

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ - UNIOESTE**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS**

**SIMULAÇÃO DA DINÂMICA OPERACIONAL DE UMA LINHA**  
**INDUSTRIAL DE ABATE DE SUÍNOS**

**CARLOS APARECIDO FERNANDES**

**CASCADEL – Paraná - Brasil**

**Maio - 2005**

**CARLOS APARECIDO FERNANDES**

**SIMULAÇÃO DA DINÂMICA OPERACIONAL DE UMA LINHA  
INDUSTRIAL DE ABATE DE SUÍNOS**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Luís César da Silva

**CASCADEL – Paraná - Brasil**

**Maio - 2005**

A Deus, pela sabedoria, saúde e amor e por tudo de bom que aconteceu e está acontecendo em minha vida.

A minha esposa Celeni,

E aos meus filhos Junior e Tiago:

Estrutura, compreensão, amor e graça da minha vida.

A meus pais Anísio, Maria Helena

E aos meus irmãos João Batista e Silvana.

Ao Prof. Dr. Luís César da Silva, pelo apoio e exemplo, por suas orientações pertinentes, um exemplo de amizade, compromisso, ética dedicação e competência.

A empresa FRIMESA que oportunizou a integração com a UNIOESTE para a realização deste estudo.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná, ao Programa de Pós-Graduação de Engenharia Agrícola e ao CNPq, pela oportunidade para realizar o Curso.

Ao Professor Dr. Joaquim Odilon Pereira pelo apoio, aceitação no mestrado, como meu primeiro orientador.

Aos professores: Prof. Dr. Reinaldo Prandini Ricieri, Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza, Prof. Dr. Miguel Angel Uribe Opazo, Prof.<sup>a</sup> Dra. Lúcia Helena Pereira Nóbrega, Prof. Dr. Ricardo Alves da Fonseca, pelas aulas ministradas, orientações e contribuições.

Aos funcionários e técnicos da empresa Frimesa que cooperaram na obtenção dos dados. Dentre estes faço especiais referências: ao gerente industrial Vitor Frosi; ao supervisor de segurança no trabalho Moacir Barbieri; ao Médico Veterinário Juarez Vicente Ottonelli; ao gerente de manutenção Wilson de Almeida; ao encarregado do setor de abate Ernani Luís Bulow, a auxiliar do controle de qualidade do abate Glaziele Farias, e a assistente administrativa Célia Rodrigues da Silva.

Aos professores do CEFET/PR, unidade de Medianeira, Edward Kavanagh, Paulo de Tarso, Estor Gnoatto, Marlos Wander Grigoletto, Carlos Alberto Mucelin, Milton Soares, Marco Aurélio dos Santos, Paulo Job Brenneisen, Gerson Filippin, Cristiane Canan, Almiro Weiss, Antonio Luís Baú, Antonio Aprígio e Jorge Kawahara, e os laboratoristas do Curso de Eletromecânica Ivair Marchetti e Luciano Aparecido Kempski, pelo apoio e incentivo para conclusão deste curso.

Aos professores Dr. José Airton de Azevedo e Dra. Margarida Masami Ymaguchi, pelo incentivo, sugestões e leituras quando da fase de redação da dissertação.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	vi
LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS.....	viii
RESUMO.....	ix
SUMMARY .....	x
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	3
2.1 EVOLUÇÃO DA SUINOCULTURA .....	3
2.2 NORMAS PARA ABATE DE SUÍNOS.....	6
2.2.1 Operações de Pré-Manejo no Abate de Suínos .....	6
2.2.2 Operações da Seção Zona Suja .....	7
2.2.3 Operações da Seção Zona Limpa .....	8
2.3 ESTUDO DE SISTEMAS .....	10
2.4 ESTRUTURA DE MODELOS DE SIMULAÇÃO.....	11
2.5 SIMULAÇÃO .....	14
2.5.1 A Linguagem de Simulação EXTEND™ .....	15
2.6 VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DE MODELOS .....	16
2.7 EXPERIMENTAÇÃO COM MODELOS .....	19
3 MATERIAIS E MÉTODOS .....	21
3.1 FUNDAMENTAÇÃO .....	21
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA REAL.....	22
3.2.1 Operações Unitárias da Zona Suja .....	22
3.2.2 Operações Unitárias da Zona Limpa .....	27
3.3 CRIAÇÃO DO MODELO CONCEITUAL .....	32
3.4 ESTRUTURAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL.....	33
3.5 OBTENÇÃO DOS DADOS .....	37
3.6 VALIDAÇÃO DO MODELO .....	39
3.7 EXPERIMENTAÇÃO COM O MODELO.....	41

4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	42
4.1	VALIDAÇÃO DA VARIÁVEL TEMPO DE DURAÇÃO DA OPERAÇÃO .....	42
4.2	VALIDAÇÃO DA VARIÁVEL TEMPO DE DESLOCAMENTO DA INSENSIBILIZAÇÃO À DEPILADEIRA .....	45
4.3	VALIDAÇÃO DA VARIÁVEL TEMPO DE DESLOCAMENTO DA INSENSIBILIZAÇÃO À CÂMARA FRIA .....	46
4.4	VALIDAÇÃO DA VARIÁVEL NÚMERO DE CARÇAÇAS RE-INSPECIONADAS .....	47
4.5	VALIDAÇÃO DA VARIÁVEL NÚMERO FINAL DE SUÍNOS ABATIDOS.....	48
4.6	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE - NÚMERO DE ANIMAIS A ABATER.....	50
4.7	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE – VELOCIDADE DA NÓRIA.....	52
5	CONCLUSÕES.....	53
6	REFERÊNCIAS .....	55

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Formas de estudo de um sistema.....	10
<b>Figura 2</b> - Visualização de modelos de simulação, $y = f(x, p)$ .....	12
<b>Figura 3</b> - Processos de implementação de modelos de simulação.....	13
<b>Figura 4</b> - Ocorrências de erros em estudos de simulação .....	19
<b>Figura 5</b> - Ambiente frigorífico.....	22
<b>Figura 6</b> - Fluxograma do abate de suínos, operações unitárias da zona suja ...	32
<b>Figura 7</b> - Fluxograma do abate de suínos, operações unitárias da zona limpa	32
<b>Figura 8</b> - Principais blocos que constituem o modelo computacional.....	33
<b>Figura 9</b> - Gráfico do comparativo dos valores obtidos partir do sistema real e os gerados pelo modelo de simulação para a variável tempo de operação, para os cinco dias de coleta de dados .....	45
<b>Figura 10</b> - Gráfico do comparativo dos valores obtidos partir do sistema real e os gerados pelo modelo de simulação para variável tempo de deslocamento da insensibilização à depiladeira, para os cinco dias de coleta de dados .....	46
<b>Figura 11</b> - Gráfico do comparativo dos valores obtidos partir do sistema real e os gerados pelo modelo de simulação para a variável tempo de deslocamento da insensibilização à câmara fria, para os cinco dias de coleta de dados .....	47
<b>Figura 12</b> - Gráfico do comparativo dos valores obtidos partir do sistema real e os gerados pelo modelo de simulação para a variável número de carcaças re-inspeccionadas, para os cinco dias de coleta de dados ....	48
<b>Figura 13</b> - Gráfico do comparativo dos valores obtidos partir do sistema real e os gerados pelo modelo de simulação para a variável número final de suínos abatidos, para os cinco dias de coleta de dados .....	49
<b>Figura 14</b> - Gráficos dos impactos causados ao ser procedido o aumento do número de animais a abater .....	51

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Relação dos blocos que constituem o modelo e suas variáveis de entrada.....	38
<b>Tabela 2</b> - Dados do sistema real (SR) e gerados pelo modelo (MD).....	43
<b>Tabela 3</b> - Erro médio estimado.....	43
<b>Tabela 4</b> - Resultado do experimento de análise de sensibilidade, parâmetro modificado: número de animais a abater.....	50
<b>Tabela 5</b> - Resultado do experimento de análise de sensibilidade, parâmetro modificado: número de animais a abater.....	52

## **LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS**

- SR - Sistema Real
- MD - Modelo Real
- USDA - Departamento (Ministério) de Agricultura dos Estados Unidos
- DIPOA - Departamento de inspeção de produtos de origem animal
- RIISPOA - Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal
- DIF - Departamento de Inspeção Final

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo implementar um modelo computacional para simular a dinâmica operacional da linha industrial de abate de suíno, a partir de informações do sistema real, pertencente ao Frigorífico FRIMESA, sediado no município de Medianeira, Estado do Paraná. Foi implementado um modelo computacional do tipo dinâmico, discreto e estocástico. O modelo simula trinta e quatro operações unitárias e foi implementado com o uso da linguagem de simulação EXTEND<sup>TM</sup>. 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. 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 a depiladeira, (iii) tempo de deslocamento da insensibilização à câmara fria; (iv) número de carcaças re-inspecionadas, e (v) número final de carcaças obtidas. Na validação do modelo foi constatado que para a variável tempo de duração da operação por meio do teste Tukey, ao nível de significância de 1%, não foram detectadas diferenças estatísticas entre os valores obtidos do sistema real e os gerados pelo modelo de simulação. Sendo assim, foram realizadas duas análises de sensibilidade. Na primeira ao alterar o número de suínos a abater de 1.000 para 2.000 os tempos de duração da operação variaram de 6,20 a 10,10 h, respectivamente. Para a segunda ao abater 1.346 suínos e proceder a alteração das velocidades das nórias de 300 para 600 animais por hora, os tempos de duração da operação alteraram para 8,10 e 7,40 h, respectivamente.

Palavras-chave: suínos, abate, simulação.

## SUMMARY

### DYNAMIC SIMULATION OF AN INDUSTRIAL SLAUGHTERING SWINE LINE

This work was carried out with the objective to implement a computational model for simulating the dynamics of an industrial slaughtering swine line. 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 EXTEND<sup>TM</sup>. 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 hogs. 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. Thus two sensitivity analyses 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 decreases from 10.10 to 6.20 h. At the second, it was simulated the slaughtering of 1,346 head of hogs, and was varied processing rates from 300 to 600 heads per hour, at this situation operational times decreased from 8.10 to 7.40 h, respectively.

Key Words: swine, slaughter, simulation.

## 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento e aprimoramento do setor de suinocultura tem-se apresentado como um das atividades mais importantes no fornecimento de proteína animal para a alimentação humana. A suinocultura brasileira tem sido aprimorada para produção intensiva a busca de economias de escala e a especialização na produção. Isso tem propiciado a maior agregação de valor e a melhoria da qualidade do produto final (SATO 1997, p.56-67).

O aumento do consumo da carne de suínos ocorreu a partir da adoção de novas tecnologias, tais como: (i) o emprego da seleção genética, (ii) o uso de rações balanceadas, (iii) o processamento e conservação da carne segundo preceitos técnicos e sanitários, (iv) a automatização do processo industrial e (v) o estabelecimento do profissionalismo dos suinocultores (WEDEKIN; MELLO, 1995, p.1-12).

A suinocultura no Brasil é uma atividade de grande alcance social, pois está presente em 46,5% das 5,8 milhões de propriedades rurais. Destas, em torno de 80% utilizam mão-de-obra familiar, o que constitui em uma importante fonte de renda e estabilidade social. O plantel de suínos no Brasil é estimado em 32,0 milhões de cabeças e a produção de carne em 2.872,0 mil toneladas por ano. A distribuição do plantel por região é assim constituída: Região Sul, e 42,6%; Região Nordeste, 22,2%; Região Sudeste, 18,1%; Região Norte, 6,8%; Região Centro-Oeste, 10,4% (BRASIL, 2004a).

A Região Sul possui as maiores indústrias do setor e responde por 90% dos abates inspecionados do país, apesar de possuir um terço do rebanho nacional. O Estado do Paraná é terceiro produtor de suínos no *ranking* nacional com 4,3 milhões de cabeças. Isto representa 14,4% da produção nacional. A produção de carne do estado é estimada em 329,0 mil toneladas por ano. O que equivale a 11,4% do montante nacional (BRASIL, 2004a).

A Região Oeste do Paraná constitui-se na maior produtora de suínos do estado. Nessa região estão instaladas grandes empresas como a SADIA, FRIMESA e COOPAVEL que realizam cerca de 6.000 abates por dia. As conduções dos abates são executadas em unidades abatedouros-frigoríficos. Estas unidades propiciam o abate, o processamento e a distribuição de carne suína e seus derivados, isto observando as normas de higiene e condições sanitárias.

De acordo com o conceito da área de pesquisa operacional (WINSTON, 1994, p. 1183-1225), e ao estendê-los à tecnologia de carnes, uma unidade abatedouro-frigorífico pode ser contextualizada como um sistema. E neste é realizado um conjunto de operações unitárias, segundo uma lógica, para a obtenção de carne e seus derivados pelo abate de animais, como: aves, suínos e bovinos.

Tendo em vista a complexidade do sistema unidade abatedouro-frigorífico e a influência de fatores aleatórios, a técnica de simulação apresenta-se como uma das ferramentas ideais para o estudo e avaliação. Pois, conforme SILVA (2002, p.1-14), a técnica de simulação é uma excelente ferramenta disponibilizada pela área de pesquisa operacional que propicia: (a) projetar e analisar sistemas industriais, (b) prever resultados na execução de uma 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 um determinado projeto em termos técnicos e econômicos.

Assim, em razão das potencialidades da técnica de simulação e a necessidade de propor um ferramental que propicie a avaliação de abatedouros-frigoríficos, considerando a sua dinâmica e influências de fatores de caráter aleatórios, foi conduzido este trabalho, cujo objetivo foi implementar um modelo computacional que possibilita simular as operações unitárias relacionadas ao abate de suínos.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 EVOLUÇÃO DA SUINOCULTURA

Segundo CAVALCANTI (1985, p.3), os suínos foram domesticados pelos chineses por volta do ano 4.900 a.C e foi Cristóvão Colombo que introduziu estes animais, em 1493, na América. A suinocultura expandiu-se rapidamente pela Colômbia, Venezuela, Peru e Equador. Os primeiros suínos foram introduzidos no Brasil em 1532 por Martin Afonso de Souza. E foi no século vinte que o Brasil deu início aos estudos melhoramento das raças oriundas da Europa.

O rebanho mundial de suínos é estimado em mais de 500 milhões de cabeças. Sendo que os pertencentes à China, Rússia, Estados Unidos e Brasil perfazem aproximadamente 402 milhões de cabeças, o que corresponde a 59,8% do total. O Brasil na quarta posição tem um rebanho estimado em 32 milhões de cabeças (CAVALCANTI, 1985, p. 5).

PINAZZA e ALIMANDRO (1998, p. 9-22) afirmaram que o progresso genético e a adoção de técnicas de manejo, nutrição e sanidade expandiram as fronteiras tecnológicas e financeiras da criação de suínos no Brasil. Esta expansão, conforme os autores, envolve outras partes do agronegócio da carne, tais como: (i) a realização do processamento e o empacotamento, (ii) a disseminação da refrigeração, (iii) a utilização de diferentes formas de transportes na cadeia de frios e (iv) a introdução do emprego dos recursos de informática, o que tem promovido um rearranjo substancial na cadeia produtiva.

A suinocultura brasileira tem concentração de produção na Região Sul, que apresenta o maior número de abates sob inspeção. Número que teve grande

evolução no período de 1990 a 1998, quando saltou de 8,4 para 14,0 milhões de cabeças abatidas por ano. O que corresponde a um incremento de 52,5%. Devido a estes números e da importância da criação de suínos, são necessárias técnicas apuradas para a realização do abate de suínos e processamento da carne suína. Isso torna necessária a implantação de abatedouros-frigoríficos que possibilitem o abate e processamento de carne e seus derivados, com vista à comercialização, segundo padrões de qualidade física, sanitária e nutricional (MULLER, 1996, p. 9-26).

Conforme PINSTRUP-ANDERSEN (1999), citado por IPARDES (2002), é estimado o aumento nos níveis de demanda por proteínas de origem animal, o que estaria ligado a melhorias de renda nos países em desenvolvimento, ao aumento da urbanização e ao crescimento populacional. Assim, a demanda mundial por todos os tipos de carne continuará crescendo nos próximos anos. Os setores de produção animal, nos países em desenvolvimento, impulsionados por uma demanda crescente, estão passando por grandes mudanças. Entre o início dos anos 70 e meados dos anos 90 o volume de carne consumida aumentou praticamente três vezes mais rápido do que nos países desenvolvidos. Sendo assim, é projetado que a demanda por carne nos países em desenvolvimento dobrará entre 1995 e 2020 (RABOBANK, 1998, citado por IPARDES, 2002).

Nos últimos anos, o principal fator que influenciou o sistema agroindustrial mundial de carnes foi o aumento médio de renda da população mundial em cerca de 1% ao ano. De maneira geral, a renda tem se elevado mais rapidamente nos países em desenvolvimento do que nos países considerados já desenvolvidos. Os efeitos do aumento da renda no processo de substituição de proteínas vegetais por animais são bem conhecidos e explicam, em conjunto com outros fatores, um aumento de consumo de carnes nos países mais pobres e o processo de integração vertical nos complexos avícola e suinícola, que permitiu ganhos de escala e de coordenação que redundaram no aumento das suas competitividades (FAPRI BULLETIN, 2000, citado por IPARDES, 1998). A carne, suína é a mais consumida no mundo e sua produção vem crescendo de

maneira sustentada nos últimos anos. O processo de concentração e integração na criação abate e processamento de suínos, a exemplo do que ocorre no caso do complexo agroindustrial avícola, sustentará essa tendência de crescimento, permitindo expressiva ampliação da produção. Estatísticas do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, nos principais países produtores, indicam que a produção de carne suína alcançou o recorde de 84,31 milhões de toneladas no ano de 2001, 1,89 milhões acima da produção de 2000, conforme USDA (2002), citado por IPARDES (2002).

Para FERREIRA (1998), citado por IPARDES (2002), a suinocultura brasileira vem, a cada ano, ampliando sua participação em todos os segmentos do mercado de carnes. Em 2000, o rebanho suinícola total aumentou em 300 mil cabeças em relação ao ano anterior, alcançando o montante de 37,3 milhões de cabeças. A produção total de carne suína atingiu o patamar de 1.967 mil toneladas, referentes a um abate de 24,9 milhões de cabeças, registrando um crescimento da produção de 5%, ou seja, uma oferta superior em 133 mil toneladas em relação a 1999. O consumo médio per capita, embora ainda seja o menor entre as três carnes principais, vem apresentando crescimento, alcançando 10,9 kg, referentes a uma disponibilidade total interna de 1.841 mil toneladas. A produção de carne suína em constante crescimento no Brasil, na década de 1990, culmina com uma produção recorde prevista para 2001 de 2.062 mil toneladas, representando um acréscimo de 4,8% em relação ao ano anterior. O consumo interno deverá situar-se em 1,9 milhão de toneladas, equivalente a um consumo médio per capita de 11,1 kg em 2001.

De acordo com SANTANA (1999), citado por IPARDES (2002), para as faixas de renda mais baixas da população, a diferença entre o consumo de indivíduos com renda entre 2 e 3 salários mínimos consumiam cerca de 25 quilos de carne por ano, um padrão de consumo alcançável apenas por indivíduos com renda na faixa de 5 a 6 salários mínimos para o total das áreas da abate e processamento de carne suína no Paraná.

As grandes empresas normalmente operam em sistemas de integração, a exemplo do que acontece no complexo aves. O setor de suínos, no Paraná,

seguindo a tendência nacional, possui um grupo composto por poucas e grandes empresas frigoríficas. Podem ser citados, nesse caso, os exemplos das empresas Sadia e Perdigão. É interessante ressaltar que o perfil tecnológico médio das propriedades suinícola do Paraná evidencia a importância da suinocultura empresarial no Estado e revela uma produção especializada e uma performance técnica elevada. A evolução tecnológica do rebanho industrial, com destaque para os nascidos e terminados, por matriz por ano, explicita a melhoria sanitária dos plantéis e possibilita uma consolidação da competitividade produtiva do setor.

## 2.2 NORMAS PARA ABATE DE SUÍNOS

### 2.2.1 Operações de Pré-Manejo no Abate de Suínos

De acordo com BRASIL (2004a), as operações de pré-manejo, são divididas em três categorias, sendo estas conduzidas nos seguintes locais: (i) pocilgas de chegada e seleção - destinam-se ao recebimento, pesagem e classificação dos suínos, para a formação de lotes, de acordo com o tipo e procedência; (ii) pocilgas de seqüestro - destinam-se exclusivamente ao recebimento dos suínos que na inspeção "ante-mortem" foram excluídos da matança normal, sendo neste caso necessário exame clínico e observação mais acurada antes do abate. Como regra geral, os suínos destinados à pocilga de seqüestro são considerados como animais para matança de emergência, obedecendo, o que couber, à legislação em vigor; e (iii) pocilga de matança destina-se a receber os animais após a chegada, pesagem e seleção, desde que considerados em condições normais. Neste local permaneceram em descanso e dieta hídrica, aguardando o abate.

As pocilgas para pré-manejo devem estar localizadas de maneira que os ventos predominantes não levem, em direção ao estabelecimento, poeiras e emanações. Além disto é recomendado o afastamento mínimo de quinze metros do bloco industrial (BRASIL, 2004a).

### 2.2.2 Operações da Seção Zona Suja

Segundo BRASIL (2004a), no ambiente da seção zona suja são realizadas as seguintes operações unitárias: insensibilização, sangria, chuveiro após a sangria, escaldagem, depilação, chamuscamento e toailete.

Antes da condução da sangria os animais devem ser aspergidos com jatos de água para aliviar o estresse e conduzidos por meio de um corredor, até a seção de zona suja.

Para condução da sangria os animais devem ser insensibilizados. Isto é feito por meio de choque elétrico aplicado com o aparelho denominado eletro-choque. Este permite gerar choques elétricos de alta voltagem e baixa amperagem, que são aplicados na região da fossas temporais do animal por tempo suficiente para insensibilização.

O local onde é realizada a insensibilização deve ter ligação direta com a área de sangria, de forma a permitir a sangria em no máximo trinta segundos.

Segundo BRASIL (2004a) a sangria consiste na secção dos grandes vasos do pescoço na entrada do peito. Normalmente esta operação é realizada em três minutos. O sangue obtido se for aproveitado deve ser coletado de forma higiênica e, após a sangria, o animal abatido deve ser submetido à lavagem em chuveiro que tem a suas especificações normatizadas.

A escaldagem é realizada após a passagem dos animais abatidos pelo chuveiro de pós-sangria. O objetivo da escaldagem é a retirada de pêlos e folículos pelosos, conforme BRASIL (2004a). Esta operação deve ser executada em tanques metálicos ou de outro material especificado pelo Departamento de

Inspeção de Produtos de Origem Animal - DIPOA. A água deve ser renovada e é exigida a manutenção da temperatura entre 62°C e 72°C. A depender da pelagem do animal, o tempo de escaldagem pode durar de dois a cinco minutos. Em seguida deve ser realizada a retirada de pêlos e folículos pelosos na seção denominados toaletes de depilação.

Nessa seção a depender da velocidade de abate devem ser utilizados diferentes tipos de equipamentos e, basicamente, ocorrem as seguintes operações unitárias: (i) a depilação que consiste na passagem dos suínos entre rolos de borracha para promover a retirada dos pêlos, (ii) remoção dos pelos, em que os animais são secos e os pêlos soltos são removidos por chicotes de borracha, (iii) chamuscagem em que os pêlos que sobraram são queimados por meio de chamuscadores a gás, de operação automática, ou seja, as chamas são aplicadas por um tempo determinado e (iv) o banho final que é a lavagem externa da carcaça, sendo a última operação da zona suja.

### 2.2.3 Operações da Seção Zona Limpa

Segundo BRASIL (2004a), zona limpa é a seção onde são realizadas as operações que compreendem a abertura abdominal-torácica, corte da sínfise púbica, oclusão do reto, abertura da "papada", inspeção de cabeça e "papada", evisceração, inspeção de vísceras, divisão longitudinal da carcaça e cabeça, inspeção de carcaça e rins, e inspeção de cérebro.

A primeira operação na seção de zona limpa é oclusão do reto, cuja finalidade é evitar a contaminação fecal da carcaça. Essa operação deve ser executada antes da evisceração. E, poderá ser feita através de ligadura (amarração) com linha resistente, ou pelo uso de grampos de aço inoxidável. Neste caso os grampos são reutilizados.

Após sofrerem rigorosa higienização, em seguida ocorre o desprendimento da cabeça que é obrigatório antes da inspeção da cabeça, com a

finalidade de realizar o exame dos respectivos nodos linfáticos, prosseguem: (i) o corte dos músculos mastigadores (masséteres e pterigoideos), (ii) a abertura da "papada" que é realizada pelo corte ventral mediano, ou outra técnica, desde que permita manter íntegros os nodos linfáticos e facilite a inspeção dos músculos mastigadores. Em seqüência é procedida a abertura abdominal torácica.

Essa operação consiste no corte ventral mediano das paredes abdominal e torácica, com a retirada do pênis, nos machos. O corte deve ser realizado com faca especial, visando evitar o rompimento de alças intestinais e contaminação fecal. Servindo como fase preparatória é liberada a língua de seu freio, mantendo-a íntegra e aderida os linfonodos sub-linguais, retirando as amígdalas; libertando a língua, faringe, laringe, hióide e tecidos circunvizinhos de suas ligações, deixando-os presos apenas pelo freio lingual (BRASIL, 2004a).

A separação da carcaça é a divisão longitudinal da carcaça e da cabeça. A plataforma para realização dessa operação deverá estar localizada imediatamente após a evisceração. Feita essa operação são retiradas as patas e executada a operação de inspeção de carcaças. A inspeção "post-mortem" é realizada em todos os suínos abatidos por meio de exame macroscópico das seguintes partes e órgãos: cabeça, vísceras abdominais, língua, vísceras torácicas, superfície interna e externa da carcaça, cérebro e nodos linfáticos das cadeias ganglionares mais facilmente atingíveis, nas circunstâncias que caracterizam o desenvolvimento dos trabalhos industriais (BRASIL, 2004a).

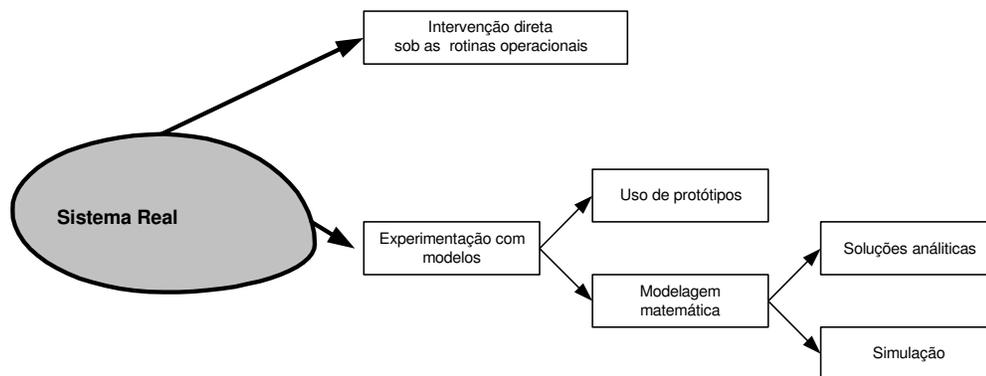
Ao final da zona limpa é feita a lavagem das carcaças em um chuveiro e sua condução para o resfriamento. Devem ser obedecidas as prescrições das normas em relação à temperatura, espaçamentos de carcaças, distanciamento de trilhos das paredes, etc. É terminantemente proibida a entrada de qualquer material estranho aos trabalhos de resfriamento de carcaças, tais como: carros, bandejas, miúdos e outros. Essas instalações são destinadas exclusivamente ao resfriamento de carcaças. Não é permitida, em hipótese alguma, a mistura de carcaças quentes com aquelas já resfriadas, assim as primeiras darão entrada nas câmaras, somente após a retirada total das já resfriadas e a higienização adequada do ambiente. Os miúdos, vísceras brancas e vermelhas, bem como, outras partes

comestíveis são destinadas a seções próprias para industrialização (BRASIL, 2004a).

### 2.3 ESTUDO DE SISTEMAS

De acordo com LAW e KELTON (1991, p.3), sistema pode ser definido como um conjunto de elementos que interagem segundo uma lógica para o alcance de uma ou mais metas. Assim, por exemplo, no caso de uma fábrica, os elementos são as diversas máquinas (estações de trabalho) dispostas segundo um fluxograma lógico em que a meta é a fabricação de um ou mais tipos de produtos.

Segundo LAW e KELTON (1991, p.759), os estudos de sistemas podem ser realizados sob diferentes formas de abordagem, conforme representado na Figura 1.



**Figura 1** - Formas de estudo de um sistema

Fonte: LAW e KELTON (1991, p.1-13).

A intervenção direta sobre as rotinas operacionais consiste em alterar as rotinas do sistema, com o objetivo de atingir uma situação ideal. Este tipo de procedimento requer que o tomador de decisão seja experiente, pois uma decisão errada pode afetar a performance do sistema.

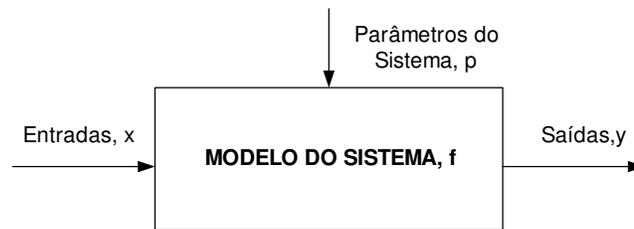
A segunda opção refere-se à experimentação com modelos que tratam de uma representação do sistema real. O modelo pode configurar como um protótipo ou como um modelo matemático.

O protótipo é o modelo físico, isto é uma descrição do sistema real por meio de uma representação análoga ou construção. A representação análoga pode ser feita, por exemplo, com o uso de circuitos, já os protótipos são réplicas funcionais do sistema real, as quais podem ser construídas em escala real ou reduzidas.

Quanto aos modelos simbólicos, eles podem ser divididos em matemáticos e não matemáticos. Os não matemáticos podem ser: (i) a descrição lingüística, exemplo: memorial descritivo de um projeto elétrico; (ii) a elaboração de um gráfico, por exemplo: o fluxograma operacional de uma agroindústria. Os modelos matemáticos podem apresentar soluções como: (i) soluções analíticas ou (ii) soluções numéricas. Os de solução analítica constituem-se na composição de equações matemáticas destinadas à solução de uma classe específica de problemas. E quanto às soluções numéricas resultam no emprego de um conjunto de equações para descrição de um determinado processo, o que pode dar origem a um modelo matemático de simulação, realizado por meio de (i) programas de computador, exemplo: FORTRAN, C e PASCAL; ou (ii) linguagens de simulação, exemplos: SLAM, GPSS, GASPIV, ARENA, POWERSIM e EXTEND.

## 2.4 ESTRUTURA DE MODELOS DE SIMULAÇÃO

Os modelos matemáticos para simulação são visualizados como uma função  $\mathbf{f}$  que produz uma saída  $\mathbf{y}$ , a partir de entradas de  $\mathbf{x}$  e parâmetros do sistema  $\mathbf{p}$  (Figura 2). Assim  $\mathbf{y} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{p})$ . Os parâmetros  $\mathbf{y}$ ,  $\mathbf{x}$  e  $\mathbf{p}$  podem ser uma ou mais variáveis.



**Figura 2 -** Visualização de modelos de simulação,  $y = f(x, p)$

Fonte: MENNER, (1995, p.7-13).

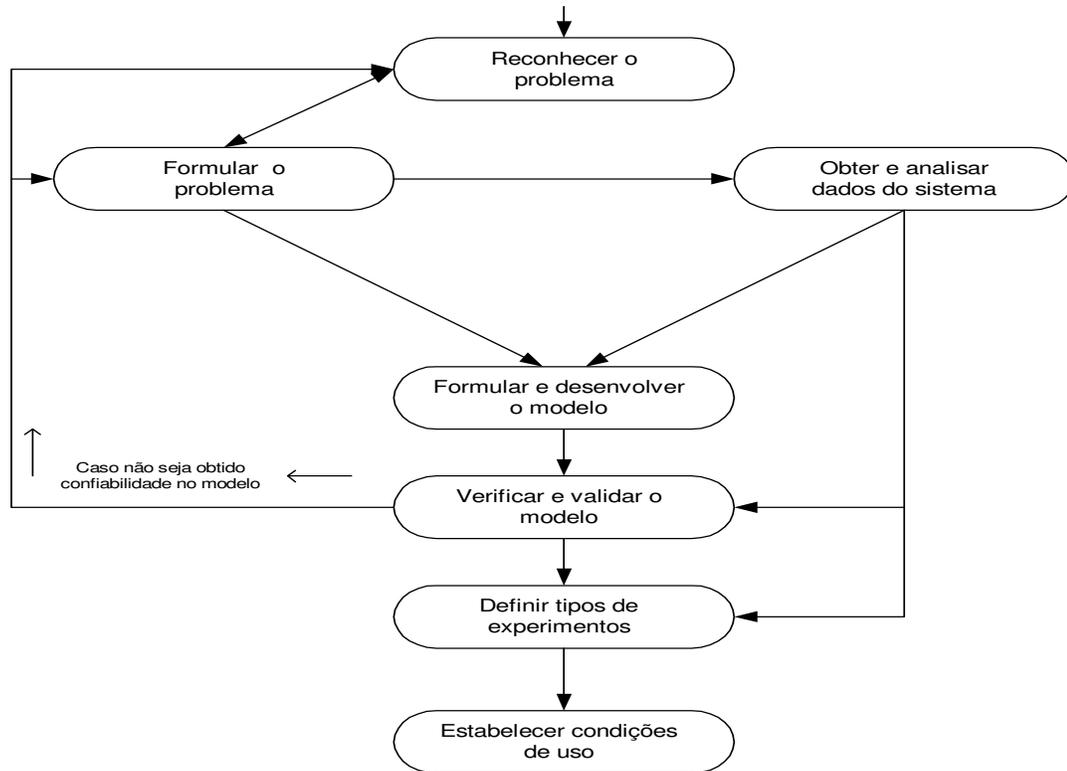
Segundo LAW e KELTON (1991, p.759) e SILVA (2002, p.1-14), os modelos conforme os tipos de variáveis envolvidas e a forma de tratamento da variável tempo podem ser classificados em:

(i) Estático ou dinâmico - definidos como modelos estáticos os que visam representar o estado de um sistema em um dado instante, não sendo necessário o emprego da variável tempo. Enquanto que os modelos dinâmicos são formulados para representar as alterações de estado do sistema em função do avanço da variável tempo.

(ii) Determinístico ou estocástico - são modelos determinísticos os que em suas formulações não fazem uso de variáveis aleatórias, enquanto os estocásticos podem empregar uma ou mais; e

(iii) Discreto ou contínuo - são modelos discretos aqueles em que o avanço da variável tempo no modelo de simulação é procedido em incrementos associados à ocorrência de eventos, por exemplo, a chegada de um cliente na fila de um banco ou a entrada do cliente em atendimento. No caso dos modelos contínuos o avanço da variável tempo é feito em incrementos com valores fixos.

Na implementação dos modelos de simulação devem ser observadas as etapas representadas na Figura 3 e descritas abaixo (MENNER, 1995, p.6-17; MARIA, 1997, p. 7-13).



**Figura 3** - Processos de implementação de modelos de simulação

1. Reconhecer o problema - consiste em identificar todos os fatos e aspectos que se pretende estudar para que eles sejam considerados na formulação do modelo.
2. Formular o problema - implica: (i) selecionar os elementos do sistema que são de interesse no estudo a ser realizado, (ii) fixar a fronteira do novo sistema, a qual engloba os elementos do estudo, (iii) definir os objetivos do estudo, (iv) selecionar o conjunto de parâmetros de medida de performance do sistema, (v) estabelecer o horizonte de tempo e (vi) identificar os anseios do usuário final.
3. Obter e analisar dados do sistema – isso significa que valores das variáveis de entrada e parâmetros do sistema e medidas de performance devem ser levantados, e analisados. E no caso de variáveis aleatórias poderá ser definido tipo de distribuição mais apropriado para descrevê-las.

4. Formular e desenvolver o modelo – nesta fase deve ser formulado o modelo conceitual por meio de representação gráfica, como por exemplo, os fluxogramas; e, em seguida, o modelo conceitual, no qual deverá ser traduzido as relações lógicas e matemáticas para que sejam transformados em um modelo computacional (programa de computador).
5. Verificar e validar o modelo – verificar significa certificar as rotinas computacionais implementadas geram os resultados esperados. Validação consiste na comparação dos dados gerados pelo modelo com os obtidos do sistema real. Para tanto, deve ser empregado procedimento estatístico;

Além destes passos é importante documentar o modelo. Neste caso o programador deverá registrar por escrito ou esquematicamente os objetivos, suposições consideradas, e detalhes do desenvolvimento das rotinas computacionais (MENNER, 1995 p. 6-17; MARIA, 1997 p. 7-13). Isto facilita procedimentos futuros, quando da necessidade de readequação do modelo.

## 2.5 SIMULAÇÃO

A técnica de simulação consiste na operacionalização dos modelos que representam o sistema em estudo. E o emprego dessa técnica propicia: (a) projetar e analisar sistemas industriais, (b) prever resultados na execução de uma determinada ação, (c) reduzir riscos na tomada 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), (h) revelar a integridade e viabilidade de um determinado projeto em

termos técnicos e econômicos e (i) poder levar em conta a influência de fatores de comportamento aleatório (SILVA, 2002, p. 1-14; WINSTON, 1994, p. 1183; LAW; KELTON, 1991, p. 1-13).

Os avanços na área de informática, os modernos equipamentos, os novos softwares de linguagens de programação e de simulação e os pacotes de aplicativos têm permitido o emprego da técnica de simulação nas diversas áreas do conhecimento humano. Como exemplos pode-se citar: (a) projeto e análises de sistemas industriais, (b) avaliação de performance de *hardware* e *software* em sistemas de computação, (c) análise de desempenho de armas e estratégias militares, (d) determinação de frequência de pedidos de compra para recomposição de estoques, (e) projeto e administração de sistemas de transportes como: portos e aeroportos e (f) configuração de sistemas de atendimento em hospitais, supermercados e bancos (SILVA, 2002, p.1-14; WINSTON, 1994, p. 1183-1225; LAW; KELTON, 1991, p.1-13).

Para o emprego da simulação é necessária a implementação de um modelo que poderá ser desenvolvido com o uso de: (i) linguagens de programação, exemplo: FORTRAN, C e Visual Basic, (ii) linguagens de simulação, exemplo: SLAM<sup>TM</sup>, ARENA<sup>TM</sup> e EXTEND<sup>TM</sup>, ou (iii) pacotes aplicativos - @RISK<sup>TM</sup>, LINDO<sup>TM</sup> (SILVA, 2002; WINSTON, 1994).

As linguagens de simulação e os pacotes aplicativos têm por vantagem o fato de não exigirem do criador do modelo conhecimentos de programação. Pois, muitas das rotinas computacionais a serem empregadas na modelagem são disponibilizadas por esses programas. Fato que não ocorre quando do emprego das linguagens de programação.

### 2.5.1 A Linguagem de Simulação EXTEND<sup>TM</sup>

O EXTEND<sup>TM</sup> é uma linguagem de simulação do tipo orientado objeto. O que traz grande apelo visual para o entendimento do funcionamento de

sistemas. A linguagem foi desenvolvida pela empresa *Imagine That Inc* e pode ser utilizada para implementar modelos discretos e contínuos (SILVA, 2002, p. 1-14).

O usuário pode empregar o EXTEND™ em três diferentes formas: (i) utilizando modelos implementados, (ii) criando seus próprios modelos a partir de blocos padrões disponibilizados pelo EXTEND™ e (iii) programando novos blocos ou modificando os códigos dos blocos existentes na implementação de seus modelos (RIVERA, 1997, p. 674-679).

Os modelos são implementados utilizando-se blocos armazenados em bibliotecas específicas. Cada biblioteca possui uma determinada aplicação, por exemplo: (i) *Discrete Event* – é utilizada na estruturação de modelos discretos, (ii) *Generic* – é empregada para implementação de modelos contínuos, (iii) *Manufacturing* – reúne blocos para simular máquinas comuns dos ambientes industriais, (iv) *Plotter* – contém blocos para elaboração de gráficos e (v) *Business Process Reengineering* (BPR) que disponibiliza blocos para modelar ambientes financeiros.

Os blocos podem estar programados para simular um processo, proceder cálculos, enviar informações e criar gráficos. Sendo uma linguagem de simulação do tipo orientada ao objeto, o objeto bloco é composto de: (i) um ícone que refere a aparência do bloco na tela do computador, (ii) janelas de diálogo para que o usuário entre com dados e acesse resultados e (iii) conectores que permitem a conexão dos blocos, por onde são repassadas as informações segundo o código fonte (SILVA, 2002, p. 1-14).

## 2.6 VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DE MODELOS

Uma das tarefas mais árduas em simulação está em determinar se o modelo proposto retrata com fidedignidade o sistema em estudo. Para o alcance

dessa meta é recomendada a observância de três preceitos básicos, que são a: verificação, validação e implementação de confiabilidade (SILVA, 2002, p. 1-14).

A verificação trata de um conjunto de ações para certificar se a forma conceitual adotada na formulação do modelo foi transcrita corretamente ao ser utilizada. É recomendado na condução desse procedimento: (a) usar duas ou mais pessoas para fazer a verificação, (b) rodar o programa para um conjunto variado de situações procedendo a análises dos dados de saída, (c) rastrear o programa verificando a execução dos procedimentos, (d) observar a animação e (e) comparar os valores gerados pelo uso de distribuições aos observados em sistemas reais, (MENNER, 1995, p. 6-17; MARIA, 1997, p. 7-13).

A validação é uma coletânea de ações utilizadas para analisar se um dado modelo representa com fidedignidade o sistema em estudo. Podendo esse procedimento ser conduzido em conjunto com a verificação, fato que imprimirá maior confiabilidade ao modelo. A validação pode ser categorizada como estatística ou subjetiva (SILVA, 2002, p. 1-14).

A validação estatística consiste no emprego de ferramentas como: análise de variância, determinação de intervalo de confiança, testes de hipótese, ajustamento de curvas, análises de regressão e análises de séries temporais. Enquanto a validação subjetiva é recomendada quando não há possibilidade de proceder incursões exploratórias aprofundadas sobre o sistema em estudo. Para esses casos, pode ser utilizado, por exemplo, o Teste de Turing que consiste na exposição das informações geradas pelo modelo e as obtidas do sistema real em um mesmo formato. Posteriormente, submetem-se essas informações à análise de um grupo conhecedor do sistema. Caso não haja consenso entre eles, quanto à definição da origem das informações, é indicativo que o modelo está validado. Outra forma desse tipo de validação dá-se por análises de especialistas, os quais procedem ao julgamento do modelo, segundo lógicas associadas ao sistema em estudo (SILVA, 2002, p. 104; WINSTON, 1994, p. 1353).

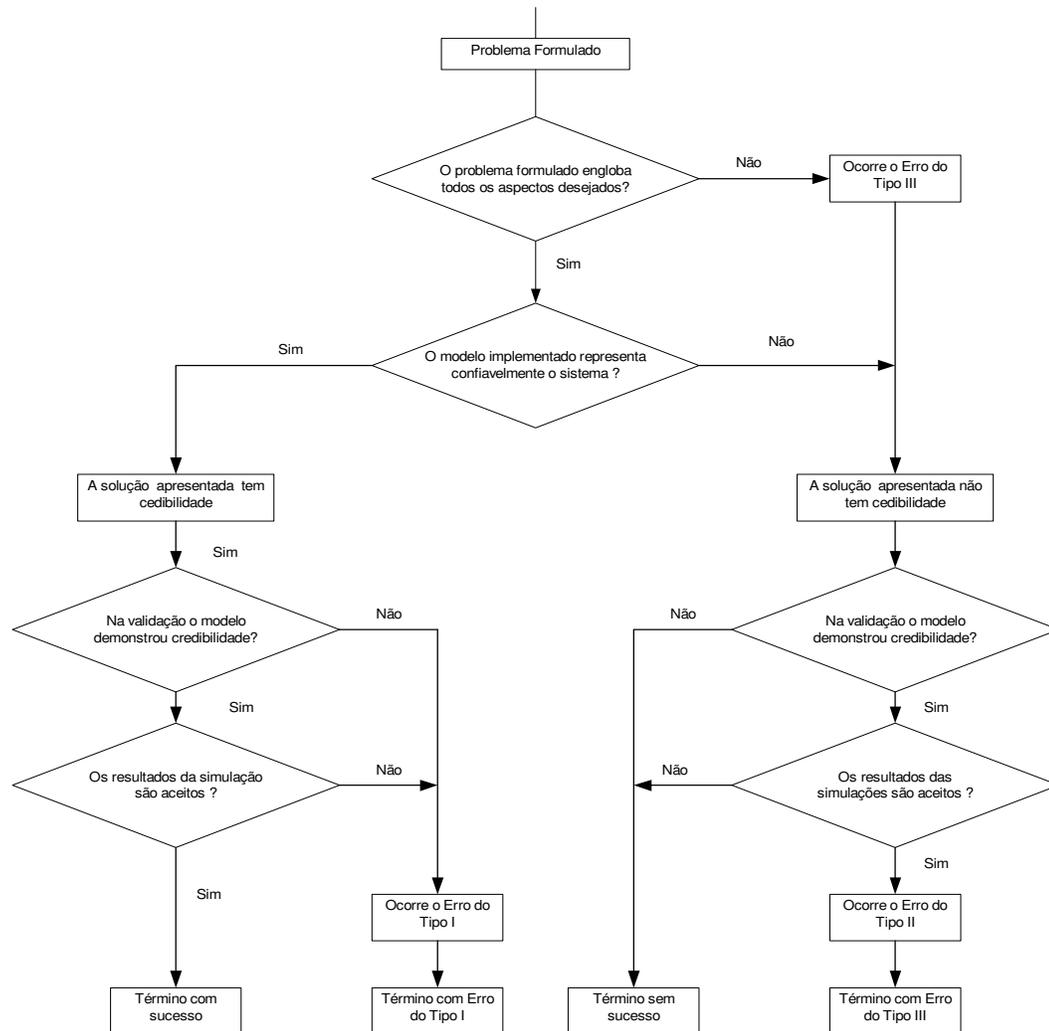
Segundo LAW e KELTON (1991, p. 759), para a obtenção de modelos válidos e confiáveis, três preceitos devem ser observados:

1) Desenvolver modelos interativos com os potenciais usuários, para isso é recomendado: (a) constatar os termos técnicos usuais, (b) coletar dados relevantes a serem utilizados no desenvolvimento do modelo, (c) utilizar teorias existentes relativas ao sistema em estudo, (d) analisar outros modelos desenvolvidos anteriormente e (e) dotar de experiência e intuição na formulação do modelo.

2) Testar as considerações empíricas utilizadas. Um dos ferramentais mais poderosos para a condução desse passo é a realização de análises de sensibilidade. Desse modo, certifica-se de como os resultados da simulação são impactados mediante alterações dos valores das variáveis de entrada e parâmetros do sistema.

3) Determinar se os dados gerados são representativos. Este é um dos procedimentos decisivos na verificação e validação e consiste na confrontação das informações geradas pelo modelo com as obtidas do sistema real. O nível de precisão irá depender dos propósitos da utilização do modelo.

No estudo de simulação, segundo BALCI (1997, p.3-12) podem ocorrer três tipos de erros (Figura 4): (i) Erro tipo I – ocorre quando os dados gerados pelo modelo não são confiáveis, mas não são rejeitados, (ii) Erro tipo II – ocorre quando resultados apresentados pelo modelo não são apropriados, no entanto são aceitos como válidos e (iii) Erro tipo III – ocorre quando o modelo foi mal estruturado, conseqüentemente é inapropriado para o uso. Para evitar a ocorrência destes erros é recomendada a realização dos procedimentos de verificação e validação.



**Figura 4** - Ocorrências de erros em estudos de simulação

Fonte: BALCI (1997, p. 3-11).

## 2.7 EXPERIMENTAÇÃO COM MODELOS

Uma vez o modelo verificado, validado e especificadas as condições de uso, ele pode ser utilizado para conduzir experimentações tipo: (a) análise de

sensibilidade, (b) comparação de cenários, (c) otimização e (d) simulação de Monte Carlo (IMAGINE THAT INC., 1997, p. 47).

A análise de sensibilidade consiste em alterar o valor de um ou mais parâmetros do modelo e certificar o impacto sobre os valores das variáveis de saída. Por exemplo, no caso uma unidade industrial poderia ser verificado o impacto sobre a performance do sistema ao ser aumentada ou reduzida a produtividade em uma dada operação unitária.

A comparação de cenários é aplicada quando os objetivos são fazer a comparação das diversas possíveis configurações. Nessa comparação é certificada a que melhor atende aos anseios do tomador de decisão.

A otimização tem por objetivo, por meio do modelo, encontrar a configuração e/ou a forma operação do sistema que traz melhor desempenho. O que pode ser dado em termos técnicos e/ou econômicos.

A simulação de Monte Carlo é aplicada a modelos do tipo estocástico. Para tanto, é necessário proceder-se a várias rodadas com o modelo e, em seguida, realizar análises estatísticas dos resultados gerados. Desse modo, para uma dada variável será possível determinar as probabilidades de ocorrência de valores, bem como, o intervalo de confiança.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 FUNDAMENTAÇÃO

Neste trabalho foi estruturado um modelo computacional para simular a dinâmica operacional do sistema real de uma linha de abate de suínos. O sistema modelado pertence à empresa Frigorífica FRIMESA, localizada na cidade de Medianeira, Estado do Paraná. Na implementação do modelo foi empregada a linguagem de simulação EXTEND<sup>TM</sup>. O modelo implantado é do tipo: dinâmico, estocástico e discreto. Isto significa que pelo fato do modelo ser: (i) dinâmico – é possível representar as alterações dos valores das variáveis que descrevem o estado do sistema ao longo tempo; (ii) estocástico – são consideradas as influências de fatores que se comportam como variáveis aleatórias, e (iii) discreto – o avanço da variável tempo no modelo de simulação é realizado em incrementos que estão associados à ocorrência de eventos, os quais correspondem às movimentações dos suínos abatidos pelas 43 operações unitárias presentes na linha de abate modelada.

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 foram conduzidas experimentações com o modelo por meio da técnica de análise de sensibilidade.

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA REAL

Operacionalmente o sistema frigorífico modelado constitui-se de três ambientes, conforme Figura 5. Em cada um destes ambientes são realizadas operações unitárias específicas que são descritas abaixo.



**Figura 5** - Ambiente frigorífico

#### 3.2.1 Operações Unitárias da Zona Suja

Nesta seção do matadouro-frigorífico são realizadas as seguintes operações unitárias, segundo estabelecido pelo Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal – RIISPOA (BRASIL, 2004b): (i) manejo pré-abate, (ii) insensibilização, (iii) sangria, (iv) escaldagem, (v) depilação, (vi) exposição do tendão, (vii) pré-toaleta, (viii) identificação das carcaças, (ix) chicote secador, (x) chamuscador de carcaça, (xi) chamuscador de cabeça, (xii) toaleta, (xiii) remoção do ouvido e (xiv) chicote úmido (lavagem). Essas operações são descritas a seguir:

##### (i) manejo pré-abate

as operações de pré-manejo, são divididas em três categorias, sendo estas conduzidas nos seguintes locais: (i) pocilgas de chegada e seleção – destinam-se

ao recebimento, pesagem e classificação dos suínos, para a formação de lotes, de acordo com o tipo e procedência; (ii) pocilgas de seqüestro – destinam-se exclusivamente ao recebimento dos suínos que na inspeção "ante-mortem" foram excluídos da matança normal, sendo neste caso necessário exame clínico e observação mais acurada antes do abate.

(ii) insensibilização

A estrutura física para a condução desta operação compreende: (a) um corredor de alvenaria dotado de chuveiros laterais e superiores para limpeza e umidificação total das superfícies corporais dos animais, (b) dois conjuntos *Restreiners* e (c) duas esteiras laterais de madeira inclinadas que imobilizam e transportam os animais suspensos até o local em que será efetuada a insensibilização propriamente dita. O método utilizado é por eletronarcose que consiste na aplicação de uma corrente elétrica na região do cérebro.

Quando no segundo conjunto de esteiras, os suínos são carregados ao encontro de dois eletrodos em forma de pinças, ao fazerem contato com elas, em movimento, estas se fecham fixando a cabeça destes e um circuito eletrônico detecta a sua resistência provocando, a seguir, uma intensidade de corrente elétrica é aplicada por cerca de 2 (dois) segundos. Um dispositivo dotado de um cilindro pneumático faz com que os eletrodos presos à cabeça acompanhem o animal até o final da esteira, retrocedendo ao início desta imediatamente para iniciar um novo ciclo.

Os animais destinados à matança de emergência imediata, os descartes (matrizes e cachaços) e os leitões pela dificuldade de manejo e/ou por suas dimensões não padronizadas são encaminhados lateralmente em outro corredor de alvenaria, paralelo ao sistema automático, também dotado de chuveiros para limpeza e umidificação corpóreas e uma esteira de transporte e imobilização, em que são insensibilizados por eletronarcose aplicada manualmente. Logo após a insensibilização os animais escorregam, de forma automática, numa calha

metálica dotada de rolos cilíndricos e por gravidade deslizam ordenadamente até a mesa de sangria.

### (iii) Sangria

A operação de sangria é realizada por dois funcionários que se revezam a cada animal e utilizam alternadamente duas facas esterilizadas coloridas (branca e azul). A sangria é tomada a efeito pela seção dos grandes vasos do coração (tronco braquiocefálico e artéria subclávia esquerda) com perfuração na entrada do peito, no máximo 15 segundos após a insensibilização. A seguir, o animal permanece sangrando sobre a mesa em deslocamento por 60 segundos, ou 6,0 metros, antes de ser suspenso pelo membro posterior (pata traseira) em trilhamento aéreo mecanizado.

Nessa condição, o animal percorre no interior do túnel de sangria 27 metros em um tempo mínimo de 6 (seis) minutos. Durante este período ocorre o escoamento do sangue circulante. Ao final do túnel de sangria o animal é direcionado a outro túnel que é dotado de duchas laterais que aspergem água à temperatura de 40 a 45°C. Isso é feito para efetuar a limpeza superficial da região de sangria, antes de ser levado à área de escaldagem e depilação.

### (iv) Escaldagem

O túnel de escaldagem que consiste de um sistema dotado de uma série de aspersores que jogam água quente a temperatura de 62°C. O sistema de aspersão libera vapor de água e faz com que dentro do túnel haja um ambiente de ar saturado para uma escaldagem eficiente. Dentro do túnel o suíno permanece em torno de 7 minutos. Quando sai do túnel de escaldagem a carcaça do suíno cai mecanicamente na depiladeira.

(v) Depilação

Esta operação consiste de um sistema de dois andares de três rolos, dos quais dois somente com unhas metálicas e um com unhas de borracha e pontas metálicas para girar (tombar) a carcaça, objetivando alcançar uma depilação completa e uniforme, caindo na depiladeira quatro suínos de cada vez.

(vi) Exposição do tendão

Em seguida são lançados mecanicamente em uma mesa de roletes, onde são abertos os tendões das patas traseiras para fixação na nória.

(vii) Pré-toaleta

Logo em seguida são executadas operações de raspagem manual dos pelos remanescentes da escaldagem.

(viii) Identificação das carcaças

A enumeração é feita na paleta e na língua. Isto contribui para maior segurança na etapa da inspeção.

(ix) Chicote secador

Após a enumeração, a carcaça passa pelo chicote polidor com tiras de borracha para secar e retirar os pêlos soltos, ficando limpo para o processo do chamuscador.

(x) Chamuscador de carcaça

O chamuscador serve para queimar os pelos soltos por meio de labaredas de fogo produzidas por gás. O acionamento do chamuscador é feito por meio de um sensor e tem duração de 1 a 2 segundos por carcaça de suíno.

(xi) Chamuscador de cabeça

Depois de passar pelo chamuscador de carcaças, ficam restando pêlos na cabeça do suíno e que são retirados nesta fase. A operação é executada manualmente.

(xii) Toalete

Na sala de zona suja são realizadas as tarefas de limpeza externa da carcaça suína, a começar pela enumeração na paleta e na língua o que da maior segurança na etapa da inspeção. Após a enumeração a carcaça passa pelo chicote polidor com tira de borracha para secar e retirar os pêlos soltos para melhorar a ação do chamuscador a gás que têm acionamento por sensor. Depois do chamuscador a carcaça é umedecida com chuveiro de água para ser depilada manualmente com uso de facões raspando-se os pêlos remascentes dos processos anteriores, retira-se também a parte interna do ouvido com *trimmer* elétrico e para finalizar as etapas da zona suja.

(xiii) Remoção do ouvido

Depois do chamuscador a carcaça é umedecida com chuveiro de água quente para ser depilada manualmente com uso de facões, raspando-se os pêlos remanescentes dos processos anteriores. A remoção das partes internas do ouvido é feita por meio do equipamento elétrico denominado *trimmer* elétrico.

(xiv) Chicote úmido (lavagem)

Essa última operação executada na zona suja tem por objetivo limpar externamente os animais abatidos, deixando o suíno limpo para as operações de zona limpa.

### 3.2.2 Operações Unitárias da Zona Limpa

Nesta seção do matadouro-frigorífico são realizadas as seguintes unitárias: (i) oclusão do reto, (ii) amarração do reto, (iii) abertura da papada e abertura do tórax, (iv) soltura da língua e abertura do abdômen, (v) inspeção da cabeça, (vi) inspeção da papada, (vii) desprendimento das vísceras, (viii) remoção das vísceras, (ix) desnucamento da cabeça e remoção da glândula da papada, (x) serrar a carcaça, (xi) inspeção da carcaça, (xii) remoção das patas e sangria, (xiii) remoção da cabeça e papada, (xiv) retirada do rabo, (xv) retirada da medula, (xvi) retirada da banha rama, (xvii) reinspeção DIF (banha, graxaria, conserva, embutido/cozido, desossa normal, pesagem e carimbar, lavagem e acondicionamento, (xviii) carimbo da carcaça, (xiv) tipificação e pesagem, (xx) coleta de trichinela, (xxi) abertura do lombo, (xxii) lavagem e (xxiii) acondicionamento e resfriamento. Essas operações são descritas a seguir.

(i) Oclusão do reto

A oclusão do reto é executada com uma pistola pneumática a vácuo, esta pistola contém um êmbolo furado que empurra as fezes secas para dentro e succiona a parte mais líquida das fezes. Além disso, a pistola possui uma faca cilíndrica giratória que corta ao redor do reto, soltando-o no interior da carcaça. A cada suíno a pistola deve ser esterilizada a temperatura de 90° C.

(ii) Amarração do reto

A amarração do reto é feita para evitar derrame de fezes no interior do suíno, contaminando a carcaça.

(iii) Abertura da papada e abertura do tórax

A soltura da papada é feita com corte de faca. A operação é manual, com vários cortes ao longo de toda a papada, que fica pendurada na cabeça, com os gânglios expostos para inspeção.

(iv) Soltura da língua e abertura do abdômen

O desprendimento da língua é feito com o uso de uma faca, sendo aplicados cortes nas laterais da língua, próximo ao queixo, até conseguir retirá-lo, deixando-a presa somente na garganta.

(v) Inspeção da cabeça

A inspeção da cabeça, com cortes nos maxilares da cabeça, objetiva detectar doenças que se manifestam nos gânglios expostos, seguido do desprendimento das vísceras.

(vi) Inspeção da papada

A inspeção da papada, com cortes nos maxilares da cabeça, objetiva detectar doenças que se manifestam nos gânglios expostos, seguido do desprendimento das vísceras.

(vii) Desprendimento das vísceras

Na soltura das vísceras, pega-se o reto e puxa-se as vísceras com a mão esquerda e, com a direita, usando uma faca, cortam-se e separam-se as vísceras das carcaças, executando-se a remoção das vísceras.

(viii) Remoção das vísceras

É feita a retirada das vísceras da carcaça, pegando-se pelas vísceras vermelhas e separando-as próximo ao fígado, cortando-se o músculo diafragmático e jogando-as na bacia menor. Pega-se as vísceras brancas pelo estômago, jogando-as na bandeja maior, seguido da remoção da cabeça.

(ix) Desnucamento da cabeça e remoção da glândula papada

Desnucamento e retirada da cabeça, para deixar a carcaça livre para a sua separação.

(x) Serrar a carcaça

A separação da carcaça é feita por meio de uma serra de fita elétrica, aplicando-se um corte longitudinal, repartindo-a em duas bandas simétricas. O objetivo é facilitar: tarefas subseqüentes de desossa, inspeção, pois melhora a visualização da carcaça e o acondicionamento na seção de resfriamento.

(xi) Inspeção da carcaça

Após essa etapa é feita a última inspeção, sendo a carcaça rejeitada ou aprovada. As carcaças rejeitadas são conduzidas ao descarte.

(xii) Remoção das patas e sangria

Retirada dos pés dianteiros, com o uso de uma faca, cortando nas juntas, separando os pés da carcaça, cortando a carne de sangria (coágulo de sanguíneo, proveniente da incisão da faca no momento de sangria) e inspecionando-se a carcaça.

(xiii) Remoção da cabeça e papada

Nesta etapa são feitas a remoção da cabeça e a retirada da papada.

(xiv) Retirada do rabo

Em seguida é executada a retirada do rabo.

(xv) Retirada da medula

Após ser retirada do rabo, executa-se a operação de retirada da medula.

(xvi) Retirada da banha rama

É retirada da banha rama para melhor aproveitamento no corte da carcaça.

(xvii) Re-inspeção DIF

Confirmada a rejeição da carcaça, ela é destinada as seguintes operações: banha, graxaria, conserva, embutido/cozido. Nesta mesma linha a carcaça suína, sendo aprovada, segue para a desossa normal, operação de pesagem, certificação da carcaça, lavagem e acondicionamento e resfriamento.

(xviii) Carimbo da carcaça

Esta operação é realizada para identificação das carcaças dos suínos para posterior pagamento ao produtor.

(xiv) Tipificação e pesagem

Após a carcaça ser aprovada, ela segue para tipificação, onde é verificada a quantidade de carne e gordura para posterior pagamentos aos produtores.

(xx) Coleta de Trichinela

A coleta de Trichinela é destinada aos lotes de exportação para verificar se há parasitas.

(xxi) Abertura do lombo

A abertura do tórax é executada com uma serra pneumática, fazendo-se um corte vertical ao longo do osso do peito.

(xxii) Lavagem

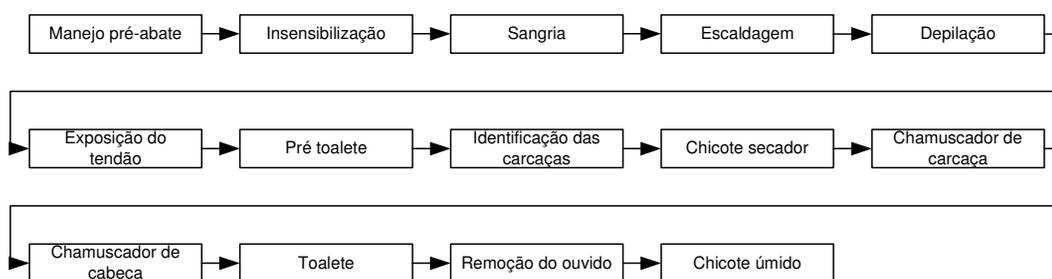
Ao final do processo da zona limpa a carcaça é lavada e conduzida para a câmara de resfriamento.

(xxiii) Acondicionamento e resfriamento

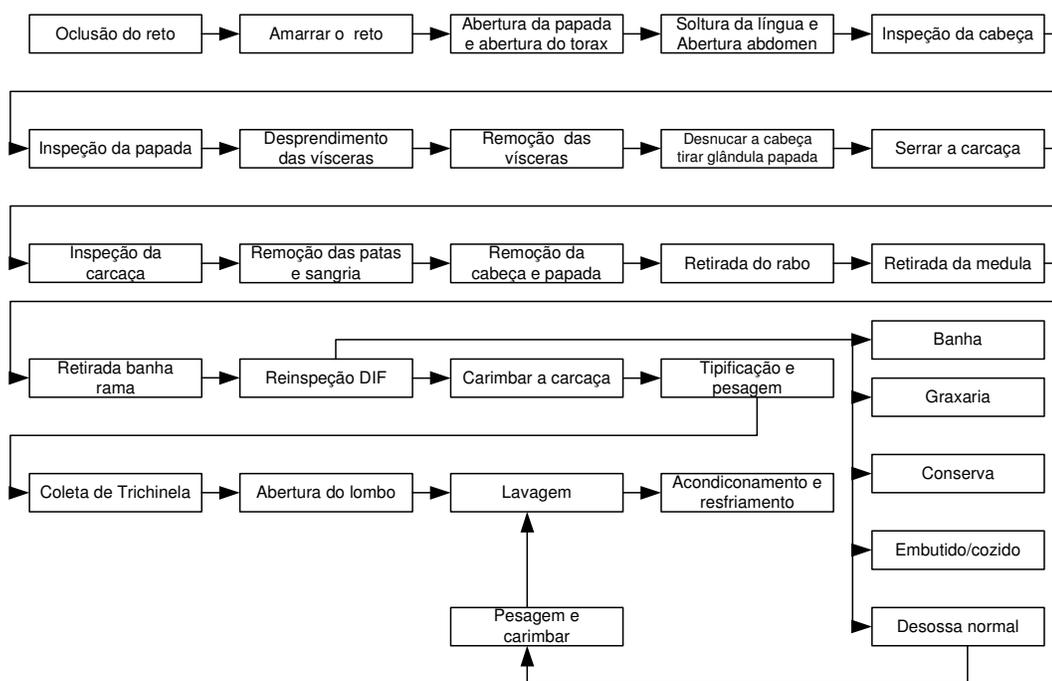
A carcaça suína é acondicionada em câmaras frias à temperatura que varia entre 0° a 5°C, durante um período de 18 horas.

### 3.3 CRIAÇÃO DO MODELO CONCEITUAL

Em contato com a equipe técnica da empresa foram definidas as principais variáveis de entrada, parâmetros do sistema e variáveis de saída de interesse para a avaliação de performance do sistema em estudo. Em seqüência foram feitas incursões para elaboração do fluxograma operacional que são apresentados nas Figuras 6 e 7.



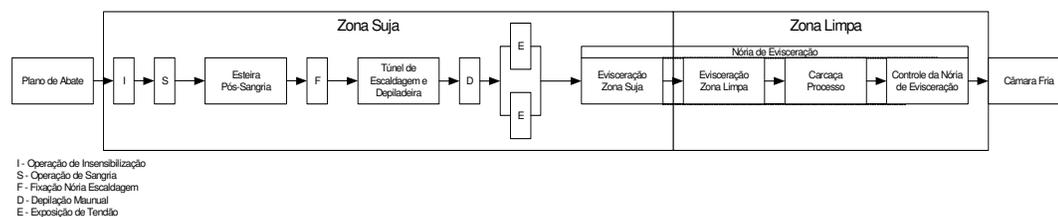
**Figura 6** - Fluxograma do abate de suínos, operações unitárias da zona suja



**Figura 7** - Fluxograma do abate de suínos, operações unitárias da zona limpa

### 3.4 ESTRUTURAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL

Na Figura 8 são apresentados os principais blocos que constituem o modelo implementado por meio da linguagem de simulação EXTEND<sup>TM</sup>. Em seqüência é procedida a descrição de cada bloco:



**Figura 8** - Principais blocos que constituem o modelo computacional

#### a) Bloco – Plano de abate

Este bloco tem por objetivo especificar as condições de funcionamento da linha de abate. Ao usuário cabe definir os seguintes parâmetros: (i) número de animais a serem abatidos durante um dia operacional e (ii) os horários de: início de operação e paradas para o almoço e cafés nos períodos da manhã e tarde.

Este bloco durante a simulação reporta as seguintes informações: a) fluxo de produção – suínos/hora; b) número de animais aguardando abate; c) número de animais abatidos.

#### b) Bloco – Insensibilização

Este bloco foi estruturado para simular o tempo gasto para a execução da operação de insensibilização. O tempo de duração é informado pelo usuário que terá por opção dezoito tipos de distribuição. Caso nenhuma delas seja adequada,

o usuário tem a opção de introduzir uma tabela reportando valores da variável e probabilidades de ocorrência.

Os resultados apresentados pelo bloco referem a produção e o índice de utilização. Esse índice especifica, em relação ao tempo total de funcionamento, o quanto o funcionário esteve ocupado. O valor apresentado é expresso em decimal e varia de zero a um.

#### c) Bloco – Sangria

Este bloco foi estruturado para simular o tempo gasto para a execução da operação sangria e possui estruturação semelhante à descrita para o bloco insensibilização.

#### d) Bloco – Esteira pós-sangria

Neste bloco é simulado o funcionamento da esteira que transporta os animais insensibilizados. Nesse percurso é executada a operação de sangria. Os dados de entrada solicitados ao usuário são: a) limite do número de animais na esteira e b) o tempo de permanência dos suínos na esteira.

Durante a simulação são reportados: número de animais na esteira, fluxo de animais – suínos por hora, tempo de permanência dos animais na esteira e a produção. Para os três primeiros parâmetros reportados, são apresentados gráficos para: número de animais na esteira durante o período de funcionamento e a produção diária.

#### e) Bloco – Fixação nória de escaldagem

Este bloco foi estruturado para simular o tempo gasto para a execução da operação fixação na nória de escaldagem e possui estrutura semelhante à descrita para o bloco insensibilização.

#### f) Bloco - Túnel de escaldagem e depiladeira

Este bloco simula o transporte dos animais abatidos por entre o túnel de sangria e escaldagem e a passagem pela depiladeira. Os dados de entrada referem-se ao limite de animais suportados pela nória e o tempo de deslocamento dos animais de uma extremidade da nória à saída da depiladeira.

As informações reportadas são: a) número de animais na nória, b) fluxo de animais, c) tempo de permanência no transportador e d) produção. Para os três primeiros parâmetros são apresentados os cálculos de: média, variância e desvio padrão. E para o primeiro e último parâmetro são apresentados gráficos.

Além das informações citadas são também reportados: a) tempo de deslocamento dos suínos abatido desde a insensibilização até a saída da depiladeira e b) registro do horário de saída do suíno abatido da depiladeira. Para a primeira variável são apresentados: a média, variância e desvio padrão e, para as variáveis, são apresentados gráficos que relacionam a variação de valor ao longo da simulação.

#### f) Bloco – Depilação manual

Este bloco foi estruturado para simular o tempo gasto para a execução da operação depilação manual e possui estruturação semelhante à descrita para o bloco insensibilização.

#### g) Bloco – Exposição de tendão

Este bloco foi estruturado para simular o tempo gasto para a execução da operação exposição de tendão e possui estruturação semelhante à descrita para o bloco insensibilização. No modelo são dois destes blocos, no entanto basta proceder a uma única entrada de dados. O dados de saída são reportados para cada um dos blocos.

#### h) Blocos para modelagem da nória de evisceração.

A modelagem da nória de evisceração foi feita por meio de quatro blocos hierárquicos: (i) Evisceração – Zona suja, (ii) Evisceração - Zona limpa; (iii) Carcaça – Processo e (iv) Controle da nória.

O bloco “Evisceração – Zona suja” simula a realização de oito operações unitárias: pré-toaleta, chicotadeira, identificação de carcaça, chamuscador manual, toaleta manual, remoção de ouvido e chamuscador. Para cada uma dessas operações o usuário necessita informar o tempo de duração das operações. Para tanto, são disponibilizados dezoito tipos de distribuição. Caso nenhuma delas seja adequada, o usuário tem a opção de introduzir uma tabela reportando valores da variável e probabilidades de ocorrência.

O bloco “Evisceração – Zona limpa” simula a realização de nove operações: oclusão do reto, amarração do reto, soltura da língua, inspeção da cabeça, inspeção da papada, desprendimento das vísceras, remoção das vísceras e desnucagem da cabeça. Para cada uma destas operações o usuário necessita informar o tempo de duração das operações, a exemplo do descrito para o bloco “Evisceração – Zona suja”.

O bloco “Carcaça-processo” simula quinze operações unitárias relativas ao manuseio das carcaças. As operações são: divisão de carcaça, primeira inspeção de carcaça, segunda inspeção de carcaça, remoção das patas e sangrias, remoção da cabeça, remoção da calda, remoção da medula, remoção da banha rama, caracterização da carcaça, tipificação e pesagem, primeira coleta de amostra, segunda coleta de amostra, abertura do lombo e chuveiro. Para cada uma dessas operações o usuário necessita informar o tempo de duração das operações, a exemplo do descrito para o bloco “Evisceração – Zona suja”. Os dados reportados são: a) fluxo de suínos, b) tempo de permanência, c) quantidade de carcaças destinadas à inspeção, d) quantidade de carcaça aprovada e e) quantidade de carcaças rejeitadas destinadas à: (i) fabricação de banha, (ii) graxaria, (iii) elaboração de conserva e (iv) elaboração de embutidos.

O bloco “Controle da nória de evisceração” define o fluxo da linha de abate. Para definir esse valor o usuário deve informar o número limite de suínos na nória e o tempo de deslocamento de uma extremidade a outra. Definido estes parâmetros o usuário deve acionar o botão “Calcula fluxo”. O valor calculado corresponde ao fluxo máximo da linha. Internamente esse bloco conta com rotinas para controlar o fluxo. Os dados reportados são: a) número de animais na nória, b) fluxo de animais, c) tempo de permanência no transportador e e) produção. Para os três primeiros parâmetros são apresentados os cálculos de: média, variância e desvio padrão. E para o primeiro e último parâmetro são apresentados gráficos.

O bloco “Câmara fria” foi implementado para reportar o valor das seguintes variáveis: a) tempo de deslocamento do suíno desde a insensibilização até a câmara fria; b) produção de carcaças e c) registro do horário de depósito das carcaças. Para a primeira variável são apresentados os cálculos de média padrões. E para todas as variáveis são apresentados gráficos que relacionam a variação de valor ao longo da simulação.

### 3.5 OBTENÇÃO DOS DADOS

De acordo com a organização do modelo computacional a obtenção dos dados a partir do sistema real foi organizada conforme apresentado na Tabela 1. No total são quarenta e cinco variáveis que caracterizam o funcionamento do sistema.

**Tabela 1 -** Relação dos blocos que constituem o modelo e suas variáveis de entrada

Bloco	Variáveis de entrada
1. Plano de Abate	(1) Número de animais a abater Horários: (2) Início de operação (3) Café da manhã (4) Almoço (5) Café da tarde
2. Insensibilização	(6) Tempo de execução
3. Sangria	(7) Tempo de execução
4. Esteira Pós-Sangria	Esteira Pós-Sangria (8) Limite do número de animais (9) Tempo de permanência.
5. Fixação Nória de Escaldagem	(10) Tempo de execução
6. Túnel de Escaldagem e Depiladeira	(11) limite de animais na nória mais depiladeira (12) Tempo de deslocamento da nória de insensibilização a nória de escaldagem
7. Depilação Manual	(13) Tempo de execução
8. Exposição de Tendão	Exposição de Tendão (14) Tempo de execução
9. Evisceração – Zona Suja	Tempo de execução de 8 operações: (15) Pré-toaleta (16) Chicotadeira (17) Identificação de carcaça (18) Chamuscador manual (19) Toaleta manual (20) Remoção de ouvido (21) Chamuscador
10. Evisceração – Zona Limpa	Tempo de execução de 9 operações: (22) Oclusão do reto (23) Amarração do reto (24) Soltura da língua (25) Inspeção da cabeça (26) Inspeção da papada (27) Desprendimento das vísceras (28) Remoção das vísceras (29) Desnucagem da cabeça
11. Carça-Processo	Tempo de execução de 14 operações: (30) Divisão de carcaça (31) Primeira inspeção de carcaça (32) Segunda inspeção de carcaça (33) Remoção das patas e sangrias (34) Remoção da cabeça (35) Remoção da calda (36) Remoção da medula (37) Remoção da banha rama (38) Tipificação e pesagem (39) Primeira coleta de amostra (40) Segunda coleta de amostra (41) Abertura do lombo (42) Chuveiro (43) Distribuição que descreve de caracterização das carcaças
12. Controle da Nória de Evisceração	(44) Número limite de suínos na nória. (45) Tempo de deslocamento de uma extremidade a outra

Com exceção das variáveis associadas ao Plano de Abate, variável de número 43 e a distribuição que descreve a caracterização das carcaças, as demais foram obtidas por duas vezes, antes e após o período de parada para almoço.

As tomadas de tempo de execução de operações consistiram em registrar o número de eventos ocorridos no período de 60 segundos. Para as tomadas de tempo quanto ao deslocamento dos suínos abatidos, procedia-se à marcação de cinco suínos no ponto do início do deslocamento e estes eram acompanhados até o ponto final do deslocamento.

As variáveis de saída escolhidas para avaliação do sistema são seis: (1) tempo de deslocamento dos suínos abatido desde a insensibilização até a saída da depiladeira, (2) tempo de deslocamento do suíno abatido desde a insensibilização até a câmara fria; (3) fluxo na nória de evisceração, (4) horário de término da operação da linha de abate; (5) produção de carcaça normal e (6) número de carcaça rejeitadas e destinadas a: (i) graxaria, (ii) fabricação de embutidos ou (iii) elaboração de conservas.

### 3.6 VALIDAÇÃO DO MODELO

A validação do modelo tem por objetivo proceder à comparação de valores de variáveis geradas pelo modelo e os obtidos do sistema real. As variáveis comparadas foram: (i) tempo de duração da operação; (ii) tempo deslocamento da insensibilização a depiladeira; (iii) tempo deslocamento da insensibilização à câmara fria; (iv) número de carcaças re-inspecionadas; (iv) número final carcaças abatidos.

Na execução dos procedimentos estatísticos aplicados à verificação e validação do modelo implementado foram: (i) determinados os intervalos de confiança por meio da distribuição “t” ao nível de probabilidade de 99%, equações 1 e 2; (ii) realizadas as comparações de médias por meio do teste de

Tukey; e (iii) calculado o erro médio estimado, conforme a equação 3 (MENNER, 1995, p. 6-17).

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

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

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 ao nível de significância 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 considerando o número de rodadas do modelo;

### 3.7 EXPERIMENTAÇÃO COM O MODELO

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 serem abatidos 1.000, 1.200, 1.400, 1.600, 1.800 e 2.000 suínos por dia, para um fluxo de 400 suínos por hora. Para segunda experimentação ao ser planejado o abate de 1.400 suínos por dia foi simulado o funcionamento do sistema para fluxos de 300, 400, 500 e 600 suínos abatidos por hora. Para cada situação experimental foram procedidas cinco rodadas.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 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 deslocamento da insensibilização a depiladeira; (iii) tempo deslocamento da insensibilização à câmara fria; (iv) número de carcaças re-inspecionadas; e (v) número final de suínos abatidos.

A maioria dos valores apresentados na Tabela 2 é a média aritmética seguida por valor delta. E este ao ser somado ao valor da média define o limite superior do intervalo de confiança definido ao nível de confiabilidade de 99 %. E, quando o valor de delta é subtraído da média, é definido o limite inferior do citado intervalo de confiança. Os dados em que não são definidos intervalos de confiança, trata-se de valores únicos. Sendo assim não há como determinar a média aritmética.

### 4.1 VALIDAÇÃO DA VARIÁVEL TEMPO DE DURAÇÃO DA OPERAÇÃO

Os valores obtidos a partir do sistema real são únicos para cada dia de operação, enquanto que os gerados pelo modelo de simulação referem a cinco replicações. Os intervalos de confiança para os dados gerados pelo modelo apresentam valores dos limites superiores e inferior igual às médias para cada dia simulado. Isso é indicativo que, mesmo após cinco replicações, a variável tempo de duração da operação apresentou valores muito próximos, apesar de serem variáveis aleatórias (Tabela 2).

**Tabela 2 -** Dados do sistema real (SR) e gerados pelo modelo (MD)

Nº	Data	Nº de Suínos Abater	Tempo de Duração da Operação (h)		Tempo de Deslocamento da Insensibilização à Depiladeira		Tempo de Deslocamento da Insensibilização à Câmara Fria		Número de Carcaças Re-inspeccionadas		Número Final de Suínos Abatidos	
			SR	MD	SR	MD	SR	MD	SR	MD	SR	MD
1	16/03/05	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	1,00 ± 1,88	1.345	1.345 ± 1,88
2	17/03/05	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	18/03/05	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	23/03/05	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	30/03/05	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

A comparação dos valores obtidos a partir do sistema real com as médias geradas pelo modelo, utilizando como parâmetro de aferição de contraste o erro estimado da média, pode ser observado na Tabela 3.

**Tabela 3 -** Erro médio estimado

Nº	Data	Tempo de Duração da Operação (h)	Tempo de Deslocamento da Insensibilização Depiladeira (min)	Tempo de Deslocamento da Insensibilização Câmara Fria (min)	Número de Re-inspeção	Nº Final de Suínos Abatidos
1	16/03/05	0,05	0,67	0,63	0,40	0,40
2	17/03/05	0,63	0,52	1,28	0,70	0,70
3	18/03/05	0,58	0,35	0,13	0,30	0,30
4	23/03/05	0,10	2,00	0,42	0,30	0,30
5	30/03/05	0,00	1,77	1,52	0,90	0,90

O maior valor de erro médio estimando detectado (Tabela 3) ocorreu no dia 17, sendo este igual a 0,63h (42 minutos). Nesse dia, foram realizados 1.630 abates de suínos, sendo necessário um tempo de 9,25h. Para tal situação os valores reportados pelo modelo simulado corresponderam a 8,00 ± 0,00 h. No entanto, ao serem analisadas as informações relativas aos dias 23 e 30, em que foram abatidos 1.585 e 1550 suínos, respectivamente; pode ser observado

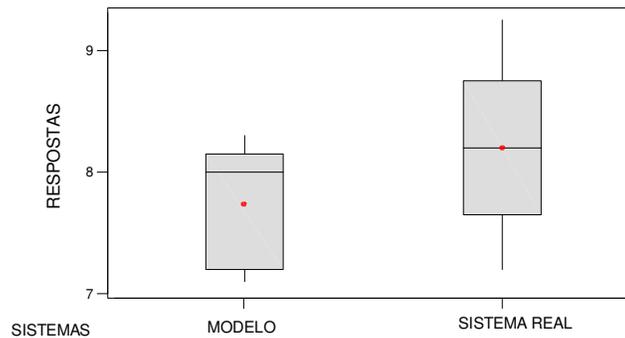
(Tabela 3) que erros estimados médias estimados para os dois dias foram 0,10 e 0,00 h, respectivamente.

Conforme a Tabela 1, nos dias 17, 23 e 30 foram abatidos 1630, 1585 e 1550 suínos, respectivamente. Operacionalmente, esses números são semelhantes, uma vez que a maior diferença observada foi igual a 80 suínos. Dessa forma, uma vez, que o modelo apresentou resultados satisfatórios para os dias 23/03 e 30/03, pode ser suposto que, a ocorrência de problemas operacionais de manutenções na linha de produção, no dia 17 gerou o maior valor para o erro médio estimado.

Para verificar as diferenças das médias para a variável tempo de operação foi aplicado o teste de Tukey, ao nível de significância de 1%. O teste indicou que não há diferença estatística ao nível significância estipulado. Deve-se ressaltar que os dados são inerentes a cinco coletas a partir do sistema real e vinte cinco dados gerados pelo modelo de simulação.

Portanto, considerando as discussões apresentadas acima, pode-se afirmar que o modelo computacional implementado aplica-se à previsão do tempo de duração de operação.

Como informação complementar, ao ser elaborado o gráfico “boxplot” (Figura 9), para os valores do sistema real e os valores gerados pela simulação para a variável tempo de duração da operação pode ser observada a maior variabilidade para os dados do sistema real, o que pode ser comprovado com o coeficiente de variação, ou seja, para os dados simulados, o coeficiente de variação foi 6,63%, para médias variando entre 7,10h a 8,30h, enquanto que para os dados reais o coeficiente de variação foi de 8,87%, variando de 7:20h até 9,25h.



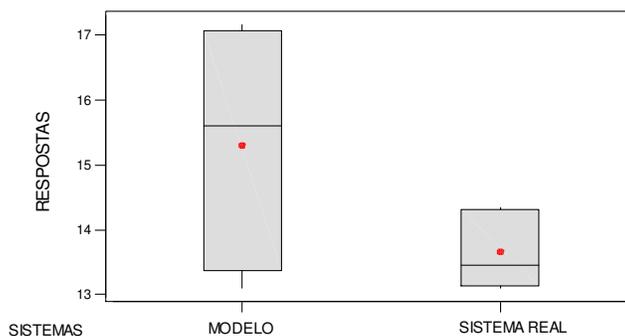
**Figura 9** - Gráfico do comparativo dos valores obtidos partir do sistema real e os gerados pelo modelo de simulação para a variável tempo de operação, para os cinco dias de coleta de dados

#### 4.2 VALIDAÇÃO DA VARIÁVEL TEMPO DE DESLOCAMENTO DA INSENSIBILIZAÇÃO À DEPILADEIRA

Os valores da variável tempo de deslocamento da insensibilização à depiladeira, obtidos a partir do sistema real e gerados pelo modelo são apresentados na Tabela 1. Conforme os erros estimados das médias (Tabela 2), o maior erro encontrado foi para o dia 23/03, sendo este igual a 2 minutos e o menor foi para o dia 18/03, com o valor de 0,35 minutos. Valores relativamente pequenos.

Ao se proceder à análise global dos dados, conforme representado na Figura 10, foi observado que existe maior variabilidade para os dados gerados pelo modelo, pois estes apresentam coeficiente de variação igual 12,22%, com valores médios variando de 13,09 a 17,18 min. Quanto à análise os dados

gerados pelo sistema real, o coeficiente de variação foi de 4,41%, com médias variando de 13,09 a 14,35 min.



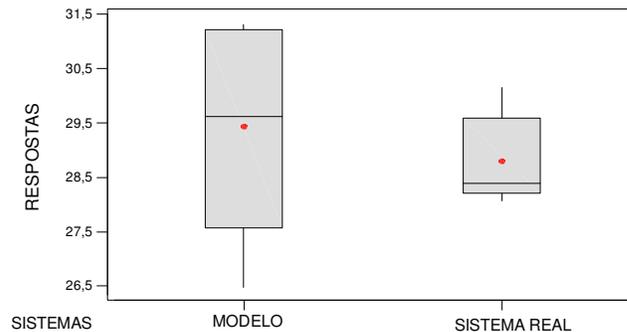
**Figura 10** - Gráfico do comparativo dos valores obtidos partir do sistema real e os gerados pelo modelo de simulação para variável tempo de deslocamento da insensibilização à depiladeira, para os cinco dias de coleta de dados

De acordo com as discussões apresentadas acima, no que se refere à variável tempo de deslocamento da insensibilização à depiladeira, pode-se afirmar que o modelo computacional implementado aplica-se de forma adequada.

#### 4.3 VALIDAÇÃO DA VARIÁVEL TEMPO DE DESLOCAMENTO DA INSENSIBILIZAÇÃO À CÂMARA FRIA

O gráfico “boxplot” dos valores para a variável tempo de deslocamento da insensibilização à câmara fria (Figura 11), indica que existe uma maior variabilidade para os dados gerados pelo modelo. Para os dados simulados foi

calculado o coeficiente de variação igual 6,74%, para médias variando de 26,48 a 31,31 minutos. Enquanto que para os dados reais o coeficiente de variação foi 2,89% e as médias variaram de 28,07 até 30,15 minutos.



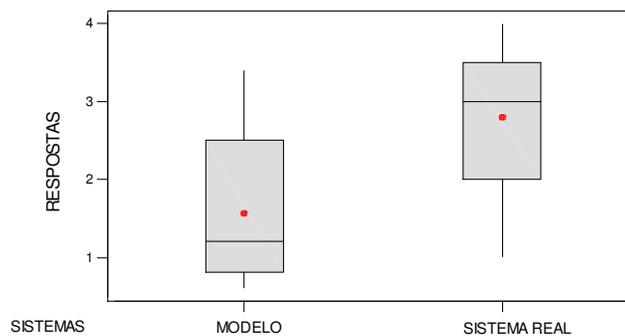
**Figura 11** - Gráfico do comparativo dos valores obtidos partir do sistema real e os gerados pelo modelo de simulação para a variável tempo de deslocamento da insensibilização à câmara fria, para os cinco dias de coleta de dados

Quanto ao erro estimado das médias, os valores variaram de 0,13 a 1,52 minutos. Valores perfeitamente aceitáveis em nível operacional. Portanto o modelo computacional também se aplica para a simulação dessa variável.

#### 4.4 VALIDAÇÃO DA VARIÁVEL NÚMERO DE CARÇAÇAS RE-INSPECIONADAS

O gráfico “boxplot” apresentado na Figura 12 para a variável número de carcaças re-inspecionadas indica que a maior variabilidade ocorreu para os dados do sistema real com o coeficiente de variação 69,87% e valores variando de 1 a 4

suínos rejeitados. Para os dados gerados pelo modelo o coeficiente de variação foi de 39,11%, com médias variando 0,60 até 3,40 suínos. Considerando que esta variável tenha que ser tratada como um número inteiro, pode-se afirmar que em termos de variabilidade os dados do sistema e os simulados apresentam comportamento semelhante. Além disso, conforme a Tabela 2 o erro estimado das médias apresenta valor inferior a 1,00. O que operacionalmente torna possível aceitar o modelo como uma ferramenta para a previsão da variável em questão.

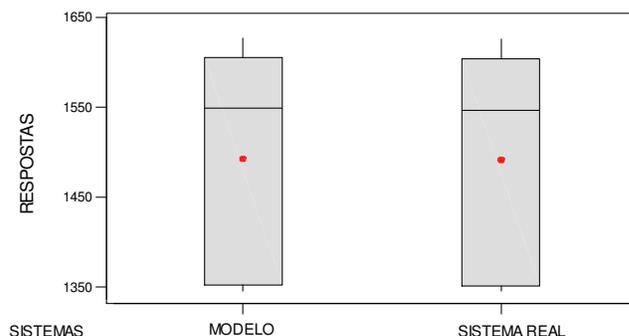


**Figura 12** - Gráfico do comparativo dos valores obtidos partir do sistema real e os gerados pelo modelo de simulação para a variável número de carcaças re-inspeccionadas, para os cinco dias de coleta de dados

#### 4.5 VALIDAÇÃO DA VARIÁVEL NÚMERO FINAL DE SUÍNOS ABATIDOS

Os valores para a variável número de suínos abatidos indicam que existe maior variabilidade para os dados do sistema simulado. Isso pode ser observado

no gráfico da Figura 13 e comprovado com o coeficiente de variação, que foi de 8,86%, com médias variando 1.345 a 1.628 suínos abatidos.



**Figura 13** - Gráfico do comparativo dos valores obtidos a partir do sistema real e os gerados pelo modelo de simulação para a variável número final de suínos abatidos, para os cinco dias de coleta de dados

Com relação ao sistema real foi calculado o coeficiente de variação de 8,84% para valores variando de 1.345 a 1.627 suínos abatidos. De acordo com o erro estimado das médias, pode se considerar que a variação detectada foi de pequena monta, pois o maior erro observado (Tabela 2), foi de 0,70, aproximadamente uma unidade. Tal valor considerando-se o número de unidades de suínos abatidos diariamente permite concluir que o modelo apresentado aplica-se efetivamente para a atividade para a qual foi implementado.

#### 4.6 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE - NÚMERO DE ANIMAIS A ABATER

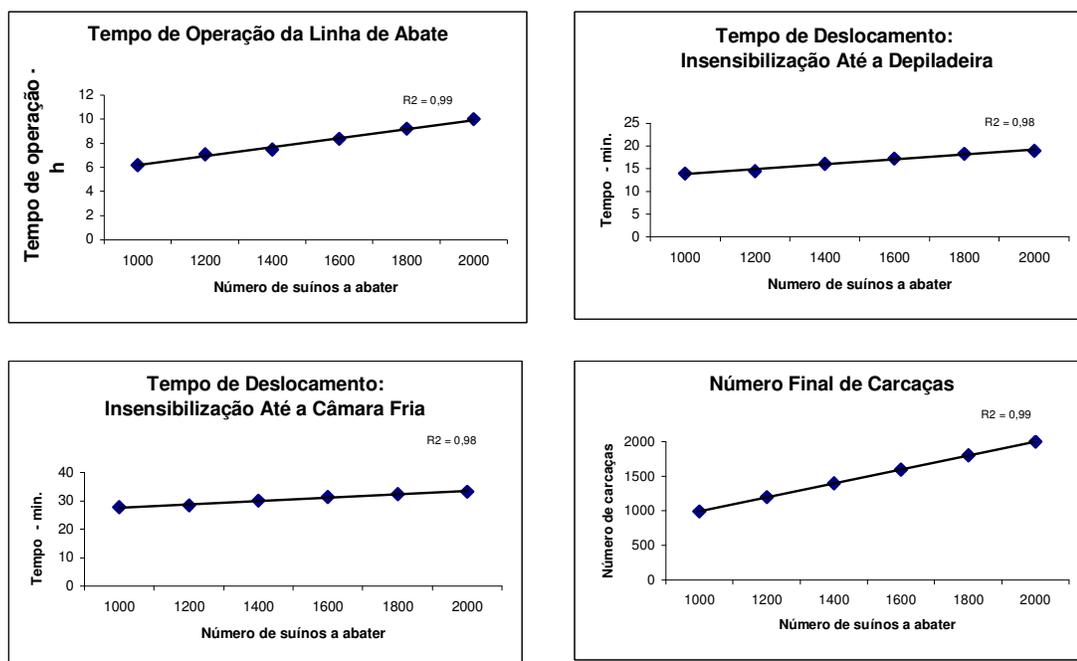
Uma vez que o modelo implementado aplica-se efetivamente para a atividade para a qual foi implementado, foi conduzido o experimento no qual a variável número de animais a abater teve os seus valores alterados, conforme apresentado na Tabela 4 e para cada situação definida foram procedidas cinco rodadas. Os dados que caracterizam os parâmetros do sistema são os mesmos tomados em campo para o dia 16/03.

**Tabela 4** - Resultado do experimento de análise de sensibilidade, parâmetro modificado: número de animais a abater

Nº	Número de Suínos a Abater por hora	Tempo de Duração da Operação (h)	Tempo de Deslocamento Insensibilização depiladeira (min)	Tempo de Deslocamento Insensibilização câmara fria (min)	Nº/Reinspeção	NºFinal de Suínos Abatidos
1	1.000	6,20 ± 0,0	13,96 ± 0,26	27,75 ± 0,27	0,80 ± 1,65	999±1,65
2	1.200	7,10 ± 0,0	14,42 ± 0,34	28,34 ± 0,34	0,20 ± 0,89	1.200±0,69
3	1.400	7,50 ± 0,0	15,99 ± 0,46	30,04± 0,47	1,20 ± 1,65	1.399±1,65
4	1.600	8,40 ± 0,0	17,24 ± 0,44	31,36± 0,55	0,60 ± 1,02	1.599±1,02
5	1.800	9,20 ± 0,0	18,29 ± 0,31	32,49± 0,33	1,00 ± 1,46	1.799±1,46
6	2.000	10,10 ± 0,0	19,00 ± 0,18	33,20 ± 0,20	0,80 ± 1,65	1.999±1,65

Nota: Dados obtidos a partir dos dados gerados pelo modelo (MD).

Conforme pode ser observado na Tabela 4 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  $R^2$  são iguais a: 0,99; 0,98; 0,98; e 0,99. Deste modo, por exemplo, para a variável tempo de duração da operação pode ser definida a relação linear descrita por meio da equação 05.



**Figura 14-** Gráficos dos impactos causados ao ser procedido o aumento do número de animais a abater

Foi observada também uma correlação linear com  $R^2 = 0,99$ , ao serem relacionadas as variáveis número de animais a abater e tempo de operação, conforme expressão dada pela equação (5), que pode ser realizada para estimar o tempo de duração da operação.

$$Top = 0,0039Nab + 2,06 \quad (4)$$

em que:

Top = tempo de operação, h

Nab = número de animais a abater.

#### 4.7 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE – VELOCIDADE DA NÓRIA

Utilizando-se o modelo implementado e o dado operacional do dia 16/03 foram alteradas as velocidades da nória, conforme a Tabela 5, sendo executadas, 5 rodadas para cada valor de velocidade das nórias.

A alteração da velocidade da nória de 300 para 600 animais por hora gerou uma redução do tempo de duração da operação de 8,10h para 7,40h. Outros fatores que reduzem o valor são o tempo de deslocamento (i) da insensibilização à depiladeira e (ii) da insensibilização à câmara fria.

**Tabela 5** - Resultado do experimento de análise de sensibilidade, parâmetro modificado: número de animais a abater

Nº	Número de Suínos a Abater por hora	Tempo de Duração da Operação (h)	Tempo deslocamento Insensibilização depiladeira (min)	Tempo deslocamento Insensibilização câmara fria (min)	Nº/Reinspeção	Nº Final de Suínos Abatidos
1	300	8,10 ± 0,0	17,56 ± 0,41	33,91 ± 0,37	1,00 ± 1,46	1.399 ± 1,46
2	400	7,50 ± 0,0	16,00 ± 0,33	30,03 ± 0,38	1,20 ± 0,89	1.399 ± 0,69
3	500	7,50 ± 0,0	14,99 ± 0,32	28,13 ± 0,54	0,60 ± 1,75	1.399 ± 1,75
4	600	7,40 ± 0,0	14,46 ± 0,33	27,26 ± 0,26	1,60 ± 3,07	1.398 ± 3,07

Nota: Dados obtidos a partir dos dados gerados pelo modelo (MD).

O experimento de análise de sensibilidade indica que, aumentando a velocidade da nória, obteve-se um gasto de tempo menor e que as variáveis duração de operação, tempo de deslocamento da insensibilização à depiladeira, tempo de deslocamento até a câmara fria e nº de re-inspeção também tiveram seus valores alterados.

## 5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados das análises procedidas para a validação do modelo computacional implementado foi possível concluir que o mesmo é aplicável 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 à depiladeira; (iii) tempo de deslocamento da insensibilização à câmara fria; (iv) número de carcaças re-inspecionadas; e (iv) número final carcaças. Isto se deve aos seguintes motivos:

- Ao serem certificadas as diferenças entre os dados obtidos a partir do modelo e os gerados pelo modelo para a variável tempo de duração da operação por meio do teste Tukey, ao nível de significância de 1%, não foram detectadas diferenças estatísticas;
- O maior erro estimado das médias para a variável tempo deslocamento da insensibilização a depiladeira foi de igual a 2 minutos;
- Para variável tempo deslocamento da insensibilização à câmara fria o erro estimado das médias variaram de 0,13 a 1,52 minutos;

Uma vez o modelo validado foram conduzidos dois experimentos do tipo análise de sensibilidade.

- Para o primeiro experimento de análise de sensibilidade, foi verificado que ao alterar o número de suínos a abater de 1.000 para 2.000, necessita de tempos de duração da operação iguais a 6,20 e 10,10 h, respectivamente. Enquanto, os tempos deslocamento da

insensibilização à câmara fria foram de  $27,75 \pm 0,27$  e  $33,20 \pm 0,20$  minuto, ao nível de probabilidade de 99 %, respectivamente.

- No que se refere ao segundo experimento foi detectado que no abate de 1.346 ao ser alterado a velocidades das nórias de 300 para 600 animais por hora, os tempos de duração da operação foram de 8,10h e 7,40h, respectivamente. Com isto os tempos deslocamento da insensibilização à câmara fria variam de  $27,75 \pm 0,27$  a  $33,20 \pm 0,20$ , ao nível de significância de 1%, respectivamente.

Como sugestões para a condução trabalho do futuro é recomendada a introdução no modelo implementado dos parâmetros do sistema associados a variáveis, tais como: (i) consumo de água por animal abatido e por seção da linha de abate, (ii) consumo de energia elétrica, (ii) consumo de gás, e (iv) custos operacionais e custo de mão de obra por operação.

## 6 REFERÊNCIAS

BALCI, O. Principles of simulation model validation, verification, and testing. **Transactions of the Society for Computer simulation International**. v. 14 n. 1, p. 3-11. 1997.

BRASIL. Ministério da Agricultura, **Portaria nº 711, de 01.11.95** - DOU nº 211, de 03.11.95 - Aprova as normas técnicas de instalações e equipamentos para abate e industrialização de suínos. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/> on line>. Acesso em: 14 de junho de 2004a.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Regulamento da inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal**. Aprovado pelo Decreto nº 30.691, de 29-03-52, alterado pelos Decretos nºs 1.255 de 25-06-62, 1.236 de 02-09-94, nº 1.812 de 08-02-96 e nº 2.244 de 04-06-97. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/> on line>. Acesso em: 2 de julho de 2004b.

CAVALCANTI, Sergito de Souza. **Produção de suínos**. 2 ed. Campinas-SP: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1985.

FAPRI Bulletin, Iowa State University, v. 3, n. 3, Sept./Oct. 2000. FAO. **Médium-term projections for meat to 2005**. Rome, 1998.

FERREIRA, R. C. **Competitividade do sistema agroindustrial suinícola brasileiro**. Piracicaba, 1998. Sp f. Dissertação (Mestrado em 1998) – Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE.  
**Rebanho suíno brasileiro** – efetivo por Unidade de Federação. Disponível em:  
<<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 20 de julho de 2004.

IMAGINE THAT, INC **EXTEND +Manufacturing**. User's Manual - Version 4.  
San Jose, CA, USA 1997.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E  
SOCIAL - IPARDES. **A indústria de suínos no Brasil**: um estudo sobre  
competitividade. Curitiba: IPARDES, 1994.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation modeling & analysis**. 2 Ed. New  
York: McGraw Hill Inc., 1991.

MARIA. A. Introduction to modeling and simulation. WINTER SIMULATION  
CONFERENCE, 2, 1997. New York. **Proceedings...** Association of Computer,  
New York, 1997. p. 7-13.

MENNER, W. A. Introduction to modeling and simulation. **Johns Hopkins APL  
Technical Digest**, v. 16, n. 1, p. 6-17, 1995.

MULLER, Geraldo. Empresas líderes, poder econômico e pequenos produtores  
na cadeia agroindustrial de carnes no Brasil. **Revista informações Econômicas**,  
v. 26 n. 9. p. 9-26, 1996.

PINAZZA, Luis Antonio; ALIMANDRO, Regis. Visão global do futuro. **Revista  
Agroanalysis**, v. 18 n. 5. p. 9-22, 1998.

PINSTRUP-ANDERSEN, P. et al. **World food prospects**: critical issues for the  
early twenty-first century. Washington: International Food Policy Research  
Institute, 1999.

RABOBANK. **The world beef industry**: market study. Utrecht, 1998.

RIVERA, J. Modeling With EXTEND. In: Introduction to modeling and simulation. WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2, 1997. New York. **Proceedings...** Association of Computer, New York, 1997. p. 674-679.

SATO, Geni Satiko. Perfil da indústria de alimentos no Brasil: 1990 – 95. **Revista de Administração de Empresas**, v. 37, n. 3. p. 56-67, 1997.

SANTANA, A. C. de. Mudanças recentes nas relações de demanda de carne bovina no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**. Brasília: SOBER, v. 37, n. 2, jun. 1999.

SILVA, L. C. **Stochastic simulation of the dynamic behavior of grain storage facilities**. Viçosa-MG, 2002. Tese (Doutorado em 2002), Universidade Federal de Viçosa.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE- USDA. **Vertical coordination and consumer welfare**: the case of the pork industry. Disponível em: <<http://www.ers.usda.gov/publications/summaries/aer753.htm>>. Acesso em: <http://www.ers.usda.gov/publications/summaries/aer753.htm> 2002.

WEDEKIN, Valéria S. P.; MELLO, Nelson. Cadeia produtiva da suinocultura no Brasil. **Revista Agricultura em São Paulo**, v. 42, n. 1. p. 1-12, 1995.

WINSTON, W. L. **Operations research**: applications and algorithms. 3. ed. Belmont, California: Wadsworth Publishing Company, 1994.