

**VINÍCIUS PEREIRA GUIMARÃES**

**MODELAGEM DE UMA UNIDADE DE PRODUÇÃO PARA  
CAPRINOS LEITEIROS UTILIZANDO A DINÂMICA DE SISTEMAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2007

**VINÍCIUS PEREIRA GUIMARÃES**

**MODELAGEM DE UMA UNIDADE DE PRODUÇÃO PARA  
CAPRINOS LEITEIROS UTILIZANDO A DINÂMICA DE SISTEMAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 13 de novembro de 2007.

---

Prof. Luis Orlindo Tedeschi  
(Co-Orientador)

---

Prof. Heleno do Nascimento Santos  
(Co-Orientador)

---

Prof. Marcelo José Braga

---

Prof. Iran Borges

---

Prof. Marcelo Teixeira Rodrigues  
(Orientador)

Aos meus pais Arivaldo e Clêuza.

À minha irmã Fernanda.

Ao Márcio, Marilene e Leandro.

À minha esposa Patrícia, por todos os momentos.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, pelo dom da vida.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Zootecnia do Centro de Ciências Agrárias da UFV, pela oportunidade de realização do curso de Pós-graduação.

Ao CNPq pela concessão de bolsa de estudo no Brasil.

À CAPES, pela concessão de bolsa de estudo no exterior.

Ao professor Marcelo Teixeira Rodrigues, por todos os anos de incentivo profissional, conselhos e principalmente pela grande amizade.

Ao professor Luis Orlindo Tedeschi, peça fundamental na realização do trabalho, por todos os ensinamentos, profissionalismo e amizade.

Aos membros da banca examinadora, prof. Heleno do Nascimento Santos, prof. Marcelo Braga e prof. Iran Borges, pelas contribuições na melhoria do trabalho.

Aos meus pais e à minha irmã por todo e incondicional suporte que uma família deve fornecer para o crescimento profissional e pessoal.

À minha esposa Patrícia por me acompanhar desde o início da vida universitária, acreditando nos meus esforços e apoiando os meus sonhos.

Aos meus sogros Márcio e Marilene, por nos apoiarem sempre dando a tranquilidade necessária para a finalização do trabalho.

Ao meu cunhado Leandro, pela grande amizade, incentivo e apoio nos momentos de turbulência.

Aos meus parentes, pelo positivismo e pelos conselhos.

À vovó Bebel pelo carinho, pela bondade da alma e pelas orações.

Em memória de Alzira, Maria e João, agradeço pela oportunidade de tê-los conhecido, deixando ensinamentos de perseverança, determinação, honestidade e amizade como princípios para a felicidade.

Ao primo Alan por participar dos momentos de paz e tranquilidade que passava no campo, recuperando da correria do dia-a-dia.

Em especial à Clarice, Joaquina e Arnaldo, por me acolherem em sua família, tornando a vida em Viçosa muito mais tranqüila e prazerosa, e também pelo grande exemplo de vida que são.

Ao Jarbas e à Léo pela amizade e carinho.

Aos amigos Mário e Fernanda, por todos os anos de amizade e companheirismo.

A todos os amigos da BRSA que nos ajudaram e conviveram durante a estadia fora do país.

Aos amigos Denis, Fred, Felipe e Rafael, pelos anos de república e amizade.

Aos funcionários do Departamento de Zootecnia.

Aos amigos do GECA pela amizade e convívio.

À turma de Sete Lagoas, pela grande amizade e pelo carinho.

Aos colegas da Faculdade de Viçosa (FDV) por acreditarem no meu sucesso.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

VINÍCIUS PEREIRA GUIMARÃES, filho de Arivaldo Alves Guimarães e Cleuza de Fátima Pereira Guimarães, nasceu em Curvelo-MG, em 19 de fevereiro de 1980.

Em março de 1998, iniciou na Universidade Federal de Viçosa o curso de graduação em Zootecnia, graduando-se em 26 de setembro de 2002.

Em fevereiro de 2002, iniciou na Faculdade de Viçosa o curso de graduação em Administração/Comércio Exterior, graduando-se em 17 de dezembro de 2005.

Em setembro de 2002, iniciou o curso de Mestrado em Zootecnia na Universidade Federal de Viçosa, concentrando seus estudos na área de Produção e Nutrição de Ruminantes, concluindo-o em 26 de julho de 2004.

Em agosto de 2004, iniciou o curso de Doutorado em Zootecnia na Universidade Federal de Viçosa, concentrando seus estudos na área de Produção e Nutrição de Ruminantes, concluindo-o em 13 de novembro de 2007.

## SUMÁRIO

LISTAS DE TABELAS .....	ix
LISTAS DE FIGURAS .....	x
RESUMO .....	xiv
ABSTRACT .....	xvi
1. Introdução.....	1
1.1 Hipótese .....	5
1.2 Objetivos .....	5
1.3 Organização do trabalho de tese .....	6
2. Revisão de literatura.....	7
2.1 Pensamento Sistêmico .....	8
2.2 Teoria dos Sistemas .....	11
2.3 Modelo .....	14
2.3.1 Tipos de modelos .....	15
2.3.2 Construção do modelo .....	18
2.3.3 Limitações.....	19
2.4 Modelagem .....	20
2.5 Dinâmica de Sistemas.....	24
2.5.1 Origem da Dinâmica de Sistemas .....	24
2.6 Softwares e funções .....	30
2.6.1 Vensim .....	30
2.6.2 Diagramas de <i>loop</i> causal .....	31
2.6.3 Diagrama de Fluxo de Sistemas.....	35
2.6.4 Sistemas de retroalimentação.....	40
2.6.4.1 <i>Feedback</i> positivo .....	42
2.6.4.2 <i>Feedback</i> negativo .....	43
2.6.5 Atrasos .....	44
2.6.5.1 <i>Delay</i> material.....	44
2.6.5.2 <i>Delay</i> de informação .....	45
2.6.6 Arquétipos.....	46
2.6.6.1 <i>Loop</i> de equilíbrio .....	47

2.6.6.2 Alterando Metas.....	48
2.6.6.3 Escalada .....	50
2.6.6.4 Consertos que falham.....	51
2.6.6.5 Crescimento e sub-investimento .....	52
2.6.6.6 Limites para o sucesso .....	53
2.6.6.7 Transferindo a responsabilidade .....	54
2.6.6.8 Sucesso para o bem sucedido.....	55
2.6.6.9 Tragédia do recurso comum .....	57
2.6.7 Modos fundamentais dos comportamentos dinâmicos .....	58
2.6.8 Processo de solução numérica .....	60
2.7 Simulação.....	61
2.7.1 Simulação de tempo contínuo <i>versus</i> discreto .....	62
2.8 Administração estratégica no contexto da modelagem.....	64
2.8.1 O processo tomada de decisão .....	65
2.8.2 Sobre os sistemas (unidades) de produção .....	68
2.9 Descrição do sistema de produção.....	71
2.9.1 Tipos de Sistemas .....	72
2.9.1.1 Sistema de produção extensivo a campo .....	72
2.9.1.2 Sistema de produção intensivo confinado .....	72
2.9.1.3 Sistema de produção intensivo semi-confinado.....	73
2.9.1.4 Sistema de produção intensivo a pasto .....	73
2.10 Aplicações da Dinâmica de Sistemas .....	74
2.11 Cenários “E SE” .....	76
3. Metodologia .....	77
3.1 Modelo analítico .....	78
3.1.1 Reprodução .....	78
3.1.2 Animais .....	81
3.1.3 Nutrição .....	81
3.1.4 Índices Zootécnicos .....	83
3.2 Descrição do modelo .....	86
3.2.1 Diagramas de influência .....	86
3.3 Descrição do rebanho.....	95
3.3.1 Diagramas de fluxo de sistema .....	100
3.3.1.1 Fluxo de animais adultos .....	101
3.3.1.2 Fluxo das crias .....	107

3.3.1.3 Fluxo de reprodutores .....	113
3.3.1.4 Contabilização de variáveis .....	115
3.4 Simulações .....	116
3.4.1 Parâmetros biológicos de produção .....	116
3.4.2 Políticas e medidas de manejo .....	118
3.4.2.1 Taxa de descarte.....	118
3.4.2.2 Taxa de retenção .....	119
3.4.3 Alimentação .....	119
3.4.3.1 Qualidade da forrageira .....	122
3.4.4 Produção de leite e carne .....	126
3.5 Avaliação econômica.....	129
3.5.1 Descrição dos custos.....	131
3.5.2 Receita total (RT).....	132
3.5.3 Custos Totais (CT).....	134
3.5.4 Lucratividade .....	134
3.6 Propriedades técnicas da simulação.....	135
3.7 Descrição das análises efetuadas .....	136
4. Resultados e Discussão .....	137
4.1 Rebanho em crescimento .....	138
4.2 Rebanho estabilizado .....	141
4.3 Análise de sensibilidade.....	144
4.3.1 Impacto no índice reprodutivo.....	144
4.3.2 Impacto das taxas de mortalidade.....	147
4.3.3 Impacto do número de estações de monta .....	149
4.3.4 Impacto da idade ao primeiro parto .....	158
4.3.5 Impacto da alimentação .....	161
4.3.5.1 Rebanho em crescimento .....	161
4.3.5.2 Rebanho estabilizado .....	163
4.3.5.3 Qualidade da forragem.....	164
4.3.6 Produção de leite e carne .....	168
5. Conclusões .....	171
5.1 Considerações finais .....	173
6. Bibliografia.....	174

## LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação entre os Modelos de Eventos Discretos e os Modelos de Dinâmica de Sistemas.....	17
Tabela 2 – Representação da simbologia da polaridade dos links, definições e exemplificação.....	34
Tabela 3 – Componentes de uma simulação de Dinâmica de Sistemas e exemplos dos componentes no estudo do sistema produtivo de cabras leiteiras.....	62
Tabela 4 – Exigência nutricional para cada categoria do rebanho <sup>a</sup> .....	82
Tabela 5 – Média de valores dos parâmetros de produção utilizados na simulação do rebanho caprino leiteiro.....	117
Tabela 6 – Média de valores utilizados para cálculos de custos e receitas no sistema de produção <sup>a</sup> .....	133
Tabela 7 – Valores dos custos e receitas e lucratividade para cada ano de simulação no rebanho estabilizado para 1 estação de monta (100 cabras em lactação).....	155
Tabela 8 – Valores dos custos e receitas e lucratividade para cada ano de simulação no rebanho estabilizado para 2 estações de monta (100 cabras em lactação).....	156

## LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 – O processo de modelagem efetiva envolve interação constante entre experimentação e aprendizagem no mundo virtual e experimentação e aprendizagem no mundo real. Fonte: Sterman (2000).....	22
Figura 2 – Processo de modelagem utilizando a Dinâmica de Sistemas (Sterman, 2000) .....	28
Figura 3 – Algumas formas de representação dos indicadores de <i>loop</i> positivos e negativos.....	32
Figura 4 – Exemplificação de um link causal e polaridade no início da construção de um DLC.....	32
Figura 5 – Exemplo de um completo Diagrama de <i>Loop</i> Causal enfatizando a importância do uso dos sinais de polaridade e dos indicadores de <i>loop</i> para compreensão do comportamento do sistema.....	35
Figura 6 – Diagrama de influência, estoque e fluxo, equações utilizadas na DS e gráfico representativo do crescimento da população para 100 anos. ....	36
Figura 7 - Simbologia utilizada na modelagem de DS com base no software VENSIM® .....	37
Figura 8 – Exemplo de um Diagrama de Fluxo de Sistema utilizando o programa VENSIM®.....	39
Figura 9 – Representação do estoque, fluxos, auxiliar e conector na Dinâmica de Sistemas.....	39
Figura 10 – Controle de retroalimentação de um tanque de expansão. ....	41
Figura 11 – Crescimento exponencial de uma população devido a um <i>feedback</i> positivo.....	42
Figura 12 – Crescimento exponencial de uma população devido à retroalimentação negativa. ....	43
Figura 13 – Exemplo de um <i>delay</i> de material em que se demanda tempo para haver a liberação da mercadoria.....	44
Figura 14 – Estrutura de retroalimentação de expectativas adaptativas. Fonte: adaptado de Sterman (2000).....	45
Figura 15 – Exemplificação do arquétipo de <i>loop</i> de equilíbrio.....	47
Figura 16 – Exemplificação do arquétipo alterando metas.....	49
Figura 17 – Exemplificação do arquétipo escalada.....	50
Figura 18 – Exemplificação do arquétipo consertos que falham. ....	51
Figura 19 – Exemplificação do arquétipo crescimento e sub-desenvolvimento.....	52
Figura 20 – Exemplificação do arquétipo limites para o sucesso. ....	53
Figura 21 – Exemplificação do arquétipo transferindo a responsabilidade. ....	54
Figura 22 – Exemplificação do arquétipo sucesso para o bem sucedido. ....	56

Figura 23 – Exemplificação do arquétipo tragédia do recurso comum. ....	57
Figura 24 – Padrões comportamentais em sistemas dinâmicos. Fonte: adaptado de Sterman (2000). ....	59
Figura 25 – Intersecção dos conceitos de economia, administração estratégica, Dinâmica de Sistemas e produção animal. ....	65
Figura 26 – Início e fim da percepção da tomada de decisão. Fonte: adaptado de Forrester (1994). ....	66
Figura 27 – Estrutura básica circular em que o sistema se desenvolve. Fonte: adaptado de Forrester (1994). ....	66
Figura 28 – Padrões comportamentais em sistemas dinâmicos. Fonte: adaptado de Sterman (2000). ....	69
Figura 29 – Diagrama relacional que representa os determinantes da eficiência reprodutiva e suas inter-relações dentro do sistema produtivo leiteiro. ....	87
Figura 30 – Diagrama de <i>loop</i> causal que representa parte da dinâmica do rebanho no sistema produtivo de cabras leiteiras. ....	89
Figura 31 – Diagrama de influência que representa a renovação de cabras no rebanho e seu impacto sobre a receita. ....	91
Figura 32 – Diagrama de <i>loop</i> causal que representa o impacto da renovação de cabras no rebanho sobre produção de leite e receita da atividade. ....	93
Figura 33 – Diagrama relacional que representa os determinantes da eficiência reprodutiva e sua influência na receita da caprinocultura leiteira. ....	94
Figura 34 – Diagrama que representa seqüência de cabras prenhes (P) e não prenhes (NP) após a estação de monta para as cabras nulíparas (NUL), 1 <sup>a</sup> (1P), 2 <sup>a</sup> (2P), 3 <sup>a</sup> (3P), 4 <sup>a</sup> (4P) e 5 <sup>a</sup> (5P) lactações. ....	97
Figura 35 – Diagrama que representa o fluxo de cabras nas diferentes situações de relativas à produção de leite e condição reprodutiva (gestação). ....	99
Figura 36 – Diagrama parcial do fluxo de sistema representando a saída de animais para estação reprodutiva (a) e gráfico mostrando o comportamento da saída desses animais do <i>pool</i> inicial cabras nulíparas. ....	101
Figura 37 – Diagrama parcial do fluxo de sistema representando a transformação do “Fluxo de NUL” em “Entrada NUL” que é o primeiro <i>input</i> de cabras nulíparas. ....	102
Figura 38 – Diagrama parcial do fluxo de sistema representando os <i>inputs</i> do grupo de cabras nulíparas, mostrando as divisões que ocorrem nos fluxos e as variáveis que controlam esta partição. ....	103
Figura 39 – Diagrama parcial do fluxo de sistema representando os <i>inputs</i> e <i>outputs</i> dos estoques de cabras nulíparas prenhes e não prenhes, vinculados aos tempos de gestação e de próxima estação. ....	105
Figura 40 – Diagrama completo do fluxo de sistema representando a dinâmica de cabras nulíparas. ....	106

Figura 41 – Parte do diagrama do fluxo de sistema de crias representando os nascimentos ( <i>inputs</i> ) e parte do processo crescimento.....	108
Figura 42 – Parte do diagrama do fluxo de sistema de crias representando possíveis destinações para os que chegam à fase adulta ( <i>outputs</i> ).....	110
Figura 43 – Diagrama do fluxo de sistema de crias representando o caminho dos animais desde o nascimento até a fase adulta. ....	112
Figura 44 – Diagrama do fluxo do sistema representando o número de reprodutores no rebanho e suas vendas. ....	114
Figura 45 – Diagrama de fluxo para contabilizar variáveis de maior importância no sistema de produção. ....	116
Figura 46 – Diagrama representativo do cálculo de forragem, concentrado necessários para as categorias do rebanho. ....	120
Figura 47 – Diagrama representativo do cálculo de leite/sucedâneo necessários para as categorias do rebanho.....	121
Figura 48 – Diagrama de influência considerando o efeito da qualidade da forragem sobre a venda de leite caprino.....	123
Figura 49 – Diagrama representando as três categorias de produção de leite no rebanho. ....	124
Figura 50 – Diagrama de um sistema de produção de cabras para produção de leite e carne.....	127
Figura 51 – Diagrama representativo do cálculo da produção total de leite em função das ordens de lactação. ....	128
Figura 52 – Dinâmica do número de animais no rebanho e total de cabras em lactação ao final de 120 meses de simulação sem interferência no sistema.....	138
Figura 53 – Distribuição de cabras nulíparas (NUL), de primeiro (1P), segundo (2P), terceiro (3P), quarto (4P) e quinto (5P) partos para cada ano de simulação para um rebanho em crescimento.....	140
Figura 54 – Comparação entre uma simulação de rebanho estabilizando (linha contínua) e simulação de um rebanho sem taxa de descarte (linha pontilhada) durante 120 meses.....	142
Figura 55 – Distribuição de animais nulíparos (NUL), de primeiro (1P), segundo (2P), terceiro (3P), quarto (4P) e quinto (5P) partos para cada ano de simulação para um rebanho estabilizado.....	143
Figura 56 – Efeito de um aumento de 30% nas taxas de fertilidade do rebanho após 24 meses de simulação para um período de 120 meses.....	145
Figura 57 – Efeito de uma redução de 30% nas taxas de fertilidade do rebanho após 24 meses de simulação para um período de 120 meses.....	146
Figura 58 – Efeito do aumento da mortalidade na fase de cabritos em aleitamento após 24 meses de simulação para um período de 120 meses.....	148

Figura 59 – Dinâmica de rebanhos com 1 e 2 estações de monta por ano para um rebanho em crescimento, ao longo de 10 anos.....	149
Figura 60 – Dinâmica de rebanhos estabilizados com 1 e 2 estações de monta apresentando um número médio de 100 cabras em lactação durante 120 meses de simulação. ....	150
Figura 61 – Número de cabras em lactação para rebanhos estabilizados com 1 e 2 estações de monta para durante 120 meses de simulação. ....	151
Figura 62 – Número de crias nascidas por ano para rebanhos estabilizados com 1 e 2 estações de monta para durante 120 meses de simulação. ....	152
Figura 63 – Ganho líquido por cabra em lactação por ano para rebanhos estabilizados com 1 e 2 estações de monta para durante 120 meses de simulação.....	153
Figura 64 – Rentabilidade anual para 1 (a) e 2 (b) estações de monta com aumento de 10% na taxa de fertilidade para rebanhos estabilizados com 1 e 2 estações de monta para durante 120 meses de simulação. ....	154
Figura 65 – Dinâmica de rebanhos em crescimento para uma estação de monta, com idade de acasalamento de 7 meses (pontilhado) e de 12 meses (contínuo), ao longo de 10 anos. ....	159
Figura 66 – Dinâmica de rebanhos em crescimento para 2 estações de monta com idade de acasalamento de 7 meses (pontilhado) e de 12 meses (contínuo), ao longo de 10 anos. ....	160
Figura 67 – Consumo de concentrado e forragem em kg MS (matéria seca) em 120 meses de simulação para um rebanho crescendo indefinidamente. ....	162
Figura 68 – Consumo de concentrado e forragem em kg MS (matéria seca) em 120 meses de simulação para um rebanho estabilizado. ....	163
Figura 69 – Diagramas representando rebanhos de alta, média e baixa produção de leite durante o período de 10 anos.....	165
Figura 70 – Diagramas representando rebanhos com duas categorias de produção de leite durante o período de 10 anos.....	166
Figura 71 – Diagramas representando rebanhos com as três categorias de produção de leite durante o período de 10 anos.....	167
Figura 72 – Rentabilidade anual para 1 (a) e 2 (b) estações de monta com e sem a venda de cabritos para corte para rebanhos estabilizados durante 120 meses de simulação. ....	169

## RESUMO

GUIMARÃES, Vinícius Pereira, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2007. **Modelagem de uma unidade de produção para caprinos leiteiros utilizando a dinâmica de sistemas**. Orientador: Marcelo Teixeira Rodrigues. Co-Orientadores: Luis Orlindo Tedeschi e Heleno do Nascimento Santos.

O trabalho foi desenvolvido buscando abordar as características de dinâmica, complexidade e inter-relacionamento de um sistema de produção de caprinos. Buscou-se, através da metodologia de modelagem e simulação Dinâmica de Sistemas, identificar o impacto na dinâmica e rentabilidade econômica de rebanhos caprinos leiteiros provocados por modificações no manejo reprodutivo, mortalidade, qualidade do alimento e na idade para o início da vida reprodutiva em cabritas. Buscou-se também avaliar a utilização da metodologia como uma ferramenta de suporte à decisão e melhorar o entendimento de sistemas complexos. Produzido pela Ventana Systems®, o programa Vensim foi utilizado por ser gratuito e com funções suficientes para desenvolvimento do trabalho. Foi criada inicialmente uma estrutura funcional da dinâmica do rebanho, realizando a evolução dos animais desde o nascimento até o descarte. Esta dinâmica foi constituída de uma seqüência temporal dos acontecimentos desde o nascimento, passando pelo desenvolvimento do animal, gestação e a parição. A parametrização deste sistema foi baseada em informações provenientes do setor de caprinocultura da Universidade Federal de Viçosa. A unidade de tempo utilizada nas simulações foi “meses” e o “time step” ou intervalo de tempo entre cada simulação foi de 0,03125 meses (22,5 horas). O tempo total de todas as simulações foi um horizonte de 10 anos ou 120 meses. Foi verificado que as modificações provocadas nos aspectos reprodutivos de um rebanho, tanto em relação à fertilidade quanto em relação ao número de estações de monta, influenciaram sobremaneira a dinâmica do rebanho bem como a rentabilidade do sistema. A mortalidade avaliada, principalmente nas primeiras

fases de vida do animal também impactou significativamente o sistema de produção. Um dos pontos, que representa atualmente um dos principais problemas nos sistemas produtivos, foi o impacto da idade ao primeiro acasalamento sobre o sistema, uma vez que quanto maior essa idade, mais lento é o crescimento do rebanho, menor é o ganho genético e, por conseguinte, menor é a rentabilidade do sistema. Outro ponto estudado, que também mereceu uma atenção diferenciada, foi a comparação de sistemas de acordo com a qualidade da alimentação fornecida, tendo em vista que os variados potenciais genéticos de um rebanho possuem exigências nutricionais diferenciadas. Os resultados demonstraram que o eficiente equacionamento do binômio genótipo-alimentação irá determinar a melhor produtividade e principalmente a melhor rentabilidade de um sistema. A simulação de um sistema considerando a venda de machos para produção de carne e assumindo a presença de mercado consumidor com um nível de preço adequado, poderá se tornar outra interessante fonte de renda para o produtor. A relativa facilidade no desenvolvimento de um modelo, a redução de custos com experimentação, a possibilidade de efetuar análises sensitivas aliado à clareza dos resultados de um modelo, são pontos fortes nas simulações baseadas na Dinâmica de Sistemas. Assim, a abordagem de Dinâmica de Sistemas demonstrou ser uma importante ferramenta para somar às técnicas convencionais de simulação.

## ABSTRACT

GUIMARÃES, Vinícius Pereira, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, November, 2007.  
**Modeling a dairy goat farm using a system dynamics approach.** Adviser: Marcelo Teixeira Rodrigues. Co-Advisers: Luis Orlando Tedeschi and Heleno do Nascimento Santos.

The study was developed approaching characteristics of dynamic, complexity and interrelationship in a dairy goat farm. Through the methodology of modeling and simulation called System Dynamics, were tried to identify the impacts in dynamics and profitability in dairy goats herds caused by modifications in reproduction, mortality, feed quality and the age at the beginning of the reproductive life, besides of considering the methodology as a tool for decision making, looking for better understanding and improving the knowledge of complex systems. Produced by Ventana Systems®, the program Vensim was used because it is a free program and has enough functions to develop the work. Initially was created a functional framework of herd dynamics, with the evolution of animals since birth until culling. This dynamics was built in a chronological sequence of events since birth, going to the growing up phase, gestation, and kidding. For the parameterization of the system was assumed average values from the extension service of the Federal University of Viçosa, Brazil. The time unit used in the study was months and the time step between each simulation was 0.03123 months (22.5 hours). The total time, for all the simulations, was 10 years or 120 months. Was verified that changing reproductive aspects in a herd, as fertility rates and number of breeding seasons, the impacts in herd dynamics and in the profitability of the system are considerable. The mortality rates, mainly in the first phase of the animal's life, also had a great impact over the system. One of the most important issues in the current production systems is the impact of the age at first mating due to, the bigger is this age, slower is the growing up capacity of the herd and smaller is the profitability of the system.

Another important point that needs attention was the comparison of systems according to feed quality and genotypes with different nutritional requirements. The results showed that the efficient equation of the binomial genotype-feed will determine better productivity and mainly better profitability of the system. The simulation considering males sales for meat production and assuming an existent market (consumers), paying an adequate price, could become an interesting source of income for the producers. The relative facility of developing a model, the reduction of costs with experimentation, the possibility to make sensitivity analysis, associated to clear results, are strengths of simulations based in System Dynamics. Therefore, the System Dynamics approach gives a demonstration of being an important tool to add the conventional methods of simulation.

## **1. Introdução**

---

---

A década de 90 foi marcada pela intensificação transformação mundial conhecida como globalização. Este novo cenário de múltiplas inter-relações conduziu a uma nova dinâmica caracterizada pela intensificação da disputa entre países, estados e regiões procurando obter maiores vantagens, tornarem-se mais competitivos e dissolvendo fronteiras nacionais.

Sob essa nova ordem mundial, a produção pecuária brasileira sofreu forte mudança na forma de produção e principalmente na administração de suas unidades. O que antes era considerado apenas fazendas de produção, muitas vezes de baixa rentabilidade e elevado amadorismo, demudaram e se tornaram empresas rurais. Estas mudanças ocorreram devido ao aumento do profissionalismo, de investimentos em tecnologia, além de visão empresarial e mercadológica que não se percebia em períodos anteriores com tanta frequência.

A grande transformação sofrida principalmente pela cadeia produtiva agroindustrial do leite acabou influenciando também outras atividades que tiveram que adaptarem-se à nova estrutura produtiva, novas regulamentações e a necessidade de maior eficiência para a sobrevivência da atividade. A consolidação destas mudanças juntamente com a ampliação do mercado e estabilização da economia, permitiu o crescimento de outros produtos como o leite de cabra.

Com o notável crescimento da intensificação da produção de leite de cabra, a melhoria genotípica dos rebanhos e o aumento de tecnologias aplicadas ao sistema produtivo, grandes mudanças puderam ser percebidas como, por exemplo, a utilização de ordenhas mecânicas e tanques de expansão. Além do aspecto produtivo, tem-se verificado, para a cadeia de leite de cabra, uma intensa transformação relacionada à legislação sanitária, marketing, coleta granelizada, produção de leite em pó, dentre outros (SEBRAE, 2005). Um bom exemplo foi o surgimento de linhas de leite com coleta granelizada que

reduziu a responsabilidade do produtor de produzir e comercializar o leite, tendo sido um fator de transformação do agronegócio da caprinocultura leiteira. O surgimento de empresas especializadas na compra do leite de cabra acelerou a profissionalização da atividade, uma vez que o produtor passou a ter que seguir normas e exigências estabelecidas pela integração com a agroindústria.

Nestas condições, a empresa rural deve ser vista sob o enfoque sistêmico, apresentando os efeitos causados por mudanças fora do sistema de produção; abordando toda ou parte da cadeia produtiva. E, ao se fazer a adoção de inovações tecnológicas, deve-se considerar o possível aumento de custos e os riscos a ela associados, sendo imperativo uma análise de custo/benefício.

A produtividade deve ser avaliada considerando-se os diversos fatores de produção como reprodução, qualidade do leite, carne ou pele, volume de produção, sanidade, qualidade da forrageira utilizada, genótipo, condições ambientais, manejo (crescimento das cabritas, taxa de descarte, etc.), investimento financeiro, instalações e maquinários.

Existe, portanto, a necessidade de ferramentas de tomada de decisão que possam relacionar os diversos fatores de produção, uma vez que mudanças em algum dos fatores produtivos, na maioria das vezes, implicam em alterações na estrutura de composição de rebanhos e, como consequência, nos custos.

Como os mecanismos que regem as atividades agropecuárias, principalmente os relacionados com a atividade leiteira, são, em sua maioria, dinâmicos, complexos e com elevado grau de inter-relacionamento, existe uma dificuldade de compreensão e entendimento por parte do técnico ou produtor, no processo de tomada de decisão.

O sucesso da atividade está relacionado com o processo de gerência pelo produtor e na eficiência do sistema através de redução de custos com natural melhoria nos

rendimentos, manipulação dos fatores de produção e utilização racionais dos recursos disponíveis.

Entretanto, existe uma carência de ferramentas computacionais capazes de simular situações variadas e que correlacione os diversos fatores de produção simultaneamente para que possam ser utilizadas no processo de tomada de decisão com base em custos, rentabilidade e viabilidade técnica.

Uma ferramenta importante para a análise é o uso de modelos vinculados a instrumentos computacionais, que permitam a criação de estratégias de mudanças e a avaliação das mesmas, mediante a observação de seus possíveis efeitos a curto, médio e longo prazo sobre a empresa. Neste contexto a da metodologia de Dinâmica de Sistemas mostra-se interessante como ferramenta de modelagem e simulação de explorações agropecuárias, por incorporar na análise fatores biológicos, físicos, econômicos e sociais, além das defasagens de tempo, tão comuns a esses sistemas.

E com a evolução da caprinocultura, principalmente pelo aumento do agronegócio relacionado à produção de leite, todo esforço necessário para consolidar a atividade e fortalecer sua recente transformação deve ser acompanhado de metodologias que possam servir de base a este crescimento, gerando informações que possam nortear produtores e técnicos no diário processo de tomada de decisão.

## **1.1 Hipótese**

Especula-se que a utilização de um modelo sistêmico, incorporando funções biológicas e componentes econômicos, com base mecanicista, seja capaz de gerar parâmetros suficientes para avaliar pontos de estrangulamento como a viabilidade de um sistema, pré-determinado, de produção de caprinos.

## **1.2 Objetivos**

Construir um modelo de apoio à decisão utilizando a técnica de Dinâmica de Sistema como ferramenta de modelagem e de simulação.

Identificar o impacto na dinâmica e na rentabilidade econômica de rebanhos caprinos leiteiros provocados por modificações no manejo reprodutivo, na qualidade do alimento oferecido, e na idade para o início da vida reprodutiva em cabritas.

### **1.3 Organização do trabalho de tese**

Neste trabalho é abordado a Dinâmica de Sistemas como uma alternativa de pesquisa para o estudo dos sistemas de produção buscando gradualmente uma maior compreensão da dinâmica produtiva e aprendizagem sistemática através da construção de modelos e experimentação simulada. A contribuição da tese consiste em apresentar uma metodologia que auxilie a compreensão de um sistema de produção animal, podendo servir de ferramenta no processo de tomada de decisão.

A dissertação está dividida em seis capítulos sendo o primeiro uma introdução justificando a importância do tema, sendo apresentados a hipótese e os objetivos do trabalho. O segundo capítulo refere-se à revisão dos temas abordados na pesquisa. O terceiro capítulo aborda a metodologia empregada na construção das estruturas de simulação para cada um dos subsistemas presentes no modelo de produção. O quarto capítulo trata dos resultados e discussão das simulações testadas para variações nos aspectos reprodutivos, na alimentação, nas taxas de mortalidade, no manejo de crias e comparação econômica da rentabilidade de dois sistemas. Finalmente as conclusões são apresentadas no capítulo cinco com sugestões para futuras pesquisas. A tese termina com a citação do referencial bibliográfico utilizado.

## **2. Revisão de literatura**

---

---

## 2.1 Pensamento Sistêmico

Ludwing von Bertalanffy criou o conceito de Pensamento Sistêmico (PS) nos anos 60 na tentativa de integrar diferentes ciências para uma visão holística de toda a biosfera, que trata de generalidades ao invés de conceitos específicos (Mulej et al., 2004).

A essência do Pensamento ou Enfoque Sistêmico é a idéia de elementos que interagem e formam conjuntos para realização de objetivos, possibilitando ao usuário visualizar inter-relações ao invés de figuras estáticas (Frank, 2002). Esta abordagem vem crescendo no ambiente das organizações, a exemplo das empresas de produção animal, pela possibilidade de avaliação conjunta dos componentes do sistema, auxiliando no entendimento de seu funcionamento e na solução de problemas complexos causados pela inter-relação existente entre as variáveis que o compõe.

O PS explica que as soluções muito óbvias podem não funcionar, ou apenas melhorar os problemas a curto prazo. No entanto, demonstra que atitudes bem direcionadas podem produzir melhorias significativas e duradouras, desde que atuem no local correto. Esta idéia é fundamental para que se possa efetuar a análise de um sistema de produção, pois, muitas vezes não se sabe ao certo qual é ou onde está sendo o ponto de estrangulamento da atividade. Assim, algumas atitudes imediatistas por parte dos produtores e técnicos podem solucionar o problema momentaneamente, ao invés de considerar uma solução mais a longo prazo.

De acordo com Cusins (1994), cinco fatores podem ser considerados a base para o pensamento sistêmico:

- estreita fronteira é o que delimita o sistema de seu ambiente;
- o ambiente fornece entradas (*inputs*) que ultrapassam os limites dos sistemas;
- dentro do sistema, os processos de transformação utilizam as entradas (*inputs*);

- as entradas (*inputs*) depois de serem transformadas são alocadas para fora do sistema através das saídas (*outputs*) do sistema;
- a direção do fluxo pode indicar fluxos de energia, materiais, informação, animais, pessoas, etc.

Embora os entusiastas do Pensamento Sistêmico possuam um entendimento do sistema como um todo, eles trazem diferentes discussões sobre o que é Pensamento Sistêmico sendo um deles a comparação com o pensamento analítico.

Para compreender o pensamento analítico é preciso: a) quebrar o sistema em partes para ser entendido, b) compreender como cada parte funciona c) agregar o conhecimento das partes no entendimento do todo, resultando em como o sistema funciona (Ackoff, 1994).

Em contrapartida, o Pensamento Sistêmico abrange: a) conceitualização de que, o que precisa ser entendido, é parte do todo, b) busca do entendimento de um sistema maior, c) busca explicar o comportamento e propriedades do sistema em termos da função do sistema como um todo (Ackoff, 1994).

Comumente a forma como o ser humano pensa tende a ser de forma simplificada como uma simples cadeia de causalidade, não tendo o real entendimento dos possíveis efeitos colaterais existentes (Sterman, 1989). O entendimento destes efeitos colaterais também conhecidos como retroalimentação (*feedback*) é um processo básico para o Pensamento Sistêmico (Senge, 1990) e muito importante na prática de análises de políticas e medidas adotadas em um sistema. (Georgiadis et al., 2005; Richardson, 1991; Sterman, 2000).

Enquanto muitos vêem o Pensamento Sistêmico como uma ferramenta eficaz para solucionar problemas (Senge et al., 1994), acredita que seja mais poderosa como uma

língua, construindo e modificando a forma ordinária que se pensa e fala de assuntos complexos.

Uma das formas mais valiosas no uso do Pensamento Sistêmico é a linguagem de Dinâmica de Sistemas, uma vez que muitas das ferramentas utilizadas no Pensamento Sistêmico como *retroalimentações circulares (feedback loops)* e modelagem de fluxos e estoques, são fundamentadas na Dinâmica de Sistemas.

Utilizando o Pensamento Sistêmico pode-se fazer uma avaliação generalizada do sistema produtivo tendo a visão dos pontos cruciais para seu funcionamento, permitindo ao produtor ou técnico tomarem decisões visando uma melhoria conjunta e a longo prazo.

## 2.2 Teoria dos Sistemas

Quando se trabalha com correntes filosóficas como o Pensamento Sistêmico, é importante entender primeiramente o que é um sistema. Com as primeiras discussões a respeito de sistemas, Ludwig von Bertalanffy no final dos anos 30 iniciou uma teoria chamada Teoria Geral de Sistemas que em sua concepção buscou produzir teorias e formulações conceituais para aplicações na realidade empírica.

Bertalanffy dizia que se deve criar todo um esquema de sistemas que se adaptem às teorias de valores e ao pensamento científico e dos enfoques de comportamento institucional. Isto gera uma perspectiva global das ciências sociais que tem permitido o desenvolvimento da teoria sistêmica e formulação de modelos de intercâmbio e atos interpretativos que facilitam a criação da concepção dos processos.

O estudo de sistemas é uma resposta à necessidade de sintetizar e analisar a complexidade, ou seja, quando um problema parece desordenadamente grande, trata-se de buscar uma ordem ou estrutura para simplificar as situações complexas a fim de entender as soluções dentro de um modelo flexível e aberto (Van Gigch, 1978). A justificativa para a utilização da Teoria de Sistemas é fundamentada na compreensão e decisão que irão interferir nas ações e nos acontecimentos direcionados à efetividade do processo ou à relação causa-efeito. Daí sua importância e necessidade no contexto de desenvolvimento dos acontecimentos que devem ser aprendidos pelo ser humano e tratar de explicar e demonstrar a razão de existência (De Miguel, 1993).

Os conceitos gerados pela Teoria de Sistemas foram fundamentais para o entendimento do funcionamento dos sistemas e a compreensão de seu significado.

Existem inúmeras definições para sistemas, e convenientemente todas possuem um mesmo entendimento sobre o tema. Assim, pode-se definir um sistema como um conjunto elementos inter-relacionados (Meadows et al., 1992; Randers, 1980), e caso não haja

interação de algum elemento com os demais, não poderá ser considerado parte do sistema analisado. (Von Bertalanffy, 1986). Um sistema é composto de duas estruturas: elementos que são visíveis, objetos mensuráveis (fluxos) e relações que são conexões existentes entre estes elementos (Meadows & Robinson, 1985).

Pode ser também, uma coleção ou conjunto de objetos integrados de maneira que permitam a busca de um objetivo final (Stanford, 1976), ou um conjunto de partes que compõe um todo claramente delimitado, intimamente ligado ao ambiente que o rodeia e no qual se desenvolve (Espejo & Harnden, 1989).

De acordo com Cusins (1994) e Chiavenato (2004) os sistemas serão sempre subsistemas de algo maior e ao mesmo tempo possuem seus próprios subsistemas formando uma estrutura complexa no qual as saídas (*outputs*) de um sistema são as entradas (*inputs*) de outro e vice versa.

Os sistemas podem ser classificados como:

- Sistemas naturais: criados pela natureza.
- Sistemas artificiais: construídos pelo homem.
- Sistemas abertos ou adaptativos: interagem permanentemente em torno do que os rodeia.
- Sistemas fechados: tem pouca interação com o seu redor.
- Sistemas dinâmicos: mudam constantemente com o tempo.
- Sistemas estáticos: as mudanças ao longo do tempo são muito lentas.
- Sistemas físicos: sua constituição obedece a uma estrutura física identificável.
- Sistemas lógicos: sua constituição obedece a componentes relacionados com idéias.
- Sistemas reais: são reflexos de uma situação existente.

- Sistemas imaginários: correspondem a modelos teóricos apenas para exploração de áreas do saber.
- Sistemas cibernéticos: são sistemas abertos e dinâmicos que possuem um mecanismo interno de controle que os regula.

Todo sistema deve ter a capacidade de se desenvolver em um ambiente, sobreviver com alguns recursos e interagir com diferentes componentes ou subsistemas para obter os resultados desejados.

As propriedades de um sistema podem ser descritas como um conjunto de fórmulas matemáticas mediante um sistema de equações diferenciais simultâneas, de tal forma que, uma mudança em algum valor dentro do sistema irá causar modificação em outros valores e em todo o sistema.

Von Bertalanffy (1986) cria equações e modelos matemáticos simplificados que descrevem a relação de crescimento das partes de um sistema e a competição pelos recursos limitados. Desta maneira, se desenvolve um conjunto de conceitos teóricos dos sistemas baseado em matemática simplificada, colocando sua aplicabilidade em várias esferas de experiência que busca a unificação da ciência. Neste sentido a teoria geral dos sistemas é uma disciplina que desenvolve, prova e demonstra as leis que podem ser aplicáveis em uma variedade de campos.

Bertalanffy fez uma crítica à visão que se tem do mundo, no tocante as várias divisões da ciência (biologia, física, química, etc.). Ele afirma que a teoria de sistemas deve estudar os sistemas globalmente, envolvendo o máximo possível as interdependências existentes. No presente estudo, será avaliado aspectos produtivos, econômicos, gerenciais e biológicos, que irão de encontro ao conceito de Bertalanffy.

## 2.3 Modelo

Um modelo é uma representação abstrata da realidade e ilustra os componentes e relacionais responsáveis por um determinado fenômeno, representa ou descreve algo real. A criação de um modelo tem o propósito de fazer algum tipo de cálculo ou predição de como a identidade irá se comportar (Williams, 2002). É também um conjunto de generalizações e suposições sobre o mundo em busca de clareza e entendimento (O'Regan & Moles, 2001).

Um exemplo seria um quadro ou uma pintura que é uma representação da realidade, mas não pode ser alterada, é fixa, estática, mas continua a descrever algo real, algo tangível. Entretanto, os modelos em questão, devem ser passíveis de manipulação para que possam transmitir algo aplicável, útil, como a possibilidade de explorar uma realidade alternativa ou para explicar porque as diferenças entre realidades acontecem.

Os modelos podem ser mentais e formais. O mental é um conjunto de suposições na mente de uma única pessoa, enquanto um modelo formal é escrito em palavras ou em equações matemáticas e linguagem computacional (Meadows & Robinson, 1985). Podem ser também físicos (modelo de avião), matemáticos (equação) ou verbais (como descrição de um procedimento) (Laudon & Laudon, 2006).

Para que seja possível manipulá-los eles devem ser formais e teoricamente embasados. Este talvez seja um dos pontos mais importantes na construção de um modelo, que é a capacidade de enquadrá-lo em princípios lógicos que possam explicar o comportamento da realidade (Williams, 2002).

O propósito dos modelos, segundo Pidd (1996), é auxiliar na tomada de decisão e no controle através de uma representação simplificada da realidade.

As vantagens em se construir um modelo, segundo Williams (2002), podem ser as seguintes:

1. Confrontação: ao invés de apenas generalizações vagas, as suposições serão testadas.
2. Explicação: necessidade de explicar as suposições que foram feitas.
3. Envolvimento: o processo gera lacunas de conhecimento que estimulam o modelador a preenchê-las.
4. Diálogo: a criação do modelo necessita do envolvimento de um grupo multidisciplinar.
5. Aprendizado através do processo de modelagem: o processo contínuo de conceitualização, quantificação, experimentação e aplicação acarretarão no aprendizado do modelador sobre o sistema sendo capaz de extrapolar este aprendizado para o sistema real.

Um bom modelo deve ter base empírica a partir de dados que seja o objetivo do trabalho trazendo informações pertinentes à realidade que se esteja estudando. Deve também estar teoricamente embasado, corroborando com conhecimentos administrativos ou com outro tema de pesquisa, além de coerência para que os elementos que o compõem não contradigam uns aos outros. Por um lado, o modelo deve ser simplificado para que a realidade possa ser modelada e analisada, mas que possa abranger as variáveis importantes para o estudo, mas por outro deve evidenciar a complexidade do sistema, para não diferir muito o predito do real adicionando valor.

### **2.3.1 Tipos de modelos**

Segundo Meadows & Robinson (1985), o trabalho dos modeladores se diferencia pela natureza das relações dos modelos que eles empregam podendo ser:

- Estocástico - os elementos se relacionam através de relações de probabilidade.

As técnicas estocásticas têm sido amplamente utilizadas em vários campos

como, por exemplo, pesquisa operacional, teoria da credibilidade, estatística, biologia e teoria econômica;

- Determinístico – os elementos são relacionados por relações absolutas;
- Contínuo – nenhum passo, salto ou quebra acontece repentinamente, podendo ser representado graficamente por uma suave e contínua linha;
- Discreto – o modelo apresenta limites, descontinuidades ou pontos individuais;
- Linear – a relação no modelo é linear, podendo ser graficamente exemplificado como uma linha reta;
- Não-linear – a relação do modelo não possui comportamento linear;
- Simultâneo – os elementos do modelo se inter-modificam totalmente ou em um período de tempo tão curto que se torna insignificante para o modelo;
- Intervalado – os elementos se inter-modificam após algum atraso de tempo.

Existem também os modelos empíricos ou modelos agregados que não consideram hipóteses associadas de causalidade ou explanação. São baseados apenas em correlações ou associações entre duas ou mais variáveis, sem levar em consideração os mecanismos que controlam o fenômeno.

Por outro lado, modelos mecanísticos (ou modelos teóricos) têm uma hipótese associada ao fenômeno descrito. Esses modelos tentam explicar ou descrever os mecanismos envolvidos, baseando-se nas leis da física, química, bioquímica etc. e servem para o entendimento de processos. A dificuldade em se definir os mecanismos envolvidos nos fenômenos biológicos faz com que a maioria dos modelos propostos seja empírica.

A construção de um modelo físico é relativamente cara e muitas vezes difícil de ser transportado; em contrapartida, um modelo matemático é de simples elaboração com o uso

de símbolos matemáticos e equações para representar as relações no sistema (Roberts, 1982).

Dentro dos modelos formais, os modelos podem ser classificados como Modelos de Eventos Discretos em que cada unidade do sistema (ex. animal) é simulada, e Modelos de Dinâmica de Sistemas que ao invés de simular cada cabra do rebanho, agrega-se um grupo de cabras com características semelhantes em um fluxo com as mesmas propriedades. Outra grande diferença entre os Modelos Discretos é que os modelos de Dinâmica de Sistemas não requerem extenso banco de dados para o desenvolvimento da simulação, podendo valer-se apenas do conhecimento prático do usuário no campo de estudos (Adaikappan, 2005).

Na Tabela 1 se tem algumas características básicas das diferenças entre os dois modelos.

Tabela 1 – Comparação entre os Modelos de Eventos Discretos e os Modelos de Dinâmica de Sistemas.

	Modelos de Eventos Discretos	Modelos de Dinâmica de Sistemas
Necessidade de banco de dados	Alta	Baixa
Característica do modelo	Unidade individual/Sistemas menores	Sistemas inter-relacionados
Nível de detalhamento	Alto (cada animal)	Baixo (fluxo de grupo de animais)
Tempo de rodada	Demorado	Rápido
Tipo de decisões	Operacional	Estratégico
Conceito chave	Eventos Aleatórios	<i>Feedback Loop</i>
Propósito primário	Preditivo	Preditivo, investigativo, educacional.

Fonte: adaptado de Adaikappan (2005)

### 2.3.2 Construção do modelo

A construção de um modelo é um processo sistemático de tentativa e erro e de adequação da realidade conhecida (Ford, 1999), seguindo a premissa de crescente complexidade.

Segundo Roberts (1982) a construção de um modelo passa por algumas fases que são:

- Definição do problema – a primeira fase na construção de um modelo envolve o reconhecimento e definição do problema a ser estudado que seja compatível com a análise sistêmica. A propriedade mais importante dos problemas dinâmicos é que variam com o passar do tempo e as forças que atuam nessa mudança podem ser descritas por causalidades e, estas relações causais, podem conter sistemas fechados de *feedback loops*.
- Conceituação do sistema – a segunda fase do processo de modelagem, é transferir para o papel as relações e influências que se acredita existir no sistema estudado. As três formas mais comuns desta representação são: diagrama de *loop* causal, gráficos de variáveis no tempo e diagramas de fluxo do sistema.
- Representação do modelo – na terceira fase o modelo é colocado em linguagem computacional de acordo com o tipo de programa utilizado.
- Comportamento do modelo – na quarta fase será feita uma avaliação com todas as variáveis contidas no modelo para ver como se comportam ao longo do tempo.
- Avaliação do modelo – na quinta fase vários testes deverão ser feitos para se avaliar a qualidade e validade do modelo. Testes de consistência lógica, comparação entre os resultados obtidos no modelo com algum banco de dados

e testes estatísticos mais completos nos parâmetros dos modelos são algumas verificações que podem ser feitas para checar o modelo.

- Análise de regras e restrições e uso do modelo – na sexta fase do processo de modelagem, o modelo é utilizado para testar regras e restrições alternativas que poderão ser utilizadas no sistema em estudo.

### **2.3.3 Limitações**

Uma vez que um dos objetivos deste trabalho é entender o processo e a estrutura de um sistema de produção, o modelo será passível de limitações como:

- Representar a realidade do capril da Universidade Federal de Viçosa, podendo ser utilizado para outras regiões, desde que, feitas as devidas adaptações referentes aos valores atribuídos a cada variável, para caracterizar bem a nova situação.
- Não foram consideradas todas as variáveis existentes em um sistema de produção, mas apenas aquelas que se mostraram mais importantes para o estudo.
- Não foi feito julgamento das melhores formas de manejo, pois, dentro de um sistema de produção, inúmeras são as possibilidades de ação para que se modifiquem as variáveis de decisão, enfatizando as limitações de recursos que os produtores possuem, servindo apenas como ponto de partida para a tomada de decisão.

## 2.4 Modelagem

O termo modelagem é utilizado quando se faz uso de modelos para ilustrar uma situação ou objeto, ou o simplesmente a prática do ato de modelar.

Embora o campo de modelagem computacional só tenha aparecido há poucas décadas, existe um grande número de distintos métodos de modelagem que inclui a programação linear, a análise de *inputs* e *outputs*, a econometria, a simulação estocástica e a Dinâmica de Sistemas. Todas estas escolas de modelagem compartilham conceitos comuns sobre propriedades de sistemas, processos de modelagem, o uso do computador e o papel da modelagem na tomada de decisão (Meadows & Robinson, 1985).

Segundo Sterman (2000) são importantes os seguintes passos para o processo de modelagem (Figura 1):

### 1. Articulação do problema

- Seleção do assunto: qual é o problema? Porque é um problema?
- Variáveis chaves: quais são as variáveis chaves e conceitos deve-se considerar?
- Horizonte de tempo: quanto tempo no futuro deve-se considerar? Quanto tempo no passado o problema se fundamenta?
- Definição dinâmica do problema: qual é o comportamento histórico das variáveis e dos conceitos chaves? Qual deve ser o comportamento no futuro?

### 2. Formulação da hipótese dinâmica

- Criação da hipótese inicial: quais são as teorias sobre o comportamento do problema?
- Foco endógeno: formular uma hipótese dinâmica que explique a dinâmica como uma consequência endógena da estrutura de *feedback*.

- Mapeamento: desenvolva mapas de estruturas causais baseados nas hipóteses iniciais, variáveis chaves, modos de referência e outros dados disponíveis, utilizando ferramentas como:
    - i. Diagrama de modelo
    - ii. Diagrama de subsistema
    - iii. Diagrama de causalidade
    - iv. Mapas de fluxo e estoques
    - v. Diagrama estrutural de regras ou medidas
3. Desenvolvimento de um modelo de simulação
- Especificação da estrutura, regra de decisões.
  - Estimação dos parâmetros, relações comportamentais e condições iniciais.
  - Teste para consistência com propósito e limites.
4. Teste
- Comparação com modos de referência: o modelo reproduz o comportamento do problema de acordo com seu propósito?
  - Robustez sob condições extremas: o modelo se comporta realisticamente quando submetido a condições extremas?
  - Sensibilidade: como o modelo se comporta com a incerteza de parâmetros, condições iniciais, limites do modelo e agregação?
5. Regras de design e avaliação
- Especificação do cenário: em que ambiente irá surgir?
  - Regras de decisão: Quais regras de decisão, estratégias e estruturas serão experimentadas no mundo real? Como elas poderão representar o mundo real?
  - Análise “E SE”: Quais são os efeitos das políticas e medidas tomadas?

- Análise de sensibilidade: quão robustas são as regras e medidas de recomendação sob diferentes cenários e dadas incertezas?
- Interação entre regras e medidas: as regras e medidas se interagem? São sinérgicas ou possuem respostas compensatórias

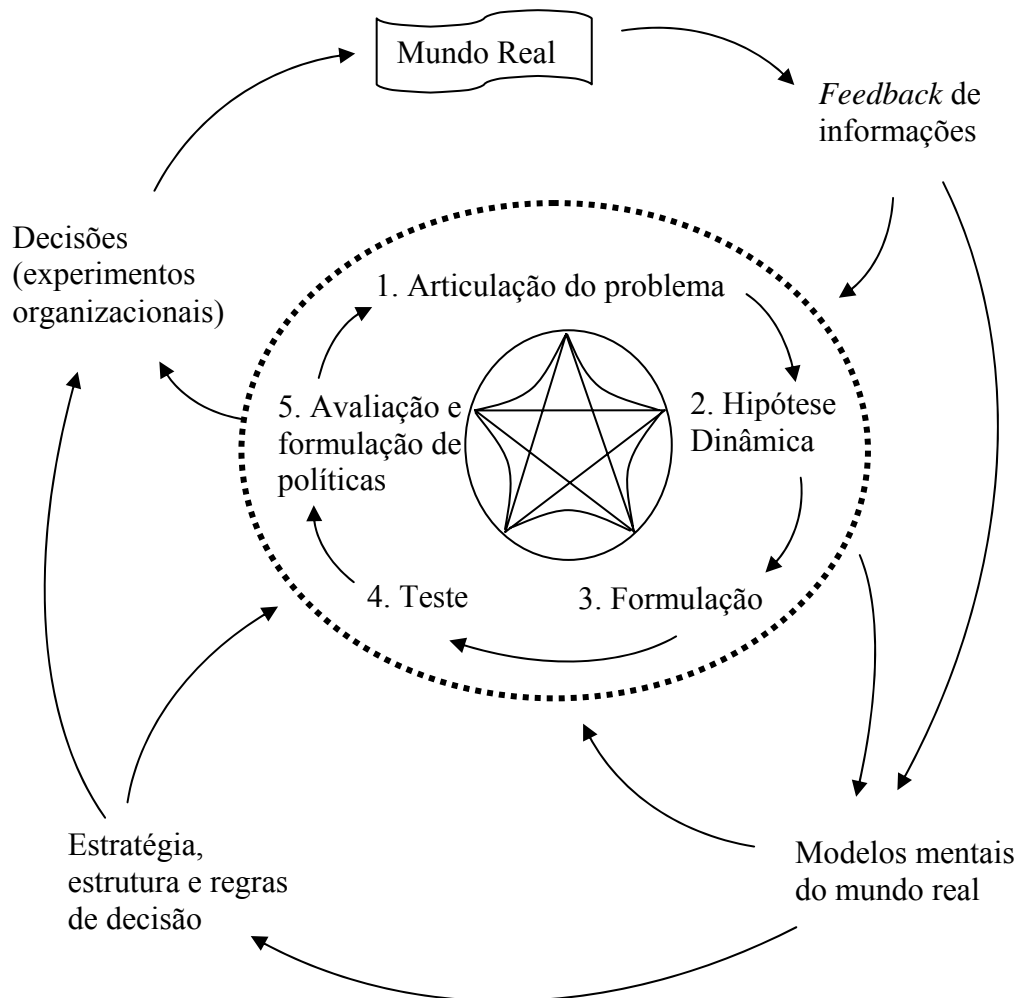


Figura 1 – O processo de modelagem efetiva envolve interação constante entre experimentação e aprendizagem no mundo virtual e experimentação e aprendizagem no mundo real. Fonte: Sterman (2000)

Os “modeladores” compartilham basicamente a mesma visão gerencial do mundo, nos quais os problemas podem ser e devem ser ativamente confrontados e não

passivamente suportados. Esta visão gerencial não faz parte apenas do mundo de modeladores, mas também, da maioria dos engenheiros, homens de negócios, cientistas e políticos (Meadows & Robinson, 1985).

Outro ponto importante que se pode colocar é a comparação de um modelo com um laboratório de aprendizagem. Ao se fazer uso da modelagem é importante ter em mente o que se pretende aprender do modelo. O processo de modelagem ajuda a detectar inconsistências e conflitos de suposição, estratégias e normas ajudando a construir um modelo que caracterize os limites, formato da estrutura e comportamento do sistema.

## 2.5 Dinâmica de Sistemas

A teoria que embasa a Dinâmica de Sistemas (DS) considera que todo sistema, não importa quão complexo seja, consiste em uma rede de retroalimentação positiva e negativa e que, toda dinâmica, inicia-se da interação dos *feedback loops* uns com os outros (Sterman, 2000).

O propósito principal desta metodologia é melhorar o aprendizado e o entendimento de sistemas complexos (Sterman, 2000).

### 2.5.1 Origem da Dinâmica de Sistemas

Os primeiros trabalhos na área de Dinâmica de Sistemas foram realizados pelo engenheiro e cientista computacional, Jay W. Forrester, no *Sloan School of Management* no *Massachusetts Institute of Technology* – MIT, quando em 1956, começou a aplicar os princípios do controle de *feedback* a problemas de gerenciamento de corporações (Forrester, 1989).

A Dinâmica de Sistemas é uma metodologia e técnica de modelagem que utiliza conceitos de simulação dinâmica e que possui, como objetivos principais, o entendimento e discussão de modelos complexos, visando o conhecimento e detecção de pontos frágeis e fortes dos modelos na solução de problemas. Na DS foram adaptados conceitos aplicados à engenharia de controle de *feedback*, na análise de problemas ligados à economia, à sociedade, e às organizações empresariais (Forrester, 1961).

Desde a sua criação a abordagem de Dinâmica de Sistemas vem experimentando momentos de maior destaque e de esquecimento na comunidade científica. Nas décadas de 60 e 70 a DS foi muito utilizada no desenvolvimento de modelos destinados à resolução de problemas relativos à recursos ambientais e processo de tomada de decisão na grandes corporações (Adaikappan, 2005). O trabalho desenvolvido pelo Clube de Roma gerou o

trabalho chamado “Os limites para o crescimento” que recebeu grande destaque (Meadows et al., 1972). Com uma capacidade computacional limitada, os modelos desenvolvidos na época eram difíceis de embasar com dados e os resultados obtidos foram frequentemente questionados e rejeitados por um período de aproximadamente quinze anos.

A abordagem de Dinâmica de Sistemas incentivou inúmeros debates, na tentativa de firmar sua utilização e de sua importância como ferramenta gerencial. Apenas nos anos 90 com o trabalho de Peter Senge intitulado “A quinta disciplina: a Arte e Prática do Aprendizado Organizacional”, com a introdução dos conceitos do comportamento sistêmico e da dinâmica dos arquétipos, que a abordagem de DS foi recolocada perante a comunidade de pesquisa e foi novamente introduzida nas organizações.

Este destaque recebido fez com que houvesse um maior interesse nos chamados sistemas suaves ou abordagem qualitativa como um conjunto de ferramentas que representasse e explicasse todo o leque de problemas que poderiam ser estudados na DS. A abordagem qualitativa de DS detalha os chamados mapas e modelos mentais baseados na *expertise* e conhecimento dos profissionais em conceituar e encontrar soluções para problemas de estratégia dentro de toda a complexidade existente (Coyle, 2000; Senge, 1990).

O programa chamado Dynamo foi o primeiro a ser utilizado nos modelos de DS. Com a redução dos custos computacionais e o aparecimento de linguagens computacionais mais amigáveis, com interfaces de fácil utilização (exemplo Powersim, Stella, Vensim, Ithink), criou grande oportunidade para a expansão da DS. Desde então, aplicações em diversas áreas como engenharia, biologia, agricultura, saúde, economia, ciências sociais dentre outras, vem ampliando o espaço da DS junto à comunidade científica, tornando os modelos mais acessíveis e transparentes (Hannon & Ruth, 1994; Ruth & Hannon, 1997).

O caráter dinâmico dos sistemas implica na contínua modificação ao longo do tempo e é onde os modelos conceituais precisam ser desenvolvidos para poderem representar adequadamente os sistemas complexos e dinâmicos. Segundo Forrester (1961), a análise pontual dos elementos de um sistema, não é capaz de mostrar quais as atitudes devem ser tomadas para melhoria, enquanto que uma análise das inter-relações desses elementos possibilitaria uma visão holística e capaz de perceber a realidade e as necessidades do sistema.

Uma característica muito importante é que a DS não se preocupa com comportamentos individuais, e sim, com um grupo de indivíduos com umas mesmas características. O propósito desta agregação é focar nos efeitos de *feedback* ou retroalimentação de políticas e medidas adotadas, além do comportamento dinâmico, de sistema que considera um grupo ao invés de um único indivíduo (Adaikappan, 2005).

A DS assume uma visão do todo em uma organização focando no comportamento dos projetos e suas relações com estratégias gerenciais (Sonawane, 2004). Mostra-se apropriada onde os problemas são dinamicamente complexos, devido aos processos de *feedbacks* e soluções que requerem uma visão a longo prazo (Vennix, 1996), sempre sujeitos a defasagem de tempo (Cover, 1996). Esta defasagem é o intervalo de tempo que separa um problema de seus sintomas, e, segundo este mesmo autor, a defasagem está presente em todos os sistemas de *feedback* e quanto maior, mais difícil de aprender e resolver um problema.

A Dinâmica de Sistemas permite utilizar modelos mentais para entender as inter-relações existentes entre os componentes de um sistema, fornecendo uma excelente ferramenta de suporte ao treinamento estratégico na tomada de decisão (Larson, 2005).

Apesar de tantas vantagens apresentadas pela metodologia, Pidd (1992) descreve duas questões que levam alguns acadêmicos a serem céticos quanto ao valor da DS.

Primeiro consideram muito ambiciosa a abordagem revolucionária para o gerenciamento de empresas, feita em *Industrial Dynamics*, por Forrester.(1961). O autor a julga como uma “abordagem mecanicista”, o que considera ser um fator limitante para os administradores. Segundo, consideram que a Dinâmica de Sistemas possui pouco refinamento e acurácia, resultado de técnicas de integração matemática que acabam por gerar aproximações, o que é inaceitável para alguns puristas.

Contudo, do ponto de vista de aprendizagem organizacional, a DS tem sido usada de tal forma, que o objetivo principal não é a simulação exata do comportamento dos sistemas organizacionais, mas, sim, a possibilidade de avaliar os padrões de comportamento do sistema como um todo, seus inter-relacionamentos e influências, visando melhorar o entendimento dos responsáveis pela tomada de decisão (Richardson, 1994).

O sucesso que as aplicações da metodologia de DS vêm alcançando é inquestionável. Desde os famosos modelos urbanos e globais de Forrester e Collins nos anos 60 e 70, aos “simuladores gerenciais” usados nas grandes corporações ao redor do mundo, que a Dinâmica de Sistemas vem provando seu potencial como ferramenta auxiliar em várias áreas do conhecimento.

É uma ferramenta muito útil na compreensão de fenômenos complexos, sob uma lógica sistêmica que apresentam relações circulares de causa e efeito e circuitos de retroalimentação (*feedback*) e atrasos (*delays*).

A filosofia fundamental da Dinâmica de Sistemas é baseada na premissa de que o comportamento é causado principalmente pela estrutura camuflada, não tão óbvia à primeira vista. Esta idéia pode ser descrita em três passos básicos: identificação de objetos e variáveis importantes, tangíveis ou intangíveis, que sejam responsáveis por gerar um comportamento observado, identificação das relações de causa-efeito e construção de um

modelo quantitativo que inclua e faça a ligação dos *feedback loops* de causa-efeito analisando o sistema com um todo.

A modelagem utilizando a Dinâmica de Sistemas torna mais fácil representar e compreender modificações no comportamento de sistemas complexos. Além de uma representação simples, baseada em estoques, fluxos e retroalimentações. A ótica da modelagem de DS consiste em representar um sistema complexo como um conjunto de elementos interconectados e suas relações, mostrando estes elementos e relações de forma mais realista que outras técnicas de modelagem (Wolstein, 2002).

Quando se combina dados produtivos e econômicos, com resultados, extraem-se uma infinidade de relações entre variáveis, respostas inesperadas de interações, possibilitando identificar *feedback loops* essenciais para modelar a estrutura do sistema, servindo efetivamente de ferramenta aos tomadores de decisão. Na Figura 2 está uma exemplificação do processo de modelagem dentro da Dinâmica de Sistemas.

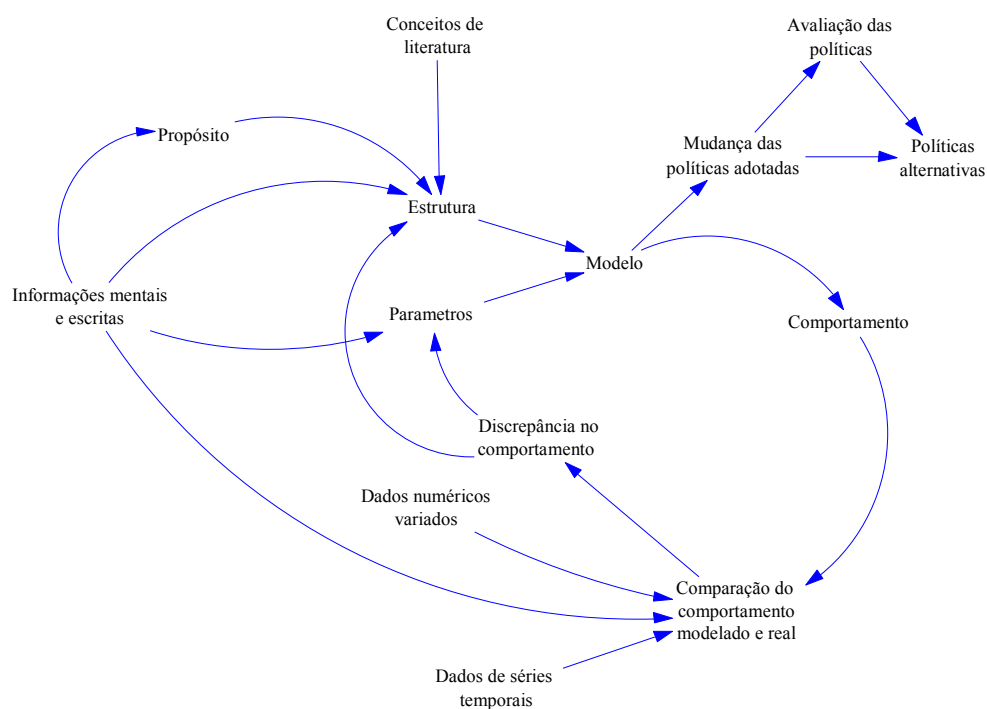


Figura 2 – Processo de modelagem utilizando a Dinâmica de Sistemas (Sterman, 2000)

A figura mostra que, a partir de informações mentais e escritas, é possível criar uma estrutura com parâmetros determinados, para que se faça a construção do modelo. Essas informações também são importantes para se comparar o comportamento modelado ao mundo real, juntamente com dados numéricos variados e dados de séries temporais.

A Estrutura que se desenvolve é função do Propósito do trabalho, das Informações e Literatura existentes. No modelo, que é função da estrutura e dos parâmetros, serão criadas políticas de modificações que poderão ser avaliadas pelo comportamento ou resposta do sistema. As políticas ou medidas adotadas serão avaliadas para entender o impacto dentro do sistema. Esse processo é fundamental na modelagem para que se crie uma seqüência lógica e consistente no desenvolvimento do modelo.

Os grupos que trabalham com Pensamento Sistêmico e com Dinâmica de Sistemas têm procurado integrar a abordagem de sistemas e o conceito do pensamento de *feedback* nas abordagens analíticas tradicionais com o uso de dados experimentais sintéticos, para facilitar a obtenção dos mesmos.

A possibilidade de criação de modelos computacionais mais complexos e com inúmeros cálculos simultâneos reforçam a utilização da metodologia. O entendimento de um sistema produtivo de caprinos, fazendo-se uso apenas de modelos mentais seria impossível, pois, algumas variáveis podem ser modificadas no momento presente e só ser possível perceber mudanças algum tempo depois (*delay*) ou dependendo da interação, provocar um *feedback* inesperado, potencializando ou prejudicando o objetivo inicial da alteração. Um exemplo são as variações de composição corporal dos animais que altera o balanço energético, gerando reflexos sobre tanto no comportamento produtivo de leite e carne quanto na reprodução.

## 2.6 Softwares e funções

Os pacotes de softwares existentes possibilitam inúmeras vantagens a seus operadores, mas, por outro lado, podem criar uma falsa impressão para os iniciantes que o processo seja muito simples, superestimando suas reais habilidades e modelos, sem verdadeiramente entender o real paradigma.

A facilidade pela qual os modelos podem ser sobrecarregados é outro problema muito comum em Dinâmica de Sistemas. Tanto a filosofia quanto o propósito geral do método requerem simplicidade e transparência, apesar de nem sempre se conseguir esta desejada simplicidade.

No mercado existem inúmeros programas disponíveis tais como Vensim<sup>®</sup>, Stella<sup>®</sup>, PowerSim<sup>®</sup> e Ithink<sup>®</sup>. Apesar de apresentarem particularidades na forma de construção dos modelos, a estrutura e o conceito utilizados são praticamente os mesmos.

### 2.6.1 Vensim

Depois de escolhida a metodologia de Dinâmica de Sistemas para condução do estudo, o programa Vensim, produzido pela Ventana Systems<sup>®</sup>, foi escolhido por ser um programa gratuito com funções suficientes para desenvolvimento do trabalho. O programa utiliza uma satisfatória interface gráfica e símbolos que representam elementos do processo. Os símbolos são usados para gerar rapidamente modelos de Dinâmica de Sistemas, pela criação de relacionamentos que representem algum processo.

Em virtude das razões apresentadas anteriormente, o Vensim foi uma ferramenta utilizada para ajudar o planejamento gerencial, rastrear e predizer respostas de sistemas, diferentemente das abordagens tradicionalmente utilizadas, pela incorporação dos *feedback loops* da Dinâmica de Sistemas.

### 2.6.2 Diagramas de *loop* causal

Um típico estudo em DS inclui diagramas de *loop* causal (DLC) ou diagramas de influência, para gerar um entendimento explícito do problema e identificar relações entre os componentes da estrutura. O uso dos diagramas de influência pode ser para:

- Rapidamente capturar a hipótese de trabalho sobre as causas da dinâmica;
- Obter e capturar os modelos mentais individuais ou de grupos;
- Elucidar as importantes retroalimentações (*feedbacks*) que possam ser responsáveis por um problema.

O *feedback loop* é uma estrutura básica nos sistemas, sendo os níveis (estoques) e as taxas (fluxos) as variáveis fundamentais que a compõem. Os chamados níveis, descrevem o estado do sistema em um período particular, enquanto que as taxas, a velocidade de mudança dos níveis. Os diagramas que representam o *feedback loop* também são chamados de diagramas de *loop* causal ou diagramas de influência. Estes diagramas mostram como os níveis e as taxas estão interconectadas para produzir *feedback loop* e como os estes estão interconectados para criar o sistema. Os diagramas causais indicam como um dado sistema deve comporta-se devido à sua estrutura de *feedback* e os efeitos positivos e negativos que os *feedback loops* possuem sobre o sistema. Assim, os diagramas circulares podem ser utilizados para: extrair hipóteses sobre causas de dinâmica, elucidar e facilitar a criação de modelos mentais, além de possibilitar o entendimento das respostas de *feedback* dinâmico dentro de um sistema.

Os *loops* mais importantes são evidenciados pelo Indicador de *Loop* (Figura 3) que mostra quando o *loop* é de *feedback* positivo (reforço) ou negativo (equilíbrio). O Indicador de *Loop* acompanha o mesmo movimento das setas do diagrama, indicando a também a direção do sistema.

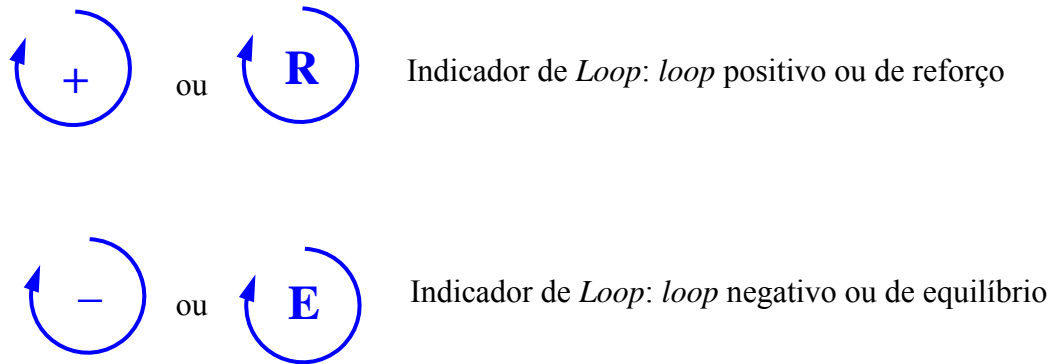


Figura 3 – Algumas formas de representação dos indicadores de *loop* positivos e negativos

Na construção do diagrama, as variáveis são relacionadas com *links* causais, representadas por setas. A cada link causal é atribuído uma polaridade, podendo ser positivo (+) ou negativo (-) para indicar o tipo de relação existente entre as variáveis. Taxa é o fluxo de material ou informação de ou para algum nível. Alguns exemplos são taxas de nascimento, mortalidade, investimento, etc. (Meadows & Robinson, 1985). Na Figura 4 a taxa de natalidade influencia a População de forma direta e com uma relação positiva.

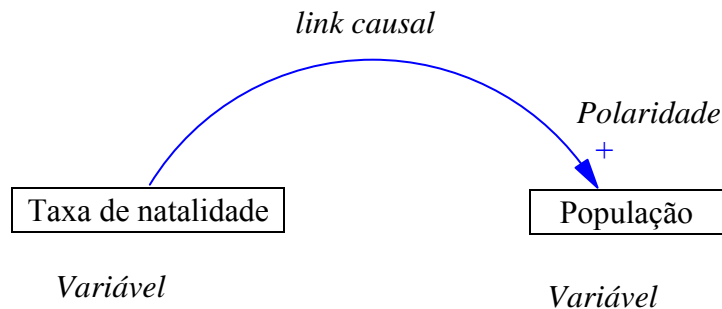


Figura 4 – Exemplificação de um link causal e polaridade no início da construção de um DLC.

Um link positivo (Figura 4) significa que quando se aumenta a causa de um dos processos, o efeito sofre também um aumento e, de forma análoga, uma redução na causa acarretará na redução dos efeitos por ela sofridos. Como forma de exemplificar estas relações, considere o exemplo anterior em que um aumento na fertilidade irá aumentar a


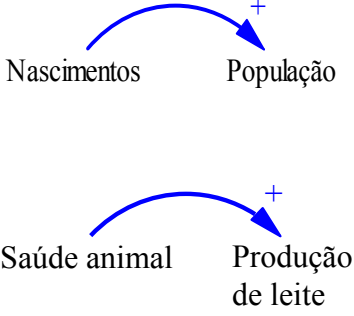

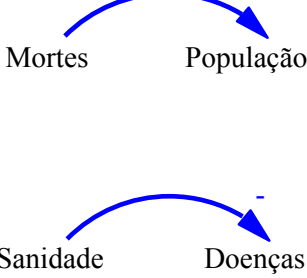
Taxa de Natalidade, promovendo um decréscimo na Fertilidade que causará uma redução na Taxa de Natalidade.

Um link negativo significa que, quando se aumenta a causa de um dos processos, o efeito sofre redução e, por outro lado, uma redução na causa, acarretará no aumento dos efeitos por ela sofridos. Como forma de exemplificar estas relações, considere o exemplo anterior em que um aumento no Tempo médio de vida irá reduzir a Taxa de Mortalidade, e de forma semelhante existindo um decréscimo no Tempo médio de vida, causará um aumento na Taxa de Mortalidade.

Vale ressaltar que os *links* descrevem apenas a estrutura do sistema e não o comportamento das variáveis, ou seja, os *links* descrevem o que aconteceria SE alguma modificação fosse feita no sistema.

Na Tabela 2 estão presentes exemplos de link, bem como a representação matemática das relações existentes entre variáveis.

Tabela 2 – Representação da simbologia da polaridade dos links, definições e exemplificação.

Símbolo	Interpretação	Matematicamente	Exemplos
	<p>Considerando tudo mais constante, quando o valor de X aumentar (diminuir), o valor de Y irá também aumentar (diminuir). Considerando acumulações pode-se dizer que X adiciona em Y.</p>	<p><math>\partial Y / \partial X &gt; 0</math></p> <p>Em caso de acumulações,</p> $Y = \int_{t_0}^t (X + \dots) ds + Y_{t_0}$	
	<p>Considerando tudo mais constante, quando o valor de X aumentar (diminuir), o valor de Y irá diminuir (aumentar). Considerando acumulações pode-se dizer que X subtrai de Y.</p>	<p><math>\partial Y / \partial X &lt; 0</math></p> <p>Em caso de acumulações,</p> $Y = \int_{t_0}^t (-X + \dots) ds + Y_{t_0}$	

Fonte: adaptado de Sterman (2000)

Um diagrama causal consiste em variáveis conectadas por setas, criando causalidade entre as elas. Neste diagramas, os *feedback loops* também são representados como na Figura 5. Para todos os diagramas de *loop* causal deve-se sempre seguir uma lógica de causalidade, para que, as relações sejam entendidas como possíveis e pertinentes. As relações ou correlações entre as variáveis refletem o comportamento do sistema e não a estrutura do sistema. Isso ocorre porque, caso alguma medida/ação seja tomada, poderá acarretar em rearranjo de correlações entre variáveis, sendo que o modelo irá refletir apenas as relações entre variáveis inicialmente determinadas.

Na Figura 5, o *loop* positivo ou de reforço constituído pela Taxa de natalidade e População é representado em sentido horário, assim como o Indicador de *Loop*, enquanto o *loop* negativo ou de equilíbrio constituído pela Taxa de mortalidade é representado em sentido anti-horário, assim como o Identificador de *Loop*.

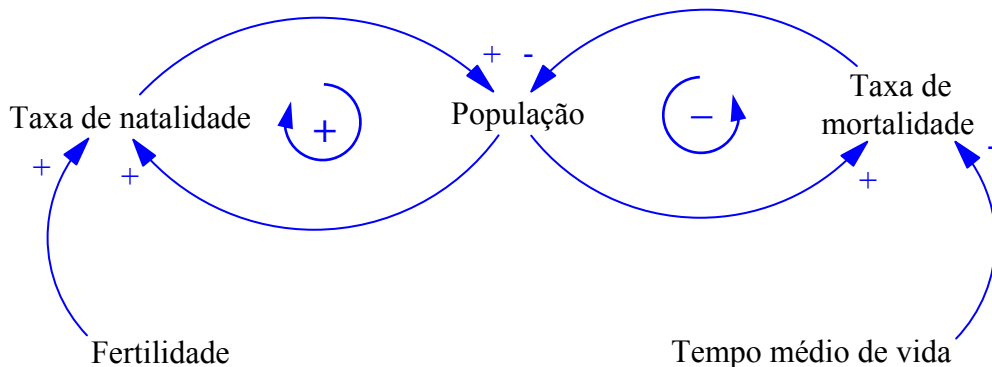


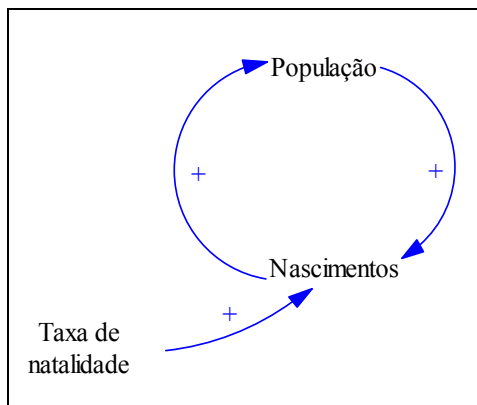
Figura 5 – Exemplo de um completo Diagrama de *Loop* Causal enfatizando a importância do uso dos sinais de polaridade e dos indicadores de *loop* para compreensão do comportamento do sistema.

### 2.6.3 Diagrama de Fluxo de Sistemas

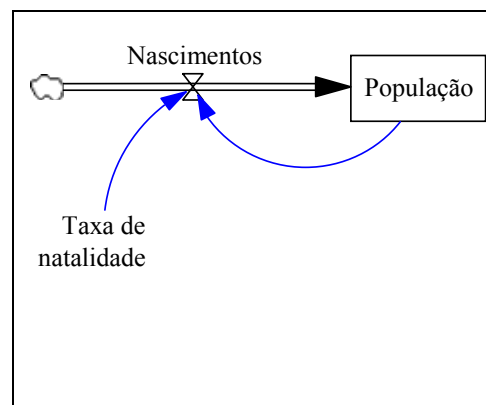
Após o entendimento da relação existente entre as variáveis através do DLCs, o passo seguinte é efetuar a construção do modelo na forma que o programa possa trabalhar matematicamente as relações estabelecidas previamente, sendo criados os Diagramas de Fluxo de Sistemas (DFS), nos quais são utilizadas as ferramentas presentes nos programas de simulação.

As inter-relações entre variáveis podem ser representadas através de diagramas de influência, como o mostrado na Figura 6a. Essa estrutura pode ser representada por meio de um diagrama de fluxo de sistema conforme a Figura 6b. Então se traduz esse diagrama através de uma linguagem própria aplicada ao método, onde se estabelecem equações para as variáveis em questão (Figura 6c), o que torna possível a simulação do comportamento

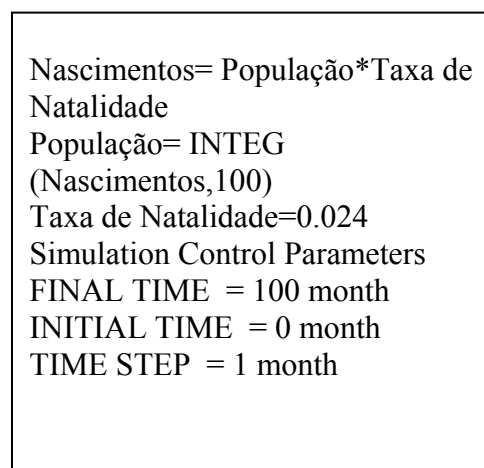
do sistema e a verificação de seu comportamento no tempo, caso as condições iniciais permaneçam as mesmas ao longo da simulação. Isso pode ser visto através do comportamento da variável população (Figura 6 d). Nesta simulação a população inicia-se com 100 indivíduos. O número de nascimentos é dado pela taxa de nascimentos vezes o nível populacional, onde a taxa de nascimentos é uma constante igual a 0,024. A cada intervalo de tempo  $dt$  o estoque de população é aumentado pelo fluxo de número de nascimentos.



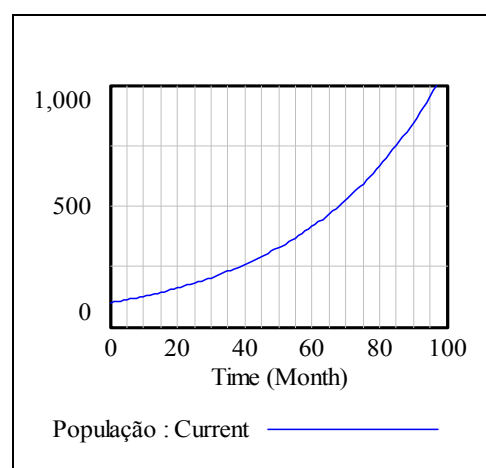
a) Diagrama de influência



b) Diagrama de estoque e fluxo



c) Equações da modelagem



d) Comportamento da variável população

Figura 6 – Diagrama de influência, estoque e fluxo, equações utilizadas na DS e gráfico representativo do crescimento da população para 100 anos.

Os ambientes de simulação que abordam a Dinâmica de Sistemas utilizam quatro estruturas básicas na construção dos modelos: estoques, fluxos, conectores e auxiliares. Na Figura 7 mostra-se a linguagem gráfica do software VENSIM®, para simbolizar estas estruturas. A simbologia apresentada não apresenta grandes alterações em outros softwares de DS, tais como Stella®, PowerSim® e Ithink®.

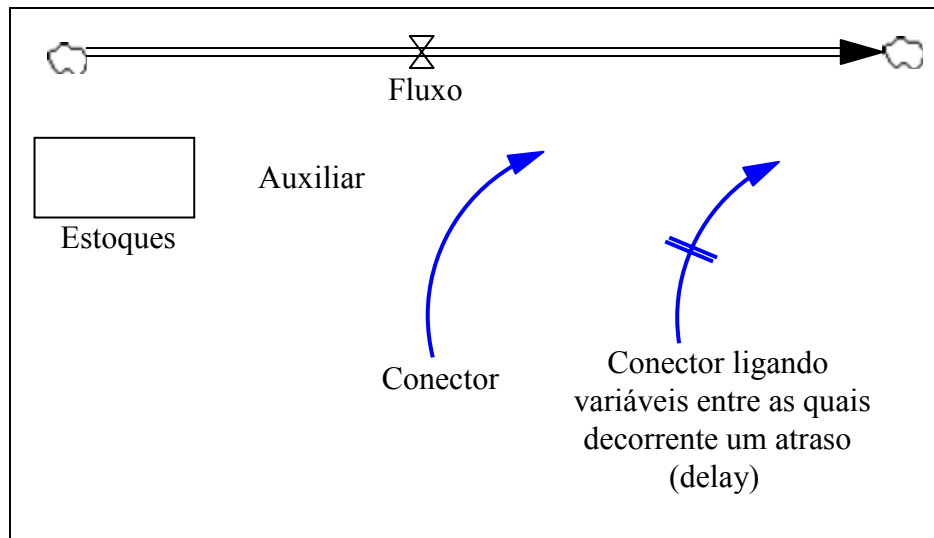


Figura 7 - Simbologia utilizada na modelagem de DS com base no software VENSIM®

Os estoques (ou variáveis nível) são acumulações, ou seja, são quantidades medidas em um determinado período de tempo. Os estoques asseguram o estado atual do sistema. Um exemplo de estoque é o número de cabras em lactação que se acumula em um sistema de produção animal. Estoques (níveis) são utilizados para representar tudo que se acumula ao longo do tempo.

Os fluxos podem conectar os estoques ou podem introduzir elementos que estão fora do ambiente do sistema representados pelas nuvens (simbolizada por ☁). As nuvens funcionam com fontes de onde os elementos entram no sistema ou como coletor de onde os elementos saem do sistema. Tanto as fontes como coletores possuem capacidade infinita tanto de fornecimento quanto de recebimento.

As taxas dos fluxos entre os estoques ou entre os estoques e o ambiente, são reguladas pelas válvulas (simbolizadas por  $\bowtie$ ). Fatores que afetam as válvulas são provenientes de informações, tanto internas quanto externas ao sistema. Eles podem controlar o sistema diminuindo a velocidade de transporte do fluxo, causando atrasos e aumentando a acumulação nos estoques. O contrário também pode acontecer quando o fluxo é aumentado no sistema, causando uma redução rápida nos níveis dos estoques. Fluxos podem ser representados como a ação de alimentar e esvaziar os estoques (ex. nascimento→entradas, e mortes→saídas). Dessa forma pode-se dizer que os fluxos implicam em mudanças que podem ser definidas em quantidade por unidade de tempo. A quantidade de cabras em lactação que sai do compartimento de lactação para ocupar o compartimento de cabras não lactantes é um exemplo de fluxo que altera um estoque. Assim, todo sistema em mudança pode ser representado usando estoques e fluxos.

Os conectores são utilizados para estabelecer relações existentes entre variáveis do modelo, como se fossem os responsáveis por carregar informações de um elemento a outro, podendo ser essas informações, uma quantidade, uma constante, uma relação algébrica ou gráfica. Representam fundamentalmente as relações de “o que depende de que”, tornando-se muito importante a direção das setas.

As variáveis auxiliares possuem seus valores baseados em outros componentes do sistema ou outras variáveis. São usadas para armazenar valores constantes ou manipular e converter dados de entrada (*inputs*), através de cálculos auxiliares por intermédio de equações, gerando valores de saída (*outputs*) para uso em outra variável.

A Figura 8 apresenta um exemplo utilizando o Vensim como plataforma de modelagem, identificando algumas características:

1. As caixas representam os estoques (Cabras Gestantes, Cabras em Lactação);
2. A seta de linha dupla representa o fluxo de animais;

3. A válvula na linha dupla é onde são feitas as restrições do fluxo (no exemplo é o tempo de gestação e o tempo de lactação);
4. O tempo de gestação assim como o tempo de lactação são variáveis auxiliares na construção do modelo.

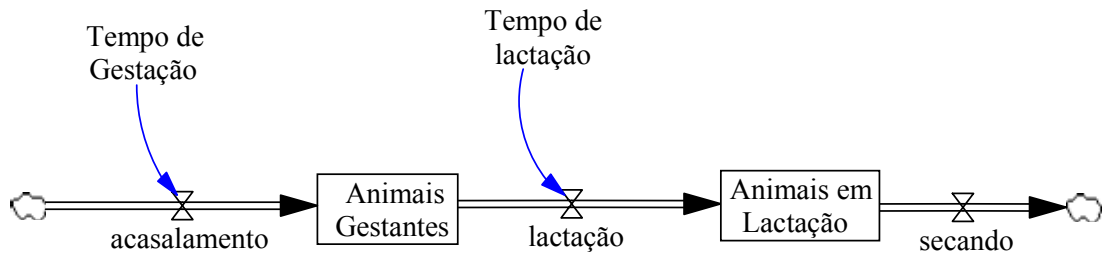


Figura 8 – Exemplo de um Diagrama de Fluxo de Sistema utilizando o programa VENSIM®.

Os estoques acumulam ou integram os fluxos, sendo então a soma das taxas de entrada e saída. Para facilitar o entendimento, tome a Figura 9 abaixo como exemplo.

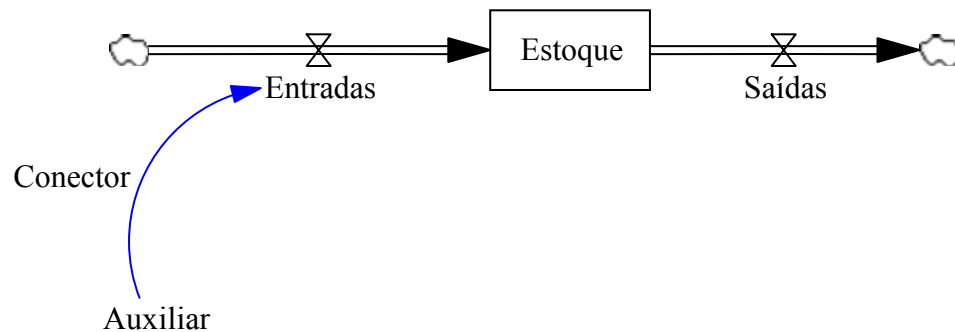


Figura 9 – Representação do estoque, fluxos, auxiliar e conector na Dinâmica de Sistemas.

O cálculo matemático do estoque pode ser descrito como:

$$Estoque(t) = \int_{t_0}^t [Entradas(t_i) - Saídas(t_i)] ds + Estoque(t_0) \quad (1)$$

Onde Entradas ( $t_i$ ) representa o valor das entradas em qualquer tempo  $t_i$  entre o tempo inicial  $t_0$  e o tempo corrente  $t$ . De forma equivalente, mas através de derivada, a taxa líquida de mudança do estoque pode ser calculada como entradas menos saídas, como:

$$\frac{d(\text{Estoque})}{dt} = \text{Variação Líquida Estoque} = \text{Entradas}(t) - \text{Saídas}(t) \quad (2)$$

#### 2.6.4 Sistemas de retroalimentação

Os sistemas complexos no mundo real são altamente interconectados, tendo um elevado grau de retroalimentação (*feedback*) entre os elementos do sistema. Entretanto, alguns modelos não refletem esta realidade e podem, com o tempo, gerar resultados de efeitos colaterais ou atrasos não estabelecidos pelo modelo. Um bom exemplo seria a utilização de antibióticos em um rebanho. Com o tempo haveria uma falsa impressão de que o problema foi sanado. Entretanto, a excessiva utilização dos antibióticos selecionaria grupos de microrganismos resistentes e o problema voltaria a ocorrer e as formas de combate, frequentemente utilizadas, passariam a não surtir efeito pela resistência adquirida dos microrganismos ao medicamento.

Modelos que ignoram os efeitos de retroalimentação são aqueles que utilizam variáveis exógenas influenciando o sistema. Essas variáveis interferem no modelo, mas não são calculadas pelo modelo. São apenas valores dados que não mudam em resposta a uma retroalimentação. Por outro lado, as variáveis endógenas são calculadas pelo modelo e são explicadas dentro da própria estrutura, sobre as quais o modelador possui uma teoria consistente, responsivas aos processos de retroalimentação.

O conceito de *feedback* é primordial na modelagem de Dinâmica de Sistemas. Os sistemas podem ser classificados como abertos ou fechados. Um sistema aberto é

caracterizado por um fluxo de saída que responde a um fluxo de entrada, mas nenhum interfere no outro. O sistema aberto não sofre alterações nem reage a estímulos de seu próprio desempenho, as ações passadas não controlam ações ou reações futuras. Já os sistemas fechados sofrem ação de *feedback* e seu próprio desempenho interfere nos resultados futuros.

O *feedback* refere-se a duas ou mais variáveis que formam um circuito fechado de relações (*closed-loop*), onde a primeira variável influencia uma segunda, que influencia uma enésima variável, que por sua vez influencia novamente a primeira (Fernandes, 2001), ou seja, o sistema é influenciado por seu próprio comportamento.

Um bom exemplo poderia ser um tanque de expansão, no qual existe um termostato e um sistema de resfriamento. Neste caso, o resfriamento entra como *feedback* do sistema, buscando atingir a temperatura desejada. Quando a temperatura do tanque (saída do sistema) está acima da desejada o sistema de resfriamento (entrada do sistema) se liga e resfria o conteúdo do tanque. Na figura 10 tem-se um diagrama deste exemplo.

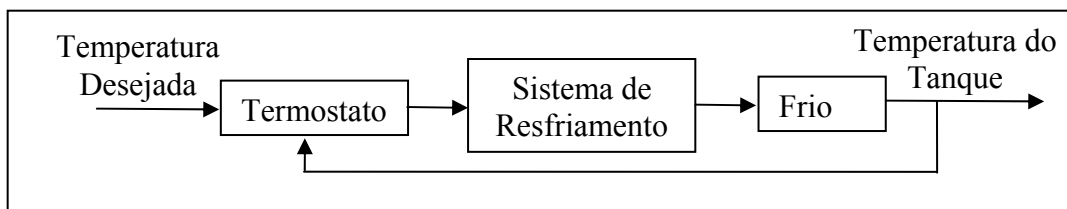


Figura 10 – Controle de retroalimentação de um tanque de expansão.

Analisar os *feedback loops* entre sistemas é uma forma de entender a estrutura e o comportamento dos sistemas. Entretanto, entender o comportamento de um sistema é difícil e trabalhoso, pois se o número de subsistemas aumenta, as inter-relações com os elementos também aumenta, criando uma complexidade dinâmica (Frank, 2002).

Normalmente, os sistemas que utilizam a DS apresentam dois tipos de processos de *feedback*: negativos e positivos. Nos *feedbacks* negativos, as mudanças em algum

componente conduzem a uma resposta oposta, em relação à mudança original, em outro componente, o que cria um ciclo de estabilidade. Nos *feedbacks* do tipo positivo ou de reforço a alteração em um componente leva a uma alteração em outro, que irá reforçar o processo original, levando o sistema a sair de seu equilíbrio. (Sterman, 2000).

#### 2.6.4.1 *Feedback* positivo

Quando o *feedback* é positivo existem ações que reforçam o crescimento do sistema, ou seja, um aumento de uma variável acarreta no aumento contínuo da mesma variável que iniciou o processo. Um exemplo é o crescimento populacional que à medida que número de pessoas aumenta, maior a quantidade de nascimentos, e, quanto maior o número de nascimentos, maior a quantidade de pessoas na sociedade (Figura 11). Se nada interferir ou se a intervenção for menor que a taxa de crescimento, existirá um *feedback loop* positivo indefinido. Esses *loops* positivos sempre amplificam desvios, e reforçam mudanças. As estruturas de *feedback* positivo criam no sistema, divergência entre o objetivo desejado ou estado de equilíbrio.

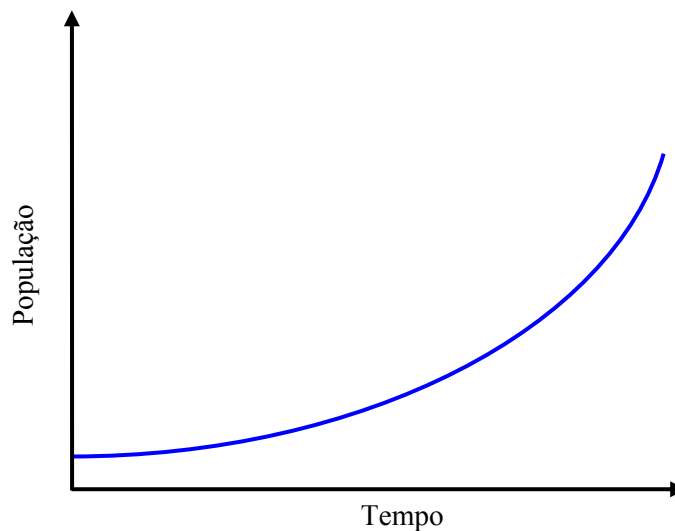


Figura 11 – Crescimento exponencial de uma população devido a um *feedback* positivo.

### 2.6.4.2 *Feedback* negativo

Quando a retroalimentação é negativa, o aumento de uma variável acarreta em algum momento do processo a redução desta mesma variável.

Um exemplo poderia ser os oligopólios, que quanto maior domínio de mercado, maior o número políticas adotadas pelo governo na tentativa de reduzir esse comando, promovendo maior competição. Em outro exemplo, considere um ambiente natural, com uma população de coelhos. Se esta população de coelhos cresce, a quantidade de alimento disponível para seus predadores também cresce, e com isso o número de predadores aumenta no ambiente. Entretanto com o aumento do número de predadores o consumo de coelhos aumenta, reduzindo a quantidade de coelhos disponíveis. Esses exemplos demonstram a característica importante destes processos de serem auto-regulatórios, levando a um balanço ou a um equilíbrio. A retroalimentação negativa se resume na tentativa de atingir um objetivo, caso existam forças que desviem o sistema da meta, o sistema responde buscando sua estabilização (Figura 12).

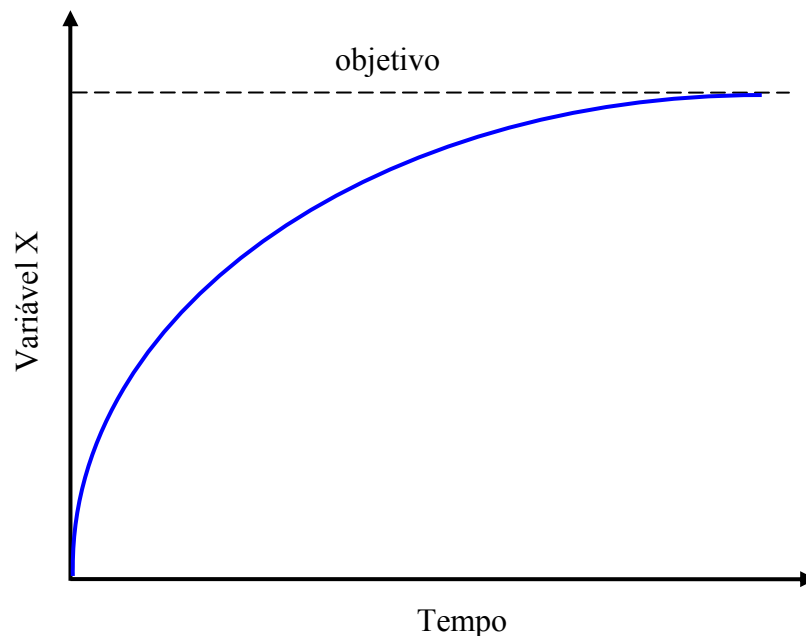


Figura 12 – Crescimento exponencial de uma população devido à retroalimentação negativa.

### 2.6.5 Atrasos

Os atrasos ou *delays* se referem à defasagem de tempo necessário para que uma variável afete a outra. Esse *delay* torna-se necessário uma vez que, no mundo real, a transferência de informações ou mesmo dos fluxos dentro de um sistema de produção sofrem variações no tempo, tanto no envio quanto na resposta.

Os atrasos talvez sejam uma das fontes mais importantes do dinamismo e instabilidade dos sistemas. O *delay* é o tempo necessário para uma ação implementada surtir algum tipo de efeito no sistema, ou seja, a resposta de uma entrada necessita de algum tempo para que se visualize uma saída, um resultado. Se gasta tempo com medição e análise de informações, da mesma maneira que se gasta tempo para tomar decisões e para que estas decisões interfiram no estado do sistema. Os *delays* podem ser de dois tipos: atrasos de material e atrasos de informação.

#### 2.6.5.1 Delay material

O *delay* material é aquele que necessita de tempo para que um objeto ou conjunto de objetos passe de uma etapa à outra dentro do sistema. Um simples exemplo de *delay* material seria a exportação de algum produto do país. Após a mercadoria chegar ao porto, existe um período que ela espera para ser fiscalizada e embarcada. Ou seja, a mercadoria fica esperando a liberação e este é um *delay* de material (Figura 13).

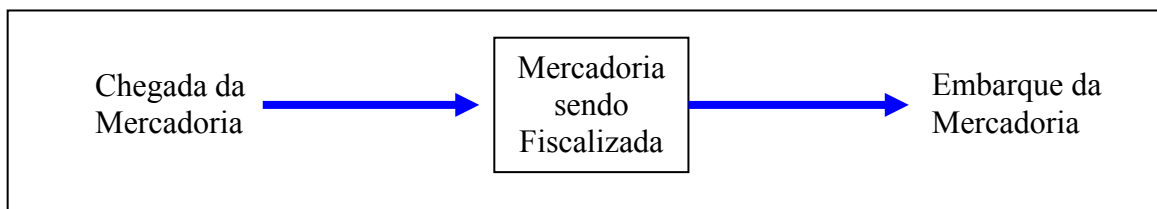


Figura 13 – Exemplo de um *delay* de material em que se demanda tempo para haver a liberação da mercadoria.

No presente trabalho, para os animais passarem de uma condição jovem para uma condição adulta, existe um tempo de crescimento, determinado pela idade que o animal tinge a maturidade, e isto, causará um atraso no fluxo constante de animais devido ao tempo necessário para o crescimento.

### 2.6.5.2 Delay de informação

Alguns atrasos estão vinculados à retroalimentação de informação, por exemplo, na medida ou percepção de uma variável ou atualização de uma resposta. Este tipo de atraso é chamado de atraso de informação. Consome-se tempo para reunir informações necessárias no julgamento de algum assunto, sendo que a mudança de opinião das pessoas não ocorre imediatamente após o recebimento de alguma informação. Pode-se considerar que reflexões e deliberações frequentemente precisam de tempo para ser executadas.

Um atraso de informação consiste em ajustar gradativamente um conceito ou o valor real da variável. A Figura 14 mostra esta estrutura de retroalimentação com expectativa adaptativa que, neste caso, o valor percebido de X é o estoque:

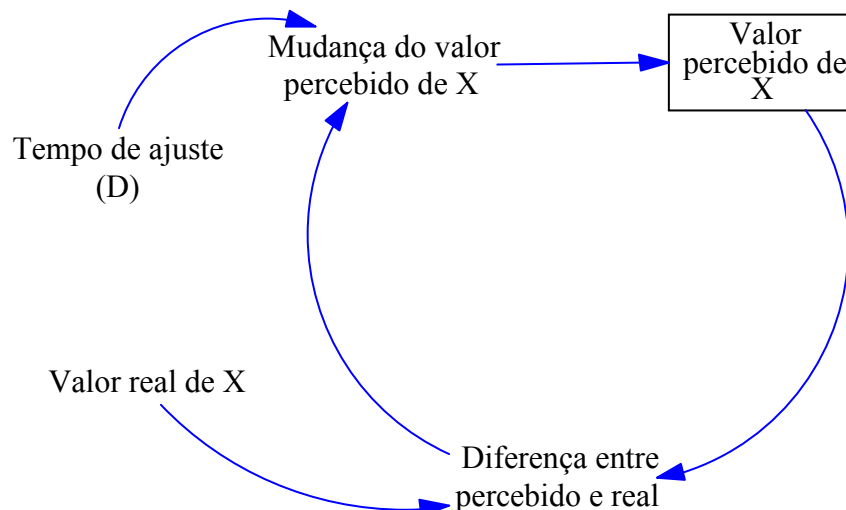


Figura 14 – Estrutura de retroalimentação de expectativas adaptativas. Fonte: adaptado de Sterman (2000)

A taxa de mudança é proporcional à diferença existente entre o valor real e o valor percebido de X dividido pelo tempo de ajuste (D):

$$\text{Mudança no valor percebido} = (\text{Valor percebido} - \text{Valor real})/D \quad (3)$$

O valor percebido ajusta ao valor real na proporção da diferença existente entre percebido e real. O tempo de ajuste é o responsável por determinar a rapidez com que as mudanças são acatadas pelo modelo.

### **2.6.6 Arquétipos**

Uma das peças chaves para o entendimento da Dinâmica de sistemas é a existência de padrões que se repetem e determinam mudanças nos sistemas. Os seres, muitas vezes, se encontram inseridos dentro de estruturas que não conhecem e com as quais precisam aprender a trabalhar. No pensamento sistêmico, sabe-se que determinadas estruturas ocorrem repetidas vezes, os chamados “arquétipos sistêmicos” ou “estruturas genéricas” que são os segredos ou a chave para o entendimento e aprendizado da estrutura da vida e das organizações.

Um número relativamente pequeno de arquétipos se repete em uma grande variedade de situações gerenciais. O seu domínio coloca a organização a caminho da aplicação da perspectiva sistêmica. O propósito dos arquétipos é aguçar a percepção para identificar estruturas em ação e as funções nelas presentes. Depois de identificados, eles sugerem mudanças em alta ou em baixa intensidade. Também os arquétipos são compostos de processos de reforço, processos de equilíbrio e defasagens também chamados de atraso (Riche & Alto, 2001).

A arte do pensamento sistêmico consiste em reconhecer cada vez mais as estruturas complexas e sutis das organizações, em meio a todos os detalhes, pressões e problemas a ela inerentes e presentes em todos os contextos gerenciais. A essência de dominar o

pensamento sistêmico como disciplina gerencial está na identificação de padrões, enquanto os outros, vêem apenas eventos e forças contra as quais reagir (Riche & Alto, 2001)

Os arquétipos mais comumente utilizados segundo Senge (1990) são: Adversários Acidentais, *Loop* de Equilíbrio, Alterando Metas, Escalada, Consertos que Falham, Crescimento e Sub-investimento, Limites para o Sucesso, Transferindo a Responsabilidade, Sucesso para o Bem Sucedido e Tragédia do Recurso Comum. Dentre essas estruturas algumas poderão estar presente na construção do modelo do sistema de produção.

### 2.6.6.1 *Loop* de equilíbrio

O *loop* de equilíbrio se presta a mudar uma situação atual para uma situação desejada ou referência, através de ações. A estrutura pode começar com uma situação atual maior ou menor que a desejada, e pode se aproximar do desejado, tanto sendo maior ou menor. A Figura 15 é um exemplo de como esse *loop* atua, tendo como exemplo um rebanho em crescimento.

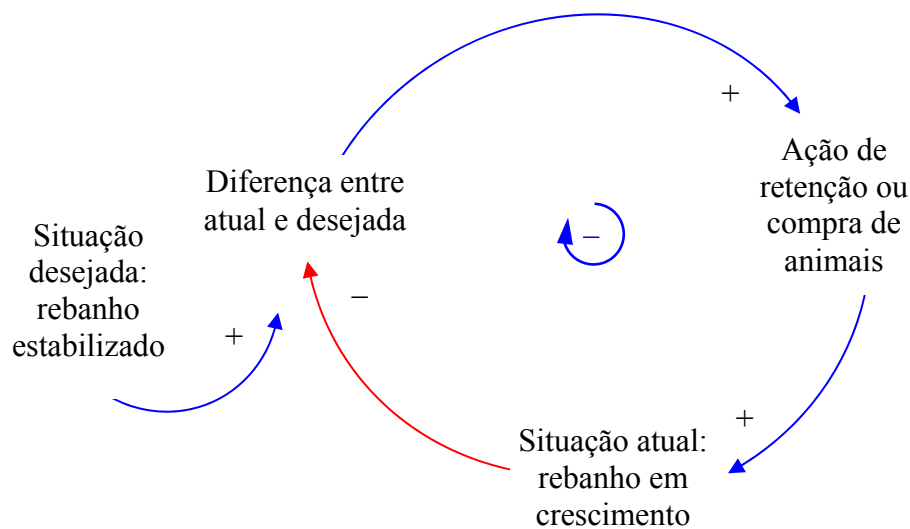


Figura 15 – Exemplificação do arquétipo de *loop* de equilíbrio.

Normalmente, busca-se em uma propriedade, a estabilização dos rebanhos pela maior rentabilidade e facilidade que se gera nesta situação. Desta forma a situação desejada seria um rebanho estabilizado. Todavia, a situação atual do rebanho ainda não é estabilização, estando neste exemplo em crescimento. A diferença entre a situação desejada e atual, desencadeia uma série de ações buscando a condição desejada. Com a ação de retenção ou de aquisição de animais, ocorre o aumento do número de cabeças no rebanho. Este aumento leva a situação atual a se aproximar da desejada, e faz com que diminua a diferença entre elas, até o ponto que se igualam e cessa a ação de retenção e compra de animais.

#### **2.6.6.2 Alterando Metas**

A estrutura de alterando metas é composta por dois *loops* de equilíbrio que interagem de tal forma que a atividade de um *loop* na verdade reprime a pretensão de equilíbrio que o outro busca alcançar. A Figura 16 é um exemplo de como esse arquétipo atua, sendo exemplificado com melhorias na produtividade de um sistema.

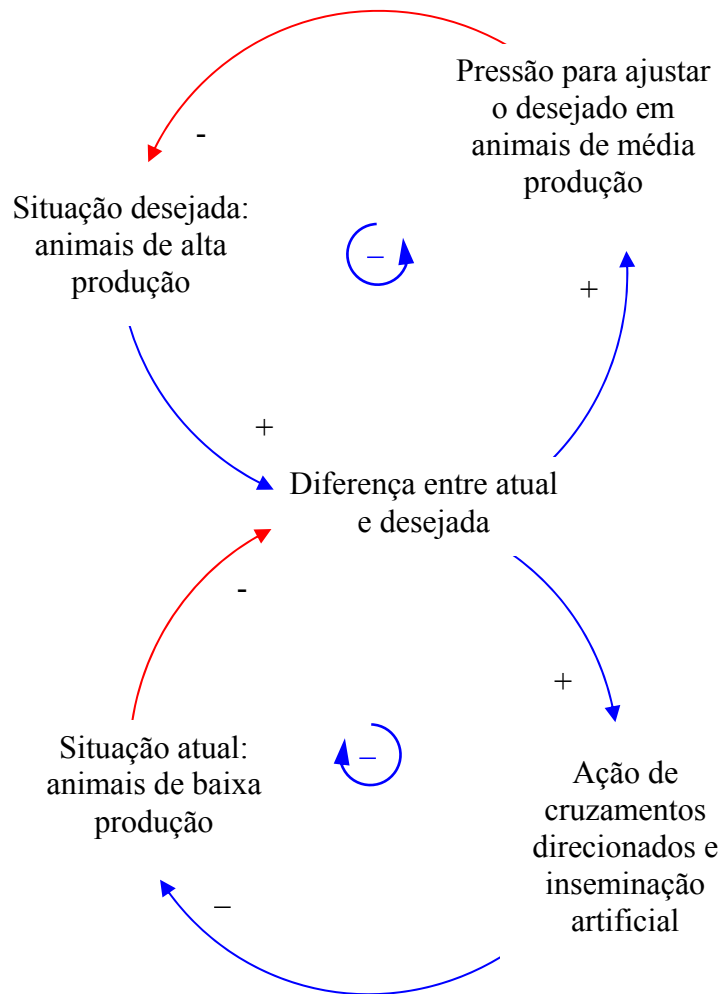


Figura 16 – Exemplificação do arquétipo alterando metas.

A maioria dos produtores possui o objetivo de ter em suas propriedades animais mais produtivos, e que possam proporcionar maiores rendimentos. Esta é uma situação desejada, que contrapõem frequentemente, à situação corrente, que são animais de baixa produção. A diferença entre as duas pode criar duas situações distintas na tentativa de equilibrar o sistema. A primeira pode criar uma pressão que faz reduzir a vontade do produtor em ter animais de alta produção, fazendo-o contentar com animais de média produção, uma vez que os custos e o tempo para outra opção são mais elevados. A segunda opção seria o produtor utilizar de cruzamentos direcionados e inseminação artificial, para conseguir alcançar seu objetivo de ter animais de maior produção. Ambas as medidas tomadas

reduzem a diferença entre a situação desejada e atual criando um equilíbrio e satisfazendo a vontade (real ou forjada) do produtor.

### 2.6.6.3 Escalada

Uma estrutura em escalada é composta por dois *loops* de equilíbrio que interagem de tal forma para criar um simples *loop* de reforço. A Figura 17 é um exemplo de como a escalada atua, tendo como exemplos, o cuidado com os animais jovens e o desenvolvimento dos mesmos.

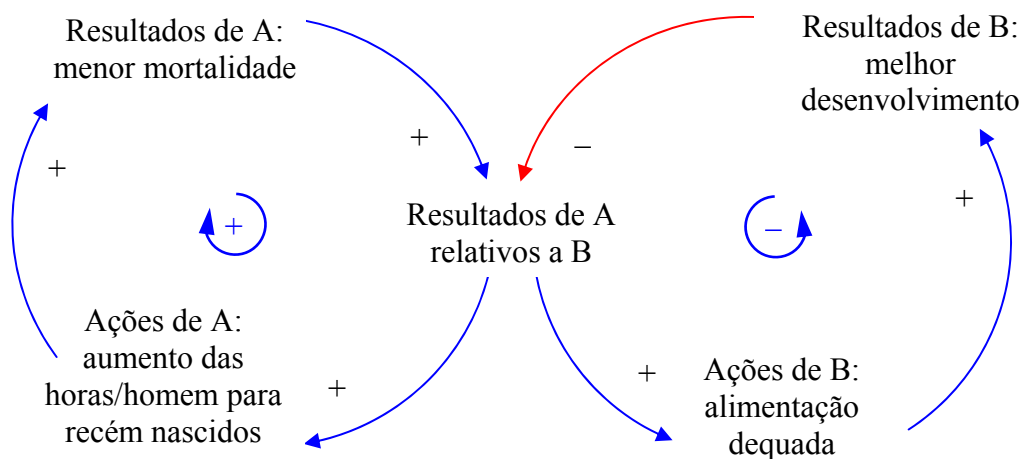


Figura 17 – Exemplificação do arquétipo escalada.

Este outro exemplo de escalada pode ser dado como uma ação de aumento do número de horas/homem despendidas para os recém nascidos. Esta ação gera resultados de redução na mortalidade dos animais fazendo com que os resultados de mortalidade sejam maiores que os resultados de desenvolvimento. Este desbalanço na relação dos dois incentiva ações para fornecimento de uma alimentação adequada que resulta em um melhor desenvolvimento dos animais. Esta situação favorece o equilíbrio dos resultados reduzindo a diferença, que por sua vez influencia o aumento do número de horas/homem, seguindo-se novamente o ciclo.

#### 2.6.6.4 Concertos que falham

A estrutura dos concertos que falham consiste em um *loop* de equilíbrio e outro de reforço. Este dois *loops* interagem de tal forma que o resultado desejado, inicialmente produzido pelo *loop* de equilíbrio, e depois de algum atraso, seja reduzido pela ação de um *loop* de reforço. A Figura 18 é um exemplo de como esse arquétipo atua, sendo exemplificado com mudanças no custo de criação das crias.

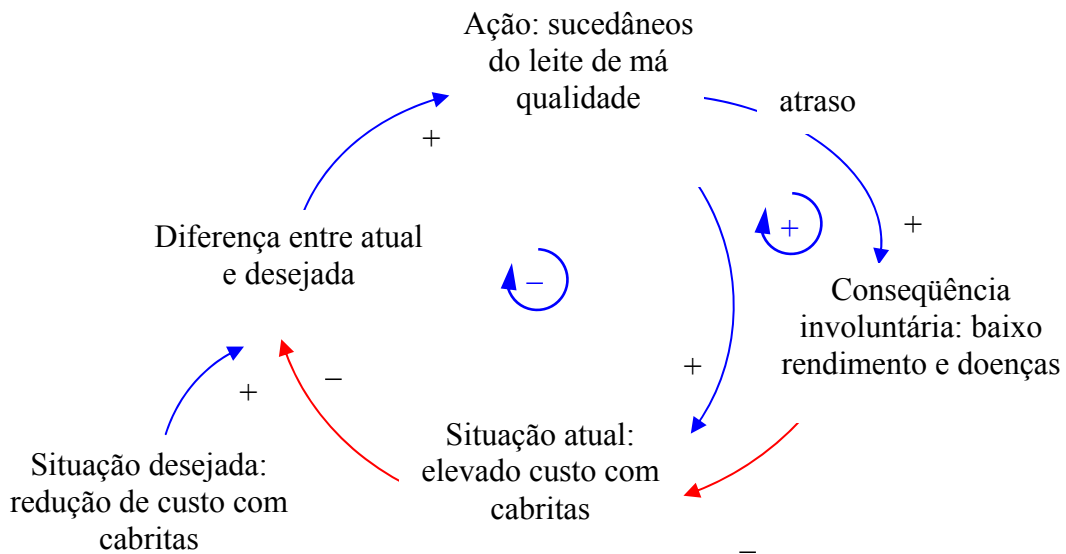


Figura 18 – Exemplificação do arquétipo concertos que falham.

A situação desejada é a redução do custo com a criação de cabritos, contudo, foi considerado que a situação atual fosse de elevados custos, criando um distanciamento entre as duas situações. Este distanciamento ou diferença leva o produtor a buscar alternativas para redução de custo que pode ser, por exemplo, a utilização de sucedâneo do leite de qualidade inferior. Esta ação poderá causar uma redução significativa nos custos, mas em consequência desta atitude, poderão surgir outros problemas como baixo rendimento e doenças pela debilidade dos animais, fazendo com que os gastos com remédios e o menor desempenho aumentem ainda mais os custos com cabritos.

### 2.6.6.5 Crescimento e sub-investimento

A estrutura de crescimento e sub-investimento é simplesmente uma elaborada estrutura de limites de sucesso, em que a Ação Retardadora é parte de outro *loop* de equilíbrio com padrões externos e atrasos. A Figura 19 é um exemplo de como esse arquétipo atua, demonstrando-o através do número de funcionários no sistema de produção.

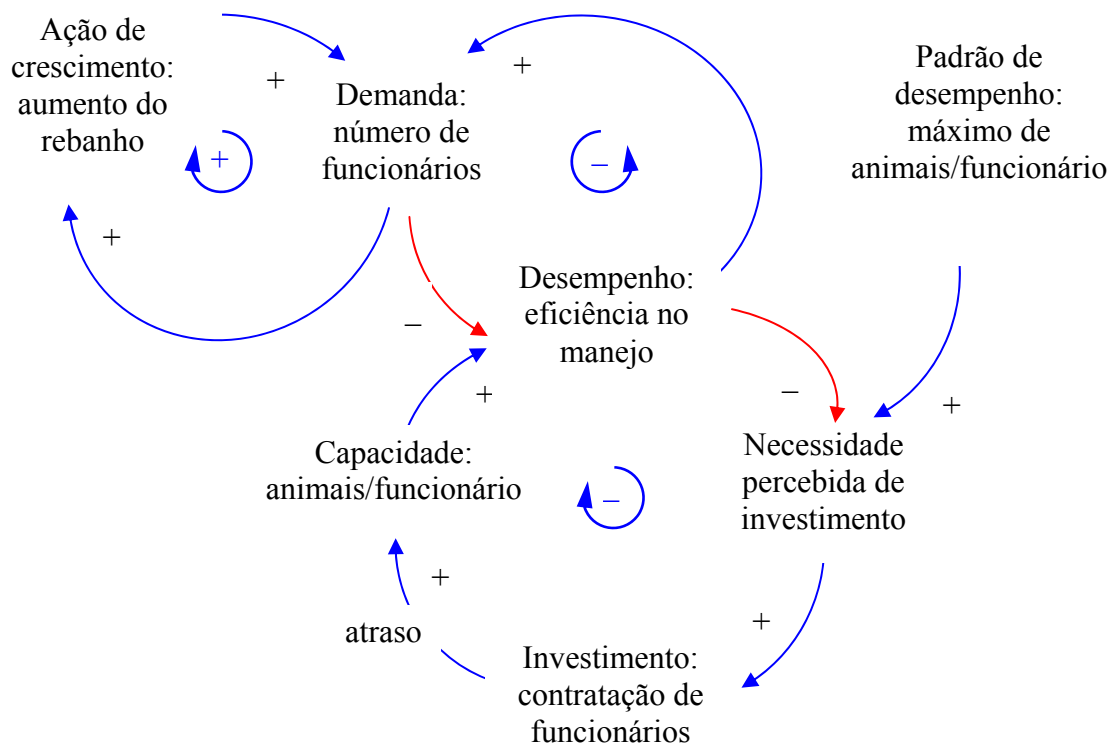


Figura 19 – Exemplificação do arquétipo crescimento e sub-desenvolvimento.

Quando o rebanho está em crescimento existe naturalmente uma demanda para se aumentar o número de funcionários, pois o número de tarefas torna-se maior, necessitando maior atenção. Entretanto como forma de economia, se aumenta a quantidade de funcionários na proporção necessária para acompanhar o crescimento do rebanho. Reduz-se, portanto, o padrão de desempenho e a necessidade ou de contratação de funcionário ou de maior número de horas trabalhadas. Assim, com o aumento da capacidade de animais

por funcionário, o desempenho cai, e, com ele, surge uma série de problemas que possivelmente reduzirão a receita ou aumentarão os custos do produtor, fazendo com que cada vez mais não se faça investimentos em mão de obra.

### 2.6.6.6 Limites para o sucesso

A estrutura de limites para o sucesso é constituída de um *loop* de reforço que após algum sucesso, é suplantado por uma ação de *loop* de equilíbrio. A Figura 20 é um exemplo de como esse arquétipo atua, e sua exemplificação foi feita com os limites de crescimento que um rebanho possui.

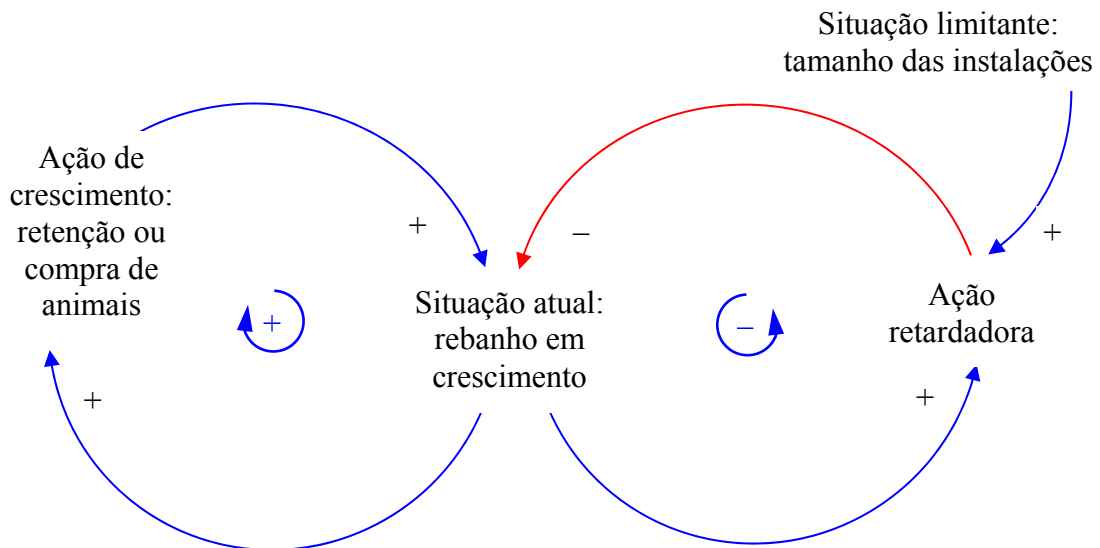


Figura 20 – Exemplificação do arquétipo limites para o sucesso.

Quando o rebanho está em crescimento, a atitude mais comum dos produtores é fazer a retenção ou compra de animais para aumentar o número de cabeças. E esta é uma situação que se auto-alimenta, ou seja, quanto maior o rebanho desejado, maior retenção. Entretanto, mais uma vez, tem-se um fator limitador que é o tamanho das instalações. Este cria limites para o crescimento do rebanho chamado de ação retardadora, que vem na contramão do processo e garante a estabilidade do rebanho em crescimento. A propriedade comporta um número limite de animais sendo este o máximo que o rebanho pode crescer.

### 2.6.6.7 Transferindo a responsabilidade

A estrutura transferindo a responsabilidade é composta por dois *loops* de equilíbrio e um de reforço. Esta é uma estrutura complicada porque os dois *loops* de equilíbrio agem como um *loop* simples de reforço, levando a situação na mesma direção que o *loop* de reforço. Ambas as estruturas terminam movendo o sistema em outra direção da que se gostaria. A Figura 21 é um exemplo de como esse arquétipo atua, demonstrado por problemas de mastite que podem acometer as cabras no sistema.

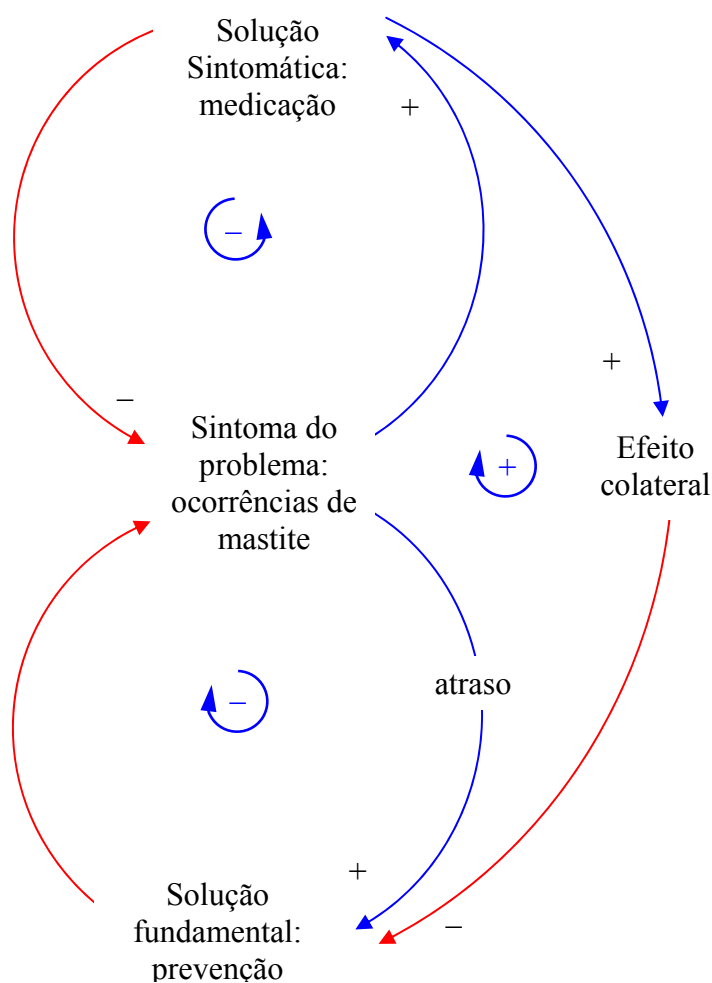


Figura 21 – Exemplificação do arquétipo transferindo a responsabilidade.

Neste arquétipo tem-se como situação sintomática a presença de mastite no rebanho. Existem duas soluções: a primeira é apenas tratar com medicação, e a segunda é buscar a causa dos problemas e resolvê-los. Entretanto pela demora que existe no último processo, o

produtor normalmente só se preocupa em tratar o problema existente. Mas, quanto mais ele trata dos animais, aparece um efeito colateral que é o agravamento da solução fundamental com prevenção, em que se torna mais difícil eliminar as causas reais da mastite. A ação correta seria utilizar ambas as soluções para garantir a rápida recuperação do animal e evitar que novos problemas apareçam.

#### **2.6.6.8 Sucesso para o bem sucedido**

A estrutura de sucesso para o bem sucedido consiste em dois *loops* de reforço que atuam juntos como um simples *loop* de reforço. A Figura 22 é um exemplo de como esse arquétipo atua, e o nível produtivo dos animais é um bom exemplo para esta estrutura.

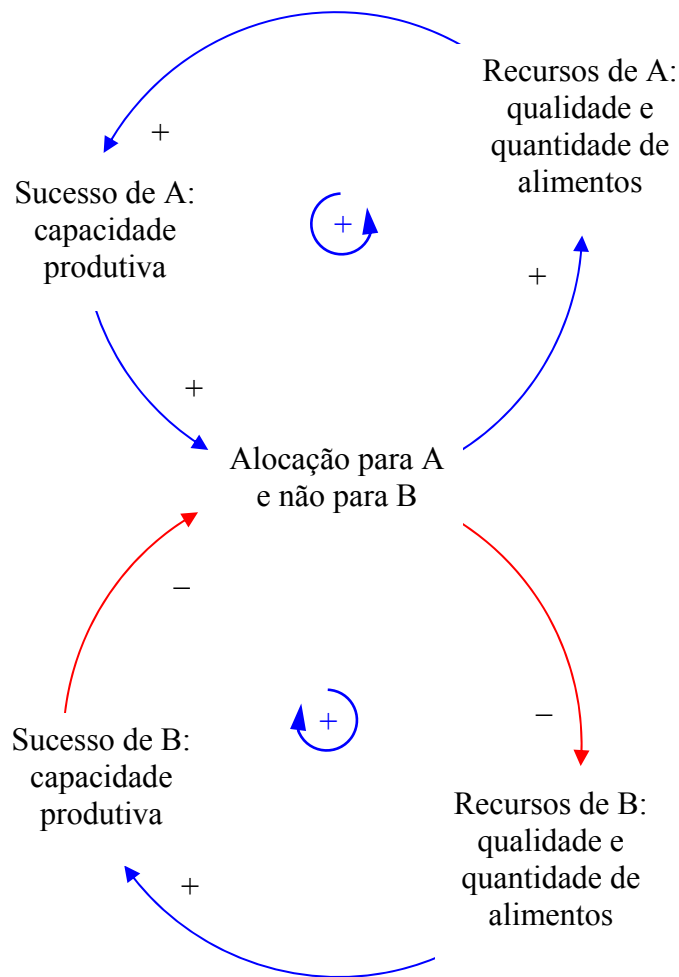


Figura 22 – Exemplificação do arquétipo sucesso para o bem sucedido.

Este é um arquétipo muito interessante, sendo um exemplo claro na produção de caprinos leiteiros. Quanto maior a capacidade produtiva dos animais, maior a qualidade e quantidade dos alimentos que recebem para que possam expressar todo seu potencial. Assim são alocados mais alimentos, pra uma categoria ou baia, do que a outra. A que recebe menos alimentação produzirá menos leite, evidenciando ainda mais a diferença produtiva entre os dois. O aumento desta diferença levará a fornecimentos cada vez melhores para a mais produtiva e cada vez piores para a menos produtiva.

### 2.6.6.9 Tragédia do recurso comum

A estrutura da tragédia do recurso comum representa a situação em que duas ou mais estruturas de reforço são contingenciadas em uma fonte de recursos limitada. A Figura 23 é um exemplo de como esse arquétipo atua, sendo exemplificado com a alimentação fornecida para todos os animais.

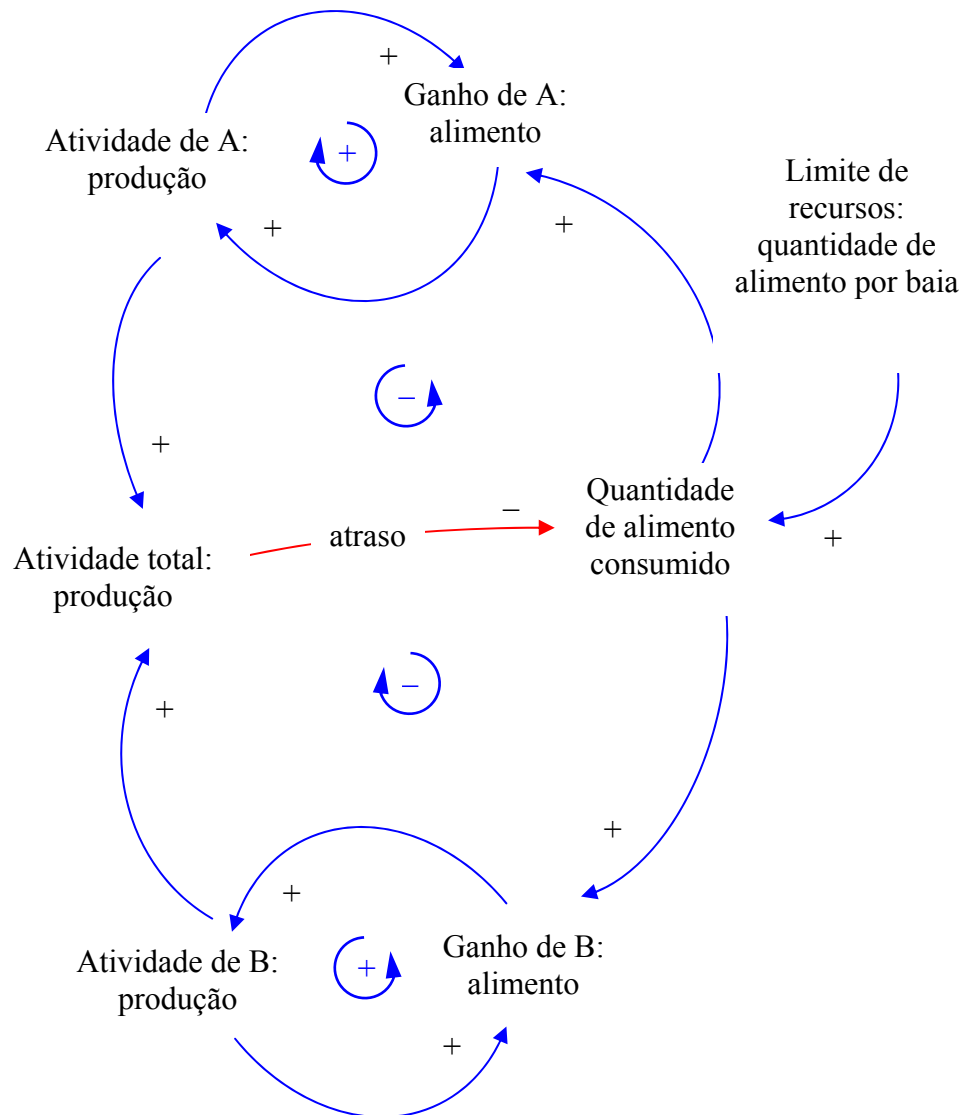


Figura 23 – Exemplificação do arquétipo tragédia do recurso comum.

Quando os animais são alimentados individualmente, o ganho de alimento influencia diretamente a produção deste animal. A produção conjunta de dois animais, considerada a atividade total, interage com o limite de recursos existente que é a quantidade de alimento

por baixa, fazendo com que o ganho de alimento que cada animal recebe seja limitado. Desta maneira todo o sistema é dependente do limite de recurso, e a produção animal é influenciada pela limitação de fatores inerentes ao sistema.

### **2.6.7 Modos fundamentais dos comportamentos dinâmicos**

Depois de exemplificar alguns arquétipos que constituem as estruturas básicas da Dinâmica de Sistemas, essas estruturas irão representar *feedback* de processos, que em conjunto com estoques e fluxos, atrasos de tempo e informação e relações não lineares caracterizam os sistemas dinâmicos. A complexidade dos sistemas advém das interações (*feedbacks*) entre os elementos que o compõem, e não pela complexidade dos próprios elementos. Toda dinâmica vem de interações de dois tipos de círculo de retroalimentação quais sejam, positivo (se auto-reforça) e negativo (se auto-equilibra).

Toda mudança em qualquer sistema pode ter diferentes formas de comportamento e cria padrões comportamentais que irão caracterizar um ambiente. Na Dinâmica de Sistemas existem os modos fundamentais de comportamento dinâmico que podem ser o crescimento exponencial, busca do objetivo, crescimento em S, oscilação, crescimento com sobre-elevação e sobre-elevação com colapso, todos mostrados na Figura 24. Nos sistemas oscilatórios, o estado do sistema é comparado com o objetivo e corrigido até que se reduzam quaisquer discrepâncias. O estado do sistema constantemente eleva-se acima do estado de equilíbrio, oscilando até atingir o ponto ideal. As sobre-elevações normalmente são provenientes de atrasos de tempo de *feedback loop* negativos. Os atrasos de tempo geram ações de correções que continuam até depois que o sistema atinge seu objetivo, forçando o sistema a ajustar demasiadamente criando uma correção em direção oposta.

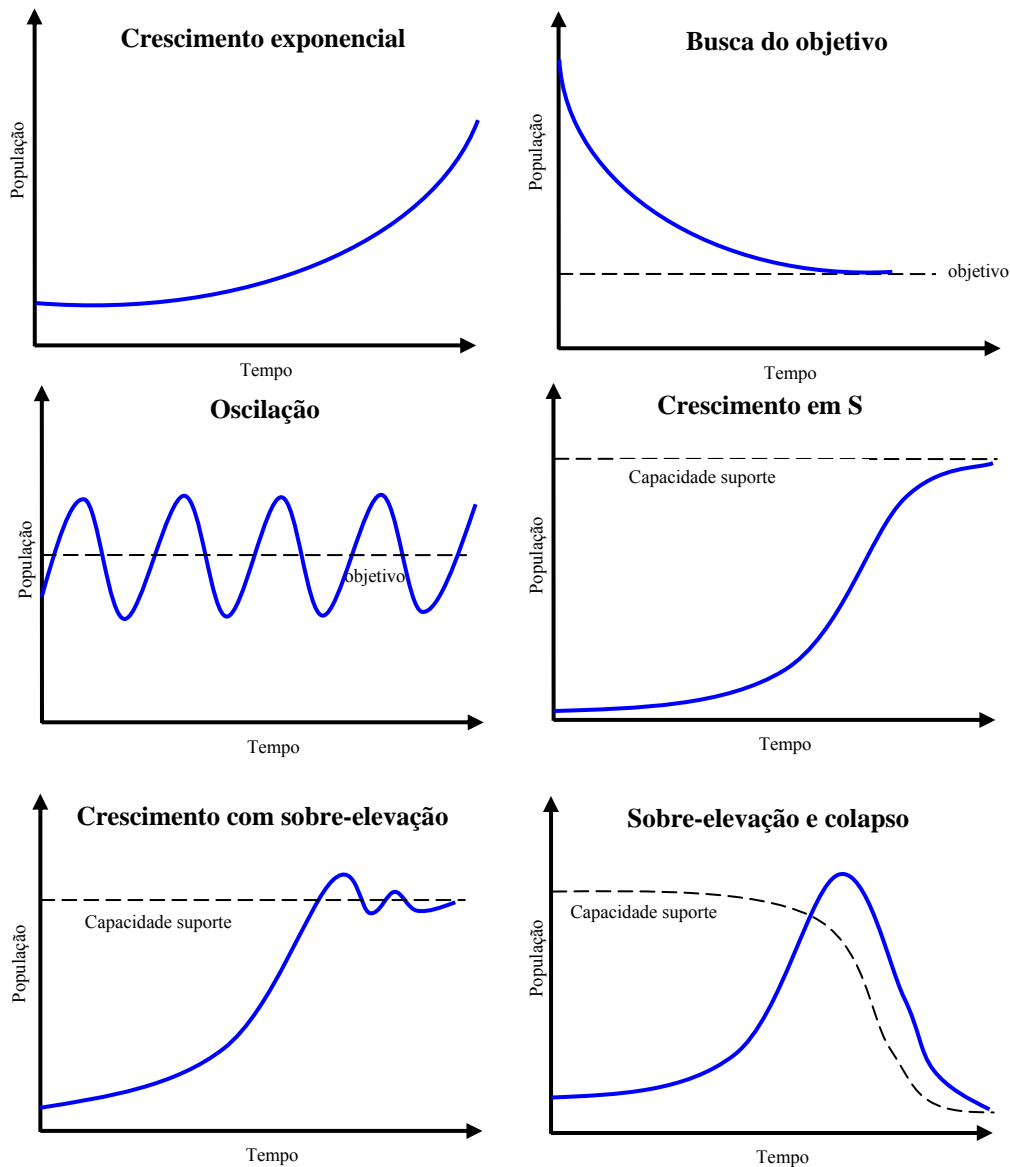


Figura 24 – Padrões comportamentais em sistemas dinâmicos. Fonte: adaptado de Sterman (2000).

Os padrões de crescimento em S, crescimento com sobre-elevação e sobre-elevação e colapso, são provenientes de interações não lineares de estruturas de retroalimentação fundamentais e do fato de que nenhum sistema real pode crescer ou decrescer pra sempre, demonstrando que, eventualmente, alguma restrição interrompe o crescimento.

O princípio que a própria estrutura do sistema gera estes comportamentos leva a uma importante premissa que ajuda modeladores a descobrirem e visualizarem os *feedbacks loops* de um sistema. Sempre que um padrão particular de um sistema é observado, existe

uma estrutura de retroalimentação básica que vem dominando a estrutura dos dados. A observação de que uma variável de interesse sofre flutuações, implica que existe pelo menos um círculo de retroalimentação negativo com atrasos de tempo significativos. Esta identificação ajuda a guiar as pesquisas para uma estrutura específica, ou para um processo de decisão e atrasos de tempo que constitui os círculos negativos.

### **2.6.8 Processo de solução numérica**

Na abordagem de modelagem de Dinâmica de Sistemas, na perspectiva de estoques e fluxos, o tempo é representado continuamente. Os eventos podem ocorrer em qualquer tempo, e mudanças podem ocorrer continuamente e o tempo pode ser dividido em quantos intervalos forem necessários.

Os modelos de Dinâmica de Sistemas podem ser resolvidos numericamente pela aproximação das equações contínuas pelas equações diferenciais. Isto é devido ao fato de que, para todo modelo não trivial, nenhuma solução analítica é conhecida. A integração numérica é a única maneira prática de determinar a solução das equações. Frequentemente, os modelos de Dinâmica de Sistemas utilizam a integração de Euler (abordagem de equações diferenciais) e integração Runge-Kutta. O método de integração numérica deve ser selecionado de forma que seja suficientemente acurado e que o período de tempo entre as sucessivas atualizações do estado do sistema conhecido com  $dt$  ou (variação no tempo) seja suficiente pequeno para que o erro proveniente da integração seja consistentemente pequeno para os propósitos da modelagem. O valor de  $dt$  representa o menor intervalo de tempo sobre o qual uma mudança pode ocorrer. Então  $dt$  determina como as mudanças ocorrerão no modelo. Um  $dt$  elevado implica em mudanças abruptas no modelo, enquanto um  $dt$  reduzido suaviza as mudanças, deixando-as mais contínuas.

## 2.7 Simulação

Originalmente a palavra simular significa imitar, reproduzir. Assim, as simulações utilizam algum tipo de modelo ou representação simplificada em seu desenvolvimento. Um modelo de simulação pode ser físico, mental, matemático, computacional ou a combinação de todos eles (Roberts, 1982).

Alguns exemplos de modelos de simulação computacional é o conhecimento sobre o comportamento de reatores nucleares em acidentes e o treinamento de pilotos para missões de guerra que simula um combate real (Roberts, 1982).

A simulação permite, aos administradores ou tomadores de decisão, a oportunidade de testar diferentes estratégias em um ambiente livre de riscos, uma vez que não envolve nenhum custo produtivo. Esta possibilidade é muito interessante na produção animal visto que os recursos são limitados para pesquisa e o tempo de resposta pode ser longo para satisfazer questionamentos e dúvidas do presente.

De acordo com Sterman (2000), quando a intuição falha, a única saída é utilizar a simulação computacional para deduzir o comportamento dos modelos.

As vantagens em se utilizar programas de simulação de processos podem ser resumidas da seguinte maneira, segundo Adaikappan (2005):

1. Reduzir a complexidade de entender um fenômeno pela eliminação de detalhes que não afetam o próprio comportamento.
2. Fazer previsões dos processos utilizando programas computacionais que, através de modelos, sejam capazes de prever os efeitos de mudanças que ocorram nos projetos.
3. Dar suporte à administração de processo em que o usuário pode utilizar o modelo para avaliar programas alternativos, planejar novos projetos, reduzir custos, rastrear projetos em andamento, ajustar cronogramas, alocar

apropriadamente recursos humanos, conduzir a administração de riscos, reduzir o tempo dos ciclos e analisar projetos já completos.

4. Direcionar a preparação do ambiente para introduzir o novo processo alvo.
5. Dar suporte à execução automatizada, o que permite uma redução de tempo e custo em experimentação. O modelo pode ser considerado um laboratório eletrônico onde o usuário pode se permitir explorar a dinâmica dos programas experimentando diferentes cenários.

A simulação foi criada utilizando as seguintes componentes: estoques, fluxos e variáveis auxiliares (Tabela 3).

Tabela 3 – Componentes de uma simulação de Dinâmica de Sistemas e exemplos dos componentes no estudo do sistema produtivo de cabras leiteiras

Componentes	Descrição	Exemplo no sistema produtivo
Estoques	Acumulações dentro do sistema	Animais em cada categoria
Fluxos	Movimento de conteúdo pelo sistema	Animais passando de uma categoria para outra
Variáveis auxiliares	Ajuda a construção do modelo e afeta as taxas de fluxos	Tempo de gestação, taxa de fertilidade, etc.

### 2.7.1 Simulação de tempo contínuo *versus* discreto

O embate do tempo de simulação entre um evento discreto e contínuo é se os eventos ocorrem em um único ponto no tempo ou se ocorrem gradualmente durante um período determinado. Um evento em um Modelo Discreto (MD) pode acontecer em qualquer ponto no tempo. Entretanto, quando acontece, tudo ocorre de uma única vez, em um único instante. Em Dinâmica de Sistemas, os eventos tanto podem ocorrer em único ponto no tempo, ou ocorrer gradativamente com o passar do tempo.

Os modelos discretos utilizam uma seqüência de eventos ordenados no tempo, que à medida que se sucedem, o próximo da fila é colocado no “jogo”. É como se existisse uma lista de espera para que cada evento pudesse ocorrer. Por outro lado, a maioria dos modelos que utilizam a Dinâmica de Sistemas é tempo contínuo. Isto cria atrasos não triviais na estrutura de *feedback loop* levando, hipoteticamente, à criação de uma dinâmica.

Frequentemente, em modelos de equações diferenciais, o período de tempo é determinado pela frequência com que os dados estão disponíveis (dias, semanas, meses, anos) e a prática de modelagem em Dinâmica de Sistemas consiste em formular modelos com tempo contínuo e, caso existam atrasos em informações, tomada de decisão ou em efeitos de ações, todos estarão explicitamente modelados.

## 2.8 Administração estratégica no contexto da modelagem

Em várias áreas, as ferramentas de suporte à decisão têm sido amplamente utilizadas, com sistemas de informação baseados em computadores combinando modelos e dados na solução de problemas estruturados, com a participação contínua dos usuários (Turban et al., 2002).

No processo de construção de um modelo, os modeladores têm a oportunidade de solucionar contradições e ambigüidades e, fazendo isto, melhorar sua capacidade de criar os modelos mentais de um determinado problema. Adicionalmente, os responsáveis por tomar decisões têm a oportunidade de testar políticas e medidas alternativas, medindo seus impactos sem comprometer o próprio sistema (O'Regan & Moles, 2001).

A tomada de decisão requer um conhecimento claro e explícito dos processos relevantes do negócio em estudo, com soluções alternativas e análise dos impactos em toda a empresa.

Algumas características das ferramentas de tomada de decisão podem ser:

- Ajudam na administração, combinando dados, modelos analíticos sofisticados e programas computacionais em sistemas de apoio à tomada de decisão (Laudon & Laudon, 2006).
- Contêm modelos, fórmulas que em alguns casos transformam dados em informações. Normalmente são construídos sobre a pergunta: “E SE” (Oz, 2004).

Em virtude destas características é que a Dinâmica de Sistemas pode ser considerada uma ferramenta de auxílio à tomada de decisão, tendo também como vantagens a clareza nas inter-relações existentes na complexa estrutura do sistema, a transparência nas suposições presentes no modelo e a facilidade de modificação tanto da estrutura quando das suposições (O'Regan & Moles, 2001).

### 2.8.1 O processo tomada de decisão

Essa seção aborda os fundamentos conceituais e metodológicos do trabalho. Estes fundamentos são conceitos multidisciplinares embasados na economia, administração estratégica, Dinâmica de Sistemas e produção animal. A Figura 25 representa a intersecção dos conceitos empregados neste estudo.

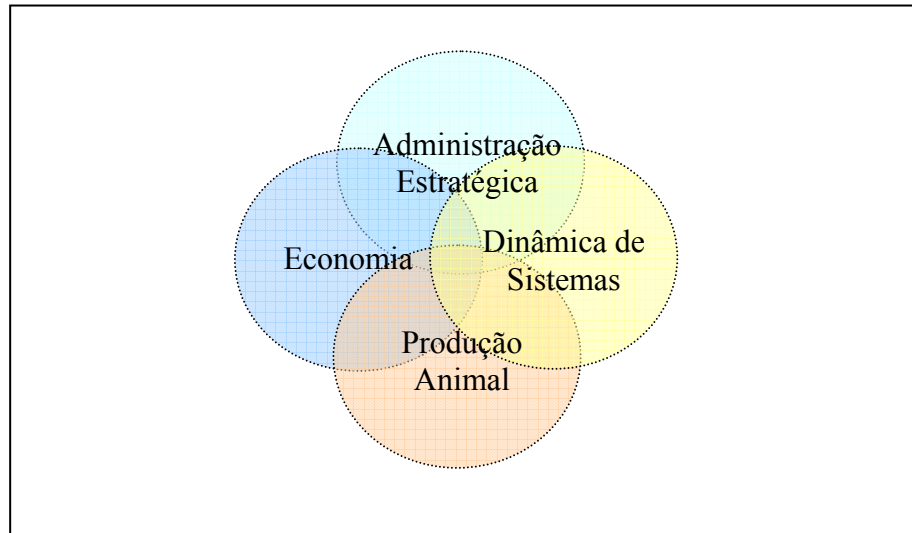


Figura 25 – Intersecção dos conceitos de economia, administração estratégica, Dinâmica de Sistemas e produção animal.

A DS, com suas características tanto quantitativas quanto qualitativas, vem se tornando uma metodologia de solução de problemas no processo estratégico das empresas. Assim, reitera sua importância e utilidade no processo de tomada de decisão e na construção dos modelos que incorporam os mapas mentais das experiências em cada setor (Coyle, 2000).

Os métodos de pesquisa fornecem suporte à tomada de decisão com um início e um fim determinados, como mostra a Figura 26. As informações sobre os problemas provocam ações e, conseqüentemente, resultados, podendo ser positivos ou negativos. Este é a última etapa do processo de decisão.

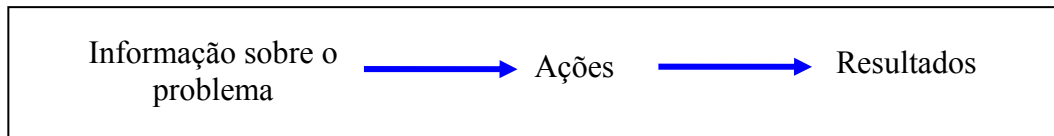


Figura 26 – Início e fim da percepção da tomada de decisão. Fonte: adaptado de Forrester (1994).

Os problemas enfrentados pelos tomadores de decisão são complexos e muitas vezes dinâmicos. Este processo, como mostrado na Figura 27, inclui *feedback* fazendo a ligação dos Resultados com a Informação sobre o problema. Este comportamento, de início e fim, nos mostra que os resultados obtidos mudam a percepção ou o entendimento da informação sobre o problema a cada instante. Neste sistema, devido aos atrasos de tempo que ocorrem até os Resultados e da propagação da informação, a capacidade da tomada de decisão fica comprometida (Forrester, 1994). Retomando a discussão sobre a implementação de estratégias, a existência dos *feedback loops* na tomada de decisão talvez seja o principal motivo das empresas não entenderem a razão dos seus problemas e as formas de solucioná-los (Sterman, 1989).

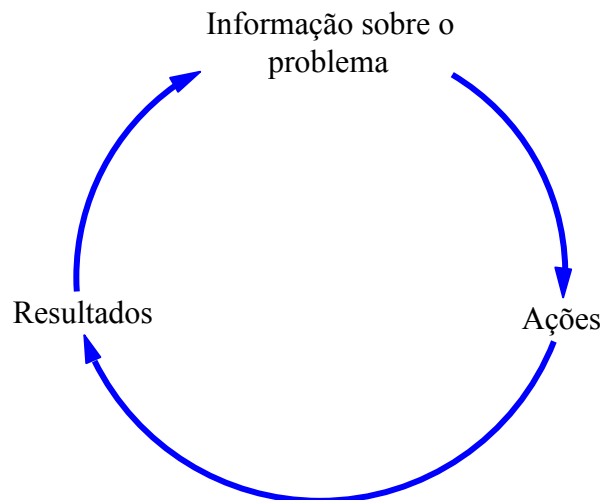


Figura 27 – Estrutura básica circular em que o sistema se desenvolve. Fonte: adaptado de Forrester (1994).

Medir e administrar a performance organizacional efetivamente é uma tarefa difícil e complexa (Santos et al., 2002). No mundo dos negócios, o sistema pode ser visto como a empresa, sendo seus componentes as atividades administrativas e operacionais internas, além das relações e interações entre a empresa com o ambiente externo.

Seguindo a mesma idéia, o objeto de estudo é um sistema de produção de caprinos em que se pretende entender modificações referentes ao manejo, atividades administrativas e operacionais, além das inter-relações existentes entre os componentes internos e o ambiente externo.

Bititci (2000) sugere que o ambiente externo e interno de uma empresa não é estático, mas sim em constante modificação. A DS pode também ajudar a simular um ambiente no qual as influências existentes podem ser identificadas e medidas.

O conhecimento de que todas as decisões são tomadas em um ambiente regido por *feedbacks*, permite que as ações implementadas produzam reações não esperadas no sistema devido aos estoques e à não linearidade (Sterman, 2000). Então, uma vez que os sistemas naturais e humanos possuem um elevado grau de complexidade dinâmica, ao se adotar determinada postura ou atitude, o comportamento de todo o sistema deve ser observado juntamente com o entendimento da interação dos *feedback loops*.

Os tomadores de decisão possuem uma tarefa difícil, na tentativa de antecipar eventos futuros, programar ajustes e eliminar erros que geram custos, apenas gerenciando informações. A realidade da incerteza econômica no ambiente dos negócios complica o processo da administração da informação para os tomadores de decisão. A administração da informação é um problema de crescente importância econômica e estratégica para as organizações, devido às rápidas modificações sofridas no ambiente de negócios, provenientes dos avanços tecnológicos.

A abordagem baseada em sistemas e estrutura tem recebido grande importância no desenvolvimento da teoria dinâmica de estratégia (Porter, 1985).

### **2.8.2 Sobre os sistemas (unidades) de produção**

Ao se fazer referência aos sistemas de produção, entenda-se aqui de qualquer espécie, o conceito genérico destes sistemas deve considerar uma realidade agrícola e social.

Expressar que uma unidade de produção faz parte da realidade agropecuária e social é dizer que está em função de um contexto voltado para o agronegócio, sendo explicada a partir das relações existentes para cumprir os fins deste setor (Domínguez, 1989).

Uma unidade de produção pode ser entendida proveniente do significado de organismo, que se refere a um conjunto de recursos humanos, físicos, tecnológicos e neste caso, animais, integrados a partir de relações e funções para o sucesso de metas, objetivos e assim cumprir seus propósitos (Mintzberg, 1984).

Seguindo o enfoque de sistemas, pode-se afirmar que uma unidade de produção pode ser considerada um sistema aberto que em seu funcionamento importa insumos ou recursos provenientes de seu redor, e os integram a partir de relações, processos, funções e exporta produtos para o seu redor (Bertoglio, 1995). Esta abordagem é consistente com a perspectiva de que um detalhamento da estrutura de um sistema é fundamental para mensurar os impactos econômicos de estratégias administrativas dentro do ambiente empresarial (Porter, 1994).

As unidades de produção são dinâmicas pois crescem, modificam, se reproduzem, se acabam, progridem e às vezes morrem. Neste contexto a questão gerencial e produtiva está sempre em conflito na busca dos objetivos desejados, resultante de negociações entre proprietários, gerentes, funcionários, clientes, fornecedores, etc.

O diagrama abaixo contextualiza uma unidade de produção com um enfoque sistêmico (Figura 28).

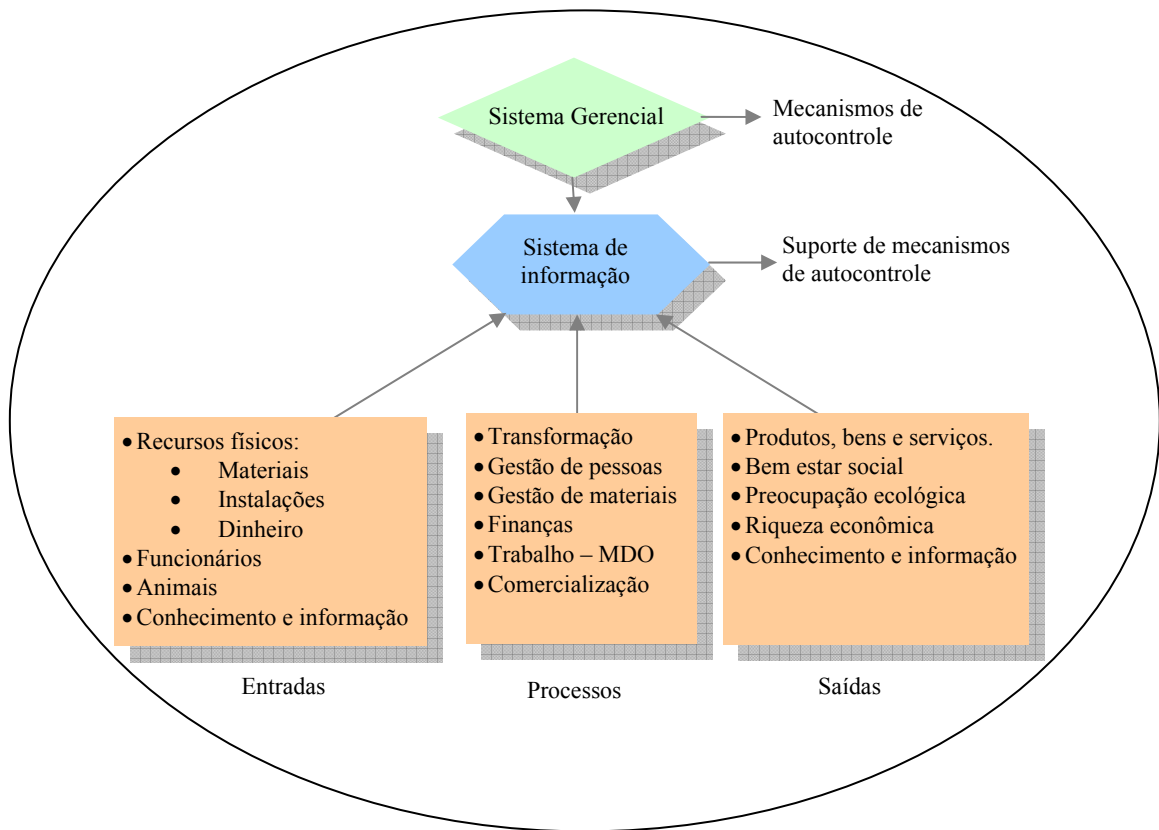


Figura 28 – Padrões comportamentais em sistemas dinâmicos. Fonte: adaptado de Sterman (2000).

Os passos para a correta determinação do objetivo do estudo do sistema segundo (Domínguez, 1989) parte da **delimitação** do sistema pelos componentes naturais, mantendo certa autonomia e que sejam componentes práticos e funcionais de acordo com o objetivo de estudo do sistema.

A definição ao redor do sistema corresponde ao conjunto de sub-sistemas que estão interagindo de uma ou outra forma com o sistema em estudo e corresponde a um macro-sistema que abrange totalmente o sistema em estudo; constituído por um conjunto heterogêneo de sistemas que não podem se agrupar dentro de um só macro sistema. O meio ambiente pode se estruturar de diversas formas de acordo com a proximidade com o

sistema; sendo diretamente ligado aos clientes, proprietários, animais, mão-de-obra, etc., ou indiretamente ligado ao o mercado, ambiente social, economia, cultura, etc.

A definição das **entradas** do sistema corresponde às interações diretas ou indiretas que tem o meio ambiente com o sistema em estudo. Estes insumos se agrupam em categorias como condições físico-químicas (luz, temperatura, umidade, etc.); recursos físicos (materiais, instalações, dinheiro, etc.); pessoas e o conhecimento, informações, tecnologia e métodos.

A Definição das **saídas** ou produtos do sistema corresponde às inter-relações diretas e indiretas que o sistema possui com o ambiente que o rodeia, sendo os produtos e serviços, o bem-estar social, a preocupação ecológica, a riqueza econômica, o conhecimento e a informação.

## 2.9 Descrição do sistema de produção

O sistema de produção é formado por uma infinidade de variáveis internas e externas que, juntas, determinam as características do sistema. No desenvolvimento de um modelo é necessário buscar uma estrutura que se aproxime da realidade e, ao mesmo tempo, seja uma forma simplificada que facilite o entendimento do sistema como um todo. No desenvolvimento deste trabalho, os componentes do sistema considerados foram: os animais, a infra-estrutura, a alimentação, a reprodução, o manejo sanitário e os aspectos econômicos.

A infra-estrutura é normalmente determinada segundo as características do rebanho, como, animais em lactação, reprodutores, crias por estação, etc., através das quais será efetuado a estimativa de instalações, de armazéns de alimentos, de maquinário, dentre outros.

A alimentação constitui um dos principais gastos com a atividade e deve ser condizente com as exigências nutricionais de cada uma das categorias animais para que, segundo as características do sistema de produção, se possa efetuar o equacionamento da nutrição com rentabilidade.

A reprodução é o componente responsável por toda a dinâmica que existe no rebanho, pois, é através dela que os animais iniciarão o período de lactação, que aparecerão as crias no rebanho, garantindo o desenvolvimento do sistema ao longo dos anos.

O manejo sanitário é responsável pelo controle das doenças do sistema, nas diversas categorias animais, deste o nascimento, fase que merece maior atenção, até a categoria de animais adultos. O adequado controle sanitário é fundamental para que não ocorram perdas que possam comprometer a eficiência do sistema. Dentro do próprio manejo sanitário estão relacionados também os gastos com medicamentos para o controle sanitário do rebanho.

As questões econômicas também fazem parte de qualquer sistema de produção pois, considerando a atividade produtiva como um negócio, deve ser avaliado economicamente e ter os valores de custos e rendimentos contabilizados.

O sistema produção é decorrente do desempenho dos animais existentes e das práticas de criação e produção utilizadas na propriedade. Este desempenho pode ser estimado pela média da produção de leite por lactação, produção de leite diária, dentre outros.

### **2.9.1 Tipos de Sistemas**

Para a classificação dos tipos de sistemas foi feito um resgate e adaptação da classificação existente para bovinos que, de uma forma ou outra, não deixa de esclarecer as características do modelo mesmo que seja diferente a atividade final.

#### **2.9.1.1 Sistema de produção extensivo a campo**

A exploração extensiva consiste na manutenção permanente dos animais em campo nativo sem suplementação alimentar. Para Holmann (1997) a produtividade dos animais encontra-se vinculada apenas à fertilidade natural do solo e à produção sazonal das pastagens, uma vez que toda alimentação provém única e exclusivamente de pastagens nativas. Além disso, as práticas de manejo do campo nativo limitam-se à realização da queima estacional para renová-los. Não são utilizados fertilizantes e as propriedades são divididas, ou não, de acordo com o ciclo vegetativo das forragens ou pastagens.

#### **2.9.1.2 Sistema de produção intensivo confinado**

Para viabilizar a exploração leiteira no sistema de produção intensivo confinado é necessário produzir em larga escala para que se consiga obter o retorno do capital investido na atividade. Isto porque, de acordo com Gomes (2001), este sistema de produção exige

grandes investimentos em instalações, máquinas e equipamentos, o que acaba promovendo um aumento considerável dos custos de produção.

### **2.9.1.3 Sistema de produção intensivo semi-confinado**

Neste sistema de produção, os animais ficam confinados em áreas restritas com alimentação e água disponível e, em determinados períodos do dia, são manejados sob pastagens cultivadas (Krug, 2000).

A grande vantagem deste sistema de produção reside na possibilidade de se obter alta produção em pequenas extensões de terra (Gomes, 2001). Isto permite alcançar um maior aproveitamento da terra e da mão-de-obra disponível na unidade produtora.

### **2.9.1.4 Sistema de produção intensivo a pasto**

O potencial do sistema de produção intensivo a pasto no Brasil é inegável, tendo em vista que aproximadamente 80% do território nacional caracterizam-se por apresentar clima tropical, o que possibilita a produção de forragens durante todo o ano (Assis, 1997).

Neste sistema produtivo os animais são manejados, em tempo integral, sob pastagens cultivadas. Segundo Gomes (2001) mais de 50% da matéria seca fornecida aos animais é proveniente destas pastagens. Devido a este fato e, também, a baixa necessidade de investimentos em infra-estrutura, este sistema caracteriza-se primordialmente por apresentar o menor custo de produção quando comparado aos demais sistemas produtivos (Santos, 2001).

## 2.10 Aplicações da Dinâmica de Sistemas

Esta parte do trabalho apresenta um conjunto de hipóteses e um modelo não linear e dinâmico de retroalimentação de informações e de materiais da estrutura produtiva de um sistema de produção de leite de cabras.

A DS possui uma longa história que teve início com Forrester em 1961, na tentativa de entender problemas estratégicos em sistemas dinâmicos complexos. É fundamentada em teoria de controle e na moderna teoria de não linearidade. Inúmeros trabalhos vêm sendo desenvolvidos sobre a DS, tendo destaque os produzidos por (Coyle, 2000; Ford, 1999; Robert, 2003; Sterman, 2000), e sendo uma abordagem promissora na modelagem de sistemas dinâmicos complexos. Tem sido vastamente utilizada no estudo gerencial, fazendo análise de grandes empresas americanas, e buscando a solução de problemas relacionados à estrutura e aos processos de produção (Sterman, 2000). Na área de saúde, avaliando o fluxo de pacientes neonatais e a necessidade de leitos (Adaikappan, 2005), no estudo de decisões estratégicas na cadeia de suprimentos (Georgiadis et al., 2005) e produtos alimentícios (Avellar, 2002), no gerenciamento ambiental (Cavana & Ford, 2004; Ford, 1999), na administração de recursos públicos (Cloud, 2001), na importante avaliação da administração de capitais em países emergentes (Lee et al., 2005), no estudo do agronegócio da carne bovina (Wiazowski, 2000) e como suporte à decisão em fazendas produtoras de leite (Avila, 2004).

Apesar de a DS ser muito utilizada na indústria e na área de saúde, tem-se procurado transportar esta metodologia para o gerenciamento das empresas rurais na tentativa de servir de mais uma técnica disponível ao produtor e técnico no entendimento da atividade e na formulação de estratégia de tomada de decisão. Assim, vários trabalhos no campo da produção animal vem fazendo uso desta metodologia como forma de aprimoramento da

atividade e auxílio na tomada de decisão (Guimaraes et al., 2007; Ostergaard et al., 2000; Pla, 2007).

A Dinâmica de Sistemas tem sido utilizada para identificar e analisar estruturas que podem causar amplificação e flutuação em produção e distribuição de cadeias, bem como criação de regras de melhoria de decisão e análise de políticas e medidas adotadas envolvendo modelos de simulação, em que se alteram coeficientes para avaliar diferentes respostas do sistema.

## 2.11 Cenários “E SE”

Certamente, a criação de um modelo é regida por uma série de limitações, uma vez que se trata de uma representação da realidade. Em um sistema complexo, como o caso de um sistema de produção, a existência de grande interação dos seus componentes e de fatores não incluídos no modelo são fontes de erros declarados.

O modelo foi construído de forma a considerar o maior número de componentes possível, baseado no banco de dados e em conhecimento prático. As simulações efetuadas foram realizadas no intervalo de tempo de meses, buscando ter uma resposta mensal para análise do sistema.

Uma das possibilidades em se trabalhar com modelos é a criação de cenários hipotéticos que permite ao tomador de decisão, visualizar uma reação do sistema mediante uma decisão tomada, sem prejudicar o funcionamento da estrutura. Assim, sendo, diferentes cenários foram criados, modificando parâmetros importantes para o funcionamento do sistema e analisando os reflexos dessas alterações como um todo.

Desta maneira, o principal objetivo dos cenários “E SE” é a confrontação de respostas advindas de diferentes ações dentro do modelo, ou seja, o que aconteceria “SE” determinado parâmetro sofresse uma alteração, ou “SE” algum evento ocorresse, etc.

### **3. Metodologia**

---

---

O estudo de qualquer sistema de produção seja ele industrial ou animal, passa pelo entendimento do processo e de seu funcionamento. Mas não basta apenas conhecer as principais variáveis responsáveis por modificações e características do sistema mas, sim, como ações e processos se comportam ao longo do tempo.

Um importante passo na construção do modelo é a definição de qual variável será o foco da modelagem do sistema, para que os demais componentes se conectem e criem as relações na estrutura. Esta variável será representada pela maioria dos estoques existentes e pelos fluxos presentes.

A partir da variável principal, o modelo será criado, adicionando variáveis auxiliares para simular os eventos, buscando uma dinâmica condizente com a realidade.

Esta seção busca explicar a metodologia utilizada no desenvolvimento do modelo de simulação de um rebanho caprino, tendo como principal componente, o fluxo de animais dentro do sistema de produção e sua dinâmica ao longo do tempo.

### **3.1 Modelo analítico**

De acordo com a descrição do sistema de produção, foi utilizado alguns dos fatores que o compõem e que se achou importante e justificável na construção do modelo. Dentre estes fatores estão a questão reprodutiva, os animais, a nutrição, a avaliação econômica e os índices zootécnicos utilizados.

#### **3.1.1 Reprodução**

Dos fatores ligados à reprodução deve-se considerar, a taxa de fertilidade, a razão reprodutores:matrizes, a prolificidade das fêmeas, e a adoção de estações de monta, levando-se em consideração a fisiologia animal.

Principalmente em caprinos, a reprodução tem um papel preponderante para o sucesso da atividade, uma vez que todo o sistema gira em torno do número de estações de acasalamento que serão feitas.

A maioria das raças caprinas, especializada na produção de leite, tem sua origem em regiões de clima temperado, com característica de sazonalidade reprodutiva e, conseqüentemente, produtiva (Galina et al., 1995; Rivera et al., 2003; Silva et al., 1998).

Diferenças no comprimento de luz do dia e variações na temperatura são os principais fatores que afetam a estação reprodutiva das cabras (Chemineau et al., 1992). Esta resposta inicia-se quando o comprimento dos dias começam a ficar mais curto estimulando a glândula pineal a desencadear um processo de secreção de melatonina que será responsável pela influência do fotoperíodo nas funções gonadais (Greyling, 2000)

No Brasil, existem regiões como o Nordeste em que, pela proximidade com o equador, o comprimento dos dias pouco se altera ao longo do ano e a influência do fotoperíodo na determinação da sazonalidade reprodutiva das cabras praticamente não ocorre. Apesar das cabras poderem apresentar ciclo estral durante todo o ano, limitações climáticas irão determinar a disponibilidade de alimentos, e, como conseqüência, a existência ou não da sazonalidade reprodutiva relacionada com a condição nutricional das cabras.

Assim, a possibilidade natural de reprodução em grande parte do país ocorre apenas em uma estação definida no ano, particularmente no outono e parte do inverno. Esta característica sugere que, dependendo do comprimento da lactação, é provável que em determinado período do ano, o rebanho não esteja produzindo leite. E quando a produção de leite é a principal atividade, os produtores precisam maximizar a produção por animal para que possa amortizar custos com alimentação, mão de obra e manutenção para as épocas de baixa ou nenhuma produção.

No passado e ainda hoje, a sazonalidade na produção de leite cria um déficit do produto na entressafra. Esta época é caracterizada principalmente pela grande procura pelo produto e a baixa oferta ou disponibilidade do mesmo pelos produtores. Este momento é quando as cooperativas e empresas do setor acabam por aumentar os preços pagos ao produtor pela lei da oferta e procura.

O aumento do preço do leite beneficia o produtor, uma vez que, permite aumentar de forma direta os valores recebidos pela venda do leite. O que acontece, entretanto, é que justamente nesta época, o produtor não tem ou tem muito poucos animais em produção e escapa a oportunidade de aumentar os ganhos, mesmo sendo por um curto período de tempo.

Para contornar esta sazonalidade produtiva, os produtores lançam mão de técnicas artificiais de indução de cio para que, estrategicamente, tenham animais produzindo leite, se não em todo o ano, ter pelo menos uma maior produção na época de melhores preços. Além da estação natural de monta, a técnica de indução artificial pela luz pode ser utilizada para criar uma segunda estação de monta no ano como descrito por Delgadillo & Chemineau (1992). A técnica consiste em fornecer 3 horas de luz, entre 5 da tarde e 8 da noite, e outras 3 horas de luz compreendendo de 4 às 7 da manhã, para manter uma média de 16 horas por dia de luz e 8 horas de escuro. Este tratamento é feito por um período de 60 dias, seguido de um corte abrupto do tratamento, reduzindo consideravelmente o comprimento dos dias e estimulando as cabras a apresentarem cio como na estação natural de monta.

Os animais que se acasalam fora da estação natural de monta frequentemente apresentam o desempenho reprodutivo reduzido, implicando em índices reprodutivos menores que a estação natural de monta (Delgadillo et al., 1992; Rivera et al., 2003).

### **3.1.2 Animais**

Os animais foram divididos em categorias de acordo com os estágios fisiológicos, e produtivo. Assim, existem no rebanho animais em lactação gestantes ou não gestantes, cabras secas gestantes e não gestantes, cabritos em aleitamento, cabritos em crescimento e reprodutores. Para os animais em lactação, foi considerada uma divisão quanto à produção de leite, conferindo aos animais as características de alta, média e baixa produção.

A descrição mais detalhada de cada categoria será feita no item que trata da evolução do rebanho.

### **3.1.3 Nutrição**

A alimentação, que representa aproximadamente de 49 a 57% dos custos totais de produção (Hamadeh et al., 2001; Kosgey et al., 2003), e recentemente, a adequada nutrição para cabras foi discutido por Fernandes et al. (2007), Luo et al. (2004a; 2004b; 2004c), Mandal (2005) e o NRC (2006), como ponto chave no sistema de produção. Todos esses artigos abordam os impactos de raça, estágio fisiológico e de lactação no requerimento nutricional para crescimento e desenvolvimento, gestação e lactação. Essas diferenças entre estágios fisiológicos são marcantes e os modelos devem considerá-los nos cenários de produção para prever consumo e requerimentos nutricionais.

Embora o NRC (2006) apresente a base de dados mais atual sobre requerimentos nutricionais para cabras, outras metodologias de cálculo de requerimentos nutricionais têm recebido atenção como fonte de recomendações. Por ser um estudo de comparação entre sistemas de produção, nenhuma grande alteração seria percebida nos sistemas apenas por diferenças em fontes de recomendação. Desta forma, foram utilizados os requerimentos nutricionais recomendados pelo AFRC (1993) (Tabela 4), tendo sido utilizado como fonte forrageira a silagem de milho e a mistura concentrada.

Baseado nessa premissa de diferença fisiológica, nos primeiros dois meses de vida, as crias receberam uma quantidade de 1,5 e 1 litros de leite, respectivamente, para fêmeas e machos. Após a fase de aleitamento, aos animais desaleitados foi oferecida uma dieta forrageira e concentrada de acordo com as recomendações do AFRC (1993). Após atingirem a fase adulta, considerada ao redor de 7 meses, foi oferecida silagem de milho e dieta concentrada nas quantidades presentes na Tabela 4. Entretanto, os requerimentos nutricionais diferem de cada categoria de acordo com o nível de produção de leite (AFRC, 1993). As diferenças na produção de leite foram baseadas em valores médios para cada categoria de acordo com dados de Guimarães (2004).

Tabela 4 – Exigência nutricional para cada categoria do rebanho <sup>a</sup>

Tipo de categoria	Estimativa das exigências por animal por dia
Cabritas em aleitamento	1,5 Litros
Cabritos em aleitamento	1 Litros
Animais em crescimento (concentrado)	0,20 kg MS
Animais em crescimento (forragem)	0,53 kg MS
Cabras não lactante (concentrado)	0,33 kg MS
Cabras não lactante (forragem)	1,1 kg MS
Cabras de 1 <sup>a</sup> lactação (concentrado)	0,31 kg MS
Cabras de 1 <sup>a</sup> lactação (forragem)	1,52 kg MS
Cabras de 2 <sup>a</sup> lactação (concentrado)	0,4 kg MS
Cabras de 2 <sup>a</sup> lactação (forragem)	1,52 kg MS
Cabras de 3 <sup>a</sup> lactação (concentrado)	0,46 kg MS
Cabras de 3 <sup>a</sup> lactação (forragem)	1,52 kg MS
Cabras de 4 <sup>a</sup> lactação (concentrado)	0,55 kg MS
Cabras de 4 <sup>a</sup> lactação (forragem)	1,52 kg MS
Cabras de 5 <sup>a</sup> lactação (concentrado)	0,43 kg MS
Cabras de 5 <sup>a</sup> lactação (forragem)	1,52 kg MS

<sup>a</sup> MS = Matéria Seca.

### 3.1.4 Índices Zootécnicos

Os índices zootécnicos utilizados foram:

- Número de animais em lactação - O número de animais poderá ser definido pelo produtor e em função de limitações físicas e de alimentos. Este número será a base do planejamento da atividade, pois dele serão derivados os valores relativos à produção de leite/dia do rebanho.
- Peso de uma cabra adulta e de um reprodutor - O peso médio foi importante para fazer cálculos relativos a consumo de alimentos.
- Relação fêmea/macho - Esta relação irá influenciar o número de machos do rebanho e, conseqüentemente, o número de baias e alimentação para estes animais. Tem-se trabalhado com 25 a 30 fêmeas por reprodutor, podendo este número aumentar, caso se faça uso de inseminação artificial no rebanho.
- Peso médio de cabritas entre o período de desmama até o dia do parto (15 kg à desmama e 45 kg ao parto) foi importante no cálculo do consumo de alimentos.
- Determinação do período seco - Melhoria da condição corporal do animal para recuperação para o parto.
- Intervalo entre partos irá criar os ciclos produtivos encontrados no rebanho.
- Número de partos ocorrendo ao ano - Necessidade de programação de instalações, funcionários e alimentos.
- Produção leiteira diária - A produção de leite diária é função do número de animais em cada um dos três níveis de produção descritos como alto, médio e baixo.
- Período de aleitamento considerado foi de 60 dias após nascimento do animal, sendo considerada a utilização de um sucedâneo do leite.
- Fertilidade do rebanho - A fertilidade do rebanho determina quantos animais irão estar gestantes dentro do período de acasalamento, sendo este índice função da época do ano.

- Estação - Na estação natural de acasalamento os animais ciclam normalmente, quando terminar o período de verão e começar o período de dias mais curtos. Nesta estação, os animais são mais férteis, podendo variar de 60 a 80% de fertilidade. Economicamente, esta é a estação mais interessante a ser trabalhada por propiciar resultados mais expressivos.
- Contra Estação - Já na contra estação, os animais podem ter o cio induzido por luz. O que se percebe é que o rendimento não é o mesmo que na estação natural e a fertilidade do rebanho nesta estação está por volta de 40 a 60% dependendo da qualidade do programa de luz executado.
- Taxa de substituição anual das matrizes - Necessidade de melhoramento genético do rebanho
- Prolificidade - Os caprinos são conhecidos como animais de grande prolificidade, existindo relatos frequentes de partos duplos e triplos. Esta característica fornece ao produtor um diferencial em relação a outros animais domésticos que é a capacidade de renovação do rebanho em muito pouco tempo.
  - Fêmeas nulíparas - As fêmeas de primeira cria, por não estarem ainda em seu máximo de desenvolvimento corporal, acabam por parir em média um único filhote.
  - Fêmeas pluríparas – Fêmeas com mais um parto possibilitam um rápido acréscimo do número total de animais no rebanho, uma vez que em média nascem 1,5 crias por parto.
- Taxa de abate dos machos ao nascer - A taxa de abate dos animais ao nascer irá depender primeiramente da finalidade do sistema de produção. Quando se trabalha com animais de venda para reprodução, maior será o número de machos retidos no rebanho. Entretanto, caso não exista interesse em comercializar cabritos reprodutores, a taxa de abate será maior, eliminando gastos e tempo com cuidado com os cabritos.

- Percentual dos machos retidos para reprodução - Do número total de machos que ficarão no rebanho, uma parte será destinada para reprodução. Destes, alguns ficarão no rebanho para manutenção dos reprodutores, e outros serão vendidos para serem usados como reprodutores em outros criatórios.
- Percentual dos machos retidos para carne - Os machos retidos que não serão destinados à reprodução, serão vendidos para o abate por volta de 6 a 8 meses de idade. Estes animais apesar de terem gerado custos com alimentação, mão de obra e medicamentos podem, no entanto, gerar receita para o produtor.
- Percentual de fêmeas vendidas para reprodução - O número de fêmeas vendidas para reprodução será função da taxa de reposição do rebanho, descontando alguma aquisição de fêmea.
- Mortalidade
  - 0-2 meses – Este índice reflete a quantidade de animais que irão morrer neste primeiro período de vida. Esta fase é crucial para o desenvolvimento adequado dos animais e para o sucesso financeiro do rebanho.
  - 4-7 meses - Nesta fase, os animais já estão mais resistentes. O desenvolvimento é contínuo e rápido, tendo que despende uma atenção especial principalmente na questão alimentar, a fim de proporcionar um bom aporte de nutrientes aos animais.
  - Acima de 7 meses - Nesta idade, os animais já estão bem desenvolvidos e prontos para entrar na fase reprodutiva. A mortalidade não é elevada, mas ainda merece atenção, pois perdas a partir deste ponto implicam em forte impacto na rentabilidade do sistema de produção.
- Ciclos de parições por ano - Os ciclos de parição por ano dependerão do número de estações de monta definida pelo sistema. Normalmente, a maioria dos criatórios tem adotado duas estações por ano, ou seja, uma natural e outra induzida por luz.
- Taxa de reposição de machos - Dependerá da evolução genética do rebanho e do grau de parentesco entre os animais. Se forem encontrados animais com

possibilidade de maior mérito genético, será aconselhável efetuar a substituição e garantir o melhoramento genético do rebanho. Outra opção desta variável é alterar o grau de sangue entre os animais, caso comece a existir parentesco acentuado. Neste caso será interessante o produtor fazer aquisição de animais para garantir variabilidade genética e graus de sangue diferentes. O cuidado a ser tomado quando da aquisição de outros criatórios, é com a procedência do animal, pedigree e questões sanitárias para não comprometer o rebanho em que este será introduzido.

### **3.2 Descrição do modelo**

Muitas suposições devem ser feitas na criação de um modelo e uma delas foi a taxa de concepção, considerada como de 100% para todos os acasalamentos. Sabe-se, porém, que, na prática, isto normalmente não ocorre, pois alguns animais podem sofrer absorção embrionária e traumas durante a gravidez que podem provocar aborto, problemas no parto, etc. Entretanto, pormenorizar demais todos os fatores que afetam o sistema fugiria do foco principal que é simplificar uma estrutura complexa e facilitar o entendimento do todo.

#### **3.2.1 Diagramas de influência**

Os aspectos reprodutivos mostram-se como um dos componentes do sistema que mais interferem na dinâmica do rebanho, pois tem efeito direto sobre a quantidade de animais em lactação e, conseqüentemente, sobre a produção de leite, assim como sobre a quantidade de animais disponíveis para venda. Dentre os principais fatores que podem interferir na eficiência reprodutiva estão o genótipo, a condição nutricional, a sanidade, o manejo e a época do ano, uma vez que os caprinos são animais que apresentam poliestria estacional (Figura 29), entretanto, nas simulações, foi considerada apenas a época do ano como fator responsável pelas modificações na eficiência reprodutiva.

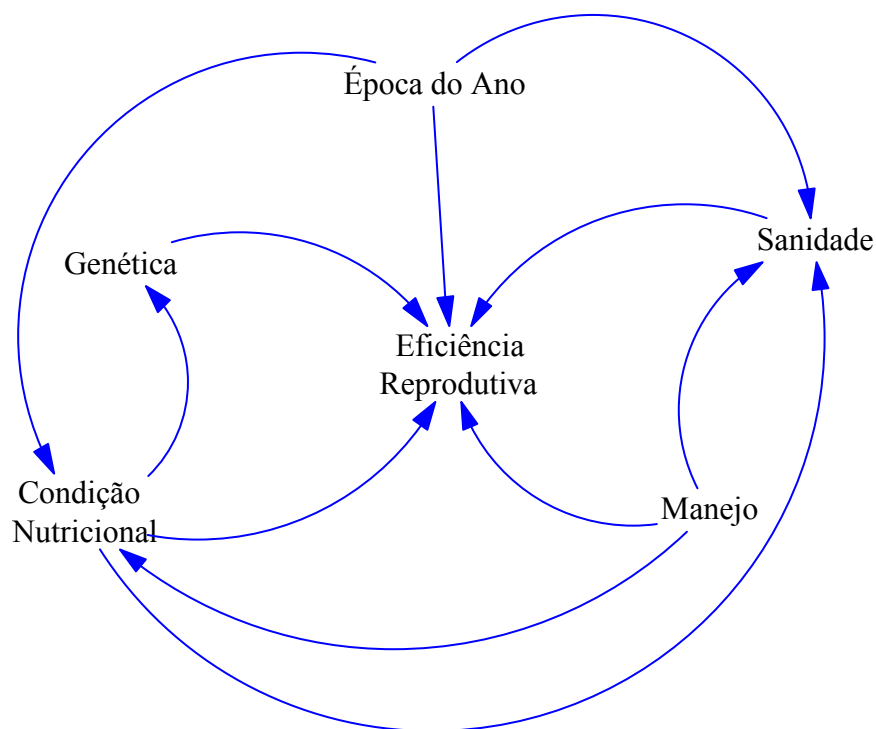


Figura 29 – Diagrama relacional que representa os determinantes da eficiência reprodutiva e suas inter-relações dentro do sistema produtivo leiteiro.

Todavia, os mesmos fatores que influenciam a reprodução sofrem e causam influência uns nos outros, criando interações no sistema que irão motivar o surgimento de alterações em toda a estrutura.

A condição nutricional tem reflexos simultâneos em vários fatores produtivos. Assim, interfere na eficiência reprodutiva, como também, em maior ou menor grau, na suscetibilidade de um animal contrair doenças. Uma nutrição deficiente prejudica o bom funcionamento do organismo e, com isso, pode desencadear condição propícia para o aparecimento de doenças. O genótipo também fica comprometido, visto que, ao se restringir ou dificultar a ingestão de alimentos de qualidade e em quantidade, o animal não consegue expressar todo seu potencial genético.

Por outro lado, a condição nutricional pode ser determinada por diversos fatores e, analisando a Figura 29, considera-se a época do ano um fator preponderante na

determinação dessa condição. É bem verdade que a maior sensibilidade a variações ocorre em animais criados extensivamente, estando obrigatoriamente à mercê das condições climáticas para terem o que alimentar. Mas mesmo com animais confinados, é sabido que existem variações na qualidade da forrageira (Deschamps & Tcacenco, 2000; Mallmann et al., 2006), seja ela fornecida na forma de feno, silagem ou fresca. E por causa disso, em determinadas épocas do ano, poderá existir alimentos de pior qualidade, e, caso não sejam tomadas medidas corretivas, os animais no rebanho poderão ter redução na condição nutricional podendo culminar com o surgimento de doenças e redução da produtividade.

A época do ano também exerce influência sobre a sanidade do rebanho. Nos meses com maior concentração de chuvas, a elevada umidade e temperatura propiciam o aparecimento de doenças como, por exemplo, verminoses e, nos períodos mais secos, de baixa umidade, podem surgir problemas respiratórios que irão comprometer indiretamente a eficiência reprodutiva.

A sanidade sofre também interferência do manejo adotado na propriedade, uma vez que a falta de cuidados básicos como, por exemplo, diagnóstico de animais doentes no rebanho, assepsia das instalações, dentre outros, podem acarretar problemas sanitários e, conseqüentemente, interferir no fator reprodução.

Por outro lado, o manejo tem grande influência na condição nutricional dos animais tendo em vista que os animais são sensíveis aos horários de fornecimento de alimentação, qualidade e temperatura da água, formas de arraçoamento, etc. Com isso, o tipo de manejo empregado na propriedade poderá trazer problemas de ordem nutricional, que, por sua vez, poderão provocar problemas sanitários, encerrando o processo com interferência na eficiência reprodutiva, apesar de não ter sido estudo este fator.

A dinâmica e a composição do montante populacional de caprinos no sistema são determinadas pelas taxas de nascimento (reprodução) e taxas de mortalidade (sanidade)



pelo aumento do número de animais no rebanho. Iniciando o *loop* na quantidade de cabras no rebanho percebe-se uma relação direta e positiva com o número de nascimentos e quanto maior este valor, maior será a quantidade de cabritas jovens, o que irá refletir no número de cabritas aptas para o acasalamento no rebanho. Com o aumento do número de cabritas aptas para o acasalamento e, considerando o tempo necessário para atingir a idade reprodutiva, aumenta-se o número de cabras em condições reprodutivas, finalizando o ciclo.

Como se pode perceber, caso não exista no sistema algo para penalizar esse ciclo, o rebanho cresceria indefinidamente e, assim, os *loops* 2 e 3 entram em cena para possibilitar esse equilíbrio.

No *loop* 3, o montante de cabritas que nascem é regulado em função da mortalidade nesta fase, o que reduz a quantidade de animais disponíveis para continuar ao ciclo.

As que conseguem atingir a fase de cabritas, em idade reprodutiva, podem ser desviadas novamente do *loop* principal de número 1, através da venda de animais.

É intuitivo perceber que se o reforço provocado pelo *loop* 1 for maior que os balanços dos *loops* 2 e 3, este sistema conseguirá ainda aumentar, mas a uma taxa menor da que seria, caso não existissem os *loops* de balanço. Por outro lado, caso os *loops* de 2 e 3 sejam mais fortes que o *loop* 1, o sistema entrará em um processo de redução em que as perdas, causadas pelas vendas e mortes, irão com o passar do tempo consumir os recursos responsáveis pelo *loop* 1, levando o sistema à extinção. Apesar de não estar exemplificado no diagrama, existe em todas as categorias animais, um fluxo de saída relativo à mortalidade, entretanto, para simplificar o diagrama, foi colocado apenas um *loop* de *feedback* negativo mostrando este controle.

Este subsistema é muito importante e valioso porque permite iniciar o entendimento de como os sistemas se equilibram. A combinação racional dos três *loops* faz com que esse

subsistema possa se equilibrar ao longo do tempo, buscando otimizar os recursos físicos e financeiros disponíveis para a estabilidade do sistema.

A Figura 31 apresenta a estrutura de renovação de animais no rebanho ao longo do tempo. Esse diagrama de influência é regido por uma suposta demanda por cabritas no rebanho. No *loop* 1, quanto maior a demanda por cabritas, maior será o estímulo para se aumentar a taxa de reposição. A elevação da taxa de reposição aumentará a quantidade de cabritas jovens que permanecerá no rebanho e, conseqüentemente, após um período de crescimento (*delay*) irá reduzir a demanda por cabritas, pois o sistema foi provisoriamente alimentado.

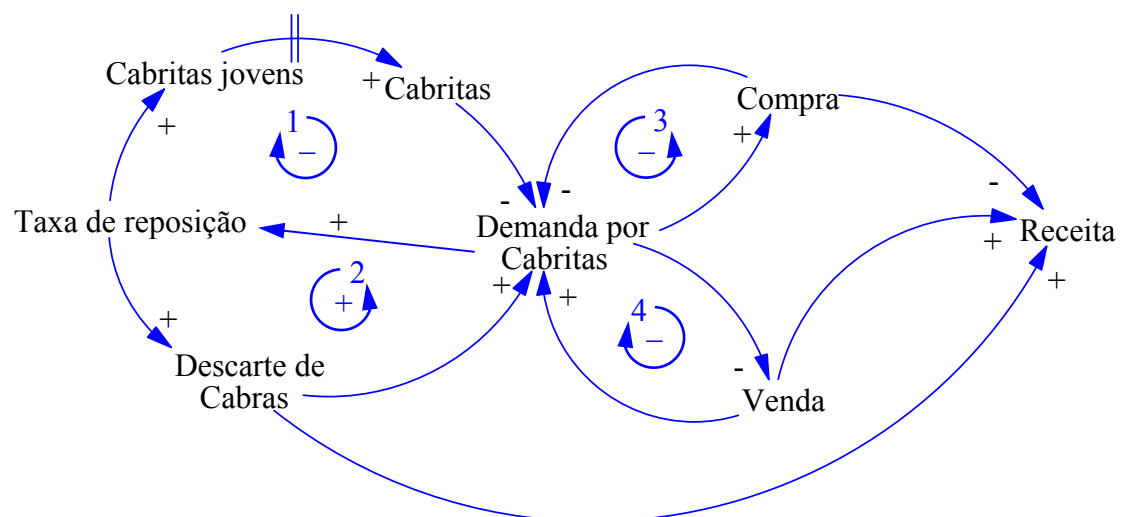


Figura 31 – Diagrama de influência que representa a renovação de cabras no rebanho e seu impacto sobre a receita.

Entretanto, quanto maior a quantidade de cabritas que entra no sistema, menor é a demanda por cabritas no rebanho, e quanto menor a demanda, menor é a taxa de reposição. A menor taxa de reposição reduzirá a quantidade de cabritas jovens, que em última análise causará um aumento na demanda por cabritas, constituindo um *loop* de equilíbrio.

Já o *loop* de número 2 possui uma resposta diferente da anterior. À medida que se aumenta a demanda por cabritas, aumenta-se a taxa de reposição. A reposição de animais implica em substituir os animais velhos por mais novos e isso provocaria aumento no

descarte de animais. Como o rebanho precisa crescer ou manter-se estabilizado, o descarte de animais provocaria aumento na necessidade de cabritas para reposição, elevando ainda mais a taxa de reposição já praticada no rebanho. A este fenômeno denomina-se *loop* de reforço, representando uma ação que tira o sistema de seu estado de equilíbrio dinâmico (estabilização).

Além do desequilíbrio em relação à quantidade de animais descartados, o sistema de forma isolada sofre forte interferência na receita, o que representa um incentivo para a adoção de valores elevados de taxa de reposição.

No *loop* 3, o aumento na demanda estimula a compra de animais que, por sua vez, reduz a própria demanda, constituindo uma relação de equilíbrio. Com o aumento do incentivo à compra de animais ocorre redução na receita da atividade.

De forma semelhante o *loop* 4 representa um *feedback* negativo, em que a redução na demanda aumenta o estímulo à venda de cabritas e, por conseguinte, o aumento no estímulo à venda aumenta a demanda por cabritas. Quanto maior a venda, maior será a receita auferida pelo produtor.

A complexidade deste subsistema é encontrar o ponto de equilíbrio entre esses *loops de retroalimentação* para que o produtor consiga gerenciar as oscilações nos momentos de maior necessidade. Essa dificuldade pode ser demonstrada na Figura 32, na qual se buscou exemplificar, melhor, os efeitos de uma decisão baseada em um sistema separado.

Quando se explicou a Figura 31, foi colocado que o aumento do número de cabritas no rebanho aumentaria a renda pela possibilidade de venda de animais que sofreram reposição. Entretanto, um *feedback* que não estava implícito naquela figura era referente à eficiência do sistema como um todo.

O diagrama sugere que o produtor poderia aumentar as receitas com a venda de animais, renovando o rebanho. Contudo, de acordo com a Figura 32, percebe-se que, ao

praticar o aumento da taxa de reposição com o intuito de aumentar as vendas de animais, o produtor estaria também reduzindo a média de produção de leite de seu rebanho, pois, de acordo com Guimarães et al. (2006) e Valencia et al. (2005), os animais mais jovens possuem uma menor quantidade de leite produzida na lactação, em função de não terem atingido a maturidade fisiológica, adquirindo-a por volta da 3<sup>a</sup> ou 4<sup>a</sup> lactação. Entretanto, ao introduzir novos animais no rebanho, não se pode deixar de considerar o ganho genético da população e mesmo que, inicialmente, ocorra uma redução na média de produção do rebanho, espera-se que com o passar do tempo essa média seja sempre superior às gerações passadas, considerando que os produtores estão sempre buscando selecionar animais mais produtivos.

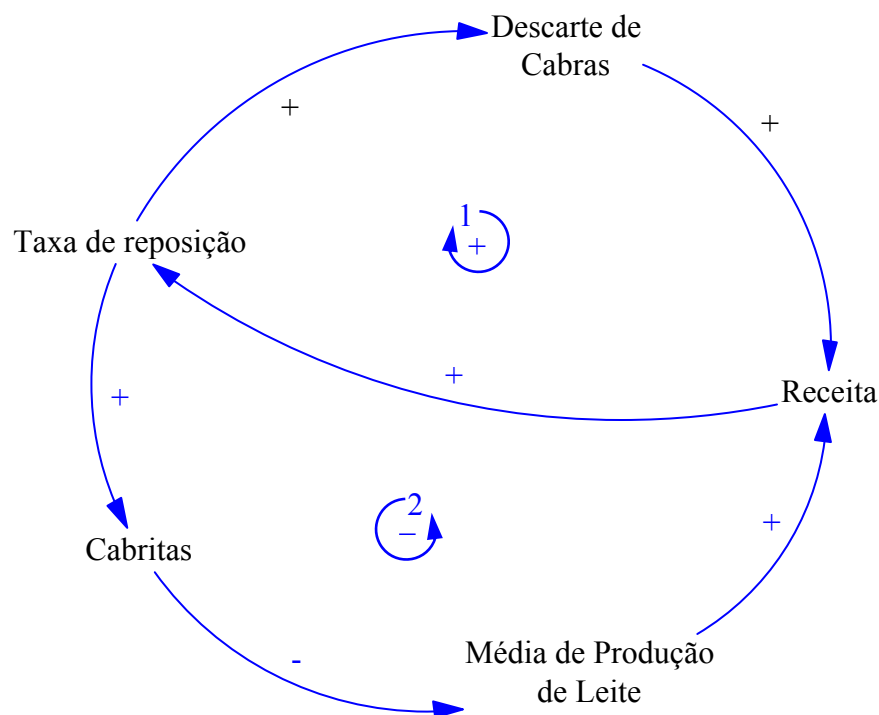


Figura 32 – Diagrama de *loop* causal que representa o impacto da renovação de cabras no rebanho sobre produção de leite e receita da atividade.

Em última análise, o aumento do número de cabritas no rebanho provocaria redução na fonte de renda representada pela venda do leite, contrariando o principal objetivo da atividade.

Dando continuidade à discussão da eficiência reprodutiva no desempenho do sistema, a Figura 33 é uma ampliação da Figura 29, que engloba outros fatores importantes que irão ser influenciados pela eficiência reprodutiva.

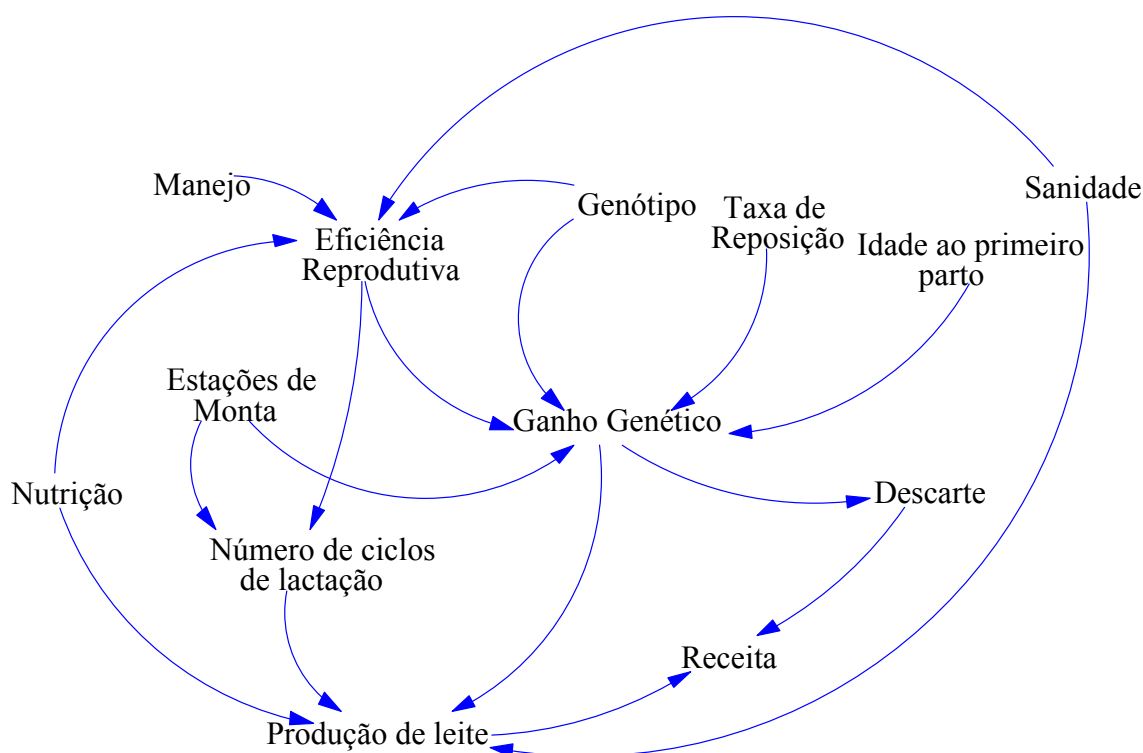


Figura 33 – Diagrama relacional que representa os determinantes da eficiência reprodutiva e sua influência na receita da caprinocultura leiteira.

Como o sistema em estudo trata da atividade leiteira, os esforços são voltados para maior eficiência na produção de leite e conseqüente melhoria na receita do produtor. De acordo com a Figura 33, melhorias diretas em nutrição e sanidade levariam ao aumento da produção de leite. Indiretamente, a melhoria destes fatores acarreta melhoria na eficiência reprodutiva que, em última instância, poderá culminar com o aumento da produção de leite.

Contudo, visto separadamente, o ganho genético é influenciado pela taxa de reposição, idade ao primeiro parto e o genótipo. De acordo com o que foi discutido anteriormente, um aumento na taxa de reposição não significa necessariamente um reflexo positivo sobre a produção de leite; pelo contrário, reduz a média de produção do rebanho. Entretanto, a longo prazo, o ganho genético adquirido, quando se tem uma elevada seleção, pode superar os prejuízos diretos impostos pela taxa de reposição.

Com redução da idade ao primeiro parto, o tempo de ampliação do rebanho se reduz, fazendo com que a pressão de seleção seja maior em um menor período de tempo e com que os ganhos genéticos sejam maiores e, conseqüentemente, garantindo uma maior produção de leite.

Analisando a médio-longo prazo, o aumento no ganho genético irá provocar maior taxa de descarte e na produção de leite que, por sua vez, irão garantir a rentabilidade do sistema.

Mais uma vez fica clara a dificuldade na hora da tomada de decisão, em conciliar decisão de resultados a curto, médio e longo prazo. A busca do pagamento das dívidas correntes, do equilíbrio de rebanho, do ganho genético e da eficiência produtiva fazem parte dos inúmeros desafios existentes no trabalho dos produtores e administradores.

### **3.3 Descrição do rebanho**

O sistema de produção de cabras leiteiras consiste em um grupo de animais que passa por vários estádios fisiológicos durante sua vida produtiva (Singh, 1986). Os estádios fisiológicos são caracterizados por crescimento, gestação, lactação, e maturidade, sendo que estas condições podem ocorrer em combinação como, por exemplo, animal em crescimento e em lactação.

Apesar de todas as diferenças entre os animais, como potencial produtivo e duração da lactação, esta simulação dinâmica considera um grupo ao invés de animais individuais

(Myrtveit, 2005). Assim, a simulação assume médias para cada categoria, simplificando a simulação sem afetar o rendimento do sistema. Por esta razão, foi considerado que todos os animais de mesma categoria possuíam o mesmo nível produtivo e as mesmas características. Este modelo não pretende simular diferenças (variância) entre animais de mesma categoria.

Cada categoria foi considerada um estoque de animais (variável estado ou nível) que poderia aumentar ou diminuir, dependendo dos *inputs* ou *outputs* (fluxos e taxas) relacionados a eles.

As fêmeas jovens que chegam à fase reprodutiva são consideradas nulíparas (NUL), ou seja, que nunca pariram. Por serem animais poliéstricos estacionais, as cabras ciclam em um período determinado no ano (Rivera et al., 2003; Silva et al., 1998) e, justamente nesta época, terão a chance de acasalar para garantir a perpetuação da espécie.

Na Figura 34, busca-se o entendimento de como funciona a dinâmica de rebanho em relação ao fluxo de animais dentro das diversas categorias criadas no sistema. Neste modelo, os animais foram divididos em seis categorias classificadas pelo número de lactações ou número de partos.

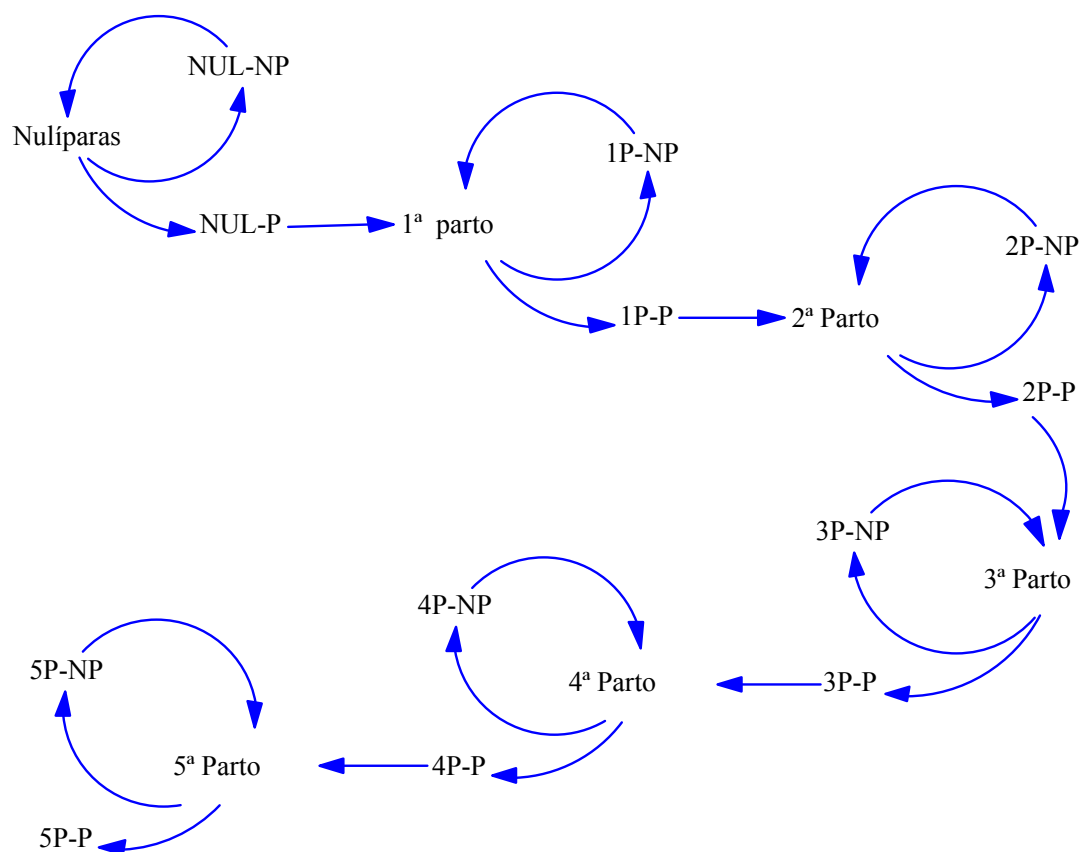


Figura 34 – Diagrama que representa seqüência de cabras prenhes (P) e não prenhes (NP) após a estação de monta para as cabras nulíparas (NUL), 1ª (1P), 2ª (2P), 3ª (3P), 4ª (4P) e 5ª (5P) lactações.

Considerando uma quantidade inicial de cabras nulíparas, e a eficiência reprodutiva para o grupo, calcula-se o número de cabras que estarão gestantes, ou prenhes, na estação. A diferença representa as cabras nulíparas não prenhes (NUL NP). Os animais, que não conceberam, irão esperar a próxima estação reprodutiva para ter condições de apresentar cio e participar, novamente, do ciclo de acasalamento. Todavia, como saída para aquelas cabras que irão permanecer no rebanho sem trazer retorno produtivo, técnicas artificiais de indução de estro podem ser utilizadas, como por exemplo, indução hormonal, sendo possível a utilização em, praticamente, qualquer época do ano com rápida resposta. Apesar do método necessitar investimento e conhecimento técnico, pelo ganho genético, pela produção de leite e pelas crias, é importante considerar mais esta opção além da indução por luz.

Já as cabras que conseguiram prenhar, passarão para uma nova categoria chamada nulíparas prenhes (NUL P). Os animais NUL P ficarão neste estoque por cinco meses, o que corresponde ao período de gestação médio da cabra. Após o parto, esses animais passarão para a categoria de animais de primeiro parto e lactante (1P L). O período de lactação adotado corresponde em média à 10 meses, podendo os animais acasalar novamente já na próxima estação de monta.

Com a chegada de uma nova estação de monta, os animais de primeira cria terão a oportunidade de ficar prenha (1P P) ou não (1P NP). Se um animal de primeira cria (1P) prenhar novamente e parir, passará a ser de caracterizado como animal de segundo parto (2P) e, sucessivamente, indo ocupar grupos de animais de terceiro (3P), quarto (4P) e quinto partos (5P). Em cada uma destas categorias o animal pode ainda apresentar a característica de prenhez (P) ou não prenhez (NP). Esse processo ocorrerá com o grupo de animais somente até a quinta lactação onde serão descartados devido à redução da eficiência produtiva destes animais (Guimarães et al., 2006) e por envolver pequeno ganho genético no rebanho, e, sendo assim, os animais mais velhos serão no máximo de quinta cria. Todo esse fluxo de acontecimentos é a base dos processos em cadeia (Stermán, 2000).

Entretanto, fazendo-se uma análise um pouco mais aprofundada da figura anterior, pode-se perceber que alguns grupos de animais foram excluídos para simplificação mostrando apenas o fluxo de animais nas categorias principais referentes ao número de partos. Mas, durante o processo de simulação, foi necessário fazer uma discriminação detalhada de outras condições fisiológicas das cabras. Tem-se, assim, a Figura 35 detalhando outras categorias importantes para a simulação.

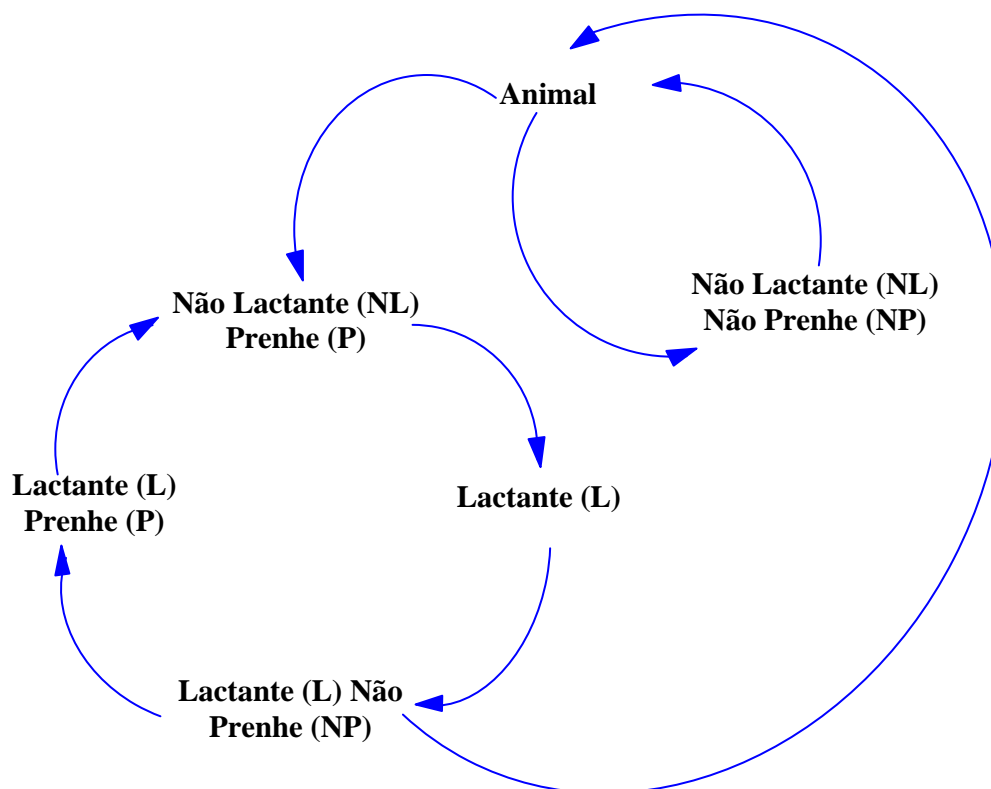


Figura 35 – Diagrama que representa o fluxo de cabras nas diferentes situações de relativas à produção de leite e condição reprodutiva (gestação).

As condições fisiológicas do animal podem ser as seguintes: não lactante não prenhe (NL NP), não lactante prenhe (NL P), lactante não prenhe (L NP) e lactante prenhe (L P). A razão desta distinção é que, quando for calculada a quantidade de alimentos para os animais, a condição que o animal se encontra seja em lactação, gestação irá interferir na exigência nutricional dos mesmos.

Os animais NL NP são todos aqueles que não estão produzindo leite e nem conseguiram prenhar após a estação de monta. Estes animais permanecerão no rebanho até a estação seguinte, buscando acasalamento e prenhez. O animal NL NP, depois que recebe o diagnóstico de prenhez positiva, passa para a categoria de NL P, ficando nesta categoria por mais ou menos 5 meses que corresponde ao período de gestação.

Após o parto, o animal muda novamente de categoria, tornando-se L NP, apenas produzindo leite. Mas, dependendo da situação em que o rebanho se encontra, com mais de uma estação por ano ou mesmo períodos de produção muito prolongados, é bem possível que animais ainda em lactação tenham a oportunidade de acasalar. Os animais lactantes que acasalaram podem então se tornar L P, no caso de prenhez positiva ou L NP, caso contrário.

As cabras que, porventura, ficaram prenhes durante a lactação, deverão continuar nesta condição por um período não superior a três meses, pois se sugere proceder a secagem, destes animais, pelo menos 60 dias antes do parto, para que o animal esteja em melhores condições fisiológicas para iniciar a lactação (Caja et al., 2006).

Já os animais lactantes que não ficaram gestantes, após o término da lactação, irão ingressar na categoria de animais NL NP e esperar pela próxima estação de monta para que o ciclo novamente se inicie.

### **3.3.1 Diagramas de fluxo de sistema**

Anteriormente viu-se a estruturação dos diagramas de *loop* causal ou diagramas de influência. Agora, serão apresentados os diagramas de fluxo do sistema e os exemplos apresentados serão relativos ao início de todo o processo de simulação do rebanho, considerando um *input* ou entrada inicial de cabras nulíparas no início da estação de monta.

Baseado em informações disponíveis do setor de caprinocultura da Universidade Federal de Viçosa algumas suposições foram feitas.

*Fluxos de entrada no sistema = Animais que iniciaram a simulação + Animais que foram comprados durante o período simulado + Animais que nasceram e foram incorporados no sistema.*

*Fluxos de saída do sistema = Animais que ultrapassaram a idade máxima de produção + Animais vendidos + Animais descartados + Animais que morreram.*

### 3.3.1.1 Fluxo de animais adultos

Entendeu-se que nem todos os animais acasalariam no mesmo momento ou no mesmo instante de simulação. Para isso, foi criada uma função que determinou a saída destes animais continuamente durante três meses (Figura 36b), supondo que a estação reprodutiva pudesse durar mais ou menos 90 dias.

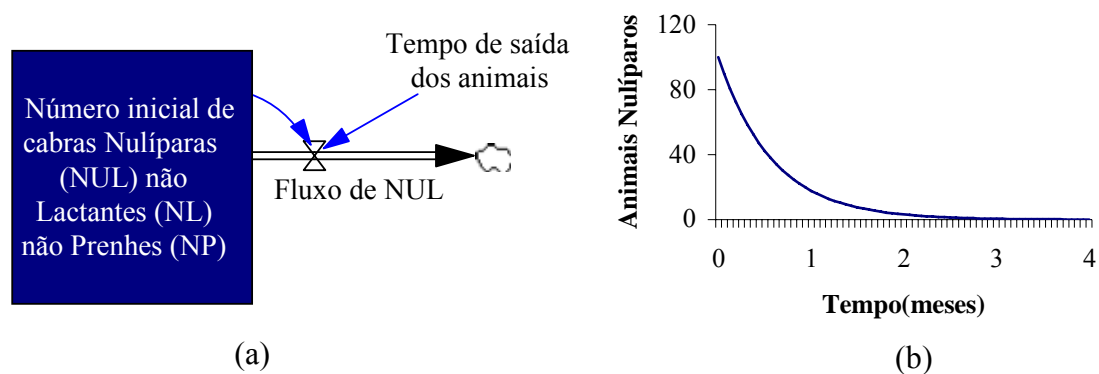


Figura 36 – Diagrama parcial do fluxo de sistema representando a saída de animais para estação reprodutiva (a) e gráfico mostrando o comportamento da saída desses animais do *pool* inicial cabras nulíparas.

O número inicial de animais presentes no rebanho foi considerado de 100 cabras nulíparas no início da estação de monta. Matematicamente esse processo é da seguinte forma:

$$\text{Número inicial de nulíparas} = 100 - \text{Fluxo de NUL (nulíparas)} \quad (4)$$

$$\text{Fluxo de NUL} = \text{if then else}(\text{Time} > 0, \text{Número inicial de nulíparas} \times \text{Tempo de saída dos animais}, 0) \quad (5)$$

$$\text{Tempo de saída dos animais} = 1,633333 \quad (6)$$

Todos os fluxos possuem como unidade Animais/mês, Litros/mês, etc., enquanto os estoques possuem como unidade Animais, Litros de Leite, dinheiro(\$), Forragem, Concentrado, etc.

Após a criação do fluxo de animais nulíparos, criou-se uma entrada no sistema através do fluxo Entrada NUL. Este fluxo foi o responsável pela distribuição desses animais após a estação de monta (Figura 37).

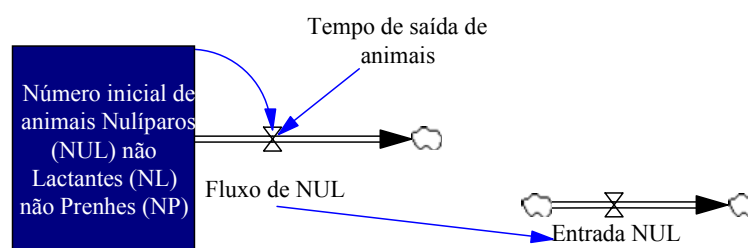


Figura 37 – Diagrama parcial do fluxo de sistema representando a transformação do “Fluxo de NUL” em “Entrada NUL” que é o primeiro *input* de cabras nulíparas.

Na forma matemática, esse processo é igual ao anterior seguido de:

$$\text{Entrada NUL} = \text{Fluxo NUL} \quad (7)$$

Note na Figura 38 que o fluxo de Entrada de NUL é fracionado em cinco outros fluxos responsáveis pelo descarte de animais nulíparos prenhes e não prenhes, animais que morreram e animais que passaram pela estação de acasalamento e ficaram positivos (NUL P) e aqueles que permaneceram na mesma condição de animal nulíparo não prenhe (NUL NP).

Entretanto, para que ocorra a partição destes fluxos, existem três taxas determinando o processo, quais sejam: a taxa de fertilidade do rebanho, a mortalidade e a taxa de descarte das cabras (Figura 38).

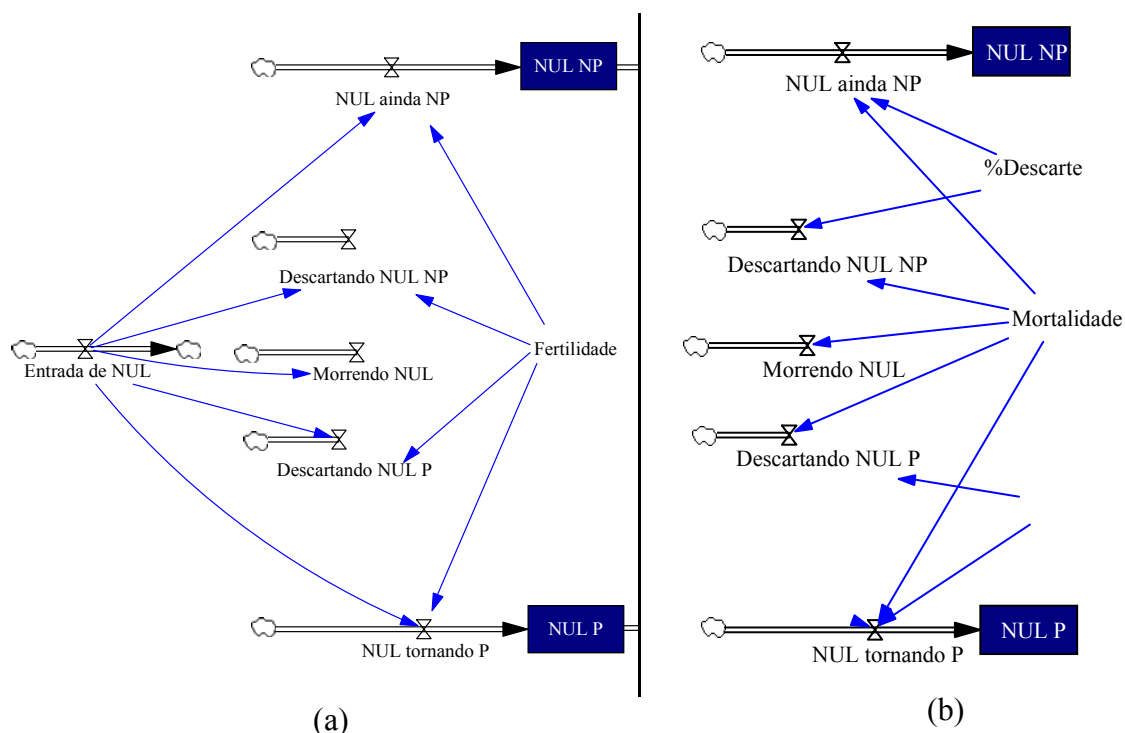


Figura 38 – Diagrama parcial do fluxo de sistema representando os *inputs* do grupo de cabras nulíparas, mostrando as divisões que ocorrem nos fluxos e as variáveis que controlam esta partição.

As fórmulas matemáticas de se apresentar esses fluxos podem ser descritas como:

$$\begin{aligned} \text{Nulípara ainda} &= \text{Entrada de NUL} \times \\ &(1 - \text{Fertilidade}) \times (1 - \text{Mortalidade}) \times (1 - \% \text{Descarte}) \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \text{Descartando NUL NP} &= \text{Entrada de NUL} \times \\ &(1 - \text{Fertilidade}) \times (1 - \text{Mortalidade}) \times (\% \text{Descarte}) \end{aligned} \quad (9)$$

$$\text{Morrendo NUL} = \text{Entrada de NUL} \times \text{Mortalidade} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \text{Descartando NUL NP} &= \text{Entrada de NUL} \times \\ &(\text{Fertilidade}) \times (1 - \text{Mortalidade}) \times (\% \text{Descarte}) \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \text{NUL tornando P} &= \text{Entrada de NUL} \times \\ &(\text{Fertilidade}) \times (1 - \text{Mortalidade}) \times (1 - \% \text{Descarte}) \end{aligned} \quad (12)$$

É importante relatar que as Figuras 38a e 38b representam a mesma estrutura, colocadas de forma separada para facilitar a compreensão. Da forma como estão no

modelo essas e outras setas se sobrepõem, criando um emaranhado de conexões para gerar as relações do modelo.

Neste exemplo, existem apenas dois estoques (retângulos) que são de animais NUL NP e NUL P. Todos os fluxos poderão gerar um estoque de informação necessário para se fazer análise de respostas do sistema e a contabilidade do processo, mas foram agrupados em outra parte do modelo.

Essas taxas irão determinar o percentual de fluxos que passarão em cada uma das cinco partições, determinando o comportamento da dinâmica do rebanho. Os estoques NUL NP e NUL P são abastecidos pelo *input* chamado NUL ainda NP e NUL tornando P, respectivamente. Aqui está uma importante característica no processo de modelagem que é dar nomes aos fluxos procurando nomeá-los com a idéia de algo em andamento, criando uma noção de movimento.

Outro ponto importante a ser comentado, e uma das principais características do sistema, é que a taxa de fertilidade utilizada é uma variável aleatória. Ou seja, foram estipulados valores máximos e mínimos na função que, através de uma distribuição normal, vão sendo atribuídos valores de fertilidade em cada ciclo de simulação. Este procedimento confere ao sistema uma característica estocástica que representa, de forma mais aproximada, os acontecimentos na vida real. A variabilidade empregada é suficiente para garantir um comportamento diferenciado do modelo, em comparação com outros modelos de definição linear.

As variáveis auxiliares da figura acima podem ser apresentadas como:

$$\textit{Fertilidade} = \text{RANDOM NORMAL}(\text{valor mínimo}, \text{valor máximo}, \text{média}, \text{desvio padrão}, \text{seed}) \quad (13)$$

$$\textit{Mortalidade} = \textit{valor} \quad (14)$$

$$\% \textit{Descarte} = \textit{Valor} \quad (15)$$

Na Figura 39, esses mesmos dois estoques são esvaziados por dois fluxos regidos por um período de espera, ou seja, por um *delay*. Este é um exemplo do que se chama “*Delay fixed*”, em que o fluxo é bloqueado por um tempo determinado devido ao tempo de gestação e à espera para a próxima estação de monta.

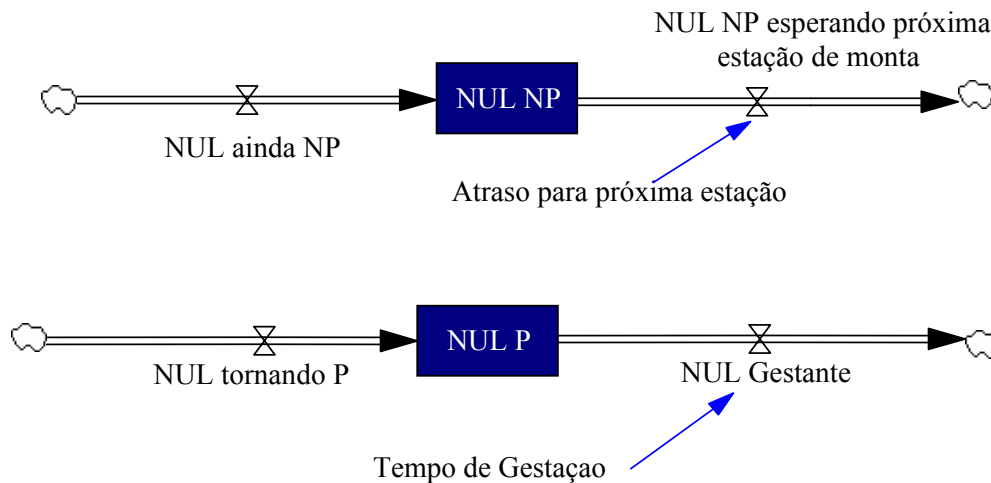


Figura 39 – Diagrama parcial do fluxo de sistema representando os *inputs* e *outputs* dos estoques de cabras nulíparas prenhes e não prenhes, vinculados aos tempos de gestação e de próxima estação.

De acordo com a figura acima, o restante do processo que não foi representado matematicamente pode ser escrito como:

$$NUL\ NP = + NUL\ ainda\ NP - NUL\ NP\ esperando\ próxima\ estação\ de\ monta \quad (16)$$

$$NUL\ P = + NUL\ tornando\ P - NUL\ Gestante \quad (17)$$

$$NUL\ NP\ esperando\ próxima\ estação\ de\ monta = DELAY\ FIXED(NUL\ ainda\ NP, Delay\ para\ próxima\ estação, 0) \quad (18)$$

$$NUL\ Gestante = DELAY\ FIXED(NUL\ tornando\ P, Tempo\ de\ Gestação, 0) \quad (19)$$

$$Delay\ para\ próxima\ estação = valor \quad (20)$$

$$Tempo\ de\ Gestação = 5 \quad (21)$$



processo (Entrada de NUL), conferindo um *feedback* de animais ao sistema. Esses animais que não ficaram prenhes, realimentarão o *pool* de animais para próxima estação de monta.

Como citado anteriormente, a estrutura da Figura 40 é a base para as outras categorias; entretanto, no caso das nulíparas existem algumas diferenças em relação às demais. A taxa de fertilidade foi diferente, pois, de acordo com os dados provenientes do programa Capricornius (Santos, 2006), que é o programa de gerenciamento do setor de caprinos da Universidade Federal de Viçosa, a fertilidade das cabras nulíparas foi menor que a média do rebanho, muito provável por não terem alcançado, ainda, a maturidade fisiológica. Outra diferença ligada à própria estrutura é a existência, além do *feedback* de animais para a próxima estação, da contribuição das cabras jovens que estão entrando no sistema, ou seja, as cabritas que estão chegando pela primeira vez à idade de acasalamento.

Depois que os animais ficam gestantes eles passam para a próxima categoria, seguindo a ordem de partos até atingir um máximo de cinco e serem descartados.

### **3.3.1.2 Fluxo das crias**

Após o período de gestação, os animais iniciam a lactação e, naturalmente, ocorre o aparecimento das crias no sistema. Para isso, foi criada uma estrutura de fluxo de sistema que representasse os nascimentos. O diagrama da Figura 41 é uma representação geral de como foi elaborado esse fluxo. A diferença básica é que esta estrutura existe para cada um dos dois sexos, devido às diferentes finalidades para machos e fêmeas.

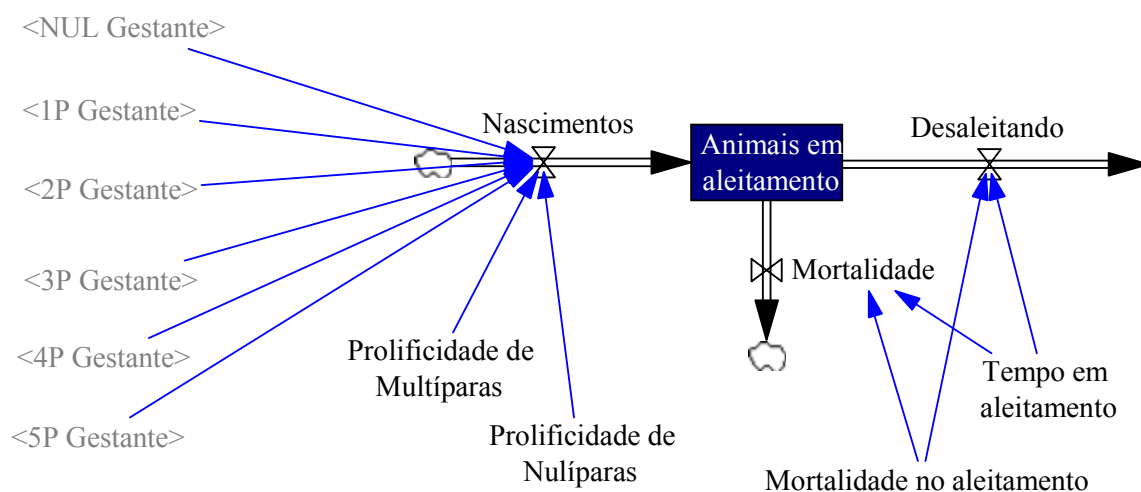


Figura 41 – Parte do diagrama do fluxo de sistema de crias representando os nascimentos (*inputs*) e parte do processo crescimento.

Como mostrado no diagrama, os nascimentos são função do número de fêmeas que gestaram e da prolifidade do rebanho. Como a prolifidade varia de acordo com o número de animais nulíparas ou multíparas, o perfil de animais no rebanho também irá influenciar a quantidade de nascimentos.

Existe uma diferença entre animais de primeira cria e os demais, pelo fato desses não estarem em seu máximo desenvolvimento fisiológico e, por razões hormonais e estruturais, a maioria das nulíparas tendem a apresentar prolifidade menor que as multíparas (Guimarães, 2004).

Os animais que nasceram, entraram no sistema através do fluxo “Nascimentos” (Figura 41). Esses animais, durante o período de aleitamento, ficaram no estoque chamado “Animais em aleitamento”, (Figura 41). O que determina esta permanência é a variável auxiliar “Tempo de aleitamento” em que se fez uso novamente do “*Delay fixed*” para manter os animais naquele estoque. Nesse mesmo estoque, também existe um *output* que está relacionado à mortalidade dessa fase, e que, de certa forma, está contemplando as possíveis saídas de animais com má formação, peso ao nascimento inferior ao mínimo, etc.

A estrutura anterior pode ser expressa matematicamente da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \text{Nascimentos} = & (\text{NUL Gestante} \times \text{Prolificidade de Nulípara}) + \\ & \text{Prolificidade de Multíparas} \times (\text{1P Gestante} + \text{2P Gestante} + \\ & \text{3P Gestante} + \text{4P Gestante} + \text{5P Gestante}) \end{aligned} \quad (22)$$

$$\text{Animais em aleitamento} = + \text{Nascimentos} - \text{Desmamando} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} \text{Desmamando} = & \text{DELAY FIXED} (\text{Nascimentos} \times \\ & (1 - \text{Mortalidade no aleitamento}), \text{Tempo em aleitamento}, 0) \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \text{Mortalidade} = & \text{DELAY FIXED} (\text{Nascimentos} \times \\ & \text{Mortalidade no aleitamento}, \text{Tempo em aleitamento}, 0) \end{aligned} \quad (25)$$

$$\text{Prolificidade de nulíparas} = \text{valor} \quad (26)$$

$$\text{Prolificidade de múltiparas} = \text{valor} \quad (27)$$

$$\text{Mortalidade no aleitamento} = \text{valor} \quad (28)$$

$$\text{Tempo em aleitamento} = \text{valor} \quad (29)$$

Na Figura 42 os animais que desaleitam vão para o estoque “Animais desaleitados” onde permanecem até completarem a fase de crescimento determinada pela idade à maturidade. Assim, neste exemplo proposto, três são os destinos das cabras: reprodução, venda e morte. No caso dos machos, pode existir ainda uma quarta opção relacionada aos animais destinados à produção de carne para a venda.

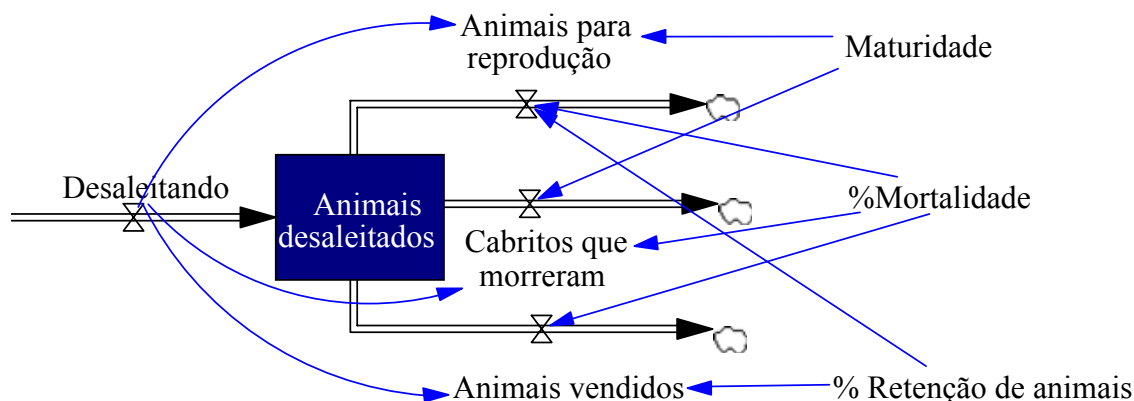


Figura 42 – Parte do diagrama do fluxo de sistema de crias representando possíveis destinações para os que chegam à fase adulta (*outputs*).

As variáveis auxiliares neste exemplo são: idade à maturidade, mortalidade para a fase e percentual de animais retidos no rebanho. Nota-se aqui que a principal auxiliar é a idade à maturidade, pois ela determinará a saída dos animais do estoque. A segunda variável a determinar os *outputs* é a mortalidade, pois a continuidade do processo é dada pelo restante dos animais no sistema. Por último, a quantidade de animais que se pretende reter no rebanho definirá quanto irá para reprodução e quanto será vendido.

Matematicamente pode ser escrito como:

$$\text{Animais desmamados} = + \text{Desmamando} - \text{Animais para reprodução} - \text{Cabritos que morreram} - \text{Animais vendidos} \quad (30)$$

$$\text{Animais para reprodução} = \text{DELAY FIXED}(\text{Desmamando} \times (1 - \% \text{Mortalidade de cabritos}) \times \% \text{Retenção de animais}, \text{Idade à Maturidade}, 0) \quad (31)$$

$$\text{Cabritos que morreram} = \text{DELAY FIXED}(\text{Desmamando} \times \% \text{Mortalidade de cabritos}, \text{Idade à Maturidade}, 0) \quad (32)$$

$$\text{Animais vendidos} = \text{DELAY FIXED}(\text{Desmamando} \times (1 - \% \text{Mortalidade de cabritos}) \times (1 - \% \text{Retenção de animais}), \text{Idade à Maturidade}, 0) \quad (33)$$

$$\text{Idade à maturidade} = \text{valor} \quad (34)$$

$$\text{Cabritos que morreram} = \text{valor} \quad (35)$$

$$\% \text{Retenção de animais} = \text{valor} \quad (36)$$

A Figura 43 é uma demonstração de como está estruturado o processo, desde o número de animais que pariram criando um *input* de nascimentos no sistema, passando pelos processos de aleitamento até a maturidade (cria e recria), chegando finalmente nos *outputs* deste subsistema que são os animais destinados à venda, reprodução ou que morreram durante o processo.

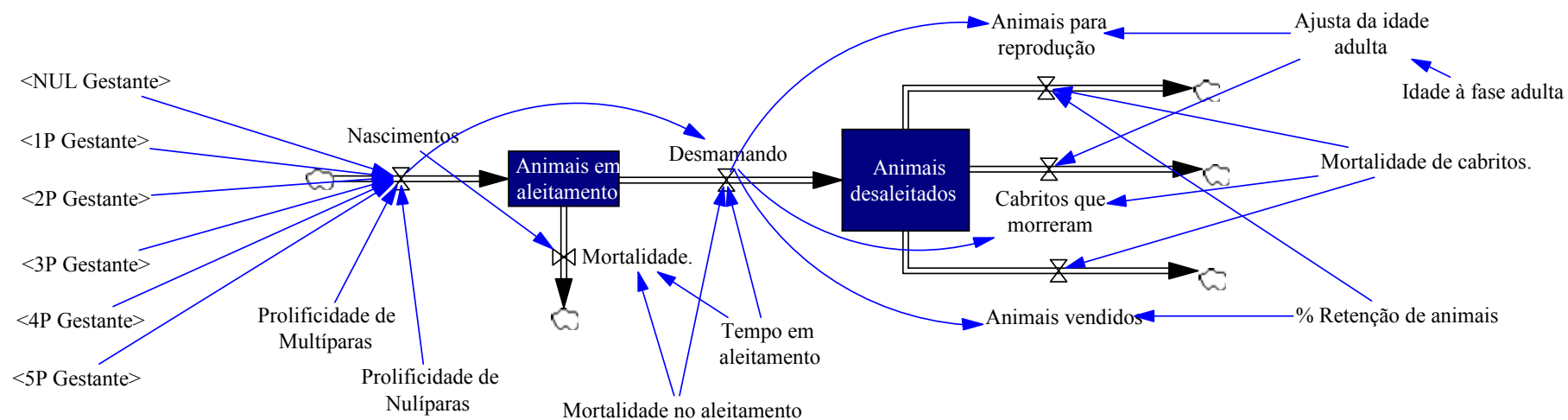


Figura 43 – Diagrama do fluxo de sistema de crias representando o caminho dos animais desde o nascimento até a fase adulta.

### 3.3.1.3 Fluxo de reprodutores

A Figura 44 mostra como foi calculada a necessidade de reprodutores no rebanho. Primeiramente, foi definida a proporção Fêmea/Macho para que se determinasse a quantidade de machos necessários para atender o rebanho.

No início da simulação foi adotado um número suficiente de machos pra permitir o funcionamento do sistema de produção. Entretanto, à medida que o rebanho cresce, aumenta-se a necessidade do número de machos garantindo variabilidade genética para atender as condições de melhoria do rebanho.

A princípio, o sistema considera a reposição de machos com animais gerados no próprio rebanho e, para isso, alguns cabritos jovens foram escolhidos e criados com a finalidade de repor ou completar a necessidade de reprodutores no rebanho. Normalmente, o que se faz é selecionar um número maior de cabritos para que, ao chegarem à fase reprodutiva, possa-se fazer outra triagem para seleção dos melhores. Nesse fluxo, toda vez que a quantidade de machos selecionados supera a demanda, o excedente é comercializado a preço de animais para reprodução (Figura 39). Existe uma regra muito importante que é o tempo máximo de permanência dos reprodutores no rebanho, sendo considerado em média de 6 anos ou 72 meses.

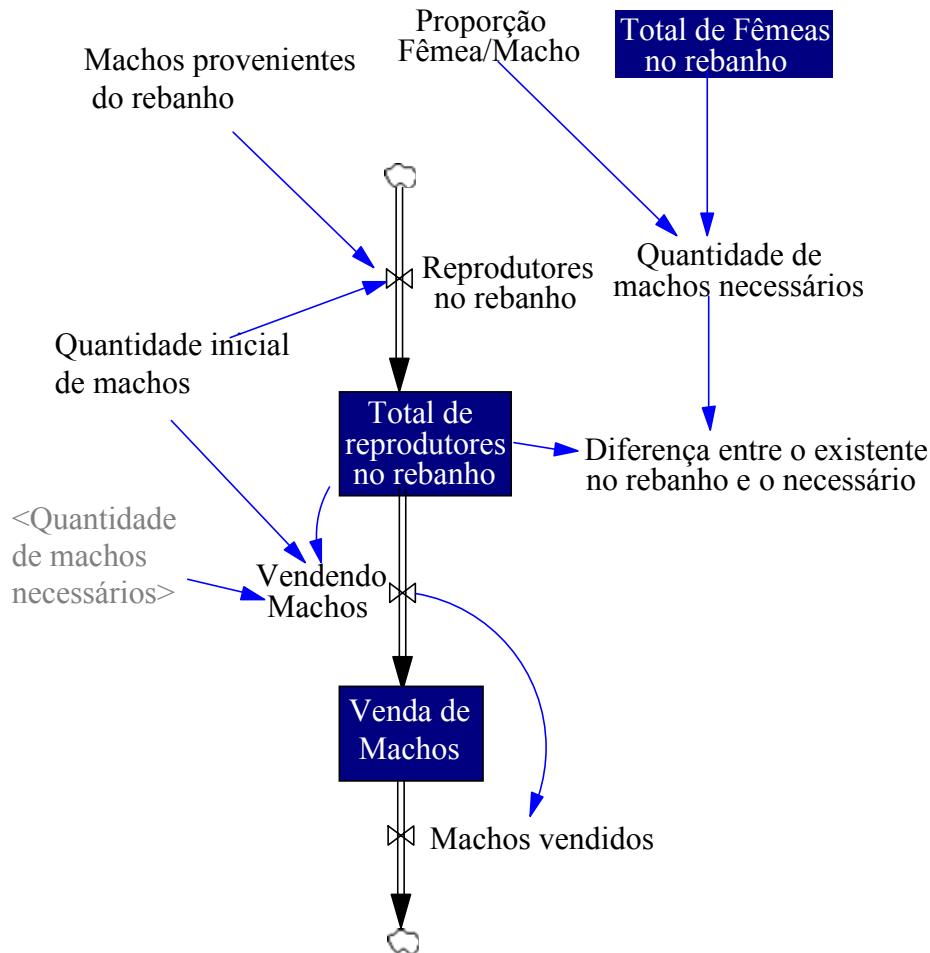


Figura 44 – Diagrama do fluxo do sistema representando o número de reprodutores no rebanho e suas vendas.

Matematicamente pode ser escrito como:

$$\text{Proporção Fêmea/Macho} = \text{valor} \quad (37)$$

$$\text{Total de Fêmea no rebanho} = \text{varia de acordo com a dinâmica do rebanho} \quad (38)$$

$$\begin{aligned} \text{Quantidade de machos necessários} = & \text{ IF THEN ELSE(} \\ & (\text{Total de Fêmea no rebanho/Proporção Fêmea/Macho}) \leq 1, \\ & 1, \text{ Total de Fêmea no rebanho/Proporção Fêmea/Macho)} \end{aligned} \quad (39)$$

$$\begin{aligned} \text{Diferença entre o existente no rebanho e o necessário} = & \text{ IF THEN ELSE(} \\ & \text{Quantidade de machos necessários} > \text{Total de Fêmea no rebanho,} \\ & \text{Quantidade de machos necessários} - \text{Total de Fêmea no rebanho, } 0) \end{aligned} \quad (40)$$

$$\begin{aligned} \text{Reprodutores no rebanho} = & \text{IF THEN ELSE} (\text{Time} = \text{Quantidade} \\ & \text{inicial de machos, Quantidade inicial de machos/TIME STEP} + \\ & \text{Machos provenientes do rebanho, Machos provenientes do rebanho}) \end{aligned} \quad (41)$$

$$\text{Quantidade inicial de machos} = \text{valor} \quad (42)$$

$$\begin{aligned} \text{Total de reprodutores no rebanho} = & + \text{Reprodutores no rebanho} \\ & - \text{Machos vendidos} \end{aligned} \quad (43)$$

$$\begin{aligned} \text{Vendendo Machos} = & \text{IF THEN ELSE} (\text{Quantidade inicial} \\ & \text{de machos} \geq \text{Quantidade de machos necessários}), 0, \\ & \text{IF THEN ELSE} (\text{Total de reprodutores no rebanho} > 1,2 \times \\ & \text{Quantidade de machos necessários, (Total de reprodutores no} \\ & \text{rebanho} - \text{Quantidade de machos necessários)/TIME STEP, 0)) \end{aligned} \quad (44)$$

$$\begin{aligned} \text{Diferença entre o existente no rebanho e o necessário} = & \text{IF THEN ELSE} ( \\ & \text{Quantidade de machos necessários} > \text{Total de Fêmea no rebanho,} \\ & \text{Quantidade de machos necessários} - \text{Total de Fêmea no rebanho}, 0) \end{aligned} \quad (45)$$

$$\text{Venda de Machos} = + \text{Vendendo Machos} - \text{Machos vendidos} \quad (46)$$

$$\text{Machos vendidos} = \text{DELAY FIXED} (\text{Vendendo Machos}, 1, 0) \quad (47)$$

### 3.3.1.4 Contabilização de variáveis

A maioria dos processos existentes no sistema gera fluxos tanto de animais, de leite ou de alimentos que são valores relacionados ao tempo da derivação (taxa ou valor por tempo). Se os fluxos forem analisados diretamente, seus valores não têm implicação prática de medida como, por exemplo, o número de animais que morreram, nasceram ou que estão produzindo leite, etc., pois são vinculados ao “time step” configurado para o sistema.

Assim, para ser possível entender os acontecimentos, a contabilidade das variáveis importantes para o estudo foi feita em outro compartimento externo aos diagramas de

fluxo. Um exemplo é a Figura 45 trazendo estoques que estão contabilizando, no caso específico, animais em aleitamento, desaleitados, vendidos, etc.

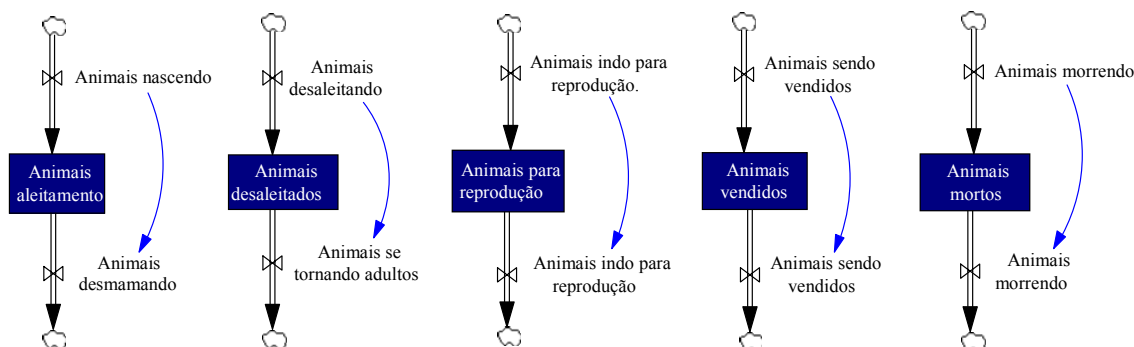


Figura 45 – Diagrama de fluxo para contabilizar variáveis de maior importância no sistema de produção.

O fluxo inicial de cada um dos estoques é determinado pelos fluxos do diagrama mostrado na Figura 45. Através do uso da função imagem, busca-se a mesma variável, fazendo com que ela inicie outro processo independente do fluxo principal em questão. O que é mostrado na figura acima não interfere, em absoluto, na dinâmica do rebanho, servindo apenas para contabilizar os *inputs* e *outputs* dos processos, de forma a permitir uma análise e a avaliação do sistema.

## 3.4 Simulações

### 3.4.1 Parâmetros biológicos de produção

O comprimento da lactação, taxa de fertilidade, número de crias por parto, mortalidade de crias, animais em crescimento, cabras adultas, média de produção de leite por categoria, taxa de retenção, de descarte, tempo de aleitamento e tempo para atingir a maturidade são considerados parâmetros biológicos de produção e seus valores iniciais para a simulação estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Média de valores dos parâmetros de produção utilizados na simulação do rebanho caprino leiteiro.

Parâmetros	Média de valores
Período de Gestação	5 meses
Fertilidade de Nulíparas	41%
Fertilidade de Multíparas	60%
Número de crias para Nulíparas	1 cria/parto
Número de crias para Multíparas	1,5 crias/parto
Mortalidade de crias	6%
Mortalidade de animais em crescimento (desaleitados)	4%
Mortalidade de animais adultos	2%
Média de produção por animal na 1 <sup>a</sup> lactação	1,7 litros por dia
Média de produção por animal na 2 <sup>a</sup> lactação	1,9 litros por dia
Média de produção por animal na 3 <sup>a</sup> lactação	2,2 litros por dia
Média de produção por animal na 4 <sup>a</sup> lactação	2,4 litros por dia
Média de produção por animal na 5 <sup>a</sup> lactação	2,1 litros por dia
Tempo de aleitamento	2 meses
Proporção Fêmea/Macho	30/1
Tempo de permanência de reprodutores	5 anos
Tempo de permanência de fêmeas	Até 5 <sup>o</sup> lactação
Tempo de lactação	10 meses

A simulação inicia-se com um estoque de 100 cabritas jovens (nulíparas) entrando pela primeira vez na estação de monta. Para as nulíparas, a probabilidade de ficar gestante foi considerada  $41\% \pm 0,2$  e para as demais categorias  $60\% \pm 0,2$ . Foi considerada uma fertilidade 20% inferior para a estação induzida de monta quando comparado com a estação normal.

A prolificidade do rebanho depende das categorias de cabras, sendo que, para as cabras nulíparas, em média, nasce um único cabrito por parto. Após o primeiro parto, as cabras tendem a parir mais de um cabrito, em reflexo da maturidade fisiológica, obtendo em média 1,5 cabritos por parto.

As cabritas foram aleitadas por 60 dias à base de sucedâneo de leite e aquelas com idade superior a dois meses foram alimentadas com mistura concentrada e material forrageiro, até atingirem a idade reprodutiva de 7 meses. Parte destes animais foi destinada à reprodução, entrando na estação reprodutiva seguinte e os demais foram vendidos.

Na evolução do rebanho em condições naturais, o propósito foi fazer a simulação apenas para produção de leite e, assim, 10% dos machos foram retidos para fins reprodutivos, sempre mantendo a proporção de 30 fêmeas para cada macho. Os demais machos foram sacrificados logo depois do nascimento. Contudo, se dentro do sistema buscasse uma segunda fonte de renda como, por exemplo, produção de carne, os animais que não foram utilizados para reprodução poderiam ser poupados e mantidos no rebanho até o peso ideal de abate sendo vendidos para corte.

Na construção do sistema de produção, um fator muito importante para a distribuição dos fluxos de animais nos diferentes estoques foi o período de lactação. O tempo de lactação é fundamental porque caso se defina um período de lactação que coincida com as épocas de acasalamento, o fluxo de animais seguirá determinado primeiramente pelo período de produção de leite. Se não for possível secar no mínimo sessenta dias antes de um possível parto, considerando o tempo de lactação estipulado, o sistema não acasala o animal, fazendo-o quando for possível cumprir o tempo de lactação e os prazos estabelecidos de gestação e secagem.

### **3.4.2 Políticas e medidas de manejo**

#### **3.4.2.1 Taxa de descarte**

A taxa de descarte foi utilizada como ferramenta de controle do número de animais no rebanho (Jalvingh et al., 1992); caso contrário, o rebanho cresceria indefinidamente. Nenhuma política ou medida no manejo foi adotada na primeira simulação para permitir o entendimento de como o rebanho evoluiria durante um período de 10 anos. Para as outras

simulações, a taxa de descarte foi utilizada para garantir a estabilidade do rebanho e o número de animais desejados.

### **3.4.2.2 Taxa de retenção**

Para os animais nascidos no rebanho, alguns foram mantidos para substituir os descartados, os que morreram ou mesmo para contribuir com o próprio aumento do rebanho. Na primeira simulação, todas as cabritas que nasceram foram mantidas, considerando um rebanho em crescimento.

Todavia, os sistemas possuem um limite (Meadows et al., 1972) e o número de animais não poderia crescer indefinidamente. Quando o número total de animais atinge o número máximo suportado ou desejado no sistema, medidas de manejo devem ser tomadas para promover o controle da população. Para as demais simulações, a taxa de retenção foi modificada para que menos cabritas (*input*) entrassem no *pool* de cabras jovens. As cabritas não utilizadas para reprodução foram vendidas, tornando-se outra fonte de renda para o sistema.

### **3.4.3 Alimentação**

Na Figura 46 está a representação de como foram feitos os cálculos de consumo. Pela existência de diferenças nutricionais já mencionadas no texto, foram criadas estruturas diferenciadas para cada categoria animal, a fim de simular as diferenças ingestivas, buscando aproximar o máximo possível dos requisitos reais dos animais nas diversas categorias animal.

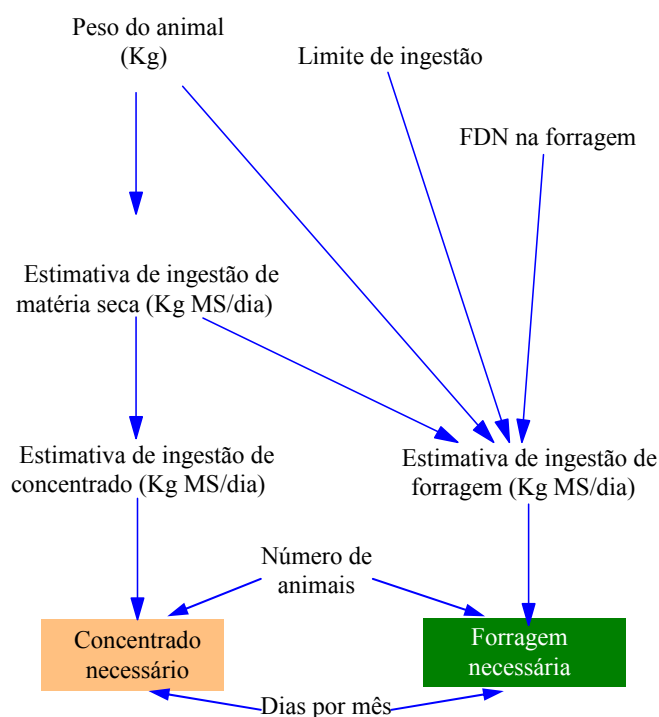


Figura 46 – Diagrama representativo do cálculo de forragem, concentrado necessários para as categorias do rebanho.

Esta estrutura foi criada para cada uma das categorias em estudo e, matematicamente, pode ser escrita como:

$$\text{Peso médio dos animais} = 57 \quad (48)$$

$$\begin{aligned} \text{Estimativa de ingestão de matéria seca (Kg MS/dia)} = \\ 0,065 \times \text{Peso médio dos Animais}^{0,75} \end{aligned} \quad (49)$$

$$\text{Limite de ingestão} = 1,2 \quad (50)$$

$$\text{FDN na forragem} = 67,2 \quad (51)$$

$$\begin{aligned} \text{Estimativa de ingestão de forragem (Kg MS/dia)} = \text{IF THEN ELSE} \\ (\text{Peso médio dos animais} \times \text{Limite de ingestão de fibra/FDN da} \\ \text{forragem} \geq \text{Estimativa de ingestão de matéria seca (Kg MS/dia)}, \\ \text{Estimativa de ingestão de matéria seca (Kg MS/dia)}, \\ \text{Peso médio dos animais} \times \text{Limite de ingestão de fibra/FDN da forragem}) \end{aligned} \quad (52)$$

$$\begin{aligned} & \text{Estimativa de ingestão de concentrado (Kg MS/dia)} = \\ & \text{Estimativa de ingestão de matéria seca (Kg MS/dia)} - \\ & \text{Estimativa de ingestão de forragem (Kg MS/dia)} \end{aligned} \quad (53)$$

$$\begin{aligned} & \text{Concentrado necessário} = \text{Número de animais} \times \text{dias por mês} \times \\ & \text{Estimativa de ingestão de concentrado (Kg MS/dia)} \end{aligned} \quad (54)$$

$$\begin{aligned} & \text{Forragem necessária} = \text{Número de animais} \times \text{dias por mês} \times \\ & \text{Estimativa de ingestão de forragem (Kg MS/dia)} \end{aligned} \quad (55)$$

O consumo de leite ou sucedâneo para os animais em aleitamento foi calculado através da estrutura mostrada na Figura 47.

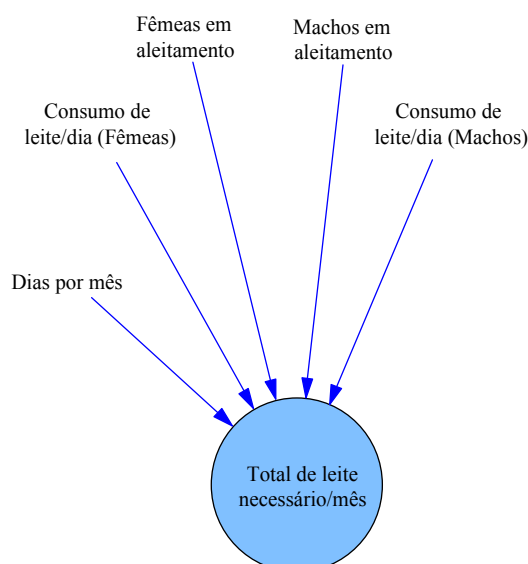


Figura 47 – Diagrama representativo do cálculo de leite/sucedâneo necessários para as categorias do rebanho.

Matematicamente pode ser escrita como:

$$\text{Fêmeas em aleitamento} = \text{varia de acordo com a dinâmica do rebanho} \quad (56)$$

$$\text{Machos em aleitamento} = \text{varia de acordo com a dinâmica do rebanho} \quad (57)$$

$$\text{Consumo de leite/dia (Machos)} = 1 \quad (58)$$

$$\text{Consumo de leite/dia (Fêmeas)} = 1,5 \quad (59)$$

$$\begin{aligned} & \text{Total de leite necessário por mês} = \\ & \text{Dias por mês} \times (\text{Fêmeas em aleitamento} \times \text{Consumo de leite/dia (Fêmeas)}) + \quad (60) \\ & \text{Dias por mês} \times (\text{Machos em aleitamento} \times \text{Consumo de leite/dia (Machos)}) \end{aligned}$$

### 3.4.3.1 Qualidade da forrageira

O preço de qualquer produto normalmente está relacionado à qualidade e quantidade. Assim, o produtor se encontra em uma situação em que é preciso tomar decisões para extrair o máximo do rebanho sendo o mais eficiente possível. Torna-se difícil fornecer alimentos de elevada qualidade para animais que não respondam à alimentação fornecida, bem como não adianta fornecer alimentos de baixa qualidade para animais muito especializados produtivamente, que não se conseguirá resultados satisfatórios. Neste momento é que o produtor se depara com um aspecto muito importante na produção agropecuária que é o tipo da alimentação fornecida aos animais que irá impactar diretamente os desempenhos produtivo e econômico da atividade.

Nem sempre para os animais de maior produção será vantajoso utilizar alimentos de elevada qualidade, porque tudo irá depender do custo com o alimento por animal e da rentabilidade conseguida por animal. Por isso, os produtores precisam estar atentos para estas diferenças, pois as margens de lucro estão se tornando cada vez menores, fazendo-se necessário o entendimento da dinâmica nutricional de qualidade, quantidade, eficiência e lucratividade. É necessário que o produtor equacione o potencial produtivo do rebanho com qualidade e quantidade de alimentos, buscando o máximo de ganho econômico.

No rebanho em estudo foram considerados três níveis de produção dentro de cada uma das categorias de ordem de lactação quais sejam: alto, médio e baixo.

A utilização dos níveis de produção criará uma condição de maior ou menor produtividade que irá, ao final, determinar a eficiência do sistema. Vale ressaltar que, quanto melhor o tipo do alimento utilizado, mais caro fica o custo de produção.

No diagrama mostrado na Figura 48 tem-se uma representação dos efeitos do tipo de forragem na venda de leite e, conseqüentemente, na rentabilidade do sistema. No *loop* número 1 tem-se que à medida que se aumenta a qualidade da forragem utilizada, aumenta-se o custo da atividade. Com o aumento do custo da atividade ocorrem incentivos à redução de custos para tentar equilibrar os gastos. Quando se busca o corte de gastos tende-se a buscar material forrageiro mais barato no mercado que, em geral, devem ser de qualidade inferior, criando um círculo de equilíbrio. Entretanto, quando se reduz a qualidade da forragem reduz-se também, a capacidade do alimento atender as necessidades nutricionais dos animais que, por sua vez, irá provocar uma redução na capacidade produtiva dos mesmos (*loop* 2).

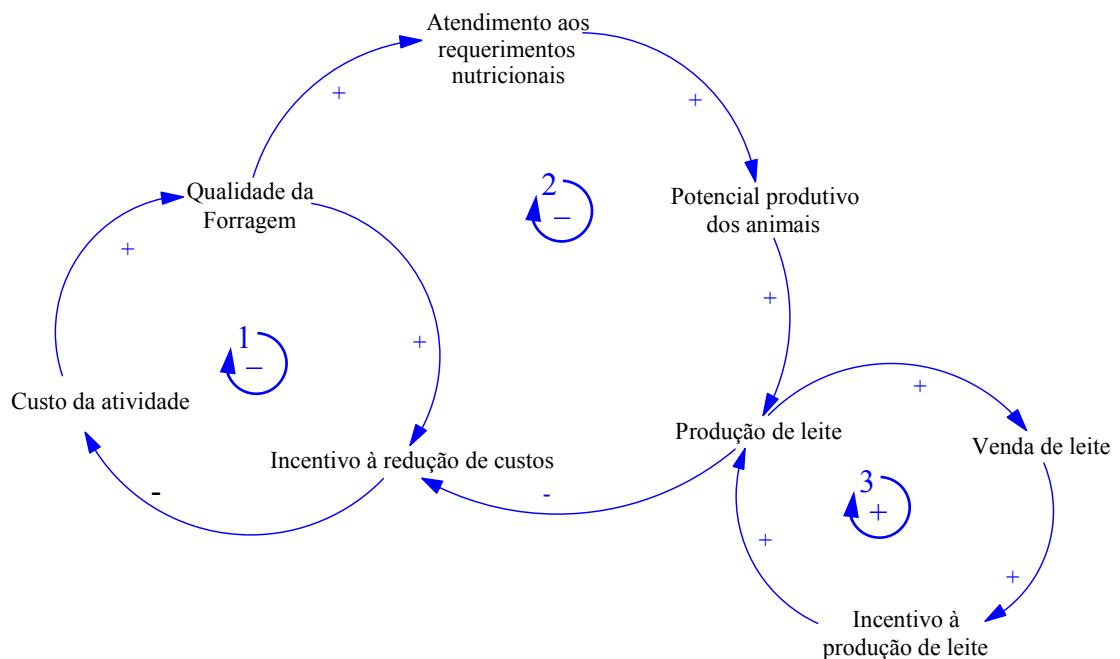


Figura 48 – Diagrama de influência considerando o efeito da qualidade da forragem sobre a venda de leite caprino.

A redução da capacidade produtiva reduz a produção de leite e, conseqüentemente, maior será o incentivo à redução de custos de produção. No *loop* 3 ocorre um *feedback* positivo, no qual uma maior venda de leite gera mais incentivo à produção, fazendo com

que seja produzido mais leite, em um processo contínuo. Esta seqüência só termina quando algum dos *loops* 1 ou 2 atua para levar o sistema ao equilíbrio.

A Figura 49 mostra o diagrama de como foi calculada a produção de leite para as três categorias no rebanho e sua implicação na produção de leite.

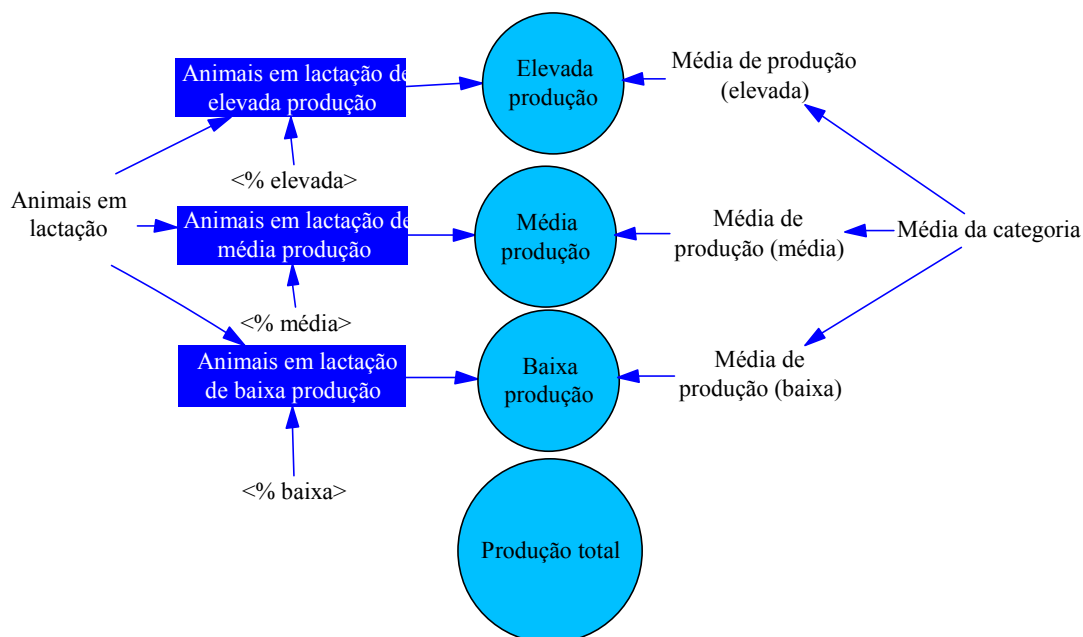


Figura 49 – Diagrama representando as três categorias de produção de leite no rebanho.

Outro fator que irá interferir essa dinâmica é o percentual de animais existentes em cada uma das categorias de alta, média e baixa produção. Dependendo da quantidade de animais em cada categoria, diferentes respostas serão obtidas durante a simulação do rebanho.

Como forma de ilustrar essa divisão produtiva, segue abaixo a representação matemática do processo:

$$\text{Animais em lactação} = \text{varia de acordo com a dinâmica do rebanho} \quad (61)$$

$$\% \text{ elevada} = \text{de acordo com o perfil do rebanho simulado (desejado)} \quad (62)$$

$$\% \text{ média} = \text{de acordo com o perfil do rebanho simulado (desejado)} \quad (63)$$

$$\% \text{ baixa} = \text{de acordo com o perfil do rebanho simulado (desejado)} \quad (64)$$

$$\begin{aligned} \text{Animais em lactação de elevada produção} = \\ \text{Animais em lactação} \times \% \text{ elevada} \end{aligned} \quad (65)$$

$$\begin{aligned} \text{Animais em lactação de média produção} = \\ \text{Animais em lactação} \times \% \text{ média} \end{aligned} \quad (66)$$

$$\begin{aligned} \text{Animais em lactação de baixa produção} = \\ \text{Animais em lactação} \times \% \text{ baixa} \end{aligned} \quad (67)$$

$$\begin{aligned} \text{Elevada produção} = \text{Animais em lactação de elevada produção} \times \\ \text{Média de produção (elevada)} \end{aligned} \quad (68)$$

$$\begin{aligned} \text{Média produção} = \text{Animais em lactação de média produção} \times \\ \text{Média de produção (média)} \end{aligned} \quad (69)$$

$$\begin{aligned} \text{Baixa produção} = \text{Animais em lactação de baixa produção} \times \\ \text{Média de produção (baixa)} \end{aligned} \quad (70)$$

$$\text{Produção total} = \text{Baixa produção} + \text{Média produção} + \text{Elevada Produção} \quad (71)$$

$$\text{Média de produção (elevada)} = \text{Média da categoria} \times 1,3 \quad (72)$$

$$\text{Média de produção (média)} = \text{Média da categoria} \quad (73)$$

$$\text{Média de produção (baixa)} = \text{Média da categoria} \times 0,7 \quad (74)$$

$$\text{Média da categoria} = \text{definido de acordo com a ordem de lactação} \quad (75)$$

As simulações feitas foram desenvolvidas buscando exemplificar os impactos da qualidade da forragem, bem como do perfil produtivo do rebanho sob a rentabilidade do sistema.

### 3.4.4 Produção de leite e carne

Dentro do sistema analisado, a produção de leite é a principal responsável pelo custeio da atividade. Praticamente, todo o processo de produção, o maior tempo gasto na gestão e no manejo da atividade, bem como os maiores custos, são relativos à produção e comercialização do leite.

Certamente, toda esta concentração de esforços é para garantir a maior eficiência do sistema de produção, buscando melhor retorno. No sistema de produção de leite, além da venda de animais para reprodução e a própria venda do leite pode se considerar a existência de “subprodutos” da atividade como, por exemplo, a produção de cabritos destinados pra corte e a venda de pele e esterco, como atrativos extras ao fortalecimento da fonte de renda do produtor.

E nesse processo de especialização da produção, muitas vezes não sobra nem espaço físico, nem mão-de-obra, nem capital para investir em algum outro produto que a atividade poderia fornecer. E para desfrutar desses “subprodutos”, muitas vezes o investimento é elevado ou o produtor não conta com um mercado desenvolvido o suficiente para absorver os produtos a um preço que justifique o investimento.

Havendo a disponibilidade física e boa justificativa financeira, aliadas a um mercado consumidor, nada impede o produtor de considerar o aproveitamento de alguns desses “subprodutos” para aumentar a rentabilidade do sistema como um todo.

Na Figura 50 tem-se um diagrama exemplificando as alternativas de produção no sistema, com a produção de leite e a venda de cabritos pra abate.

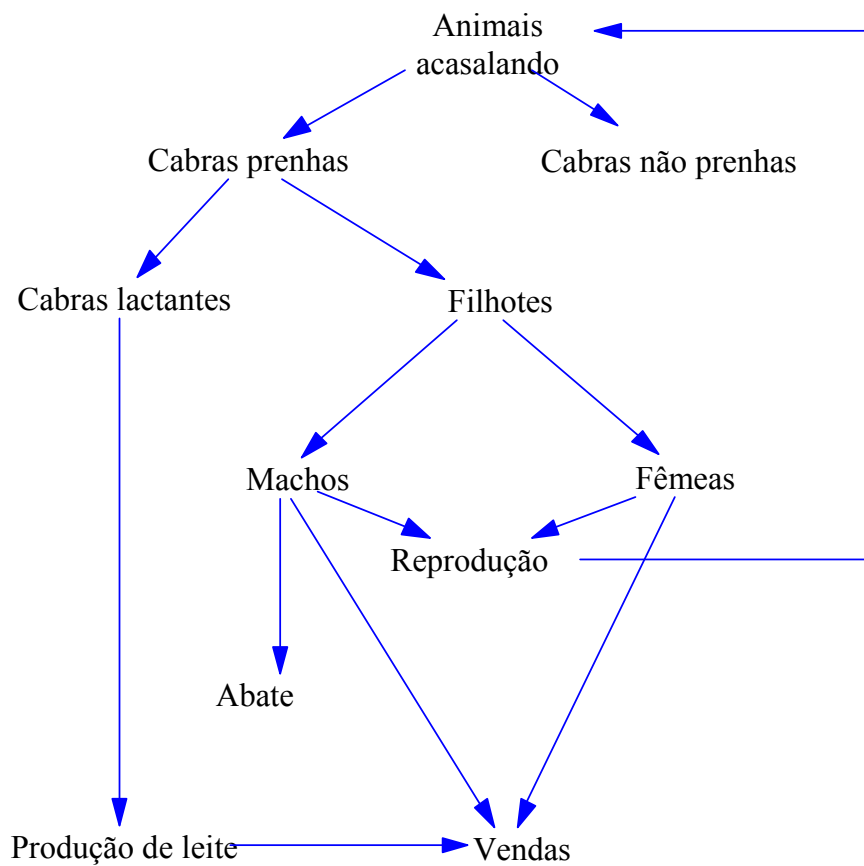


Figura 50 – Diagrama de um sistema de produção de cabras para produção de leite e carne.

Na Figura 51, percebe-se que foram criados grupos distintos de produção de leite para cada estágio de parição. Esta medida foi tomada para garantir as diferenças produtivas existentes em cada uma das categorias. As cabras de primeira cria, normalmente, apresentam produção média inferior à do rebanho pela mesma razão descrita em relação tipo de parto (simples e múltiplo).

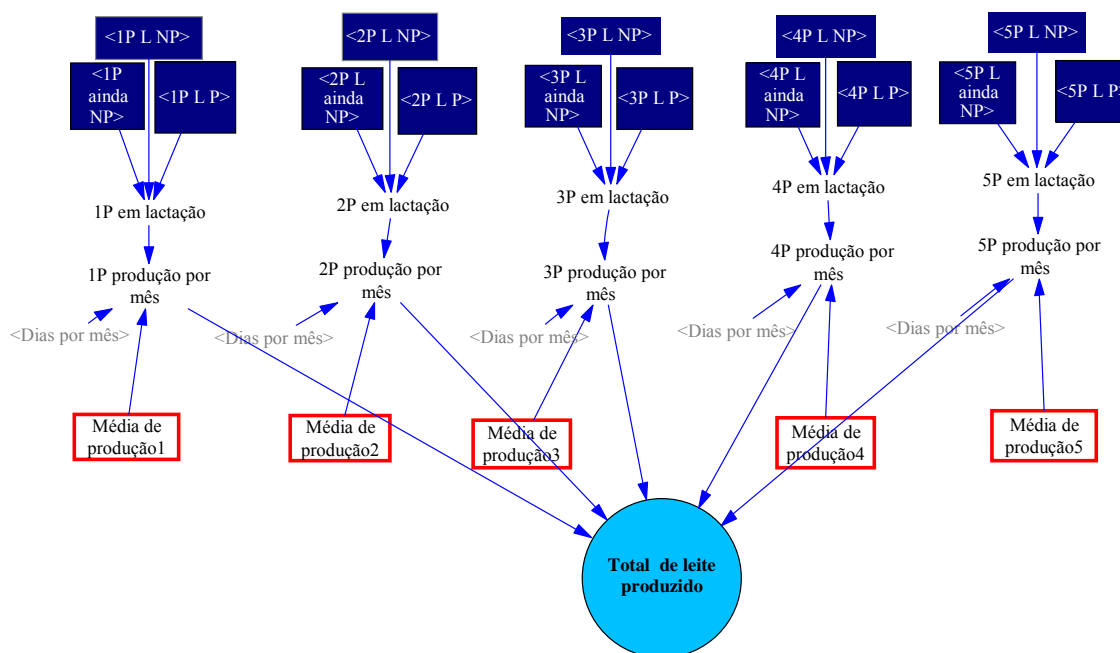


Figura 51 – Diagrama representativo do cálculo da produção total de leite em função das ordens de lactação.

A interferência do tipo de parto na produção de leite está relacionada com fatores hormonais. O aumento do número de fetos provoca alterações fisiológicas que interferem diretamente no balanço hormonal. Essa modificação faz com que hormônios importantes na lactação tenham sua produção aumentada, implicando melhoria da produção de leite para partos múltiplos, o que ocorre principalmente do segundo parto em diante. Segundo Guimarães (2006), as cabras em seu primeiro parto não conseguem exprimir todo o potencial produtivo, fato que acontece por volta da terceira ou quarta lactação, onde o animal já se encontra em plena maturidade fisiológica.

Os animais com parto simples e de primeira cria produzem significativamente menos leite que os de parto múltiplo e multíparas, como relatado por diversos autores (Fuentes et al., 1998; Mourad, 1993; Peña Blanco et al., 1999; Rabasco et al., 1993).

Na figura anterior, as médias de produção foram relativas às médias diárias de produção. Na modelagem em dinâmica de sistemas deve-se atentar para as unidades empregadas em caso de estoque, variável ou fluxo, para que não ocorra nenhuma

inconsistência na simulação. Assim, para haver consistência no cálculo da produção por mês, a produção média diária foi multiplicada pelo número de dias por mês, garantindo a coerência nos valores das unidades.

Resolvida a questão de unidades e garantindo valores mensais para a correta comparação, foi efetuada a contabilidade do valor total de leite produzido, somando-se todas as produções mensais relativas às cinco categorias existentes.

### **3.5 Avaliação econômica**

Normalmente as avaliações econômicas de custos de produção têm sido feitas, fazendo-se um levantamento dos custos inerentes à atividade, sendo estes custos frequentemente conceituados como a soma dos valores de todos os insumos e serviços empregados na produção de um determinado bem (Yamaguchi, 1999). Todavia, existe elevado número de formas de cálculo dos custos de produção na atividade leiteira, uma vez que alguns autores consideram diferentes fatores no cômputo dos custos, o que dificulta sua correta avaliação.

Gomes (2000) separa as razões para tais diferenças em três categorias. A primeira diz respeito ao sistema de produção que serve de base para fornecer os coeficientes técnicos. A segunda refere-se aos critérios metodológicos utilizados, tais como inclusão ou não de juros no valor da terra, utilização de centros de custos ou preço de mercado em todos os insumos e serviços, quer sejam produzidos ou não na própria empresa. A terceira diz respeito à coleta, à interpretação e ao ajuste dos dados utilizados no cálculo do custo de produção do leite.

Pode-se, então, perceber a grande dificuldade que existe em determinar custos de produção e os fatores que interferem em todo o sistema produtivo. A utilização de técnicas de simulação pode permitir um melhor entendimento dos problemas existentes e da dimensão das interações presentes entre as variáveis, possibilitando assim antecipação aos

fatos, solucionando os problemas, e melhorando a eficiência da produção. A flexibilidade de simulações na sistematização da unidade de produção e a inserção de custos mais condizentes com a realidade de um rebanho são fundamentais para a correta determinação do desempenho econômico da caprinocultura leiteira.

A prática de controle financeiro é adotada por uma fração reduzida no universo de produtores rurais e, muitas vezes, quando existente, é utilizada para cumprir exigências fiscais e tributárias, fazendo com que as informações sejam incompletas ou pouco verdadeiras. Esta realidade no Brasil dificulta a execução de uma análise aprofundada da real situação dos sistemas produtivos, em particular os sistemas de produção de caprinos leiteiros.

Outro dificultador do estudo econômico em caprinos é a forma de avaliação que, por não ser padronizada, pode mascarar a realidade do investimento. Alguns cálculos consideram a remuneração do capital investido, do preço da terra, da depreciação dos bens, da remuneração da mão de obra familiar, e de outros custos que muitas vezes o produtor se esquece de computar e que, efetivamente, fazem parte do conjunto de custos de sua atividade.

Tem-se percebido uma grande evolução dos sistemas de produção de leite, com novas técnicas de criação, com o desenvolvimento de rações que atendem melhor as exigências nutricionais dos animais, aperfeiçoamento de metodologias reprodutivas e também do avanço do melhoramento genético. Contudo, essas melhorias normalmente não estão conectadas às informações econômicas. Ao que parece, quando se faz um estudo de um sistema de produção, todos os itens deveriam ser avaliados em termos econômicos. Mas para isto seria necessário existir uma integração da performance produtiva (produção de leite, reprodução), influências ambientais (clima, nutrição, manejo) e de informações financeiras (receitas, custos, capital investido).

### 3.5.1 Descrição dos custos

Para a determinação dos custos de produção será importante fazer separação entre o custo do leite e o da atividade. Como a produção de leite é uma atividade conjunta, os dispêndios realizados, com o passar do tempo, conduzem, simultaneamente, à produção de leite e de animais. Para contornar tal inconveniente, Gomes (2000) propôs a distribuição dos custos da atividade leiteira na mesma proporção que a composição da renda bruta.

As variáveis que estarão presentes no modelo dinâmico relacionado com estrutura financeira da unidade de produção são descritas a seguir:

- Mão-de-obra – será referente aos gastos com salário e encargos sociais de funcionários contratados permanentemente para desempenhar quaisquer atividades relativas produção de leite, como ordenha, alimentação do rebanho, limpeza de equipamentos e instalações, aplicação de medicamentos.
- Manutenção– custos relacionados com a manutenção de equipamentos e instalações.
- Volumosos (silagem) – será referente aos gastos com compra ou produção de volumosos
- Concentrados – será referente aos dispêndios realizados por meio da compra de rações completas e/ou componentes para sua elaboração.
- Aleitamento de crias – será referente à quantia de leite ou sucedâneo destinada à alimentação desses animais e valorada de acordo com o preço de venda do produto.
- Suplementos Minerais – custos relacionados com compra de suplementos minerais completos e/ou componentes para sua elaboração.
- Medicamentos – gastos com compra de antibióticos, vacinas e remédios, de modo geral.

- Energia e combustíveis – dispêndios relacionados com gastos com energia elétrica, gasolina e óleo diesel, utilizados na atividade leiteira.

### **3.5.2 Receita total (RT)**

A receita total foi computada adicionando as vendas da produção de leite, cabras e machos adultos para reprodução, fêmeas de descarte, cabritos e machos para abate. Nesta situação particular dois cenários para produção de leite foram possíveis. O primeiro cenário foi uma venda direta para o mercado no qual o produtor pode contar com uma melhor remuneração, mas fica também responsável por todos os riscos da lei de oferta e procura, bem como de despesas com distribuição e a busca do cliente.

O segundo cenário foi caracterizado por vendas de leite para a indústria. Nessa situação os produtores possuem a compra garantida do leite, mas o preço pago pela indústria é certamente menor que a venda direta ao mercado consumidor. Nas simulações foi considerado um preço médio pago tanto pela indústria quanto pelo mercado de US\$0,68/kg (sessenta e oito centavos de dólar) como mostrado na Tabela 6.

Tabela 6 – Média de valores utilizados para cálculos de custos e receitas no sistema de produção <sup>a</sup>

Variáveis	Valor
<b>Preços (US\$) <sup>b</sup></b>	
Leite·(\$/litro)	0.68
Cabras descartadas (\$/animal)	46
Cabras para reprodução (\$/animal)	182
Reprodutor (\$/animal)	545
Cabrita desmamada (\$/animal)	227
Cabrilo desmamado (\$/animal)	272
Cabrilo com 2 meses (\$/animal)	37
<b>Custos (\$) <sup>b</sup></b>	
Mão-de-obra (salário/mês)	227
Manutenção (\$·mês <sup>-1</sup> ·animal <sup>-1</sup> )	0.45
Medicamento (\$·mês <sup>-1</sup> ·animal <sup>-1</sup> )	0.46
Energia (\$·mês <sup>-1</sup> ·animal <sup>-1</sup> )	0.68
Concentrado (\$/kg)	0.32
Forragem (\$/kg)	0.2
Sucedâneo (\$/litro)	0.18
Suplemento Mineral	0.18

<sup>a</sup> Todos os custos e preços estão em US\$ (dólar) e a taxa corrente era de US\$1 (Dólar) = R\$2.15 (Reais).

<sup>b</sup> Preços praticados pelo mercado informal e custos considerados do sistema produtivo da UFV.

Na tentativa de simular animais adultos com problemas produtivos e ou reprodutivos, e também para estabilizar o rebanho no número desejado, foi efetuado o descarte de animais. Os animais foram selecionados de qualquer uma das categorias do rebanho e vendidos não como animais de reprodução, mas a preço de peso vivo. Aqueles animais que foram descartados apenas para manter o equilíbrio do rebanho foram vendidos como animais para produção e ou reprodução. Essa diferenciação é importante porque nem todo animal descartado pode ser vendido como animal útil produtivamente, e sim no máximo com animal para abate, tendo como reflexo a diferenciação no preço existente entre estes animais (vide Tabela 6).

### 3.5.3 Custos Totais (CT)

A quantidade de mão-de-obra necessária ao produtor poderá variar de acordo com o tamanho do rebanho e sendo uma razão do número de animais. À medida que o rebanho aumenta a proporção de funcionários/número de animais diminui pela otimização dos processos. O número de funcionários foi calculado como sendo (funcionários/número de animais no rebanho) 1/50, assumindo um número máximo de 50 animais no rebanho, 1/60 assumindo um máximo no rebanho entre 50 e 200, 1/80 assumindo um máximo entre 200 e 600 e 1/90 acima de 600 animais no rebanho.

Como parte da teoria de produção da economia de escala (Loyland & Ringstad, 2000) tanto os custos com manutenção quanto com energia foram calculados como sendo ao redor de US\$1.Animal-1 .Mês-1, reduzindo de 5 a 10% do valor inicial a cada aumento de 50 animais no rebanho.

Custos com controle sanitário aumentam à medida que o rebanho aumenta. Foi considerado um custo fixo por animal de acordo com o tamanho do rebanho. Os preços do concentrado, forragem, sucedâneo e suplementação mineral estão mostrados na Tabela 6.

### 3.5.4 Lucratividade

Não foi considerado nas simulações diferenças nos custos com instalações, depreciação ou outros custos relativos à atividade entre as características das duas simulações, buscando os custos que poderiam criar maiores modificações na dinâmica do rebanho.

O ganho líquido no rebanho foi descrito como sendo a diferença entre as receitas com produção de leite e venda de animais e os custos do sistema representados pela alimentação, manutenção, medicamento, energia e mão-de-obra.

Para correta análise econômica, seria necessário avaliar ainda a depreciação, tributação, custo do capital investido, dentre outros; contudo, a análise econômica feita foi

apenas com o intuito de valorar os resultados quando se altera variáveis de produção, considerando todos os outros custos e gastos com a atividade constantes. Caso seja necessário avaliar economicamente um projeto é imprescindível outros indicadores como valor presente líquido (VPL) ou taxa interna de retorno (TIR), para que se dê maior confiabilidade e consistência financeira para, o produtor, fazer os investimentos necessários à atividade.

### **3.6 Propriedades técnicas da simulação**

A unidade de tempo utilizada na simulação foi “meses” e o “time step” ou intervalo de tempo entre cada simulação foi de 0,03125 meses (22,5 horas). Todas as simulações tiveram como tempo total de simulação um horizonte de 10 anos ou 120 meses.

Em modelagem é muito comum a utilização do termo validação; entretanto, nenhum modelo pode ser validado porque isso considera que seria um modelo de uso permanente, ou de abrangência incomensurável. Contudo, sabe-se que nenhum modelo é perfeito e que, a cada momento, novas variáveis são passíveis de serem acrescentadas na estrutura do sistema e, por isso, o termo validar não deveria ser utilizado. A terminologia correta seria avaliar, ou seja, para dado modelo, foi feita uma avaliação da estrutura e dos resultados, podendo ou não mostrar-se coerente com a realidade ou com um banco de dados.

### **3.7 Descrição das análises efetuadas**

Depois da descrição do sistema serão apresentados resultados das simulações de acordo com a seguinte ordem de resultados:

1. Rebanho em crescimento
2. Rebanho estabilizado ou em equilíbrio dinâmico
3. Teste de sensibilidade com:
  - a. Alteração no índice reprodutivo;
  - b. Alteração na taxa de mortalidade;
  - c. Alteração da idade ao primeiro parto;
  - d. Avaliação da qualidade da forragem e potencial genético;
  - e. Comparação de sistemas com produção exclusivamente de leite e leite e carne.

## **4. Resultados e Discussão**

---

---

#### 4.1 Rebanho em crescimento

A primeira simulação iniciou com 100 animais nulíparas no início de uma estação de monta e com o propósito de compreender a dinâmica de um rebanho em crescimento, nenhum animal foi descartado antes da quinta lactação e as cabritas que nasceram foram mantidas no rebanho. Ao final deste período de 120 meses, o rebanho pode contar com um total de 715 animais, sendo 381 cabras em lactação. É importante perceber as variações ocorridas pois, no primeiro ano, das 100 nulíparas que formaram o plantel, apenas 41 ficaram prenhas, ou seja, o rebanho no primeiro ano ficou com 41 cabras em lactação. Considerando o rebanho inicial de 100 cabras nulíparas, o crescimento foi a uma taxa de 62% ao ano, enquanto a quantidade de cabras em lactação o crescimento foi a uma taxa de 83% ao ano (Figura 52), com proporção de cabras em lactação em relação ao efetivo do rebanho da ordem de 46%.

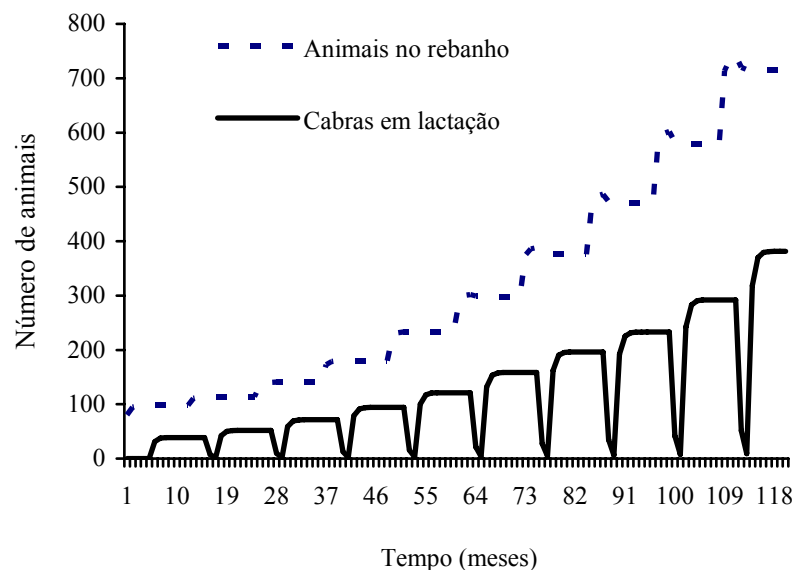


Figura 52 – Dinâmica do número de animais no rebanho e total de cabras em lactação ao final de 120 meses de simulação sem interferência no sistema.

Após 60 meses de simulação, alguns animais já haviam atingido a quinta e última lactação e iniciou-se o descarte em função da redução da eficiência produtiva. A figura

anterior mostra, também, a evolução do número de animais em lactação e os ciclos de produção de leite dependentes do comprimento da lactação.

Em razão deste modelo ter sido criado apenas com apenas uma estação de monta por ano, existe um intervalo em que não existe produção de leite durante o ano, porque o comprimento da lactação estabelecido foi de 10 meses. Assim, em média, dois meses por ano não existia produção ou existia um número muito pequeno de animais em lactação, normalmente devido àquelas que prenham bem no final da estação de monta.

Este modelo é, então, uma representação estilizada da realidade que pode ser utilizada para ilustrar princípios práticos. Considera-se que esta simulação ilustre o comportamento do rebanho durante o período determinado, permitindo visualizar a dinâmica e o tempo de evolução do rebanho para atingir o total de animais desejados ou o número de cabras em lactação.

O período de entressafra na produção de leite, mesmo por um curto período de tempo, é uma realidade que produtores, não só no Brasil, mas também em outros países (Corteel et al., 1988; de Rancourt et al., 2006; Galina et al., 1995; Soryal et al., 2005) precisam lidar, em virtude de variações climáticas que alteram tanto as características reprodutivas quanto disponibilidade de alimentos (Brockington et al., 1992). Esse intervalo na produção ocorre devido à falta de utilização de técnicas de indução de estro, baixa eficiência dos métodos ou pelo custo de utilização dos mesmos. Embora não exista produção de leite em algum período do ano, é fundamental que a produção nos demais meses do ano seja suficiente para cobrir os gastos com alimentação, mão-de-obra e energia do sistema, o que implica em planejamento e eficiência da atividade por parte do produtor.

Nessa primeira simulação, apenas as taxas reprodutivas foram randomizadas e todos os outros parâmetros foram provenientes de valores factuais mostrados na Tabela 6.

Embora essa simulação seja hipotética, permite observar o máximo de resposta que um sistema suporta em termos da dinâmica do rebanho.

Com a evolução do rebanho ao longo de 120 meses, outras categorias animais apareceram com o passar do tempo, modificando o perfil de animais (Figura 53). Esta figura está dividida em 10 períodos, com a soma das categorias animais a cada 12 meses.

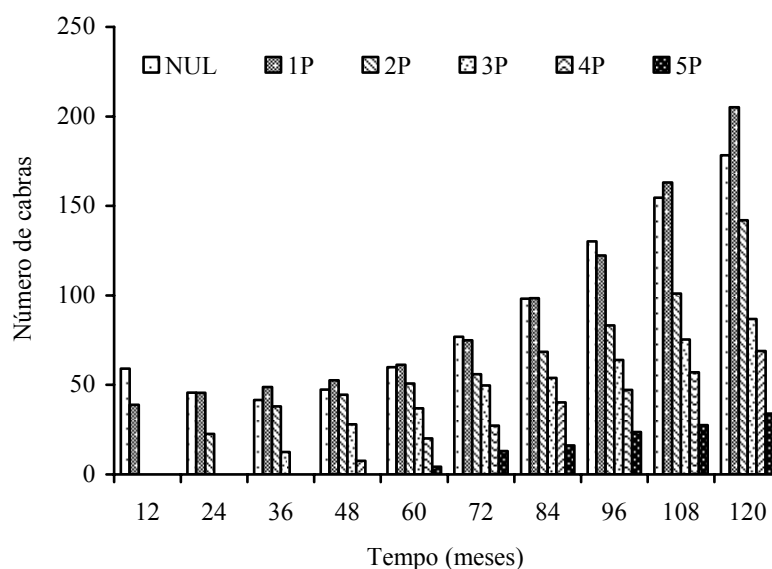


Figura 53 – Distribuição de cabras nulíparas (NUL), de primeiro (1P), segundo (2P), terceiro (3P), quarto (4P) e quinto (5P) partos para cada ano de simulação para um rebanho em crescimento.

Como é uma simulação de um rebanho em crescimento, o número de animais em cada categoria cresceu exponencialmente. Durante os primeiros 48 meses, houve uma queda no número de nulíparas, à medida que elas mudavam de categoria, até que, com o aumento do número de animais, a quantidade de cabritas nulíparas passou a crescer novamente.

Em regiões com estações do ano bem definidas, os animais irão apresentar, naturalmente, uma única estação de monta por ano, o que elevam as dificuldades na busca pela eficiência do sistema, pois uma vez perdida a estação e não se fazendo uso de métodos artificiais de indução, somente no ano seguinte o animal poderá apresentar cio novamente.

## 4.2 Rebanho estabilizado

Na segunda simulação efetuada, foi explorado o impacto de limitações existentes nos sistemas como espaço físico, alimentação, mão-de-obra, capital, etc., sendo estabelecido uma capacidade suporte de 100 animais em lactação.

Através das simulações, o sistema gerou taxas de descarte e retenção da ordem de 20% e 70%, respectivamente, para permitir a estabilização quando atingisse o número alvo de 100 cabras em lactação. Durante três anos, nenhuma medida foi adotada pelo modelo pois não havia ainda atingido o número limite de cabras. Após os três primeiros anos, o sistema passou a empregar taxas de descarte e de retenção para controlar o número de animais no rebanho.

A Figura 54 mostra as diferenças na dinâmica do rebanho tanto na primeira simulação (rebanho em crescimento) quanto na segunda (rebanho estabilizado). Já na segunda simulação, a proporção de cabras em lactação em relação ao efetivo do rebanho ficou na ordem de 57%.

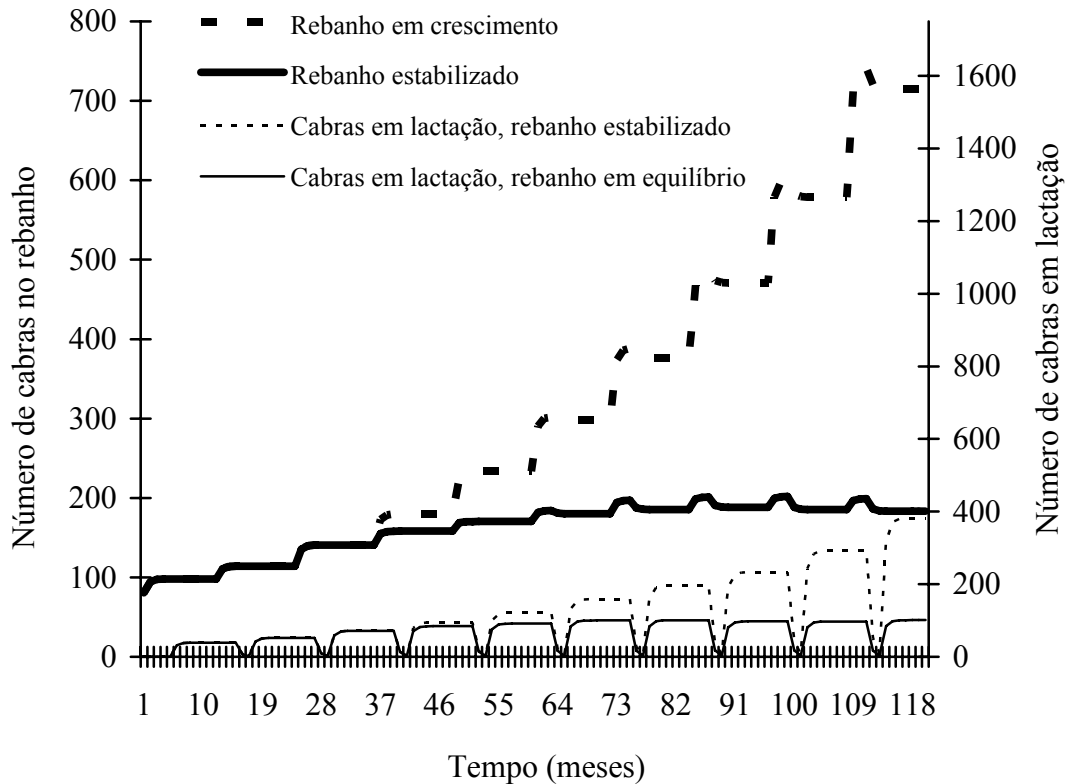


Figura 54 – Comparação entre uma simulação de rebanho estabilizando (linha contínua) e simulação de um rebanho sem taxa de descarte (linha pontilhada) durante 120 meses.

A simulação demonstra que, a adoção de taxas de descarte e de retenção pelo modelo, não tiveram um efeito imediato na dinâmica do rebanho, sugerindo um *delay* natural entre a implementação das novas taxas e o impacto no rebanho. Esta é uma importante característica da dinâmica de sistemas em que as respostas ou *feedbacks* de medidas e estratégias adotadas podem levar algum tempo para causar um distúrbio na situação em curso.

A Figura 55 ilustra o perfil do rebanho estabilizado. Embora o número de animais entre as Figura 53 e 55 não seja o mesmo, a proporção de cabras em cada categoria é diferente por causa da condição de equilíbrio que o rebanho da segunda simulação se encontra. Com isso, quanto maior a quantidade de animais em lactações mais avançadas, maior o número de partos, de crias e da média de produção de leite, auferindo maiores

ganhos aos produtores (Crepaldi et al., 1999; Guimarães et al., 2006; Montaldo et al., 1997).

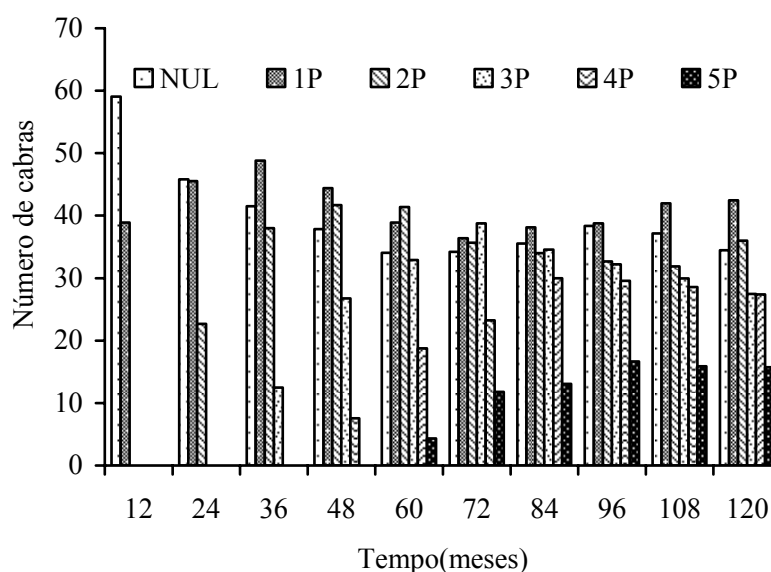


Figura 55 – Distribuição de animais nulíparos (NUL), de primeiro (1P), segundo (2P), terceiro (3P), quarto (4P) e quinto (5P) partos para cada ano de simulação para um rebanho estabilizado.

Com a estabilização do rebanho, é perceptível o aumento do número de animais nas categorias mais avançadas até o equilíbrio das categorias animais. Mesmo com o rebanho estabilizado, ainda é possível perceber que existe uma superioridade das categorias mais jovens.

Quando se inicia uma nova criação, é comum perceber produtores comprando animais muito jovens, na tentativa de buscar um rebanho mais homogêneo, mais semelhante. Entretanto, pelos resultados apresentados existe uma menor eficiência, tanto produtiva quanto reprodutiva, destes animais mais novos, o que, em última análise irá acarretar uma menor eficiência do sistema nos primeiros anos, até que ocorra uma melhor distribuição dos animais nas outras categorias produtivas. Para minimizar esses impactos, ao se formar um novo rebanho, o produtor deve adquirir não somente animais jovens, mas também deve comprar animais em outros estádios produtivos, para que haja

heterogeneidade do rebanho logo nos primeiros meses, reduzindo o tempo para o sistema alcançar uma condição de maior eficiência produtiva.

### **4.3 Análise de sensibilidade**

#### **4.3.1 Impacto no índice reprodutivo**

Para todas as simulações foram considerados os mesmos valores dos parâmetros biológicos adotados para as análises anteriores, com a diferença que, nesta, o rebanho será iniciado estabilizado com 100 cabras em lactação. Para a análise da sensibilidade do sistema, foram provocados um aumento e uma redução de 30% nos valores de fertilidade após 24 meses de simulação, para avaliar os impactos na dinâmica do rebanho.

Como mostrado na Figura 56, aumentando a fertilidade em 30% a partir do 24<sup>o</sup> mês, o rebanho respondeu com um aumento considerável no número de animais ao final do período. O aumento do número de partos provocou um crescimento do número de crias nascidas, provocando, ao final da simulação, um aumento de 53% no total de animais no rebanho e 100% no total de cabras em lactação, quando comparados com o rebanho estabilizado.

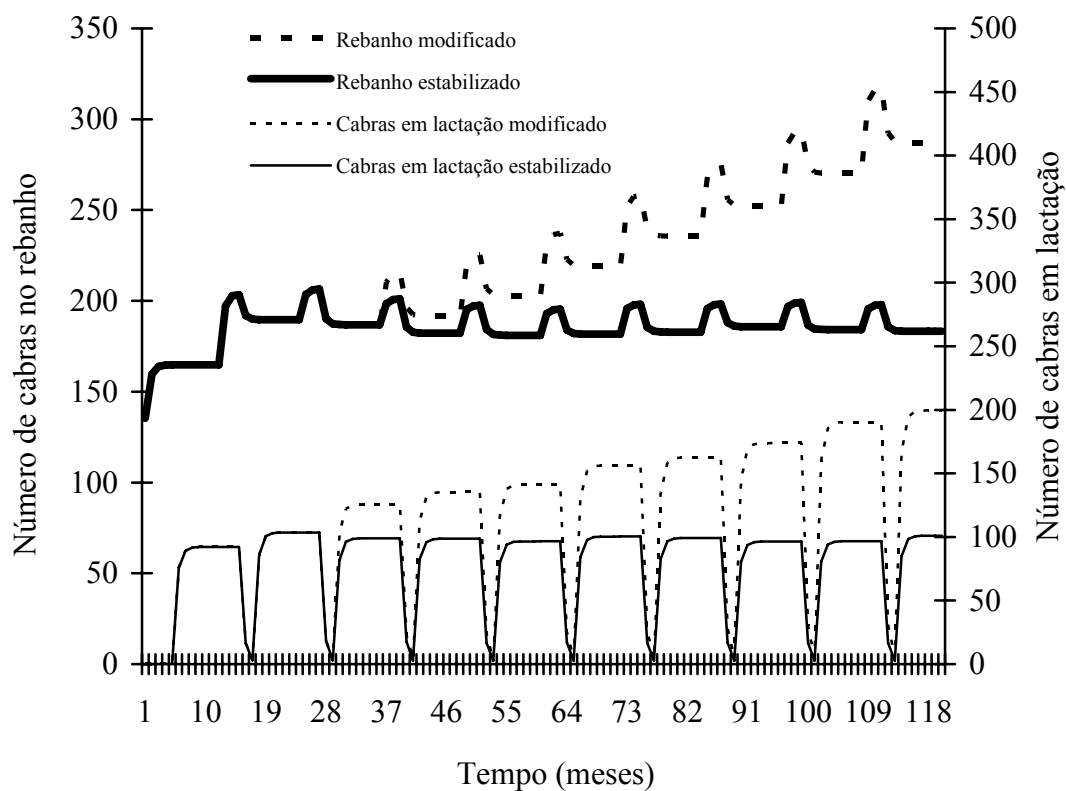


Figura 56 – Efeito de um aumento de 30% nas taxas de fertilidade do rebanho após 24 meses de simulação para um período de 120 meses.

Em contraste, a redução da fertilidade em 30%, a partir do 24<sup>o</sup> mês de simulação, comprometeu a eficiência da estação reprodutiva, causando uma drástica redução no número de cabras em lactação (Figura 57).

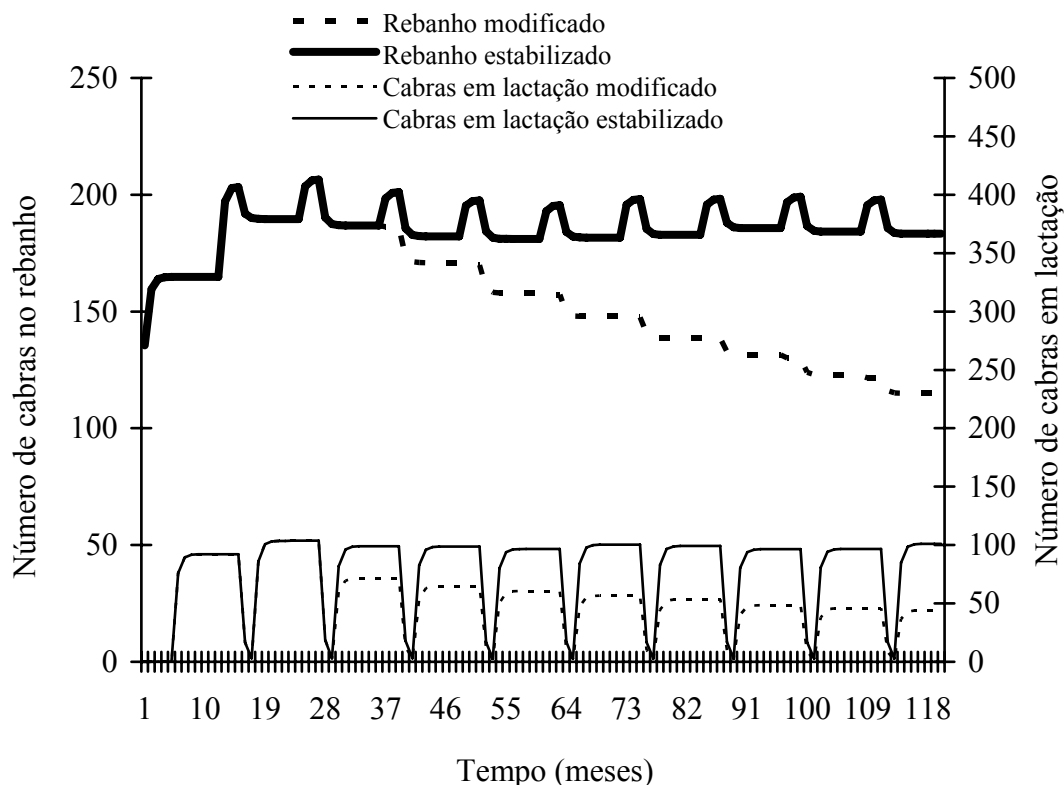


Figura 57 – Efeito de uma redução de 30% nas taxas de fertilidade do rebanho após 24 meses de simulação para um período de 120 meses.

O número de animais no rebanho e o número de cabras em lactação reduziu 39% e 66%, respectivamente, ao final de 120 meses de simulação. Com a redução do número de cabras em lactação, houve também uma diminuição no número de partos e conseqüentemente no número de crias no rebanho para repor os animais descartados. Esse fato causou, de forma geral, a redução no número total de animais no rebanho (Figura 57).

Embora as modificações nas taxas reprodutivas possam comprometer o crescimento do rebanho (Awemu et al., 1999; Greyling, 2000; Salama et al., 2005), o impacto causado pelo aumento da taxa de fertilidade foi superior ao impacto da redução de mesma magnitude na fertilidade.

Considerando uma condição *ceteris paribus*, melhorias nas taxas de fertilidade de um rebanho podem aumentar rapidamente o número total de animais, proporcionando ao produtor rapidez em um processo de melhoria genética, produtiva e de maiores retornos.

Embora as mudanças na fertilidade tenham ocorrido apenas a partir do 24<sup>o</sup> mês de simulação, as Figura 56 e 57 mostram que os impactos foram sentidos pelo sistema apenas algum tempo depois. Esta característica que é marcante na dinâmica de sistemas foi devida às inter-relações entre as variáveis do sistema e os *delays* entre o tempo que uma medida é tomada e o momento que ela é percebida pelo sistema (Meadows & Robinson, 1985). Esse fator é responsável por uma oscilação permanente no manejo do sistema, no qual os administradores alternam ajustes de variáveis para obter uma resposta mais rápida e minimizar as oscilações.

### **4.3.2 Impacto das taxas de mortalidade**

A taxa de mortalidade é um parâmetro muito importante na determinação do sucesso do sistema de produção (Amer et al., 1999; Casey & Van Niekerk, 1988; Reynolds & Adediran, 1994). O estágio mais crítico é durante a fase de aleitamento, em que os animais são mais frágeis e a mortalidade costuma ser maior que nas demais fases do sistema (Guevara et al., 1999; Upton, 1993; van Kooten et al., 1997).

Nessa simulação, o impacto na taxa de mortalidade na dinâmica do rebanho foi avaliado provocando alteração da mortalidade de 6% para 20%, após o segundo ano de simulação de um rebanho estabilizado.

A Figura 58 indica que a modificação na mortalidade causou uma redução de 25% no número de animais no rebanho e de 19% na quantidade de cabras em lactação ao final de 120 meses de simulação.

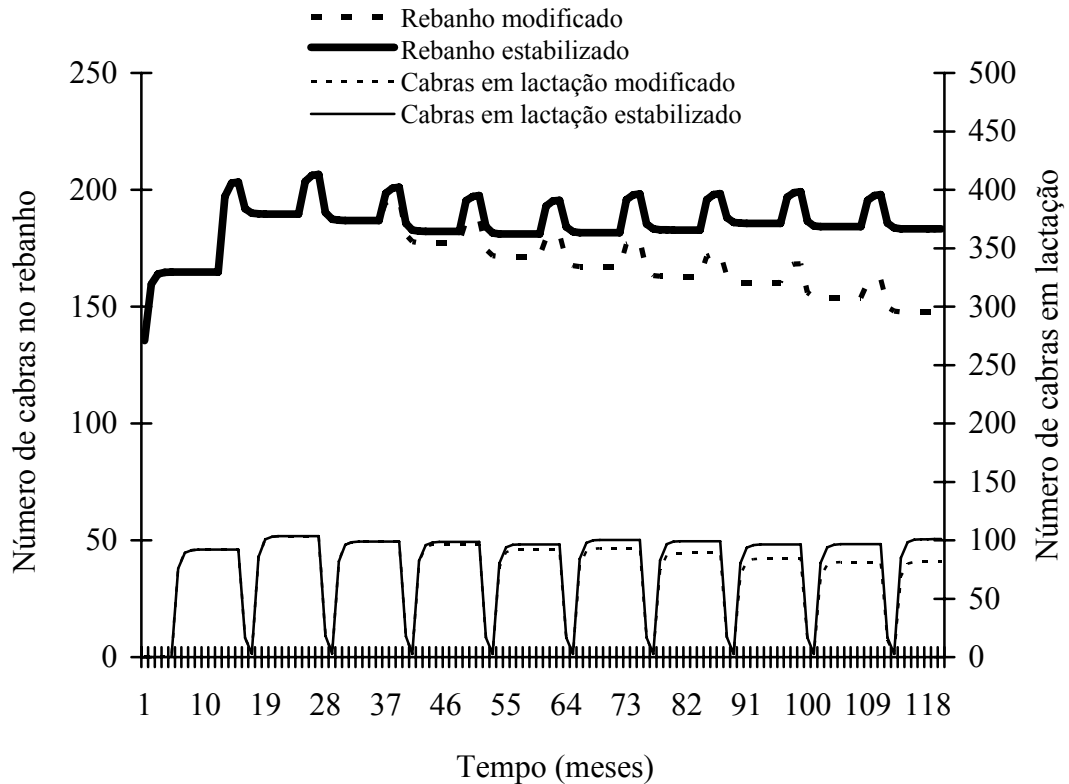


Figura 58 – Efeito do aumento da mortalidade na fase de cabritos em aleitamento após 24 meses de simulação para um período de 120 meses.

Todas as variáveis no modelo estão intimamente conectadas e elas criam um comportamento complexo no sistema de produção de leite (Meadows, 1970), sendo necessárias estas análises para garantir o melhor entendimento de estratégias, medidas e modificações adotadas no sistema. Embora esse primeiro modelo represente apenas uma parte do todo, ele já demonstra a capacidade de predição de resposta do sistema, para servir de auxílio à tomada de decisão e planejamento (Aguilar et al., 2006; Tichit et al., 2004).

Percebe-se o quanto a mortalidade pode influenciar o sistema de produção como um todo, em que a modificação da mortalidade em apenas uma das fases, comprometeu o rebanho consideravelmente. O fato enseja tamanha atenção porque a redução só foi nessa magnitude, devido aos demais fatores do sistema que ficaram constantes. Quando trazidos para realidade, começa-se a perceber que as perdas podem ser muito maiores que o

simulado, pois podem estar sendo cometidas falhas em outras partes do sistema que, juntas, terão impacto sobre todo o processo.

### 4.3.3 Impacto do número de estações de monta

Nesta simulação foram consideradas duas situações reprodutivas, nas quais foram consideradas uma estação de monta natural e através da indução artificial, duas estações de monta por ano.

Foi comparada a dinâmica de um rebanho em crescimento para as condições de 2 Estações de Monta (2EM) e de 1 Estação de Monta (1EM) por ano. O número de animais para 2EM foi 75% superior ao modelo de simulação com 1EM (Figura 59). Este resultado evidencia a capacidade de resposta do sistema quando se trabalha com rebanhos que utilizam mais de uma estação de monta por ano.

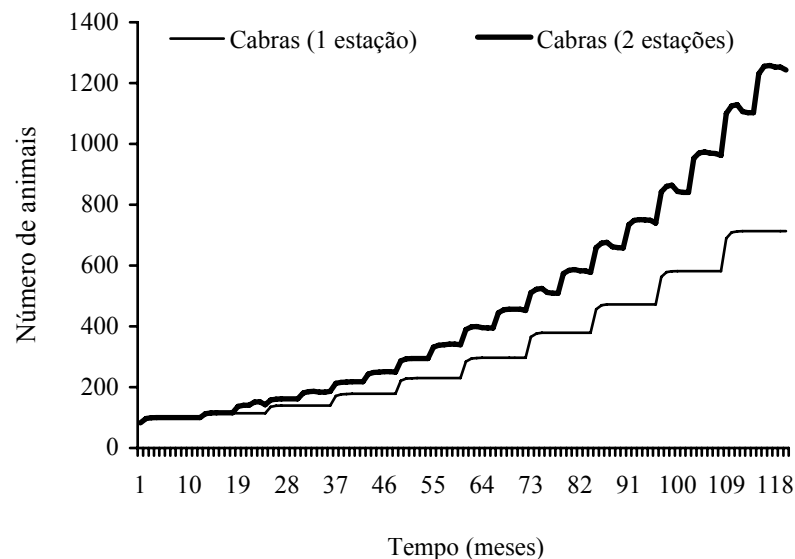


Figura 59 – Dinâmica de rebanhos com 1 e 2 estações de monta por ano para um rebanho em crescimento, ao longo de 10 anos.

Quando se comparou rebanhos estabilizados para as duas situações (Figura 60), foi verificado que o número de animais necessários para manter as mesmas 100 cabras em lactação foi em média 8% menor para o modelo com 2EM que 1EM.

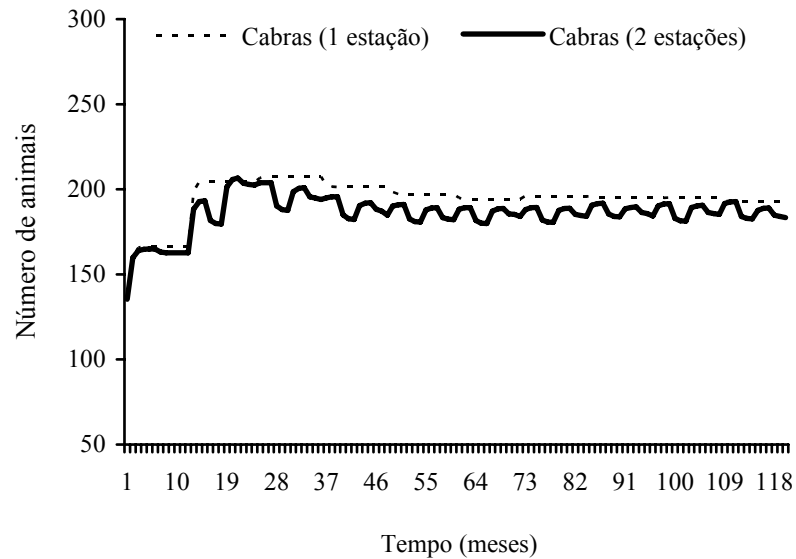


Figura 60 – Dinâmica de rebanhos estabilizados com 1 e 2 estações de monta apresentando um número médio de 100 cabras em lactação durante 120 meses de simulação.

Foi necessária uma quantidade maior de alimentos, mão-de-obra e outras despesas para manter o mesmo número de animais em lactação para o modelo com 1EM. Em razão do número de cabras em lactação ser dependente do número de partos por ano, quanto maior a percentagem de cabras disponíveis para prenhar, menor a quantidade de animais necessários para atingir o objetivo de 100 cabras em lactação.

Sob o mesmo enfoque de estabilização, em média, o número de cabras em lactação foi 100 animais como determinado ao modelo; entretanto, percebe-se que, pelo fato das cabras acasalarem em mais de uma época do ano, é evidente a existência de animais produzindo leite durante todo o ano para o modelo 2EM (Figura 61) apesar de existirem épocas de menor produção.

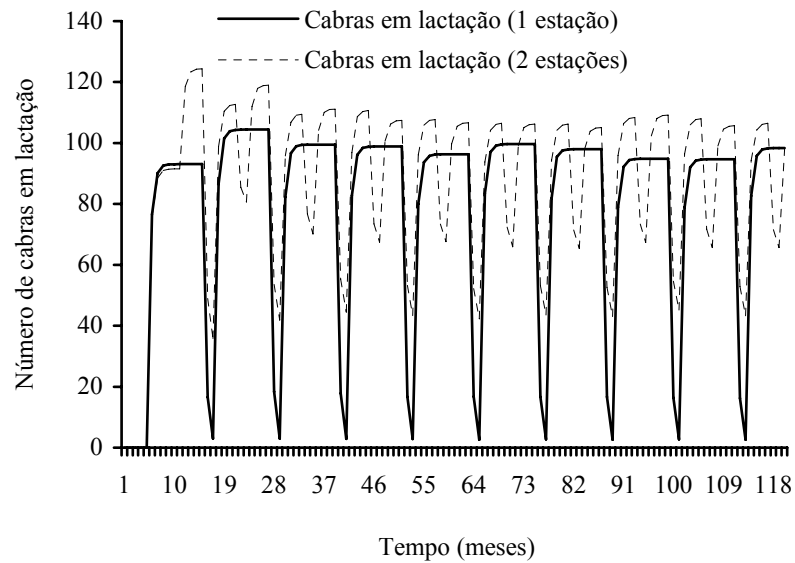


Figura 61 – Número de cabras em lactação para rebanhos estabilizados com 1 e 2 estações de monta para durante 120 meses de simulação.

O modelo 1EM apresenta uma característica distinta que é a ausência de produção no período do ano em que os animais estão secos, esperando o próximo parto. Durante este período, os produtores continuam tendo custos com a atividade, sem poder contar com a principal fonte de renda (Guimaraes et al., 2007).

Os esforços para acasalar os animais fora da estação de monta podem minimizar as flutuações sazonais da produção e dos preços, tanto para leite quanto para carne, garantindo um contínuo fornecimento de produtos ao longo do ano (Zarkawi et al., 1999), estando de acordo com as simulações propostas.

O número de crias nascidas por ano sofreu forte influência quando os modelos com 1EM e 2EM (Figura 62) foram comparados.

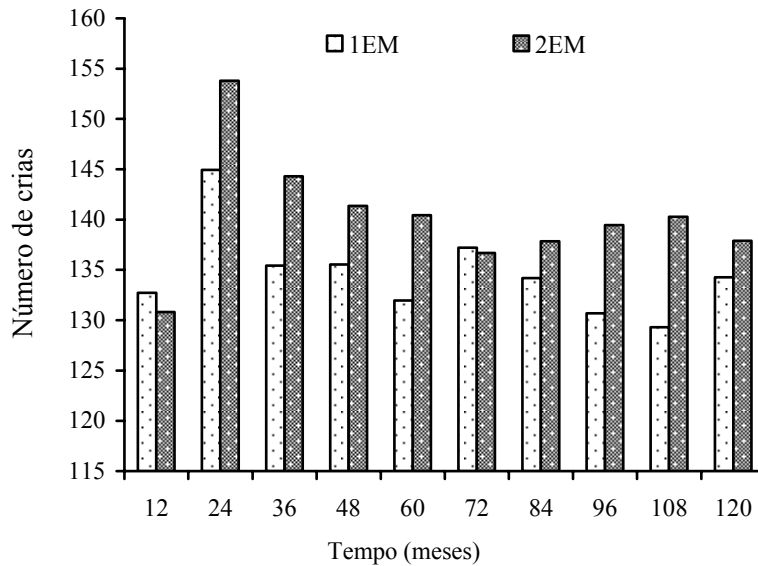


Figura 62 – Número de crias nascidas por ano para rebanhos estabilizados com 1 e 2 estações de monta para durante 120 meses de simulação.

No modelo que utiliza apenas uma estação (1EM), o fluxo de animais nascendo ocorre apenas uma vez ao ano, enquanto que, no modelo com 2EM, as cabras que não ficaram prenhes na estação natural de monta, tiveram uma segunda oportunidade de acasalar no ano; e, desta forma, houve um aumento significativo no número de crias nascidas. Esta comparação foi feita com os rebanhos estabilizados como mostrado anteriormente na Figura 62.

As simulações feitas para o modelo de 1EM tiveram, em média, um custo anual 7,5% maior que nas simulações com 2EM. Como mencionado acima, para manter o mesmo número de cabras em lactação foram necessários menos animais no modelo de 2EM, comparado com o de 1EM, devido à maior chance das cabras se acasalarem. E, por causa do maior tamanho do rebanho no modelo 1EM, os custos associados foram também superiores.

Aliado ao maior custo, o modelo com 1EM obteve, também, receita 9% menor que o modelo com 2EM. Esse valor superior foi devido à maior quantidade de animais que pariram e, conseqüentemente a maior quantidade de animais para venda. Esses fatores

explicam parte das diferenças existentes entre as receitas dos modelos de simulação 1EM e 2EM.

Após o cálculo da rentabilidade (receita menos despesas variáveis) do sistema, o valor encontrado em cada ano foi dividido pelo número total de animais em lactação no mesmo período. Assim, a Figura 58 mostra o ganho líquido por cabra em lactação dos modelos 1EM e 2EM, para 10 anos de simulação. Em ambos os modelos, o resultado para o primeiro ano indica prejuízo, porque, pelo fato das simulações terem sido iniciadas com todos os animais no início da estação de monta, durante cinco meses (período de gestação), o sistema não tinha nem produção de leite nem venda de animais. Como mostrado na Figura 63, a rentabilidade do modelo 2EM foi superior à do modelo 1EM, tendo como principal razão foi o menor número de partos por ano e o tempo necessário para atingir a estabilidade produtiva no rebanho.

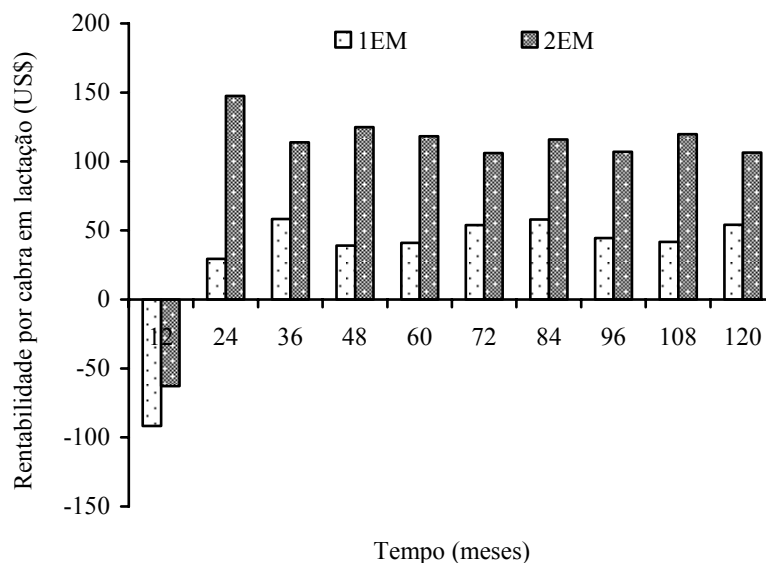


Figura 63 – Ganho líquido por cabra em lactação por ano para rebanhos estabilizados com 1 e 2 estações de monta para durante 120 meses de simulação.

Outra fonte de aumento na lucratividade do sistema poderia ser referente à melhoria nas taxas de fertilidade. A Figura 64 mostra resultados de um aumento de 10% na fertilidade dos modelos 1EM (Figura 64a) e 2EM (Figura 64b). Esta pequena modificação

resulta em um aumento de 185% e 35% na lucratividade dos sistemas 1EM e 2EM, respectivamente, ao longo de 10 anos de simulação.

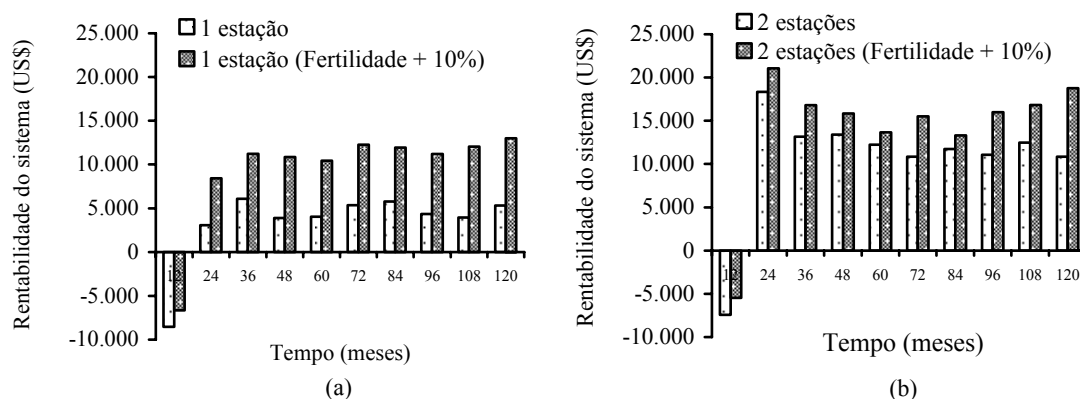


Figura 64 – Rentabilidade anual para 1 (a) e 2 (b) estações de monta com aumento de 10% na taxa de fertilidade para rebanhos estabilizados com 1 e 2 estações de monta para durante 120 meses de simulação.

Todos os resultados demonstram a importância da eficiência reprodutiva na dinâmica e na lucratividade dos rebanhos. É importante citar que o modelo 1EM foi mais sensível à variação nas taxas reprodutivas que o modelo 2EM como se pode perceber na Figura 64. Essa resposta pode ser atribuída à maior sensibilidade do modelo 1EM.

Como discutido previamente, o ganho líquido no primeiro ano foi negativo por causa do período de cinco meses que os animais ficaram em gestação. Após o primeiro ano, o ganho líquido tornou-se positivo com um comportamento oscilatório. Ambos os modelos (1EM e 2EM) tiveram perdas semelhantes no primeiro ano, mas, nos anos seguintes, o modelo 2EM apresentou resultado superior ao 1EM (Tabelas 7 e 8).

Tabela 7 – Valores dos custos e receitas e lucratividade para cada ano de simulação no rebanho estabilizado para 1 estação de monta (100 cabras em lactação).

	Meses									
	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120
<b>Custos (US\$)</b>										
Concentrado	6.564	8.350	8.242	8.016	7.838	7.848	7.869	7.776	7.747	7.770
Energia	1.280	1.501	1.522	1.494	1.511	1.521	1.518	1.520	1.520	1.527
Fornagem	15.919	20.567	20.831	20.304	19.890	19.722	19.784	19.649	19.609	19.531
Mão-de-obra	8.101	9.720	8.900	10.504	10.133	9.336	9.798	9.560	9.560	8.974
Manutenção	888	1.114	1.130	1.105	1.082	1.067	1.072	1.069	1.069	1.059
Medicamentos	731	976	995	961	918	890	900	893	894	874
Sucedâneo	1.155	1.261	1.178	1.179	1.149	1.194	1.168	1.137	1.126	1.169
Suplemento Mineral	163	205	209	203	199	196	197	196	196	194
Total	34.800	43.695	43.008	43.766	42.717	41.777	42.306	41.802	41.723	41.099
<b>Receita (US\$)</b>										
Cabras para reprodução	0	524	1.659	1.623	1.502	1.404	1.445	1.348	1.460	1.427
Reprodutores	0	0	1.543	1.567	1.624	1.543	2.160	1.433	1.488	1.473
Cabras de descarte	0	530	1.677	1.641	1.518	1.420	1.461	1.363	1.476	1.443
Cabritas	0	3.991	4.359	4.073	4.075	3.968	4.126	4.035	3.930	3.889
Cabritos	0	797	871	813	814	793	824	806	785	777
Leite	26.268	41.447	40.653	39.561	38.726	39.410	39.512	38.518	37.993	38.836
Cabritos de 2 a 3 meses	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	26.268	46.766	49.100	47.655	46.759	47.136	48.082	46.156	45.673	46.417
Lucro	-8.532	3.071	6.092	3.889	4.042	5.359	5.776	4.354	3.950	5.318
<b>Mudanças no preço do leite</b>										
Aumento de 15%	-4.591	9.289	12.190	9.823	9.852	11.270	11.706	10.129	9.648	11.142
Redução de 15%	-12.472	-3.147	-7	-2.045	-1.767	-555	-150	-1.427	-1.748	-508

Tabela 8 – Valores dos custos e receitas e lucratividade para cada ano de simulação no rebanho estabilizado para 2 estações de monta (100 cabras em lactação).

	Meses									
	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120
<b>Custos (US\$)</b>										
Concentrado	7.609	9.137	8.932	8.475	8.235	8.193	8.202	8.330	8.298	8.266
Energia	1.352	1.569	1.590	1.530	1.491	1.486	1.479	1.495	1.495	1.497
Fornagem	15.044	18.801	18.564	17.848	17.395	17.300	17.203	17.451	17.431	17.376
Mão-de-obra	8.069	9.191	8.930	8.172	8.172	8.172	8.172	8.172	8.172	8.172
Manutenção	875	1.038	1.045	1.000	977	973	969	981	980	980
Medicamentos	719	871	870	824	806	802	799	809	809	809
Sucedâneo	1.138	943	796	752	750	734	729	753	732	731
Suplemento Mineral	160	191	192	184	179	179	178	180	180	180
<b>Total</b>	<b>34.967</b>	<b>41.739</b>	<b>40.920</b>	<b>38.784</b>	<b>38.005</b>	<b>37.836</b>	<b>37.732</b>	<b>38.173</b>	<b>38.096</b>	<b>38.012</b>
<b>Receita (US\$)</b>										
Cabras para reprodução	266	1.132	1.787	1.622	1.476	1.432	1.402	1.378	1.445	1.469
Reprodutores	0	718	1.453	2.136	2.034	1.312	2.030	1.353	2.040	1.321
Cabras de descarte	269	1.144	1.807	1.639	1.492	1.448	1.417	1.393	1.461	1.486
Cabritas	0	8.629	4.042	3.670	3.518	3.472	3.470	3.425	3.575	3.460
Cabritos	0	1.059	969	880	843	832	832	821	857	829
Leite	26.977	47.402	44.006	42.247	40.861	40.170	40.311	40.856	41.197	40.280
Cabritos de 2 a3 meses	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>27.512</b>	<b>60.085</b>	<b>54.066</b>	<b>52.195</b>	<b>50.226</b>	<b>48.667</b>	<b>49.461</b>	<b>49.230</b>	<b>50.576</b>	<b>48.845</b>
<b>Lucro</b>	<b>-7.455</b>	<b>18.346</b>	<b>13.146</b>	<b>13.411</b>	<b>12.221</b>	<b>10.831</b>	<b>11.729</b>	<b>11.057</b>	<b>12.480</b>	<b>10.833</b>
<b>Mudanças no preço do leite</b>										
Aumento de 15%	-3.408	25.455	19.747	19.752	18.350	16.859	17.777	17.187	18.660	16.876
Redução de 15%	-11.503	11.234	6.542	7.074	6.091	4.806	5.683	4.926	6.299	4.789

Um aumento e uma redução de 15% no preço do leite foram efetuados para testar a sensibilidade do modelo 1EM (Tabela 7) e 2EM (Tabela 8). Para o modelo 1EM, a elevação no preço do leite resultou em um aumento de mais de 100% no total de ganho líquido em cada ano. Já a redução do preço do leite em 15% não gerou nenhum ganho líquido durante os 10 anos de simulação. A simulação indica que a adoção de uma única estação de monta foi mais vulnerável quando o preço caiu abaixo de US\$ 0,62. Este fato é reflexo da habilidade do sistema de se auto-regular quando uma variável exógena ao modelo (preço do leite) varia. Neste caso, os produtores podem ter que aumentar a eficiência de produção com margens cada vez menores de lucratividade.

Para o modelo com 2EM, um aumento 15% no preço do leite, resultou em um aumento de aproximadamente 50% no ganho líquido total. Por outro lado, a maior sensibilidade ao preço do leite é uma característica de dupla resposta. Quando ocorre uma redução no preço do leite, o ganho líquido reduziu em aproximadamente 48% para a maioria dos anos. No modelo 2EM, o ponto de equilíbrio foi ao redor de US\$0,50, significando que a capacidade do sistema em manter a “saúde” financeira foi muito superior que no modelo 1EM. Portanto, no cenário de produção com 2EM, a lucratividade pode ser mais resistente às flutuações nos preços do leite. Segundo Braga (2004), em diferentes regiões do mundo no qual o preço é ditado por grandes indústrias, as flutuações no preço do leite podem determinar o sucesso a longo prazo das fazendas produtoras.

Os custos e benefícios da utilização de sincronização de estro devem ser analisados para determinar a melhor opção na escolha de sistemas com 1 ou 2 EM (Granados et al., 2006). A indução por luz é uma técnica relativamente simples, enquanto o uso de hormônios ou outra técnica pode também ser utilizado para criar uma segunda estação de monta, não deixando de considerar o custo de implantação destas técnicas.

#### **4.3.4 Impacto da idade ao primeiro parto**

Dentre os inúmeros fatores que interferem o sistema de produção, a idade com que a cabrita chega para o primeiro acasalamento é determinante para o sucesso da atividade. Quanto mais tempo as cabras gastarem para adquirir o peso ideal de acasalamento, maiores serão os custos do sistema para manter estes animais em uma condição não produtiva. Na primeira simulação efetuada, foi considerada a idade de acasalamento de 7 (situação ideal) com idade ao primeiro parto de 12 meses (Figura 65).

Sabe-se, porém, que a idade de acasalamento aos 7 meses nem sempre é conseguida e, qualquer atraso no desempenho das cabritas que venha a aumentar esta idade, irá causar forte impacto na dinâmica do rebanho. Em outra simulação foi testado o impacto do aumento de 5 meses na idade anterior (7 meses) na qual os animais chegavam em condições de acasalamento aos 12 meses, sendo o primeiro parto aos 17 meses de idade (Figura 65).

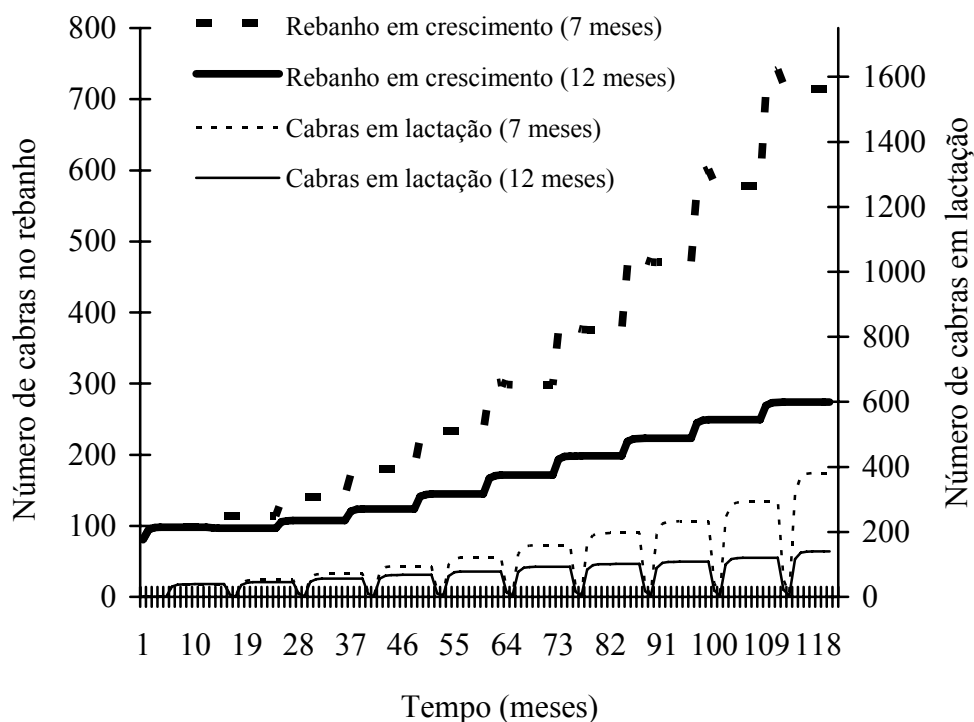


Figura 65 – Dinâmica de rebanhos em crescimento para uma estação de monta, com idade de acasalamento de 7 meses (pontilhado) e de 12 meses (contínuo), ao longo de 10 anos.

Como fica claro no gráfico mostrado na Figura 65, o aumento da idade para acasalamento provocou redução no número de cabras disponíveis para a estação de monta e, assim, reduziu-se a quantidade de cabras acasaladas e, conseqüentemente, a quantidade de fêmeas no sistema de produção para a primeira situação de 7 meses. A redução do número total de fêmeas no rebanho foi de 61% quando se considerou cabritas com 12 meses de idade para acasalamento. A queda no número total de cabritas em lactação foi de 65%.

Estes resultados evidenciam a necessidade de atenção nas fases de crescimento das cabras, para que a atividade possa ter um desempenho satisfatório. À medida que o animal necessita de maior tempo para atingir a condição mínima de acasalamento, o fato das estações de monta ser em épocas fixas, se a cabra perder a primeira chance de

acasalamento, terá que ficar no rebanho esperando pela segunda chance somente na estação de monta seguinte, aumentando, com isso, a idade ao primeiro parto.

A idade de acasalamento, como falado anteriormente, causou forte impacto no sistema quando avaliado apenas uma única estação de monta. O mesmo exercício foi feito para 2 estações de monta elevando-se a idade de acasalamento de 7 para 12 meses (Figura 66).

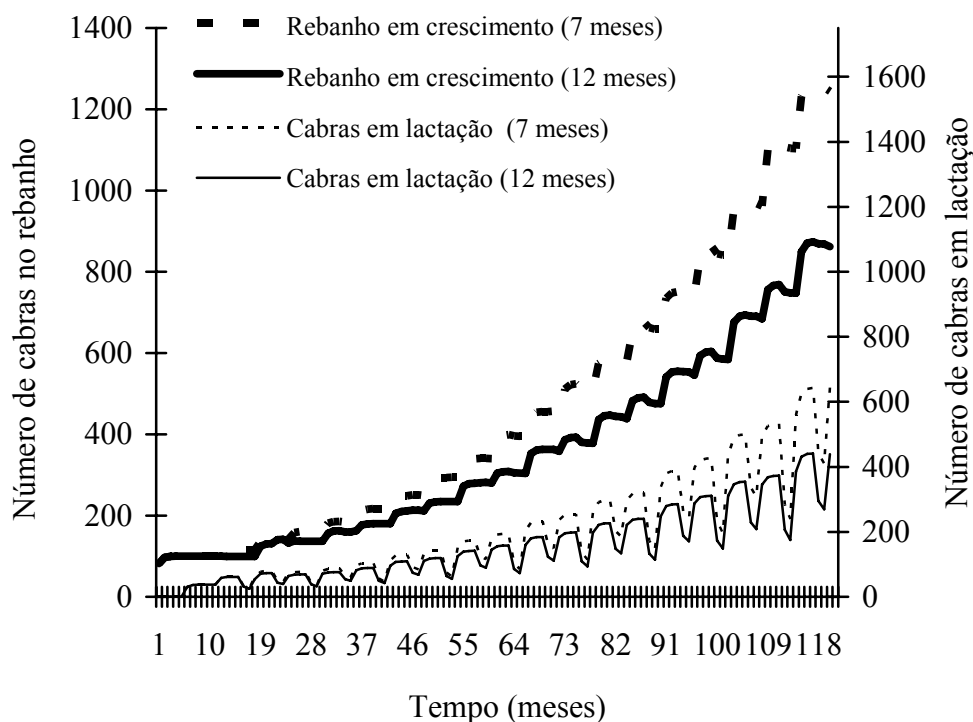


Figura 66 – Dinâmica de rebanhos em crescimento para 2 estações de monta com idade de acasalamento de 7 meses (pontilhado) e de 12 meses (contínuo), ao longo de 10 anos.

Como as estações de monta são fixas e com o aumento da idade de acasalamento para 12 meses, o rebanho cresceu 30% menos que rebanhos com animais acasalando aos 7 meses de idade. O número de animais em lactação também foi inferior por volta de 32%. Percebe-se, então, que mais uma vez, o aumento da idade de acasalamento e, conseqüentemente, a idade ao primeiro parto, são fatores fundamentais para garantir uma maior eficiência do rebanho. A redução no sistema com 2EM foi menor pelo fato deste sistema ter uma capacidade de resposta superior ao sistema com 1EM. E, quanto mais

rápido é o desempenho no crescimento de um rebanho, maiores poderão ser os ganhos do produtor provenientes da venda de animais e da produção de leite.

Uma das formas de se minimizar os impactos da idade ao primeiro parto no sistema, seria utilizar de métodos de indução de cio, para que, no momento que o animal estiver apto para acasalamento, mas distante da estação de monta, se utilize desses métodos, dando ao animal a chance de acasalar antes da estação de monta. Esta alternativa, apesar de acarretar em custo para o produtor, será importante para reduzir a idade ao primeiro parto, que, como mostrado, tem forte impacto na dinâmica e conseqüentemente na rentabilidade do sistema.

Esses resultados indicam a necessidade de investimento em mão-de-obra e cuidados nas primeiras fases de vida das cabras, porque, quanto mais tempo os animais demorarem a chegar à condição de acasalamento, menor será a capacidade de retorno do sistema. Na caprinocultura, problemas com a recria de animais podem, ser ainda mais graves que em outras espécies porque, devido à sazonalidade reprodutiva, em que as chances do animal acasalar ocorrem em épocas restritas, os animais que não estiverem em condições de acasalamento, na época necessária, terão que esperar a próxima estação de monta. E, quanto maior o número de animais improdutivos no rebanho, maiores deverão ser os rendimentos do sistema para compensar os gastos com esses animais, o que reduz consideravelmente a rentabilidade do mesmo.

### **4.3.5 Impacto da alimentação**

#### **4.3.5.1 Rebanho em crescimento**

A Figura 67 mostra o consumo predito de concentrado e forragem ao longo dos 120 meses de estudo. A oscilação exponencial ilustra as mudanças nas categorias de fêmeas em lactação ao longo da simulação, em que a exigência nutricional muda. Esse tipo de resposta é devido às diferenças nutricionais entre categorias (Luo et al., 2004a; Luo et al., 2004c;

Sahlu et al., 2004), nas quais as modificações no *status* fisiológico de animais não lactantes para lactantes, interferem no total de alimento necessário para o rebanho. Além do mais, a modificação no perfil do rebanho (exemplo, crescimento exponencial de cabras em lactação) aumenta a amplitude das oscilações pelo maior número de animais velhos no rebanho (Figura 67).

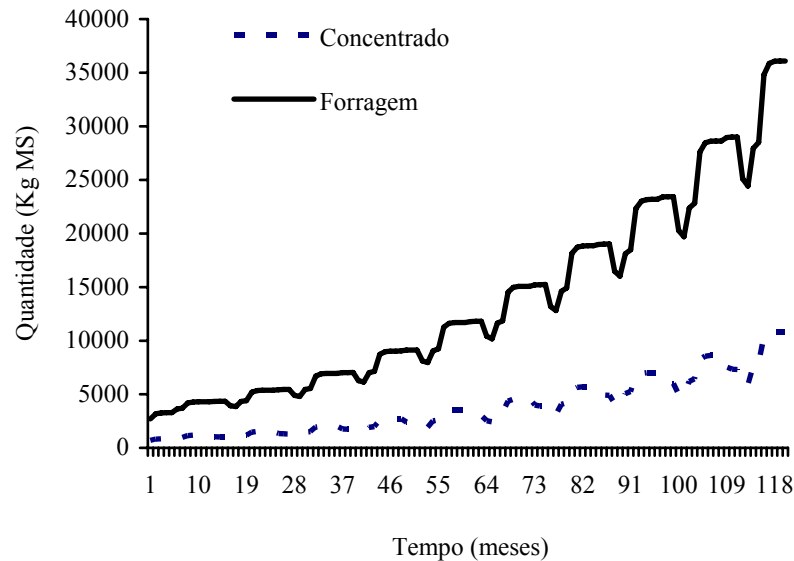


Figura 67 – Consumo de concentrado e forragem em kg MS (matéria seca) em 120 meses de simulação para um rebanho crescendo indefinidamente.

À medida que a proporção de animais velhos aumenta, a média de produção de leite tende a seguir a mesma tendência e, conseqüentemente, a quantidade de alimentos necessários amplia, embora não se faça uma distinção nutricional entre cabras adultas em idades diferentes (Luo et al., 2004c; Sahlu et al., 2004). A quantidade de alimentos varia devido a variações na produção de leite nos diferentes estágios de lactação, sendo consistente com observações feitas por Guimarães et al. (2006), Crepaldi et al. (1999) e Montaldo et al. (1997).

#### 4.3.5.2 Rebanho estabilizado

Na Figura 68 tem-se o consumo de forragem e concentrados para um rebanho estabilizado. As variações ocorridas em cada ano são devidas às mudanças na condição de lactante, não lactante e nas ordens de lactação mostrando que, no rebanho estabilizado, assim que o perfil de categorias se consolida, o consumo permanece o mesmo durante os anos seguintes.

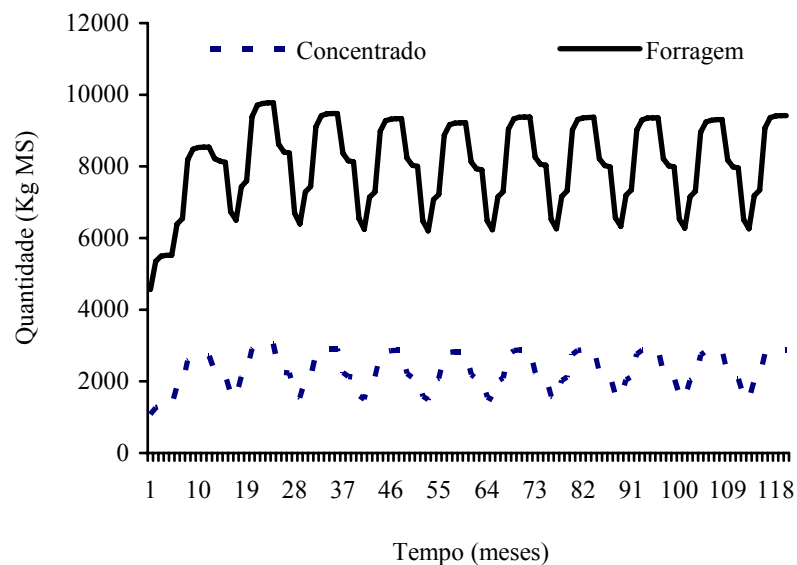


Figura 68 – Consumo de concentrado e forragem em kg MS (matéria seca) em 120 meses de simulação para um rebanho estabilizado.

A estabilização do rebanho é um importante fator na hora do planejamento da propriedade uma vez que, quando feitas as estimativas de consumo para o ano (para plantio ou compra de alimentos), o desconhecimento da dinâmica do rebanho em relação ao número de animais em cada mês, poderá implicar em gastos extras não esperados no sistema. Entretanto, não foram considerados os valores do custo de oportunidade do capital ou de compra de alimentos no mercado futuro, uma vez que esta não é uma realidade da maioria das empresas rurais.

Assim, na análise do gráfico anterior, ficam claras as variações no consumo de alimentos ao longo do ano e esse entendimento é importante para o produtor equacionar melhor as formas de aquisição e/ou de produção do alimento necessário.

#### **4.3.5.3 Qualidade da forragem**

Nas simulações efetuadas, foram testados 3 tipos de materiais forrageiros sendo considerados de baixa, média e alta qualidade. Como o tipo de alimento interfere no potencial de produção dos animais, os alimentos de baixa qualidade limitariam a produção tanto de animais de elevado genótipo, quanto de animais de médio genótipo, pois não seria possível suprir as exigências de produção dessas categorias. De forma análoga, um alimento de média qualidade seria capaz de suprir parte das exigências de um animal de elevada produção, e totalmente as exigências de animais de média e baixa produção. E por último, alimentos de alta qualidade seriam capazes de suprir as exigências nutricionais de todos os níveis produtivos no rebanho, apesar de implicar em maiores gastos para o sistema.

Na Figura 69 está ilustrada simulações de rebanhos que, hipoteticamente apresentavam um único tipo de padrão genético sendo eles alto, médio e baixo potencial. De acordo com o apresentado nesta figura, evidencia-se a razão pela qual os produtores estão sempre buscando a melhoria genética dos rebanhos, pois, na simulação, o rebanho de melhor desempenho produtivo foi o que apresentou o melhor desempenho financeiro (Figura 69a). Já o rebanho de média produção (Figura 69b) apresentou um menor desempenho comparado ao anterior, sendo que, quando fornecido alimentos de alta qualidade, o rendimento do sistema foi inferior à utilização de alimentos de média qualidade.

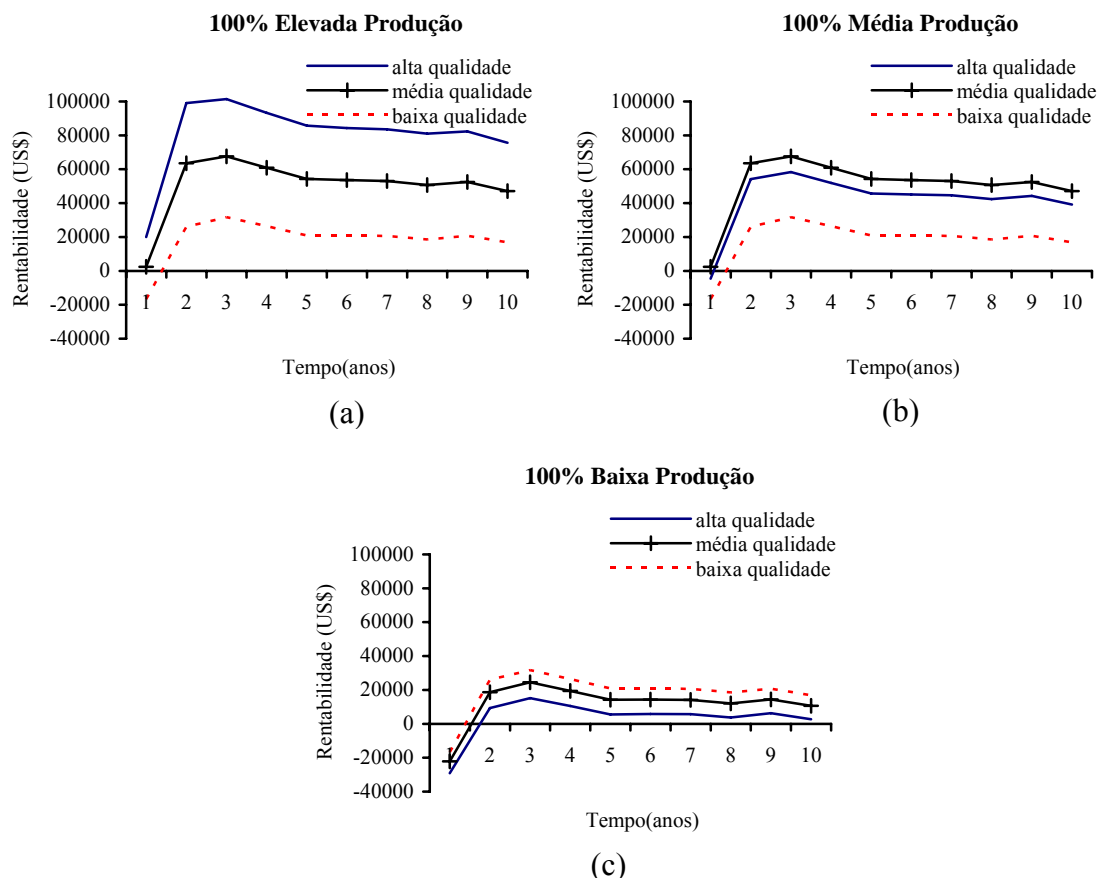


Figura 69 – Diagramas representando rebanhos de alta, média e baixa produção de leite durante o período de 10 anos.

Por outro lado, o rebanho de baixa produção (Figura 69c) foi bastante ineficiente com uma fase relativamente longa de prejuízos e rentabilidade muito baixa, quando comparado aos outros dois sistemas, mesmo utilizando alimentos de média qualidade. O pior resultado financeiro foi do fornecimento de alimentos de elevada qualidade para animais de baixa produção que, em última avaliação, a produção não foi suficiente para cobrir os gastos com alimentação.

Na simulação seguinte, foram testados rebanhos com metade dos animais em um dos três níveis de produção. A Figura 70a apresenta um rebanho com metade dos animais de elevada produção e a outra metade de média. A característica deste rebanho permite uma maior aproximação das receitas possíveis, quando se considera o fornecimento de

alimentos com alta ou média qualidade. Nota-se que o fornecimento de alimentos com baixa qualidade compromete consideravelmente o sistema.

Na Figura 70b, a divisão do rebanho somente em animais de alta e baixa produção ainda favorece a utilização de alimentos de melhor qualidade, mas os animais de baixa produção acabam por reduzir as margens de ganho por não responderem tão bem à alimentação fornecida.

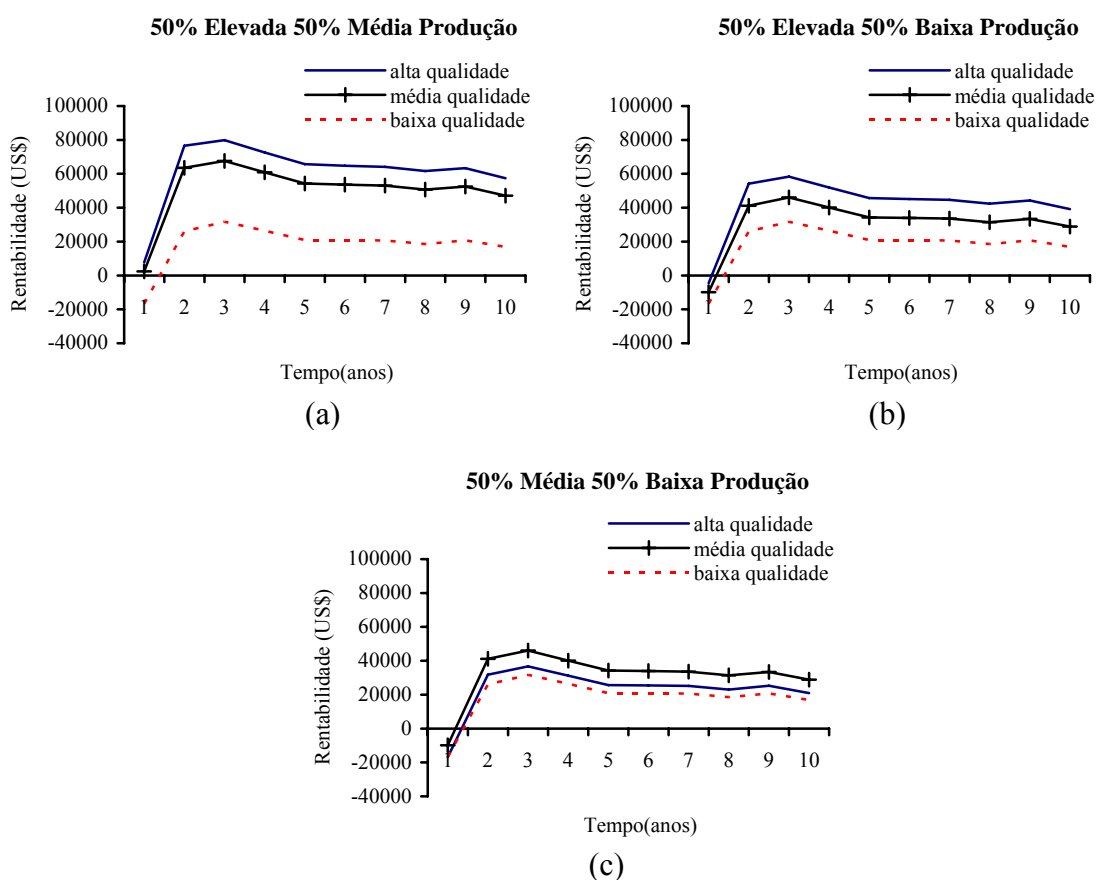


Figura 70 – Diagramas representando rebanhos com duas categorias de produção de leite durante o período de 10 anos.

Na Figura 70c percebe-se que os alimentos de média qualidade podem responder melhor quando se tem um rebanho dividido em animais de média e baixa produção. Não se justifica o fornecimento de alimentos de elevada qualidade, pois o retorno não será satisfatório.

A terceira e última simulação buscou avaliar o impacto dos três níveis de produção em conjunto, uma vez que a maioria dos rebanhos tende a apresentar de uma forma ou outra, animais em todos os três níveis de produção e em proporções variadas.

Na Figura 71a foi considerado um rebanho com os três níveis de produção divididos proporcionalmente. Percebe-se que o fornecimento de alimento de melhor qualidade oferece um melhor rendimento; entretanto, o fornecimento de alimento de média qualidade não fica muito distante da rentabilidade do anterior.

Avaliando a Figura 71b, percebe-se que a elevação da proporção de animais de média produção fez com que o retorno econômico fosse o mesmo, quando fornecido alimentos de alta ou média qualidade. Nestes casos dependerá da vontade do administrador em optar por uma ou outra, pois em termos econômicos não houve diferenciação.

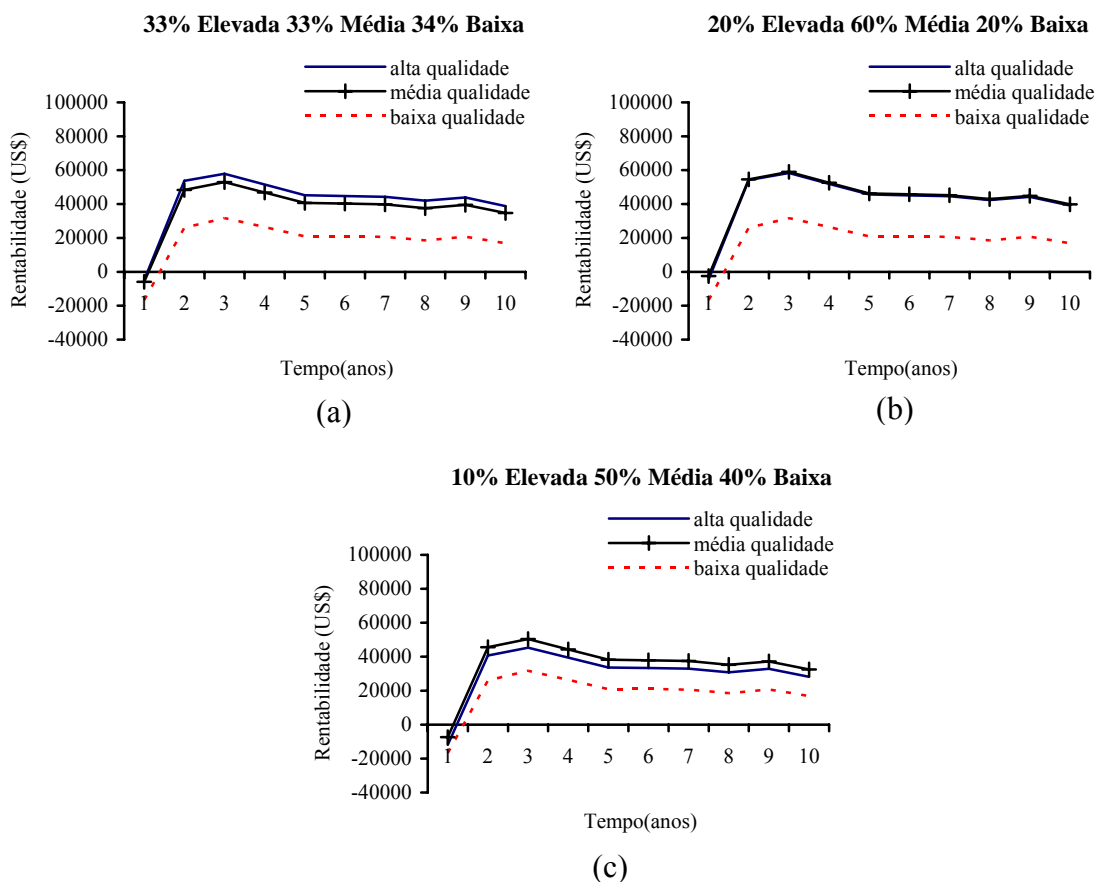


Figura 71 – Diagramas representando rebanhos com as três categorias de produção de leite durante o período de 10 anos.

Já na Figura 71c, a proporção utilizada pode representar a realidade de muitas propriedades, em que uma pequena parcela é de excelente produção, sendo a maioria de média e baixa produção. Esta realidade também implica em maiores ganhos quando se utiliza alimentos de média qualidade.

Os exemplos citados anteriormente vêm elucidar a necessidade de se ter um real entendimento do comportamento produtivo do rebanho e do perfil de produção das cabras para que, munido dessas informações, o produtor possa planejar e avaliar a melhor opção de alimentos a ser utilizada, na tentativa de otimizar os rendimentos do sistema.

Entende-se que, para animais de baixa produção, não adianta fornecer alimento de melhor qualidade pois a resposta econômica, possivelmente não será satisfatória. Nos casos de rebanhos ou de grupos de animais de baixa produção, é interessante, o produtor, promover uma alimentação diferenciada dos animais de melhor potencial genético uma vez que, dificilmente, se encontrará resposta positiva ao se alimentar animais pouco produtivos com alimentação mais nobre. O produtor deverá fornecer alimentação de melhor qualidade sempre para os animais que podem responder a este estímulo nutricional, pois o maior custo será compensado por uma maior produção. A insistência em fornecer a mesma alimentação para todo o rebanho não leva em consideração as diferenças produtivas e, com isso, reduz as possibilidades de melhor desempenho financeiro da atividade produtiva.

#### **4.3.6 Produção de leite e carne**

Além da produção de leite, que é a principal fonte de renda da atividade, optou-se por simular uma segunda opção que seria criar os machos e vendê-los como animais para produção de carne. Esta opção poderá se tornar uma fonte adicional de renda para os produtores, caso seja vantajoso financeiramente, apesar de implicar em maiores custos com alimentação, mão-de-obra, espaço, medicamentos e ser dependente do preço de mercado e da demanda pela carne. Assumindo a existência de amplo mercado consumidor, a um

preço compatível, foi simulada, além da produção de leite, a cria e recria de cabritos para produção de carne. O processo consistiria em manter no rebanho os machos jovens, alimentá-los por 2-3 meses de idade e vendê-los para produção de carne.

O modelo indica que, em teoria, poder-se-ia aumentar-se em até 50% a rentabilidade da atividade (Figura 72) ao final de 10 anos de simulação, ao se iniciar a venda dos cabritos para produção de carne. Vale ressaltar que a simulação considera uma situação em que seja possível vender todos os animais ao longo dos anos, em que, caso contrário, existiria aumento no custo de produção com a permanência dos animais não vendidos no rebanho. A possibilidade dessas vendas segue uma tendência mercadológica de aumento do consumo de carne de caprino no mundo (PennState, 2000).

A criação de cabritos para produção de carne certamente vai aumentar os custos da atividade. Entretanto, o que se percebe é a possível existência de espaços mal aproveitados no sistema de produção e com a existência do sistema de compra e distribuição de alimentos, esta alternativa poderia representar uma possibilidade de aumento de receita.

A receita no modelo 2EM aumentou em 18% quando efetuada a venda dos machos para produção de carne, representando uma considerável diferença em uma avaliação a longo prazo (Figura b).

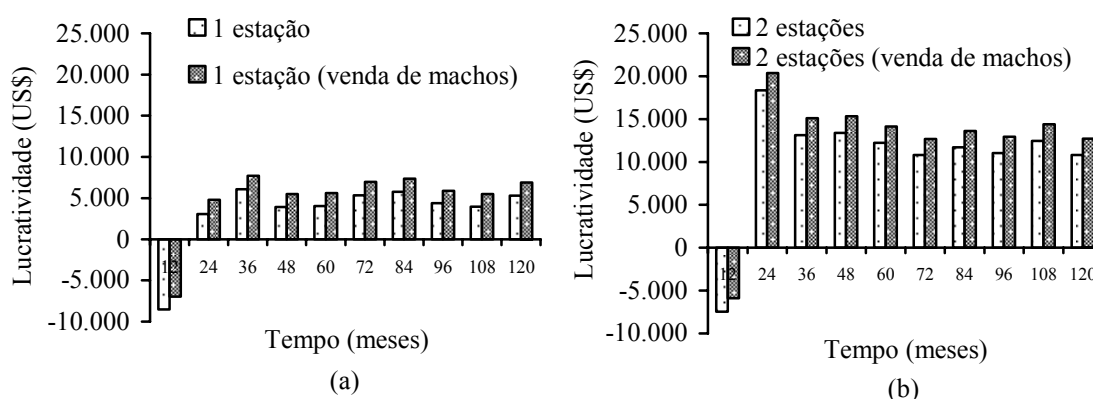


Figura 72 – Rentabilidade anual para 1 (a) e 2 (b) estações de monta com e sem a venda de cabritos para corte para rebanhos estabilizados durante 120 meses de simulação.

Desta forma, apesar de necessária uma avaliação aprofundada dos gastos com a criação dos machos para corte, pode-se concluir que, mesmo não tendo considerado todos os custos com os machos, o incremento na rentabilidade do sistema foi significativo, podendo implicar em fonte alternativa de renda para o produtor.

## **5. Conclusões**

---

---

As modificações provocadas nos aspectos reprodutivos influenciaram sobremaneira a dinâmica do rebanho bem como a rentabilidade do sistema.

O aumento da mortalidade, principalmente nas primeiras fases de vida do animal, também impactou negativamente a dinâmica do sistema de produção sendo crucial para o bom desempenho da atividade.

Outro ponto, que representa atualmente um dos principais problemas nos sistemas produtivos, foi o forte impacto que a idade ao primeiro acasalamento teve sobre o sistema, uma vez que quanto maior a idade, mais lento é o crescimento do rebanho e, por conseguinte, menor é a rentabilidade do sistema.

A comparação de sistemas de acordo com a qualidade da alimentação fornecida, tendo em vista os diferentes genótipos de um rebanho possuem exigências nutricionais diferenciadas, e o eficiente equacionamento do binômio genótipo-alimentação determinará a melhor produtividade e, principalmente, a melhor rentabilidade do um sistema.

A estratégia de um sistema considerando a venda de machos para produção de carne e assumindo a presença de mercado consumidor com nível de preço adequado, poderá se tornar outra interessante fonte de renda para o produtor.

A Dinâmica de Sistemas mostrou ser uma ferramenta importante para entendimento de como a simulação pode ser utilizada, não se limitando aos casos apresentados no trabalho, pela possibilidade de avaliação de outros cenários, formulação de novas hipóteses para mudança e em análises de sensibilidade. Essa metodologia, com a possibilidade de modelar processos dinâmicos, é uma importante ferramenta para somar às técnicas convencionais de simulação. É possível empregar a simulação para avaliação de rebanhos caprinos, mas existe ainda a necessidade de se realizar modelagem mais robusta para maior abrangência dos resultados.

## 5.1 Considerações finais

A Dinâmica de Sistemas possui como diferencial o processo de participação na construção do modelo, aumentando sua confiabilidade, uma vez que as sugestões de administradores e tomadores de decisão ajudam no direcionamento de novas simulações e modificações na estrutura. A Dinâmica de Sistemas, como ferramenta de suporte à decisão, mostrou potencial de utilização na indicação e esclarecimento de pontos de estrangulamento das atividades produtivas e avaliação de perspectivas.

Em pesquisas futuras, a metodologia poderá ser utilizada para avaliar pontos específicos como, por exemplo, aspectos reprodutivos ou apenas nutricionais, podendo, assim, fazer uma análise detalhada de componentes que interferem mais especificamente cada parte do sistema de produção.

Outro ponto que deverá ser avaliado, é o peso com que cada um dos fatores considerados neste estudo, contribui para impactar o sistema, permitindo assim, a comparação direta das interferências que cada um provoca no sistema de produção.

## **6. Bibliografia**

---

---

- Ackoff, R. L. 1994. Systems thinking and thinking systems. *System Dynamics Review* 10: 175-188.
- Adaikappan, N. G. 2005. *Modeling Neonatal Patient Flow using System Dynamics*, University of Toronto, Toronto.
- AFRC. 1993. *Agricultural and Food Research Council. Energy and protein requirements of ruminants*. UK:CAB International, Wallingford.
- Aguilar, C., R. Vera, R. Allende, and P. Toro. 2006. Supplementation, stocking rates, and economic performance of lamb production systems in the Mediterranean-type region of Chile. *Small Ruminant Research* 66: 108-115.
- Amer, P. R., J. C. McEwan, K. G. Dodds, and G. H. Davis. 1999. Economic values for ewe prolificacy and lamb survival in New Zealand sheep. *Livestock Production Science* 58: 75-90.
- Assis, A. G. 1997. *Produção de leite a pasto no Brasil*. In: *Simpósio Internacional sobre produção animal em pastejo*. Anais... , Viçosa: UFV
- Avellar, S. O. C. 2002. *Estratégias de comercialização em laticínios de pequeno porte: uma abordagem de dinâmica de sistemas*, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Avila, W. R. B. d. 2004. *Uso da Dinâmica de Sistemas como Suporte à Decisão em Propriedades Produtoras de Leite: um Estudo de Caso*, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- Awemu, E. M., L. N. Nwakalor, and B. Y. Abubakar. 1999. Environmental influences on preweaning mortality and reproductive performance of Red Sokoto does. *Small Ruminant Research* 34: 161-165.
- Bertoglio, O. J. 1995. *Introducción a la Teoría General de Sistemas*. Ed. Limusa, México.
- Bititci, U., T. Turner, and C. Begemann. 2000. Dynamics of performance measurement systems. *International Journal of Operations & Production Management* 20: 692-704.
- Braga, M. J. 2004. *Poder de mercado na indústria de laticínios*.
- Brockington, N. R., J. M. Veil, and R. Zocal. 1992. Herd dynamics and management strategies for small-scale milk production systems in Southeast Brazil. *Agricultural Systems* 39: 201-225.
- Caja, G., A. A. K. Salama, and X. Such. 2006. Omitting the Dry-Off Period Negatively Affects Colostrum and Milk Yield in Dairy Goats. *Journal of Dairy Science* 89: 4220-4228.

- Casey, N. H., and W. A. Van Niekerk. 1988. The boer goat. I. Origin, adaptability, performance testing, reproduction and milk production. *Small Ruminant Research* 1: 291-302.
- Cavana, R. Y., and A. Ford. 2004. Environmental and resource systems: Editors' introduction. *System Dynamics Review* 20: 89.
- Chemineau, P., A. Daveau, F. Maurice, and J. A. Delgadillo. 1992. Seasonality of estrus and ovulation is not modified by subjecting female Alpine goats to a tropical photoperiod. *Small Ruminant Research* 8: 299-312.
- Chiavenato, I. 2004. *Introdução à Teoria Geral da Administração ITGA*. 7a ed.
- Cloud, S. W. 2001. Testing the potential of system dynamics models for improving public participation in resource management. M.S., University of Nevada, Las Vegas, United States -- Nevada.
- Corteel, J. M., B. Leboeuf, and G. Baril. 1988. Artificial breeding of adult goats and kids induced with hormones to ovulate outside the breeding season. *Small Ruminant Research* 1: 19-35.
- Coyle, G. 2000. Qualitative and quantitative modeling in system dynamics: some research questions. *System Dynamics Review* 16: 225.
- Crepaldi, P., M. Corti, and M. Cicogna. 1999. Factors affecting milk production and prolificacy of Alpine goats in Lombardy (Italy). *Small Ruminant Research* 32: 83-88.
- Cusins, P. 1994. Understanding quality through Systems Thinking. *The TQM Magazine* 6: 19-27.
- De Miguel, E. 1993. *Introducción a Gestión*. Tomo I y II. SPUPV.
- de Rancourt, M., N. Fois, M. P. Lavin, E. Tchakerian, and F. Vallerand. 2006. Mediterranean sheep and goats production: An uncertain future. *Small Ruminant Research* 62: 167-179.
- Delgadillo, J. A., and P. Chemineau. 1992. Abolition of the seasonal release of luteinizing hormone and testosterone in Alpine male goats (*Capra hircus*) by short photoperiodic cycles No. 94. p 45-55.
- Delgadillo, J. A., B. Leboeuf, and P. Chemineau. 1992. Abolition of seasonal variations in semen quality and maintenance of sperm fertilizing ability by photoperiodic cycles in goat bucks. *Small Ruminant Research* 9: 47-59.
- Deschamps, F. C., and F. A. Tcacenco. 2000. Parâmetros Nutricionais de Forrageiras Nativas e Exóticas no Vale do Itajaí, Santa Catarina. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 35 no. 2 Brasília Feb.
- Domínguez, J. A. 1989. La necesidad de una óptica global en la dirección de empresas. *Enfoque y instrumentos*. Alta dirección, No 147.

- Espejo, R., and R. J. Harnden. 1989. **The Viable System Model: Interpretations and applications of Beer's VSM.** Reino Unido. Wiley.
- Fernandes, A. C. 2001. **Dinâmica de sistemas e business dynamics: Tratando a complexidade no ambiente de negócios** In: XXI ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Salvador, Brasil
- Fernandes, M. H. M. R. et al. 2007. **Energy and protein requirements for maintenance and growth of Boer crossbred kids.** *Journal of Animal Science* 85.
- Ford, A. 1999. **Modeling the environment: an introduction to system dynamics modeling of environmental systems.**
- Forrester, J. W. 1989. **The beginning of System Dynamics.** In: Banquet Talk at International Meeting of the System Dynamics Society, Stuttgart, Germany
- Forrester, J. W. 1994. **Learning through System Dynamics as Preparation for the 21st Century.** In: Systems Thinking and Dynamic Modeling Conference, Concord , MA, USA
- Frank, M. 2002. **What is engineering system thinking?** *Kybernetes* 31: 1350-1360.
- Fuertes, J. A., C. Gonzalo, J. A. Carriedo, and F. San Primitivo. 1998. **Parameters of test day milk yield and milk components for dairy ewes.** *Journal of Dairy Science* 81: 1300-1307.
- Galina, M. A., E. Silva, R. Morales, and B. Lopez. 1995. **Reproductive performance of Mexican dairy goats under various management systems.** *Small Ruminant Research* 18: 249-253.
- Georgiadis, P., D. Vlachos, and E. Iakovou. 2005. **A system dynamics modeling framework for the strategic supply chain management of food chains.** *Journal of Food Engineering* 70: 351-364.
- Gomes, S. T. 2000. **Transformação na produção de leite.** In: *Economia da produção de leite*, Belo Horizonte, MG. p 104-109.
- Gomes, S. T. 2001. **Diagnóstico e perspectivas da produção de leite no Brasil.** In: VILELA, D., BRESSAN, M. e CUNHA, A. S. (ed). *Cadeia de lácteos no Brasil: restrições ao seu desenvolvimento*, Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite
- Gottschall, C. S., A. W. Flores, L. R. Ries, and L. M. Antunes. 2002. **Gestão e manejo para a bovinocultura leiteira.** Porto Alegre: Agropecuária Ltda. Porto Alegre: Agropecuária Ltda. p 182.
- Granados, L. B. C., Â. J. B. Dias, and M. P. d. Sales. 2006. **Aspectos gerais da reprodução de caprinos e ovinos** No. 1º Edição-Campos dos Goytacazes – RJ. **Capacitação dos técnicos e produtores do Norte e Noroeste Fluminense em Reprodução de Caprinos e Ovinos.**

- Greyling, J. P. C. 2000. Reproduction traits in the Boer goat doe. *Small Ruminant Research* 36: 171-177.**
- Guevara, J. C., O. R. Estevez, and C. R. Stasi. 1999. Cost-benefit analysis of cactus fodder crops for goat production in Mendoza, Argentina. *Small Ruminant Research* 34: 41-48.**
- Guimarães, V. P. 2004. Curva de Lactação, Efeitos Ambientais e Genéticos sobre o Desempenho Produtivo de Cabras Leiteiras, Universidade Federal de Viçosa. (Dissertação de Mestrado), Viçosa.**
- Guimarães, V. P., M. T. Rodrigues, J. L. R. Sarmiento, and D. T. d. Rocha. 2006. Utilização de funções matemáticas no estudo da curva de lactação em caprinos. *Revista Brasileira de Zootecnia* 35: 35-43.**
- Guimaraes, V. P., L. O. Tedeschi, and M. T. Rodrigues. 2007. Development of a Mathematical Model to Study the Impacts of Production and Management Strategies on the Herd Dynamics of Dairy Goats. *Agricultural Systems* In press.**
- Hamadeh, S. K., G. N. Bistanji, M. R. Darwish, M. Abi Said, and D. Abi Ghanem. 2001. Economic sustainability of small ruminants production in semi-arid areas of Lebanon. *Small Ruminant Research* 40: 41-49.**
- Hannon, B. M., and M. Ruth. 1994. *Dynamic modeling*. Springer-Verlag, New York.**
- Holmann, F. 1997. Reflexiones sobre la competitividad de distintos modelos de producción de leche en América Latina tropical. In: *Anais - VI Congresso Panamericano de la leche*, Buenos Aires**
- Jalvingh, A. W., A. A. Dijkhuizen, J. A. M. V. Arendonk, and E. W. Brascamp. 1992. An economic comparison of management strategies on reproduction and replacement in sow herds using a dynamic probabilistic model. *Livestock Production Science*, 32: 331-350.**
- Kosgey, I. S., J. A. M. van Arendonk, and R. L. Baker. 2003. Economic values for traits of meat sheep in medium to high production potential areas of the tropics. *Small Ruminant Research* 50: 187-202.**
- Krug, E. E. B. 2000. Produção de leite: problemas e soluções. In: KOCHHANN, R. A., TOMM, G. O. e FONTANELI, R. S. (orgs). *Sistemas de produção de leite baseado em pastagens sob plantio direto* Passo Fundo: Embrapa Trigo**
- Larson, D. K. 2005. *Prototype Decision Support System to Aid in Prediction Training Strategy Success: Using System Dynamics Modeling Software*, Illinois State University.**
- Laudon, K. C., and J. P. Laudon. 2006. *Management information systems : managing the digital firm*. 9th ed. Pearson/Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.**
- Lee, M.-H., N.-H. Choi, and M. Park. 2005. A systems thinking approach to the new administrative capital in Korea: balanced development or not? *System Dynamics Review* 21: 69.**

- Loyland, K., and V. Ringstad. 2000. Gains and structural effects of exploiting scale-economies in Norwegian dairy production. *Agricultural Economics* 24: 149-166.
- Luo, J. et al. 2004a. Maintenance energy requirements of goats: predictions based on observations of heat and recovered energy. *Small Ruminant Research* 53: 221-230.
- Luo, J. et al. 2004b. Metabolizable protein requirements for maintenance and gain of growing goats. *Small Ruminant Research* 53: 309-326.
- Luo, J. et al. 2004c. Prediction of metabolizable energy requirements for maintenance and gain of preweaning, growing and mature goats. *Small Ruminant Research* 53: 231-252.
- Mallmann, G. M., H. O. Patino, A. L. F. d. Silveira, F. S. Medeiros, and M. Knorr. 2006. Consumo e digestibilidade de feno de baixa qualidade suplementado com nitrogênio não protéico em bovinos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 41 no.2 Brasília Feb.
- Mandal, A. B., S. S. Paul, G. P. Mandal, A. Kannan, and N. N. Pathak. 2005. Deriving nutrient requirements of growing Indian goats under tropical condition. *Small Ruminant Research* 58: 201-217.
- Meadows, D. H., D. L. Meadows, Project on the Predicament of Mankind., and Potomac Associates. 1972. *The limits to growth; a report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind.* Universe Books, New York,.
- Meadows, D. H., D. L. Meadows, and J. Randers. 1992. *Beyond the limits : global collapse or a sustainable future.* Earthscan Publications, London.
- Meadows, D. H., and J. M. Robinson. 1985. *The electronic oracle : computer models and social decisions.* Wiley, Chichester ; New York.
- Meadows, D. L. 1970. *Dynamics of commodity production cycles.* Wright-Allen Press, Cambridge, Mass.
- Mintzberg, H. 1984. *La estructuración de las organizaciones.* 1 ed. Ariel Gestión, Barcelona.
- Montaldo, H., A. Almanza, and A. Juarez. 1997. Genetic group, age and season effects on lactation curve shape in goats. *Small Ruminant Research* 24: 195-202.
- Mourad, M. 1993. Reproductive performance of Alpine and Zaraibi goats and growth of their first cross in Egypt. *Small Ruminant Research* 12: 379-384.
- Mulej, M. et al. 2004. How to restore Bertalanffian systems thinking. *Kybernetes* 33: 48-61.
- Myrtveit, M. 2005. *The World Model Controversy.* In: W. P. i. S. Dynamics (ed.). Department of Geography, University of Bergen.

- NRC. 2006. National Research Council. Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and New World camelids., Washington, DC.**
- O'Regan, B., and R. Moles. 2001. A System Dynamics Model of Mining Industry Investment Decisions within the Context of Environmental Policy. Journal of Environmental Planning and Management 44: 245-262.**
- Ostergaard, S., J. T. Sorensen, and A. R. Kristensen. 2000. A stochastic model simulating the feeding-health-production complex in a dairy herd. Journal of Dairy Science 83: 721-733.**
- Oz, E. 2004. Management Information Systems. Fourth ed, Boston, Massachusetts: Course Technology.**
- Peña Blanco, F. et al. 1999. Producción láctea y ajuste de la curva de lactación en caprinos de raza florida. Archivo Zootecnia 48: 415-424.**
- PennState. 2000. Meat Goat Production, PennState - College of Agricultural Sciences - Agricultural Research and Cooperative Extension.**
- Pla, L. M. 2007. Review of mathematical models for sow herd management. Livestock Science 106: 107-119.**
- Porter, M. E. 1985. Competitive advantage : creating and sustaining superior performance. Free Press; Collier Macmillan, New York, London.**
- Porter, M. E. 1994. Toward a dynamic theory of strategy In R. P. Rumelt, D.E. Schendel, and D.J. Teece (Eds.). p 423-462.**
- Rabasco, A., J. M. Serradilla, J. A. Padilla, and A. Serrano. 1993. Genetic and non-genetic sources of variation in yield and composition of milk in Verata goats. Small Ruminant Research 11: 151-161.**
- Randers, J. 1980. Elements of the system dynamics method. MIT Press, Cambridge, Mass.**
- Reynolds, L., and S. Adediran. 1994. Composition of village goat herds in southwest Nigeria. Small Ruminant Research 13: 49-53.**
- Richardson, G. P. 1991. Feedback thought in social science and systems theory. University of Pennsylvania Press, Philadelphia.**
- Riche, G. A., and R. M. Alto. 2001. As organizações que aprendem, segundo Peter Senge: "a quinta disciplina", Cadernos Discentes Coppead, Rio de Janeiro, n. 9, p. 36-55**
- Rivera, G. M., G. A. Alanis, M. A. Chaves, S. B. Ferrero, and H. H. Morello. 2003. Seasonality of estrus and ovulation in Creole goats of Argentina. Small Ruminant Research 48: 109-117.**

- Robert, Y. C. 2003. *Modeling the environment: an introduction to system dynamics models of environmental systems*. Andrew Ford Island Press, Washington DC, 1999, viii + 401 pp. ISBN: 1-55963-601-7. *System Dynamics Review* 19: 171.
- Roberts, N. 1982. *Introduction to computer simulation : the system dynamics approach*. Addison-Wesley, Reading, Mass.
- Ruth, M., and B. M. Hannon. 1997. *Modeling dynamic economic systems*. Springer, New York.
- Sahlu, T. et al. 2004. Nutrient requirements of goats: developed equations, other considerations and future research to improve them. *Small Ruminant Research* 53: 191-219.
- Salama, A. A. K., G. Caja, X. Such, R. Casals, and E. Albanell. 2005. Effect of Pregnancy and Extended Lactation on Milk Production in Dairy Goats Milked Once Daily. *Journal of Dairy Science* 88: 3894-3904.
- Santos, F. A. L. F., Jugurta ; Rodrigues, M. T. ; Monteiro, Bruno Rabello 2006. Um sistema de informação para o agronegócio: inovando na gestão de rebanhos caprinos. In: *Simpósio Mineiro de Sistemas de Informação*, Belo Horizonte. p 209-218.
- Santos, F. A. P. 2001. Manejo dos sistemas de produção de leite a pasto. In: MARTINS, C. E., BRESSAN, M., VILELA, D. e CARVALHO, L. de A. *Sustentabilidade de sistemas de produção de leite a pasto e em confinamento*, Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite
- Santos, S. P., V. Belton, and S. Howick. 2002. Adding value to performance measurement by using system dynamics and multicriteria analysis. *International Journal of Operations & Production Management* 22: 1246-1272.
- SEBRAE, S. B. d. A. à. M. e. P. E. 2005. *Informações de Mercado sobre Caprinos e Ovinos: Relatório Completo*. In: U. d. A. a. Mercados (ed.).
- Senge, P., C. Roberts, R. B. Ross, B. J. Smith, and A. Kleiner. 1994. *The Fifth Discipline Fieldbook: Strategies and Tools for Building a Learning Organization*, New York: Doubleday.
- Senge, P. M. 1990. *The fifth discipline : the art and practice of the learning organization*. 1st ed. Doubleday/Currency, New York.
- Silva, E., M. A. Galina, J. M. Palma, and J. Valencia. 1998. Reproductive performance of Alpine dairy goats in a semi-arid environment of Mexico under a continuous breeding system. *Small Ruminant Research* 27: 79-84.
- Singh, D. 1986. Simulation of swine herd population dynamics. *Agricultural Systems* 22: 157-183.
- Sonawane, R. 2004. *Applying System Dynamics and Critical Chain Methods to Develop a Modern Construction Project Management System*, Texas A&M University, Kingsville.

- Soryal, K., F. A. Beyene, S. Zeng, B. Bah, and K. Tesfai. 2005. Effect of goat breed and milk composition on yield, sensory quality, fatty acid concentration of soft cheese during lactation. *Small Ruminant Research* 58: 275-281.
- Stanford, L. O. 1976. *Análisis de Sistemas para Empresas y Solución de Problemas Industriales*. Ed. Diana S. A.
- Sterman, J. 1989. Modeling managerial behavior: Misperceptions of feedback in a dynamic decision making experiment. *Management Science* 35: 321-339.
- Sterman, J. 2000. *Business dynamics : systems thinking and modeling for a complex world*. Irwin/McGraw-Hill, Boston.
- Tichit, M., B. Hubert, L. Doyen, and D. Genin. 2004. A viability model to assess the sustainability of mixed herds under climatic uncertainty. *Animal Research* 53: 405-417.
- Turban, E., E. McLean, and J. Wetherbe. 2002. *Information technology for management: transforming business in the digital economy*. John Wiley & Sons, New York, New York.
- Upton, M. 1993. Livestock productivity assessment and modeling. *Agricultural Systems* 43: 459-472.
- Valencia, M., J. Dobler, and H. H. Montaldo. 2005. Genetic and phenotypic parameters for lactation traits in a flock of Saanen goats in Mexico. *Small Ruminant Research In Press, Corrected Proof*.
- Van Gigch, J. P. 1978. *Applied general systems theory*. 2d ed. Harper & Row, New York.
- van Kooten, G. C., E. H. Bulte, and P. Kinyua. 1997. Game cropping and wildlife conservation in Kenya: A dynamic simulation model with adaptive control. *Agricultural Systems* 54: 439-462.
- Vennix, J. A. M. 1996. *Group Model Building: Facilitating Team Learning Using System Dynamics*. John Wiley & Sons, Ltd., Chichester (New York ).
- Von Bertalanffy, L. 1986. *Teoría General de Sistemas*. Fondo de Cultura Económica. México.
- Wiazowski, B. A. 2000. *Dinâmica de sistemas: uma aplicação à análise da coordenação vertical no agronegócio da carne bovina*, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Williams, T. 2002. *Modelling complex projects*. Wiley, Chichester ; New York.
- Wolstein, C. 2002. A model approach. *Best's Review* 103(5): 111.
- Zarkawi, M., M. R. Al-Merestani, and M. F. Wardeh. 1999. Induction of synchronized estrous in indigenous Damascus goats outside the breeding season. *Small Ruminant Research* 33: 193-197.