depiladeira; (iii) tempo de deslocamento da insensibilização até a câmara fria; e (iv) número final de carcaças. Conforme representado na *Figura 1*, os coeficientes R² são iguais a: 0,99; 0,98; 0,98; e 0,99, respectivamente. Deste modo, por exemplo, para a variável tempo de duração da operação pode ser definida a relação linear descrita por meio da *Equação 4*.

$$Top = 0,0039Nab + 2,06 \tag{4}$$

Em que:

Top= Tempo de operação, h.

Nab = Número de animais a abater.

Na segunda análise de sensibilidade, foram estudados os impactos decorrentes do aumento das velocidades das nórias, o que define o fluxo da linha de abate. O número de animais a abater foi fixado em 1,4 mil e os parâmetros do sistema, considerados os levantados para o dia 16 de março.

Na *Tabela 4*, são apresentados dos resultados que referem a intervalos de confiança determinados por meio da distribuição “t”, a 99% de significância.

Conforme a *Tabela 4*, ao ser procedido o aumento das velocidades das nórias de 300 para 600 suínos por hora, têm-se que: (i) o tempo de duração da operação reduz em 8,6% com a redução de 8,10 para 7,40 h; (ii) o tempo de deslocamento da insensibilização até a depiladeira reduz, em média, 17,6%, quando então os valores alteram de 17,56±0,41 para 14,46±0,33 min; (iii) o tempo de deslocamento da insensibilização até a câmara fria reduz, em média, 19,6%, sendo observada a redução de 33,91±0,37 para 27,26±0,26 min; e (iv) o número final de carcaças permanece praticamente inalterado, pois, em média, os valores variam de 1.398 a 1.499.

TABELA 3 – Resultado do experimento de análise de sensibilidade, parâmetro modificado: número de animais a abater por dia

Nº	Número de suínos a abater por dia	Tempo de duração da operação (h)	Tempo deslocamento da insensibilização até a depiladeira (min)	Tempo de Deslocamento da insensibilização até a câmara fria (min)	Número final de carcaças
1	1 mil	6,20±0,0	13,96±0,26	27,75±0,27	999±1,65
2	1,2 mil	7,10±0,0	14,42±0,34	28,34±0,34	1.200±0,69
3	1,4 mil	7,50±0,0	15,99±0,46	30,04±0,47	1.399±1,65
4	1,6 mil	8,40±0,0	17,24±0,44	31,36±0,55	1.599±1,02
5	1,8 mil	9,20±0,0	18,29±0,31	32,49±0,33	1.799±1,46
6	2 mil	10,10±0,0	19,00±0,18	33,20±0,20	1.999±1,65

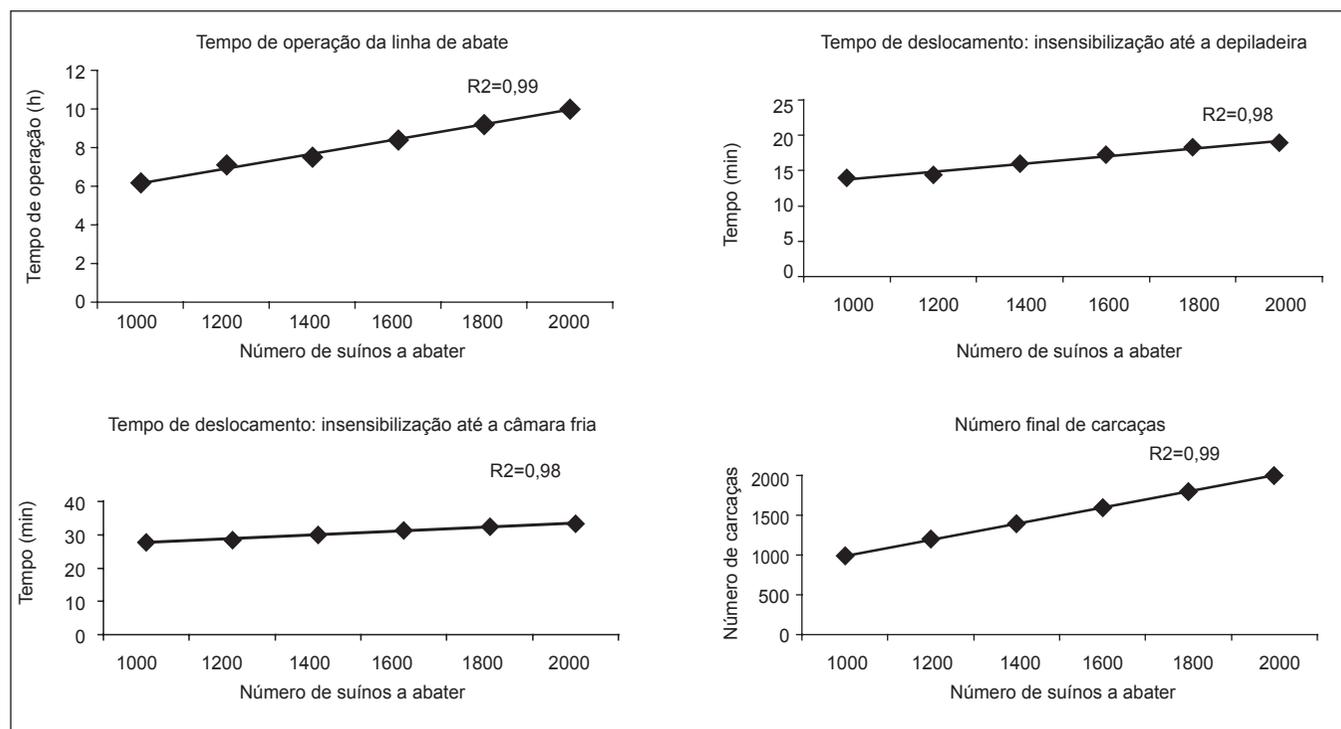


FIGURA 1 – Gráficos dos impactos causados ao ser procedido o aumento do número de animais a abater

TABELA 4 – Resultado do experimento de análise de sensibilidade, parâmetro modificado: velocidade das nórias

Nº	Velocidade das nórias (suínos por hora)	Tempo de duração da operação (h)	Tempo de deslocamento insensibilização até a depiladeira (min)	Tempo de deslocamento insensibilização até a câmara fria (min)	Nº final de carcaças
1	300	8,10±0,0	17,56±0,41	33,91±0,37	1.399±1,46
2	400	7,50±0,0	16,00±0,33	30,03±0,38	1.399±0,69
3	500	7,50±0,0	14,99±0,32	28,13±0,54	1.399±1,75
4	600	7,40±0,0	14,46±0,33	27,26±0,26	1.398±3,07

4 - CONCLUSÕES

De acordo com os resultados das análises procedidas para a validação do modelo computacional implementado, foi possível concluir que o mesmo pode ser aplicado para simular a dinâmica operacional de linhas industriais de abate de suínos, especificamente na previsão das seguintes variáveis: (i) tempo de duração da operação; (ii) tempo de deslocamento da insensibilização até a depiladeira; (iii) tempo de deslocamento da insensibilização até a câmara fria; (iv) número de carcaças re-inspecionadas; e (v) número final de carcaças.

5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IMAGINE THAT, INC. **EXTEND™ [Manual do Usuário]**. Versão 4.0.3.a. San Jose, CA, USA, 1998.
- [2] KRAHL, A. **The EXTEND simulation environment**. Proceedings of the 2000 winter simulation conference proceedings. ed. J.A. Joines, R.R. Barton, K. Kang, and P.A. Fishwick, p. 280-289, IEEE, Piscataway, NJ, 2000.
- [3] MARIA, A. **Introduction to modeling and simulation**. Proceedings of the 1997 winter simulation conference proceedings. ed. J.A. Joines, R.R. Barton, K. Kang, and P.A. Fishwick, p. 7-13, IEEE, Piscataway, NJ, 1997.
- [4] PARDI, M.C., SANTOS, I.C. SOUZA, E.P., PARDI, H.S. **Ciência Higiene e Tecnologia da Carne**. v. 1, Goiânia, Editora da UFG, 1996.
- [5] PARDI, M.C., SANTOS, I.C. SOUZA, E.P., PARDI, H.S. **Ciência Higiene e Tecnologia da Carne**. v. 2, Goiânia, Editora da UFG. 1996.
- [6] RIVERA, J. **Modeling With EXTEND**. Proceedings of the 1997 winter simulation conference. p. 674-676, Association of Computer, New York, 1997.
- [7] SILVA, L.C. **Stochastic simulation of the dynamic behavior of grain storage facilities**. (Tese de doutorado), UFV, Viçosa (MG), 2002.
- [8] WINSTON, W.L. **Operations research: applications and algorithms**. 3rded. Belmont, California, Wadsworth Publishing Company, 1994.
- [9] SATO, G.S. Perfil da indústria de alimentos no Brasil (1990-95). **Revista de Administração de Empresas**, v. 37, n. 3, p. 56-67, 1997.